

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження

проф., д.т.н.

/КАПЛІУН В.В./

вчене звання, науковий ступінь

підпис

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
автоматики та роботехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка

проф., д.т.н.

/Лисенко В.П./

вчене звання, науковий ступінь

підпис

„ _____ ” 2023 р.
число місяць рік

„ _____ ” 2023 р.
число місяць рік

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Комп'ютерно-інтегрована система керування температурою повітря в
складському приміщенні бази КТЗ Arduino»

Спеціальність 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(код і назва)

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Болбот І.М.

(ПІБ)

Керівник магістерської роботи

д.т.н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Лендел Т.І

(ПІБ)

Виконав _____

(підпис)

Соколов О.О.

(ПІБ)

КИЇВ – 2023

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
автоматики та
роботехнічних систем ім.
акад. І.І.

Мартиненка

Проф., д.т.н.

/Лисенко В.П./

науковий ступінь, вчене звання

підпис

ПІБ

_____ 2023 року

число

місяць

рік

ЗАВДАННЯ

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТА**

Соколов Олексій Олегович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Комп'ютерно-інтегрована система керування температурою повітря в складському приміщенні бази КТЗ Arduino»

затверджена наказом ректора НУБіП України від “_01_”_02_2023 р. № 175 “С”

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2023.11.16

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи:

- а) Результати науково-дослідницької роботи кафедри АКіТ.
- б) Публікації співробітників кафедри АКіТ.
- в) Результати навчально-дослідницької практики.
- г) Система ПЗР і ТО електрообладнання сільськогосподарських підприємств.
- д) Нормативні документи: ПУЕ, ПТЕЕС та ПБЕЕС, ДСТУ, ДБН тощо.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

- а) Аналіз технічного процесу контролю температури повітря як об'єкта автоматизації.
- б) Опис системи автоматизації.
- в) Розробка системи автоматизації.
- г) Розробка питань електропостачання та енергозбереження.

Перелік графічного матеріалу (за потреби) _____

Дата видачі завдання “_04_” лютого 2023 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____

Лендел Т.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

Соколов О.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

студента

АНОТАЦІЯ

В даній кваліфікаційній роботі було проведено дослідження по розробці системи автоматичного керування температурним режимом повітря

в складському приміщенні з використанням комплексу технічних засобів Arduino.

У роботі містяться наступні компоненти: технологічні характеристики об'єкта керування та опис системи автоматизації; таблиця завдань для системи автоматизації; функціональна схема автоматики; таблиця специфікацій технічних засобів автоматизації, а також схема встановлення технічних засобів автоматики і модуль контролера для датчиків та виконавчих механізмів.

У даній роботі було розроблено алгоритм та програмний код для керування процесом регулювання температури повітря складському приміщенні.

ABSTRACT

In this qualification work, research was conducted on the development of an automatic air temperature control system in a warehouse using a set of technical tools based on Arduino.

The work includes the following components: technological characteristics of the controlled object and a description of the automation system; a table of tasks for the automation system; a functional diagram of the automation; a table of specifications for technical automation tools, as well as a diagram of the installation of technical automation tools and controller modules for sensors and executive mechanisms.

In this work, an algorithm and software code were developed to control the process of regulating the air temperature in the warehouse.

ЗМІСТ	
ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	4
1.1 Методи та основні операції при забезпеченні технологічного процесу.....	4
1.2 Інформаційний аналіз об'єкта керування.....	5
1.3 Розробка функціональної схеми автоматизації.....	22
РОЗДІЛ 2 ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	24
2.1 Опис характеристик припідвно – витяжної системи вентиляції ВУТР701ТНЭГЕСА18.....	24
2.2. Структурна схема підтримання температурного режиму у складському приміщенні.....	27
2.3. Динамічна модель складського приміщення.....	29
2.4. Моделювання перехідних характеристик динамічної моделі підтримання температурного режиму у складському приміщенні.....	33
2.5. Апроксимація перехідних характеристик динамічної моделі підтримання температурного режиму у складському приміщенні.....	39
РОЗДІЛ 3 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ.....	44
3.1 Вибір алгоритму керування.....	44
3.2. Структурна схема регулювання підтримання температурного режиму багатоцільового складу.....	45
3.3. Розрахунок періоду дискретизації системи регулювання підтримання температурного режиму складського приміщення.....	46
3.4. Розрахунок прецизійної системи регулювання підтримання температурного режиму складського приміщення.....	48
3.5. Розрахунок цифрової системи регулювання з ПІ модуляцією.....	48

3.6. Вибір мови програмування.....	49
3.7. Вибір середовища розробки.....	50
3.8. Написання коду програми.....	51
РОЗДІЛ 4 РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТА.....	53
4.1 Вибір технічних засобів автоматизації.....	53
4.2 Схема електрична принципова.....	60
4.3 Блок-схема алгоритму.....	62
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	63
5.1 Розрахунок окупності автоматизованої системи.....	63
ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

Сучасні технології та автоматизація досліджень і розробок надають нам

низку надзвичайних можливостей для створення і вдосконалення пристроїв,

які спрямовані на контроль і збереження оптимальних температурних умов в

різних сферах життя та промисловості. Температурний режим може

визначати якість та ефективність функціонування різних систем, починаючи

від сільського господарства та закінчуючи медициною та науковими

дослідженнями. Однією з найпопулярніших платформ для реалізації

контролю та автоматизації є Arduino, що надає надзвичайну гнучкість і

доступність для розробки електронних систем.

Ця дипломна робота присвячена створенню та розробці термостата на

базі платформи Arduino. Термостат, як ключовий елемент регулювання

температурних умов, має велике практичне застосування в різних галузях,

включаючи системи опалення, теплиці, лабораторії, медичні пристрої та

багато інших. Розробка та дослідження термостата на платформі Arduino

відкриває широкий спектр можливостей для створення досить доступних,

ефективних та інтелектуальних систем управління температурою.

У цій роботі ми розглянемо основні принципи функціонування

термостата, розробимо апаратну та програмну частину пристрою на

платформі Arduino, вивчимо методи регулювання температури та дослідимо

його додаткові можливості. Також ми дослідимо питання збереження даних

про температурні умови, спостереження та керування термостатом віддалено

через Інтернет, що робить цю розробку особливо актуальною в епоху

Інтернету речей (IoT).

Метою цієї дипломної роботи є створення функціонального та

надійного термостата на базі платформи Arduino, який може бути

використаний в різних сферах та служити як основа для подальших

досліджень і розробок в області автоматизації та контролю температур.

РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1 Методи та основні операції при забезпеченні технологічного

процесу

Складське приміщення - спеціально обладнане приміщення для зберігання речовин, матеріалів, виробів, обладнання, тощо. В нашому випадку в складському приміщенні буде зберігатися побутова техніка. Для зберігання наведених предметів потрібно мати сталу температуру в приміщенні, аби зберігана продукція не псувалася під дією температурних чинників.

Одним із ключових елементів системи керування є датчики температури. Використання аналогових та цифрових сенсорів дозволяє отримувати точні та стабільні вимірювання температури в реальному часі. Важливо враховувати, що не лише точність вимірювань, але й швидкість реакції на зміни температури є вирішальними факторами. У роботі розглядається вибір засобів вимірювання та контролю для забезпечення оптимальної продуктивності системи. Автоматичне регулювання температури в складському приміщенні вимагає вдосконалених алгоритмів та методів. Розглянемо основні операції, такі як ПІ-регулятори, пропорційно-інтегрально-диференційні (ПІД) регулятори, які дозволяють системі реагувати на зміни у температурі з високою точністю. Ефективне управління системою також включає автоматизоване регулювання вентиляції та опалення. Автоматичне вмикання і вимикання системи опалення та вентиляції забезпечує оптимальні умови для зберігання продуктів у складському приміщенні.

1.2 Інформаційний аналіз об'єкта керування

Першочерговим етапом впровадження комп'ютерно-інтегрованої системи керування температурою повітря в складському приміщенні є інформаційний аналіз самого об'єкта керування. У цьому розділі розглядається загальний огляд та характеристика складського приміщення бази КТЗ.

Детальний аналіз фізичних параметрів об'єкта є ключовим для правильного розуміння теплових потоків та взаємодії зовнішнього середовища зі складським приміщенням. Визначення розташування, розмірів та будови допомагає у визначенні потрібних параметрів для ефективного керування температурою. Іншим важливим аспектом є аналіз та класифікація товарів і матеріалів, які будуть зберігатися в складі. Різноманітність продуктів може вимагати різних температурних умов зберігання, і це важливо враховувати при розробці стратегії керування температурою. В моєму магістерському проекті я брав за основу складське приміщення для зберігання побутової техніки. Аналіз внутрішніх та зовнішніх факторів, що впливають на температурний режим, включає в себе врахування теплових втраг через стіни та дах, а також вплив кліматичних умов на зовнішній бік будівлі. Оцінка технічного стану існуючих систем включає в себе перевірку робочої ефективності систем опалення, вентиляції та інших технічних аспектів, які можуть впливати на загальний тепловий баланс.

Термостат – це компонент регулюючого пристрою, який визначає температуру фізичної системи та виконує дії, щоб температура системи підтримувалася поблизу бажаного заданого значення.

Термостати використовуються в будь-якому пристрої або системі, яка нагріває або охолоджує до заданої температури. Приклади включають опалення/будівель, центральне опалення, кондиціонери, системи HVAC, водонагрівачі, а також кухонне обладнання, включаючи печі та

холодильники та медичні та наукові інкубатори. У науковій літературі ці пристрої часто класифікуються як термостатично керовані навантаження (TCL). Навантаження з термостатичним регулюванням становлять приблизно 50% загального попиту на електроенергію в Сполучених Штатах [1].

Термостат працює як пристрій керування "замкнутим циклом", оскільки він намагається зменшити похибку між бажаною та вимірною температурами. Іноді термостат поєднує в собі як чутливі, так і керуючі елементи керованої системи, наприклад, в автомобільному термостаті. Слово термостат походить від грецьких слів θερμός thermos, «гарячий» і στατός statos, «стоячий, нерухомий».

Термостат контролює, вмикаючи та вимикаючи пристрої нагрівання чи охолодження, або регулюючи потік рідини, що передає тепло, за потреби, щоб підтримувати правильну температуру. Термостат часто може бути основним блоком керування системою опалення чи охолодження, починаючи від контролю навколишнього повітря до керування охолоджуючою рідиною автомобіля. Термостати використовуються в будь-якому пристрої або системі, яка нагріває або охолоджує до заданої температури. Приклади включають опалення будівель, центральне опалення та кондиціонери, кухонне обладнання, таке як печі та холодильники, а також медичні та наукові інкубатори.

Термостати використовують різні типи датчиків для вимірювання температури та активації операцій керування. Механічні термостати зазвичай використовують біметалічні смужки, які перетворюють зміну температури на механічне зміщення, щоб активувати керування джерелами нагріву чи охолодження. Натомість електронні термостати використовують термістор або інший напівпровідниковий датчик, який обробляє зміну температури як електронні сигнали для керування обладнанням для опалення чи охолодження.

Звичайні термостати є прикладом "регуляторів", оскільки контрольована система або працює на повну потужність після досягнення встановленого значення, або повністю вимкнена. Незважаючи на те, що це найпростіша програма для реалізації, такий метод керування вимагає включення деякого гістерезису, щоб запобігти надмірно швидкому циклу обладнання навколо заданого значення. Як наслідок, звичайні термостати не можуть дуже точно контролювати температуру. Замість цього спостерігаються коливання певної величини, зазвичай 1-2 °C. [2] Загалом таке керування є неточним, неефективним і високим рівнем механічного зносу, але для таких компонентів, як компресори, воно все ще має значну перевагу в ціні порівняно з більш досконалішими, що дозволяють безперервно змінювати продуктивність [3].

Іншим фактором є час затримки керованої системи. Щоб покращити ефективність керування системою, термостати можуть включати «антиципагор», який припиняє нагрівання/охолодження трохи раніше ніж досягне заданого значення, оскільки система продовжуватиме виробляти тепло протягом короткого часу [4]. Вимкнення точно за заданим значенням призведе до того, що фактична температура перевищить бажаний діапазон, відомий як «перевищення». Біметалічні датчики можуть включати фізичний «антиципагор», який має тонкий дріт, який торкається термостата. Коли струм проходить по дроту, утворюється невелика кількість тепла, яке передається біметалевій котушці. Електронні термостати мають електронний еквівалент [5].

Якщо потрібна більш висока точність керування, перевагу надають ПІД- або МРС-контролеру. Проте в даний час вони в основному застосовуються для промислових цілей, наприклад, для заводів з виробництва напівпровідників або музеїв.

Ранні технології включали ртутні термометри з електродами, вставленими безпосередньо через скло, так що при досягненні певної

(фіксованої) температури контакти закривалися ртуттю. Вони були з точністю до градуса температури.

Загальні сенсорні технології, які використовуються сьогодні, включають:

- Біметалічні механічні або електричні датчики.
- Воскові гранули, що розширюються
- Електронні терморезистори та напівпровідникові прилади
- Електричні термопари

Потім вони можуть керувати нагрівальним або охолоджувальним приладом/за допомогою:

- Пряме механічне управління
- Електричні сигнали
- Пневматичні сигнали

Ймовірно, найперші зареєстровані зразки термостатичного керування були створені голландським новатором Корнелісом Дреббелем (1572–1633) приблизно в 1620 році в Англії. Він винайшов ртутний термостат для регулювання температури в інкубаторі для курчат [6]. Це один із перших зареєстрованих пристроїв із зворотним зв'язком.

Сучасний термостатичний контроль був розроблений у 1830-х роках Ендрю Уре (1778–1857), шотландським хіміком. Текстильним фабрикам того часу для оптимальної роботи потрібна була постійна і стабільна температура, тому Уре розробив біметалічний термостат, який згинався, коли один із металів розширювався у відповідь на підвищення температури, і припиняв подачу енергії [7].

Уоррен С. Джонсон (1847–1911) з Вісконсина запатентував біметалічний кімнатний термостат у 1883 році, а через два роки подав заявку на отримання патенту на першу багатозонну термостатичну систему

керування [8] [9], Альберт Буц (1849–1905) винайшов електричний термостат і запатентував його в 1886 році.

Одним із перших промислових застосувань термостата було регулювання температури в інкубаторах для птиці. Чарльз Хірсон, британський інженер, сконструював перший сучасний інкубатор для яєць, який почали використовувати на птахофабриках у 1879 році [10].

Побутові водяні та парові системи центрального опалення традиційно регулюються біметалевими стрічковими термостатами, і це буде розглянуто далі в цій статті. Суто механічний контроль був локалізованим паровим або водяним радіаторним біметалевим термостатом, який регулював індивідуальний потік. Проте нині широко застосовують термостатичні радіаторні вентиля (TRV).

Чисто механічні термостати використовуються для регулювання заслінок у деяких вентиляційних отворах турбін на даху, зменшуючи втрати тепла будівлею в прохолодні та холодні періоди.

Деякі автомобільні системи обігріву пасажирів мають термостатичний клапан для регулювання потоку води та температури до регульованого рівня.

У старих автомобілях термостат контролює застосування вакууму двигуна до приводів, які керують водяними клапанами та заслінками для спрямування потоку повітря. У сучасних транспортних засобах вакуумні приводи можуть керуватися маленькими соленоїдами під керуванням центрального комп'ютера.

Мабуть, найпоширенішим прикладом технології суто механічних термостатів, яка використовується сьогодні, є термостат системи охолодження двигуна внутрішнього згоряння, який використовується для підтримки двигуна поблизу його оптимальної робочої температури шляхом регулювання потоку охолоджуючої рідини до радіатора з повітряним охолодженням. Цей тип термостата працює за допомогою герметичної камери, що містить гранулу воску, яка плавиться і розширюється при заданій

температурі. Розширення камери приводиться в дію стрижнем, який відкриває клапан при перевищенні робочої температури. Робоча температура визначається складом воску. Після досягнення робочої температури термостат поступово збільшує або зменшує свій отвір у відповідь на зміни температури, динамічно балансує потік рециркуляції охолоджуючої рідини та потік охолоджуючої рідини до радіатора для підтримки температури двигуна в оптимальному діапазоні.

На багатьох автомобільних двигунах, включаючи всі продукти Chrysler Group і General Motors, термостат не обмежує потік до сердечника нагрівача.

Резервуар радіатора з боку пасажирів використовується як байпас до термостата, протікаючи через сердечник нагрівача. Це запобігає утворенню парових кишень до того, як термостат відкриється, і дозволяє нагрівачу працювати до того, як термостат відкриється. Ще одна перевага полягає в тому, що через радіатор усе ще залишається деякий потік, якщо термостат виходить з ладу.

Душ та інші засоби керування гарячою водою

Термостатичний змішувальний клапан використовує гранули воску для контролю змішування гарячої та холодної води. Загальне застосування полягає в тому, щоб дозволити роботу електричного водонагрівача при температурі, достатньо високій, щоб знищити бактерії легіонели (вище 60 °C, 140 °F), тоді як на виході клапана виробляється вода, яка є достатньо прохолодною, щоб не відразу обпектися (49 °C, 120 °F).

Клапан з восковими гранулами можна проаналізувати, побудувавши графік гістерезису воскових гранул, який складається з двох кривих теплового розширення; розширення (рух) проти підвищення температури, і скорочення (рух) проти зниження температури. Розкид між кривими вгору та вниз візуально ілюструє гістерезис клапана; завжди існує гістерезис у клапанах, що керуються воском, через фазовий перехід або фазову зміну між твердими речовинами та рідинами. Гістерезис можна контролювати

спеціальними змішаними сумішами вуглеводнів; жорсткий гістерезис – це те, чого більшість бажає, однак деякі програми вимагають ширших діапазонів. Клапани з в'єковими гранулами використовуються для захисту від опіків, захисту від замерзання, очищення від перегріву, сонячної енергії або сонячної енергії, автомобільної та аерокосмічної промисловості серед багатьох інших.

Термостати іноді використовують для регулювання газових духовок. Він складається з заповненої газом колби, з'єднаної з блоком керування тонкою мідною трубкою. Лампочка зазвичай розташована у верхній частині духовки. Трубка закінчується камерою, закритою діафрагмою. Коли термостат нагрівається, газ розширюється, надаючи тиск на діафрагму, що зменшує потік газу до пальника.

Пневматичні термостати

Пневматичний термостат — це термостат, який керує системою опалення або охолодження за допомогою ряду заповнених повітрям контрольних трубок. Ця система «контролюючого повітря» реагує на зміни тиску (через температуру) у контрольній трубці, щоб за потреби активувати нагрівання або охолодження. Регулююче повітря зазвичай підтримується в "мережі" на рівні 15-18 psi (хоча зазвичай працює до 20 psi). Пневматичні термостати зазвичай забезпечують тиск на виході/розгалуженні/пострестрикторі (для однотрубною роботи) 3-15 psi, який подається до кінцевого пристрою (клапан/привід заслінки/пневматичний електричний перемикач тощо).

Пневматичний термостат був винайдений Уорреном Джонсоном у 1895 році [12] незабаром після того, як він винайшов електричний термостат. У 2009 році Гаррі Сім отримав патент на пневматично-цифровий інтерфейс [13], який дозволяє інтегрувати будівлі з пневматичним керуванням із системами автоматизації будівель, щоб забезпечити такі ж переваги, як пряме цифрове керування (DDC).

Електричні та аналогові електронні термостати

Біметалічні перемикаючі термостати

Водяні та парові системи центрального опалення традиційно мали загальний контроль за допомогою настінних біметалевих стрічкових термостатів. Вони визначають температуру повітря, використовуючи диференціальне розширення двох металів, щоб активувати вимикач [14]. Зазвичай центральна система вмикається, коли температура падає нижче заданого значення на термостаті, і вимикається, коли вона піднімається вище, з кількома градусами гістерезису, щоб запобігти надмірному перемиканню.

Біметалічні датчики тепер витісняються електронними датчиками. Основним застосуванням біметалічного термостата сьогодні є індивідуальні електричні конвекційні обігрівачі, де керування вмикається/вимикається на основі місцевої температури повітря та встановленого значення, бажаного користувачем. Вони також використовуються в кондиціонерах, де потрібне місцеве керування.

Прості двопровідні термостати

На ілюстрації показано внутрішню частину звичайного дводротового побутового термостата, який використовується лише для обігріву, який використовується для регулювання роботи газового обігрівача за допомогою електричного газового клапана. Подібні механізми також можна використовувати для керування масляними печами, котлами, зональними клапанами котлів, електричними горищними вентиляторами, електричними печами, електричними обігрівачами плінтуса та побутовими приладами, такими як холодильники, кавники та фени. Потужність через термостат забезпечується нагрівальним пристроєм і може варіюватися від мілівольт до 240 вольт у звичайній північноамериканській конструкції та використовується для керування системою опалення або безпосередньо (електричні обігрівачі на панелі та деякі електричні печі), або опосередковано (усі газові, масляні системи та системи гарячого

водопостачання). Через різноманіття можливих напруг і струмів, доступних на термостаті, необхідно бути обережним при виборі замінного пристрою.

Важіль керування заданим значенням. Це переміщено вправо для вищої температури. Круглий індикаторний штифт у центрі другого слота видніється крізь пронумерований слот у зовнішньому корпусі.

Біметалева стрічка, змотана в бухту. Центр котушки прикріплений до обертової стійки, прикріпленої до важеля (1). Коли котушка охолоджується, рухомий кінець — носій (4) — рухається за годинниковою стрілкою.

Гнучкий дрід. Ліва сторона підключається одним проводом пари до клапана управління обігрівачем.

Рухомий контакт прикріплений до біметалічної котушки. Звідти до контролера обігрівача.

Фіксований контактний гвинт. Це регулюється виробником. Він електрично з'єднаний другим проводом пари з термопарою та електричним газовим клапаном нагрівача.

Магніт. Це забезпечує хороший контакт при замиканні контакту. Він також забезпечує гістерезис для запобігання коротким циклам

нагрівання, оскільки температуру потрібно підняти на кілька градусів, перш ніж контакти розімкнуться. Як альтернатива, деякі термостати замість цього використовують ртутний перемикач на кінці біметалічної

котушки. Вага ртуті на кінці спіралі утримує її там, а також запобігає коротким циклам нагрівання. Однак цей тип термостата заборонений у

багатьох країнах через його високу та постійну токсичність у разі поломки. При заміні цих термостатів їх слід розглядати як хімічні відходи.

На малюнку не показано окремий біметалічний термометр на зовнішньому корпусі, який показує фактичну температуру на термостаті.

Термостати мілівольтні

Як показано на прикладі використання термостата вище, все живлення для системи керування забезпечується термобатареєю, яка є комбінацією багатьох термопар, що нагріваються контрольним світлом. Термобатарея виробляє електроенергію, достатню для керування газовим клапаном малої потужності, який під керуванням одного або кількох термостатів, у свою чергу, контролює подачу палива в пальник.

Цей тип пристроїв зазвичай вважається застарілим, оскільки контрольні лампи можуть витратити напрочуд багато газу (так само, як кран, що капає, може витратити велику кількість води протягом тривалого періоду), а також більше не використовуються на плитах, а все ще можна знайти в багатьох газових водонагрівачах і газових камінах. Їх низька ефективність є прийнятною для водонагрівачів, оскільки більша частина енергії, «витраченої» на пілот, все ще представляє пряме отримання тепла для резервуара для води. Система Millivolt також робить непотрібним підключення спеціального електричного кола до водонагрівача або печі; ці системи часто повністю самодостатні і можуть працювати без будь-якого зовнішнього джерела електроенергії. Для безрезервуарних водонагрівачів типу «на вимогу» пілотне запалювання є кращим, оскільки воно швидше, ніж запалювання від гарячої поверхні, і надійніше, ніж іскрове запалювання.

Деякі програмовані термостати — ті, що пропонують простий «мільвольтовий» або «двопровідний» режим керування цими системами.

Термостати на 24 вольта

Більшість сучасних термостатів опалення/охолодження/теплових насосів працюють від ланцюгів керування низькою напругою (зазвичай 24 В змінного струму). Джерелом живлення 24 В змінного струму є керуючий трансформатор, встановлений як частина обладнання для опалення/охолодження. Перевагою системи керування низькою напругою є можливість керувати декількома електромеханічними комутаційними

пристроями, такими як реле, контактори та секвенсори, використовуючи за своєю суттю безпечні рівні напруги та струму [15]. У термостаті вбудовано можливість покращеного контролю температури за допомогою

передбачення. Попереджувач тепла генерує невелику кількість додаткового тепла для чутливого елемента під час роботи нагрівального приладу. Це

відкриває нагрівальні контакти трохи раніше, щоб запобігти значному перевищенню температури приміщення за налаштування термостата.

Механічний попереджувач тепла, як правило, регулюється і повинен бути налаштований на струм, що протікає в контурі керування опаленням, коли

система працює. Попередник охолодження генерує невелику кількість додаткового тепла для чутливого елемента, коли охолоджуючий пристрій не працює. Це змушує контакти подавати живлення на охолоджувальне

обладнання трохи раніше, запобігаючи надмірному зростанню температури в приміщенні. Передбачувачі охолодження, як правило, нерегульовані.

Електромеханічні термостати використовують елементи опору як антиципатори. Більшість електронних термостатів використовують або термісторні пристрої, або вбудовані логічні елементи для функції

передбачення. У деяких електронних термостатах терморезисторний

антиципатор може бути розташований поза приміщенням, забезпечуючи змінне очікування залежно від зовнішньої температури. Удосконалення термостата включають відображення зовнішньої температури, можливість

програмування та індикацію несправностей системи. Хоча такі 24-вольтові

термостати не здатні працювати з піччю в разі збою в мережі, більшість

таких печей потребують живлення від мережі для вентиляторів з напітим повітрям (і часто також гарячої поверхні або електронного іскрового запалювання), що робить функціональність термостата спірною. За інших

обставин, таких як настінні та «гравітаційні» (безвентиляторні) підлогові та

центральні обігрівачі, система низької напруги, описана раніше, може залишатися функціональною, коли електроенергія недоступна.

Програмований термостат – це термостат, призначений для регулювання температури відповідно до серії запрограмованих параметрів, які діють у різний час доби. Програмовані термостати також відомі як термостати зі знижкою або годинникові термостати.

Втрати на опалення та охолодження від будівлі (або будь-якого іншого контейнера) стають більшими зі збільшенням різниці температур. Програмований термостат дозволяє зменшити ці втрати, дозволяючи зменшувати різницю температур у той час, коли зменшена кількість нагрівання чи охолодження не викликає заперечень.

Наприклад, під час сезону охолодження можна налаштувати програмований термостат, який використовується в будинку, щоб дозволити температурі в будинку підвищуватися протягом робочого дня, коли вдома нікого немає. Потім його можна налаштувати на ввімкнення кондиціонування повітря до прибуття мешканців, дозволяючи будинку бути прохолодним після прибуття мешканців, зберігаючи при цьому енергію кондиціонування повітря під час пікових зовнішніх температур. Знижене охолодження, необхідне протягом дня, також зменшує вимоги до електромережі.

Навпаки, під час опалювального сезону програмований термостат можна налаштувати так, щоб дозволити температурі в будинку знизитися, коли в будинку немає людей протягом дня, а також вночі, коли всі мешканці лягли спати, повторно нагріваючи будинок перед мешканцями, які приходять додому ввечері або прокидаються вранці. Оскільки (з точки зору гігієни сну) люди краще сплять, коли в спальні прохолодно, і, крім того, різниця температур між внутрішньою та зовнішньою сторонами будівлі є найбільшою в холодну зимову ніч, це зменшує втрати енергії.

Подібні сценарії доступні в комерційних будівлях, з належним урахуванням моделей розміщення будівлі.

За даними журналу Consumer Reports, програмовані термостати можуть зменшити рахунки за електроенергію приблизно на 180 доларів на рік [2].

Суперечка

Хоча програмовані термостати можуть заощаджувати енергію за правильного використання, у польових дослідженнях житлових будинків було продемонстровано незначну середню економію енергії або її відсутність. Проблеми з зручністю використання в житлових приміщеннях, очевидно, призводять до недостатньої стабільності енергозбереження в будинках. Відповідно до EPA США щодо житлового програмованого термостата, «доступні дослідження вказують на відсутність економії від встановлення програмованого термостата (PT). Деякі дослідження вказують на незначне збільшення споживання» [3]. Це підтверджується дослідженнями Nevius і Pigg, [4] Cross і Джадд [5] та інші та Пеффер та інші [6] має нещодавній огляд теми.

На додаток до можливого збільшення енергоспоживання, цифрові програмовані термостати критикували за погану зручність використання. Кілька досліджень виявили, що користувачам важко програмувати цифрові програмовані термостати [7], і людям похилого віку особливо важко ними користуватися [8].

Було відмічено, що використанню програмованих термостатів перешкоджає неправильне уявлення про функцію зниження, яка зменшує обсяг опалення або охолодження в будівлі на короткий час (наприклад, вночі або коли в ній немає людей). Вважається, що якщо в будівлі дозволено змінювати температуру, її система опалення або охолодження повинна «працювати інтенсивніше», щоб повернути її до комфортної температури, протидіючи або навіть перевищуючи енергію, збережену під час зниженого опалення або охолодження. За правильного налаштування [9, 10] функція зниження та відновлення може призвести до економії енергії від п'яти до п'ятнадцяти відсотків, оскільки передача тепла між конструкцією та її

середовищем пропорційна різниці температур між внутрішньою та зовнішньою сторонами конструкції [11, 12].

Годинникові термостати. Найпростіші годинникові термостати можуть реалізовувати лише одну програму з двома періодами (період із більшою температурою та період з більш холодним періодом) і та сама програма виконується день за днем. Більш складні годинникові термостати можуть дозволити встановити чотири або більше гарячих і холодних періодів на день. Зазвичай можна встановити лише дві різні температури (гарячішу та холоднішу), навіть якщо дозволено кілька періодів. Високу та низьку температури зазвичай встановлюють простим переміщенням двох важелів уздовж аналогової температурної шкали, майже так само, як у звичайному термостаті (без годинника).

Незважаючи на те, що цей дизайн простий у виготовленні та відносно простий у програмуванні, він жертвує комфортом у вихідні, оскільки програма повторюється кожен із семи днів тижня без будь-яких змін. Щоб подолати цей дефіцит, іноді надається кнопка, яка дозволяє користувачеві явно перемикає (один раз) поточний період із жаркого періоду на холодний або навпаки, звичайне використання цієї кнопки полягає в тому, щоб скасувати "відновлення", яке відбувається протягом робочого дня, коли вдома зазвичай немає людей.

Механізм годинника електричний. Для його роботи зазвичай використовуються два методи:

До термостата подається окреме безперервне джерело змінного струму 24 В (24 В змінного струму) [1].

Перезаряджуваний акумулятор у термостаті керує годинником [2]. Ця батарея заряджається, коли термостат не потребує тепла і йому доступно 24 В змінного струму. Він розряджається для роботи годинника, коли термостат налаштований на нагрівання або охолодження.

Цифрові термостати

Цифрові термостати можуть реалізовувати ті самі функції, але більшість із них забезпечують більшу універсальність. Наприклад, вони зазвичай дозволяють встановлювати температуру на два, чотири або шість періодів щодня, і замість того, щоб обмежуватися однією «гарячішою» температурою та однією «холоднішою» температурою, цифрові термостати зазвичай дозволяють налаштувати кожен період на унікальну температуру. Періоди зазвичай позначаються як «Ранок», «День», «Вечір» і «Ніч», хоча ніщо не обмежує інтервали часу. Цифрові термостати зазвичай дозволяють користувачеві змінювати запрограмовану температуру на період, автоматично відновлюючи запрограмовані температури, коли починається наступний період. Також зазвичай передбачена функція «утримання» (блокування) поточної температури; у цьому випадку регулююча температура підтримується, доки користувач не скасує утримання або не відбудеться запрограмована подія для відновлення нормальної програми. Більш складні моделі дозволять звільнити трюм у встановлений час у майбутньому.

Як і годинникові термостати, звичайні цифрові термостати можуть мати лише один цикл, який виконується кожного дня тижня. Більш складні термостати можуть мати розклад на будні та окремий розклад на вихідні (так зване налаштування «5-2») або окремі розклади суботи та неділі (так звані налаштування «5-1-1»), тоді як інші термостати запропонують окремий розклад для кожного дня тижня (налаштування «7 днів»). Вибір днів, визначених як «вихідні», є довільним, залежно від вимог користувача до розкладу опалення та охолодження. Часто виробник продає три подібні термостати, що пропонують кожен із цих рівнів функціональності, і немає жодної очевидної різниці між термостатами, крім заводського програмування та ціни [13].

Більшість цифрових термостатів мають окремі програми для нагрівання та охолодження, а також можуть мати цифровий або ручний перемикач, щоб увімкнути повітрорудку печі для циркуляції повітря, навіть коли система не нагрівається чи не охолоджується. Більш складні моделі можуть бути запрограмовані на роботу циркуляційного вентилятора протягом короткого періоду від 5 до 10 хвилин у випадку, якщо протягом попередньої години не відбувся цикл нагрівання або охолодження. Це особливо корисно в будівлях, що піддаються стратифікації, де без частоті циркуляції повітря гаряче повітря піднімається та відділяється від більш холодного повітря, яке опускається.

Цифрові термостати також можуть мати програмоване користувачем нагадування про заміну повітряного фільтра; підраховує загальний час роботи системи опалення/охолодження та нагадує користувачеві, коли настав час змінити фільтр. Ця функція часто відображає загальний час роботи або як сукупність нагріву та охолодження, або відображаючи кожного разу окремо.

Деякі цифрові термостати можна програмувати за допомогою тонального телефону або через Інтернет, наприклад Nest Learning Thermostat.

Цифрові термостати зазвичай живляться одним із трьох способів:

– Складна схема живлення працює від джерела змінного струму 24 В, коли термостат не викликається, і працює від струму, що протікає в ланцюзі термостата, коли термостат викликає. Акумулятор використовується для забезпечення резервного живлення під час збою живлення.

– Акумуляторна батарея працює з термостатом так само, як і з термостатом годинника, заряджаючись, коли термостат не дзвонить, і розряджаючи, коли термостат дзвонить.

– Неперезаряджуваний акумулятор завжди живить термостат. Щоб обмежити кількість енергії, що споживається від батареї, такі термостати використовують імпульсне реле, яке не потребує

безперервної подачі живлення на котушку реле. Ці термостати можна використовувати в мілівольтових ланцюгах, а також у звичайних 24 В змінного струму. Термін служби батареї зазвичай становить від одного до двох років.

Цифрові термостати з ПІД-регулятором

Більш дорогі моделі мають вбудований ПІД-регулятор, завдяки чому терморегулятор «навчається» за допомогою зворотного зв'язку, як вся система (включаючи саму кімнату) буде реагувати на його команди.

Програмування ранкової температури на 21°C о 7:00 ранку, наприклад,

гарантує, що температура тоді становитиме 21°C, тоді як менш складний програмований термостат просто почне працювати до 21°C о 7:00 ранку.

Таким чином ПІД-регулятор встановлює час, коли система повинна бути

активована, щоб досягти бажаної температури в бажаний час, обробивши

дані температурного режиму кімнати шляхом порівняння минулого

температурного стану кімнати та її поточної температури для оптимального запуску.

Контроль процесу або промисловий термостат також гарантує, що

температура є дуже стабільною [14] (наприклад, шляхом зменшення першого

перевищення та коливання [15] наприкінці циклу нагрівання), щоб підвищити рівень комфорту.

Комерційні термостати

У комерційному застосуванні термостат може не мати годинникового

механізму. Замість цього можна використовувати інші засоби для вибору між

налаштуваннями «гарячіша» та «холодніша». Наприклад, якщо термостат

використовує пневматичне керування, зміна тиску повітря, що подається до термостата, може вибрати між налаштуваннями «гаряче» та «холодніше», і

цей тиск повітря визначається центральним регулятором. З електронним

керуванням певний сигнал може вказувати, чи працювати на «гарячіше» чи «холодніше» налаштування [16].

1.3 Розробка функціональної схеми автоматизації

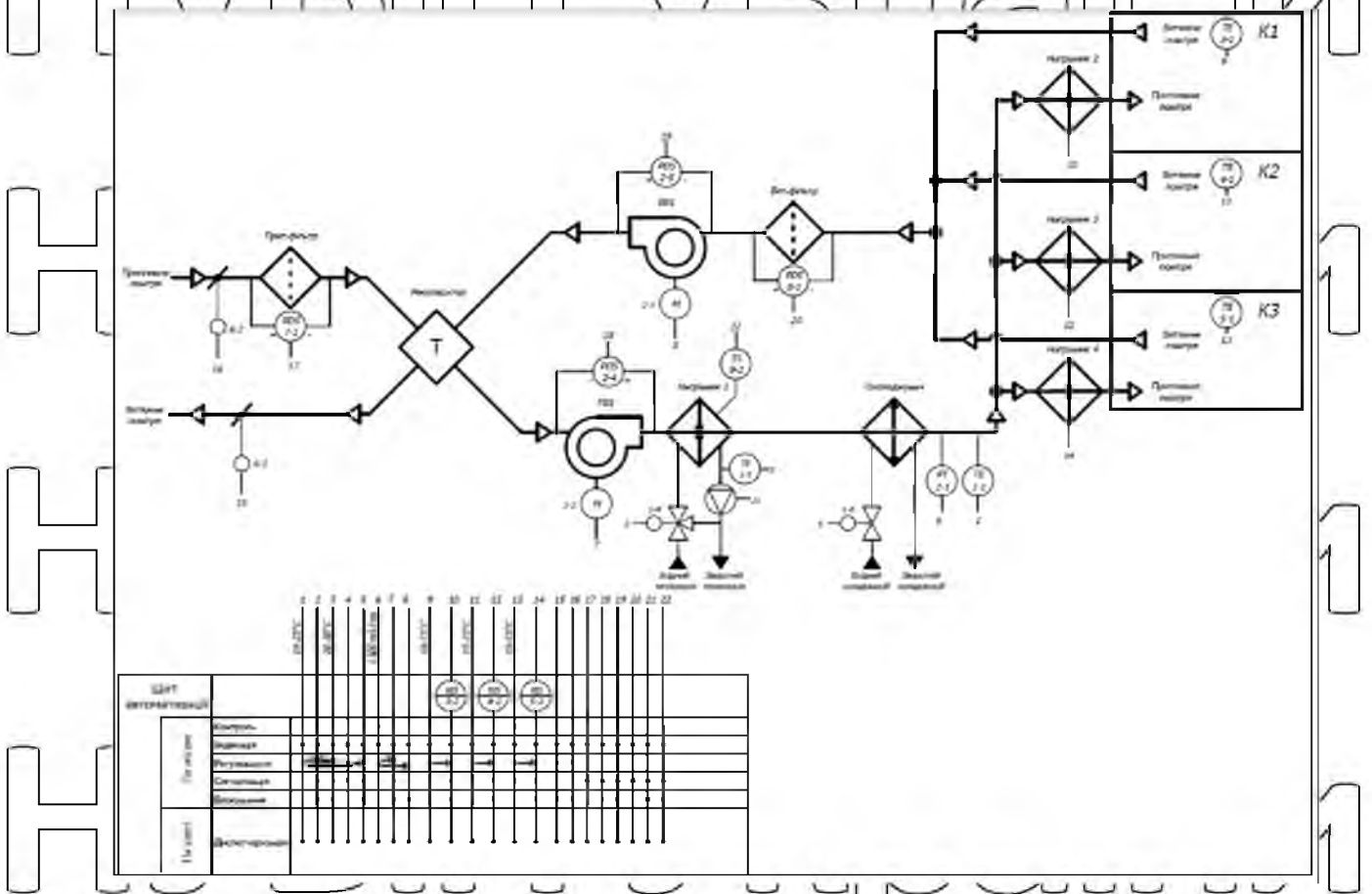


Рис. 1.1 Функціональна схема системи підтримання температурного режиму складського приміщення

Для номінальної роботи системи підтримання температурного режиму складського приміщення контролюються такі параметри.

- Температуру припливного повітря (позиція 1-1). Вимірювання проводяться за допомогою термоопору TF43 NTC10K.
- Витрату припливного повітря (позиція 2-1). Вимірювання проводяться за допомогою датчику тиску DFT-FLOW.
- Температуру у приміщеннях (позиції 3-1, 4-1, 5-1). Вимірювання проводяться за допомогою термоопору RTF1 NTC10K.
- Температуру зовнішнього повітря (позиція 1-7). Вимірювання проводяться за допомогою термоопору TF43 NTC10K.

- Перепад тиску на притяжному і витяжному вентиляторах (позиції 2-4, 2-5). Контроль проводиться за допомогою пресостату PS500 В.

- Перепад тиску на притяжному і витяжному фільтрах (позиції 7-1, 8-1). Контроль проводиться за допомогою пресостату PS500 В.

- Температуру зворотного теплоносія водяного нагрівника (позиція 1-5). Вимірювання проводяться за допомогою терморезистору ETE6 NTC10K.

- Замерзання водяного нагрівника (позиція 9-2). Контроль проводиться за допомогою термостату загрози замерзання FST-1D.

Для номінальної роботи системи підтримання температурного режиму складського приміщення виконується керування такими виконавчими механізмами.

- Керування продуктивністю водяного нагрівника відбувається за допомогою приводу шарового клапану LR24A-SR (позиція 1-4).

- Керування продуктивністю охолоджувача відбувається за допомогою приводу шарового клапану LR24A-SR (позиція 1-5). 74

- Керування витратою повітря здійснюється за допомогою вбудованого частотного перетворювача у притяжному та витяжному вентиляторах ВКПФІ 4Д (позиції 2-2, 2-3).

- Керування продуктивністю електричних нагрівачів відбувається за допомогою напівпровідникових реле RGC2P60V25C1DM (позиції 3-2, 4-2, 5-2).

РОЗДІЛ 2

ПОБУДОВА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ
ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1. Опис характеристик припливно – витяжної системи вентиляції

ВУТР701ТНЭГЕСА18

Розглянемо установку VENTS ВУТР701ТНЭГЕСА18 рис. 2.1

Припливно-витяжна установка серії ВУТ Р701ТНЭГЕСА18 – це повністю готовий вентиляційний апарат, який фільтрує та забезпечує подачею у приміщення свіжого повітря без домішок. Використовуючи пластинчастий рекуператор та електрокалорифер з охолодженням, система вентиляції забезпечує приміщення чистим повітрям та комфортними умовами.



Рис. 2.1. Установка VENTS ВУТР701ТНЭГЕСА18

Основні технічні характеристики припливно-витяжної установки VENTS ВУТР701ТНЭГЕСА18 наведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

Основні характеристики вентиляційної установки VENTS
ВУТР701ТНЭГЕСА18

Параметр	Величина
Витрата повітря, м ³ /год	1850
Тип нагрівача	електричний
Діапазон температур	від -10°C до +40°C
Фільтр	G4(F7)
Діаметр повітропроводів	500 мм
Споживана потужність	5 кВт
Частота обертання, об./хв	2700
Вага, кг	160
Напруга живлення, В	3/380/50
Рівень шуму, дБ (А)	52
Ефективність рекуперації, %	85
Тип рекуператора	Пластинчастий
Габарити, мм	748/750/1667

У установці VENTS ВУТР701ТНЭГЕСА18 наявний електрокалорифер НК 400x200-4,5-3. Основні технічні характеристики електрокалорифера НК 400x200-4,5-3 наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

Характеристики електрокалорифера НК 400x200-4,5-3

Параметр	Величина
Мінімальна витрата повітря, м ³ /год	330
Сила струму, А	6,6

Напруга, В	380
Потужність, кВт	4,5
Маса, кг	6,5

Виходячи з розглянутих існуючих систем, а також розглянутих контурів управління виберемо найвідповідніші рішення для прецизійної системи підтримки температурного режиму багатоцільового складу.

Використовуємо для регулювання потоку повітря контур із змінною продуктивністю вентиляторів. Щоб забезпечити необхідну температуру притяжного повітря, використовується контур для підігріву повітря з водяним нагрівачем та триходовим клапаном, для контуру охолодження повітря – одноходовий клапан та теплообмінник. Для того щоб забезпечити необхідну температуру в приміщенні, використовуємо контур з обігріву повітря з електричним нагрівальним елементом та напівпровідниковим реле.

На основі підібраних варіантів можна сформулювати вимоги до створення прецизійної системи підтримки температурного режиму багатоцільового складу.

Для реалізації проекту необхідно:

- проаналізувати існуючі способи прецизійного керування температурою у приміщенні;
- розробити динамічну модель електрокалорифера для приміщення та апроксимувати її;
- розрахувати налаштування інтелектуального регулятора температури у приміщенні;
- створити програмне забезпечення системи керування, що реалізується на контролері;

- розробити людино-машинний інтерфейс з елементами MES системи для системи керування;

2.2. Структурна схема підтримання температурного режиму у

складському приміщенні

Розглянемо функціональну схему прецизійного керування температурою у складському приміщенні рис. 2.2.

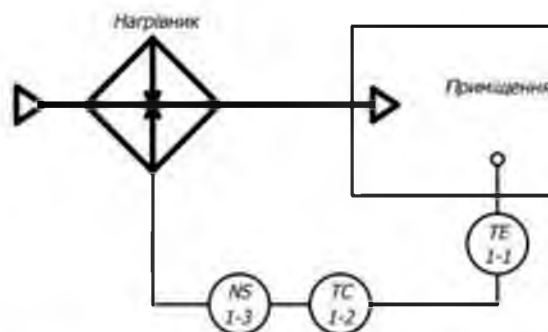


Рис. 2.2. Схема керування підтриманням температурного режиму у складському приміщенні

Схема керування підтримання температурного режиму у складському приміщенні рис. 2.1 включає датчик температури приміщення поз. 1-1, контролер поз 1-2, напівпровідникового реле поз 1-3 та електрокалорифер, який виконує роль регулюючого органу даного контуру керування.

Потужність електрокалорифера змінюється за допомогою напівпровідникового реле. З датчика температури у приміщенні значення температури надходить до контролера, який виробляє керуючий сигнал. Далі, керуючий сигнал надходить на напівпровідникове реле, яке впливає на зміну потужності електрокалорифера.

З рисунку 2.2 видно, що об'єктом керування є: приміщення, датчик температури, електрокалорифер та повітропрвід. На приміщення та

електрокалорифер впливають: регулююча дія та збурення. На основі цього на рис. 2.3 наведена розгорнута структурна схема підтримання температури у складському приміщенні.

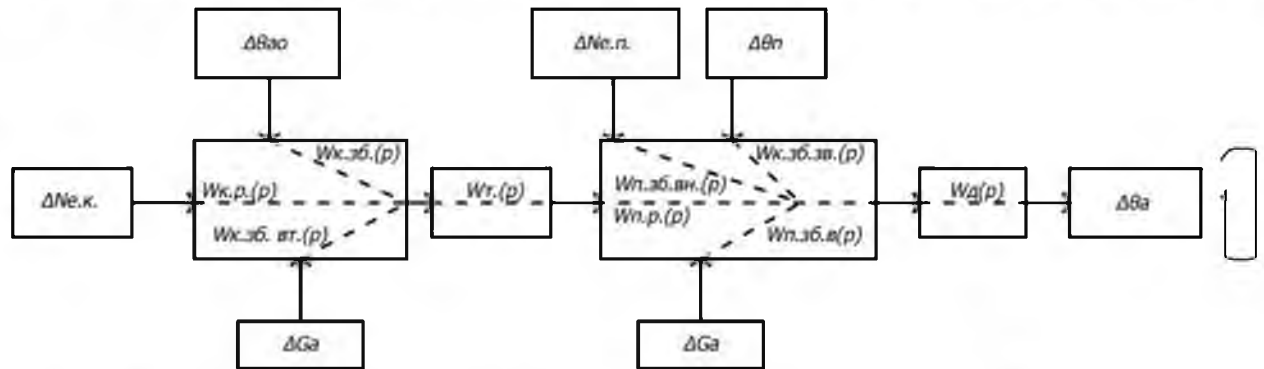


Рис. 2.3. Розгорнута структурна схема підтримання температурного режиму у складському приміщенні

Опираючись на рис. 2.3 видно, що на приміщення діють наступні збурення: зміна кількості людей $M_{пл}$, зміна зовнішньої температури θ_n та зміна витрати повітря G_A . На електрокалорифер діють наступні збурення: зміна входної температури θ_{AO} та зміна витрати повітря G_A . У даному випадку витрата повітря G_A є сталою величиною, бо приміщення промислове. Транспортне запізнення, яке вносить повітропровід приймемо 5 секунд. Виходячи з цього спрощена структура об'єкту керування наведена на рис. 2.4.

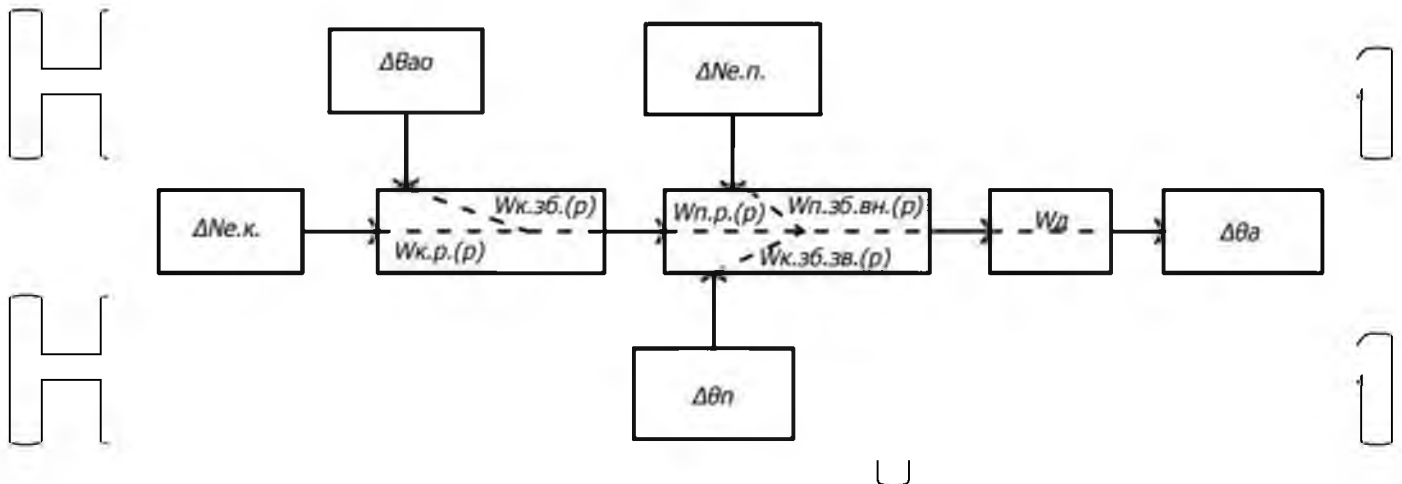


Рис. 2.4. Спрощена структурна схема підтримання температурного режиму у складському приміщенні

У наведеній системі наявний датчик температури, який має свої динамічні властивості. Використовується датчик температури типу NTC.

Такий датчик відповідає апериодичній ланці без запізнення. Датчик передає значення про повну зміну температури за 140 секунд. Передатна функція датчика температури має вигляд:

$$W_d(p) = \frac{1}{35p+1} \quad (2.1)$$

Виходячи з структурної схеми 2.3 буде використовуватися сумісна модель електрокалорифера та виробничого приміщення.

2.3. Динамічна модель складського приміщення

З структурної схеми 2.4 видно, що зміна потужності електрокалорифера та збурення, які діють на нього, безпосередньо впливають на зміну температури у приміщення. Тобто можна розглядати електрокалорифер та приміщення як один об'єкт.

Для розробки динамічної моделі електрокалорифера [6] для системи складських приміщень зробимо наступні спрощення: відсутній теплообмін з навколишнім середовищем, у приміщенні відсутнє волюговиділення.

властивості матеріальних потоків поверхні теплообміну електрокалорифера обрані усередненими для робочого діапазону електрокалорифера.

Схема електрокалорифера та виробничого приміщення з вхідними і вихідними матеріальними потоками наведена на рисунку 2.5. Нагрівання

притяжного повітря у електричному калорифері відбувається за допомогою

ТЕН, які живляться через напівпровідникове реле. Напівпровідникове реле

змінює електричну потужність $N_E(t)$, ТЕНи нагріваються до температури

$\theta_E(t)$. Будемо вважати, що вся електрична потужність використовується для

нагріву повітря. До калорифера надходить повітря з витратою $G_A(t)$. Вхідне

повітря має температуру $\theta_{A0}(t)$. Калорифер має такі розміри L – глибина, C

– ширина і H – висота. Приміщення має об'єм $V_A \equiv H_1 \cdot L_1 \cdot C_1$. Від

електрокалорифера через повітропровід надходить повітря з температурою

$\theta_{A2}(t)$. У кімнаті наявний теплообмін між обладнанням з потужністю $N_{E1}(t)$

та стінами з температурою θ_s . Температура повітря у приміщенні $\theta_A(t)$.

Температура ззовні становить $\theta_N(t)$.

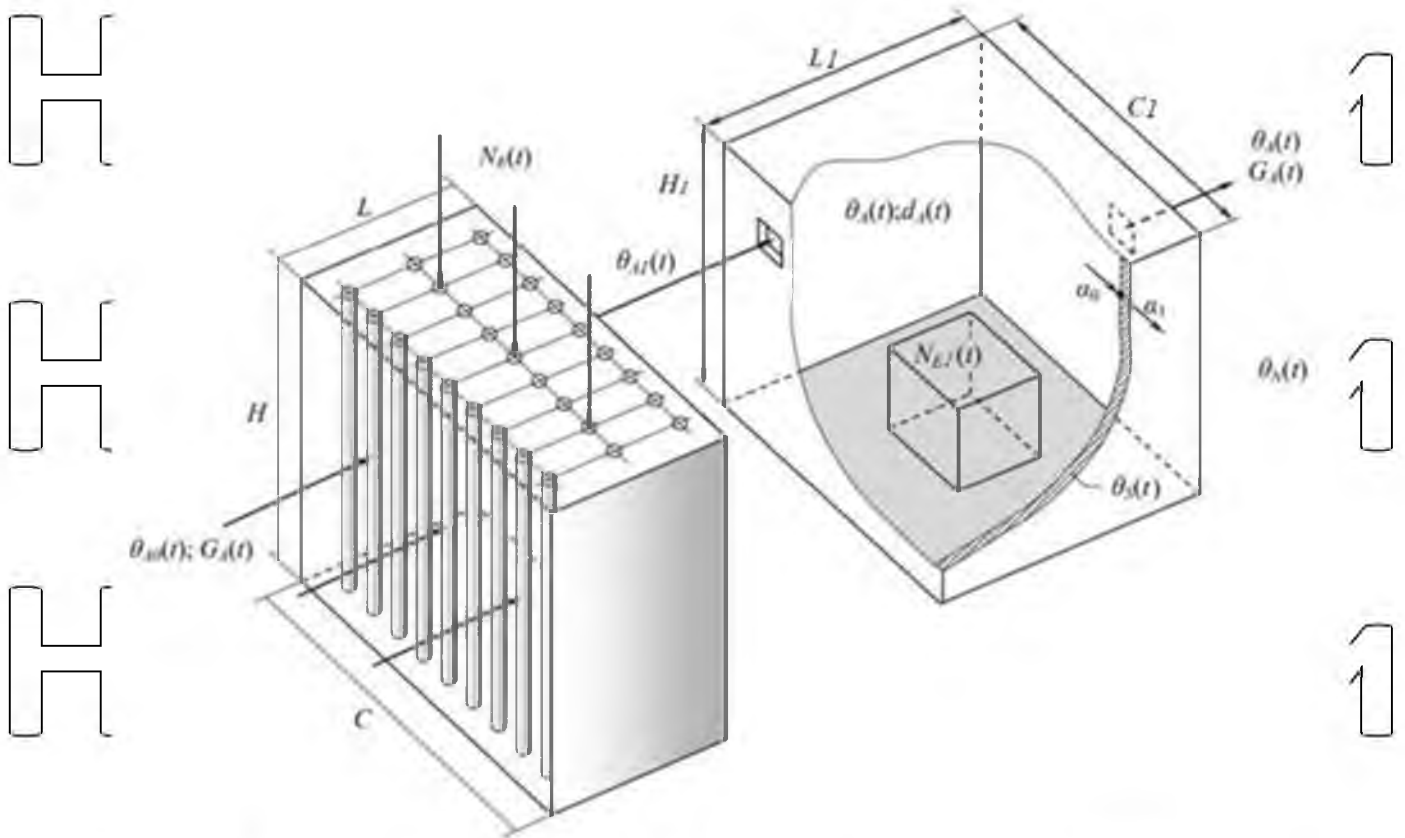


Рис. 2.5. Схема електрокалорифера та приміщення з вхідними і вихідними матеріальними потоками

Наведемо рівняння теплового балансу для кожного елементу електричного калорифера. Тепловий баланс ТЕН:

$$(N_E - \alpha_e F_0 (\theta_E - \theta_{A1})) = M_E c_E \frac{d\theta_E}{dt},$$

(2.2)

де c_E – теплоємність ТЕН (дана величина усереднена, бо ТЕН складається з різних матеріалів, теплоємність у яких різна), M_E – маса ТЕНів, α_e – коефіцієнт тепловіддачі між повітря у середині калорифера і зовнішньою поверхнею

ТЕНів, F_0 – площа поверхні ТЕНів. Спростимо рівняння (2.2) та отримаємо:

$$T_E \frac{d\Delta\theta_E}{dt} + \Delta\theta_E = k_0 \Delta N_E + k_1 \Delta\theta_{A1}, \quad (2.3)$$

Де $K_E = \alpha_e F_0$, $T_E = \frac{c_E M_E}{K_E}$, $k_0 = \frac{1}{K_E}$, $k_1 = 1$.

Запишемо рівняння теплового балансу для повітря калорифера:

$$(\theta_{A0} - \theta_{A1}) + \alpha_e F_0 (\theta_E - \theta_{A1}) = \frac{M_A c_A}{\tau} M_A c_A \frac{d\theta_A}{dt} \quad (2.4)$$

де c_A – теплоємність повітря, M_A – маса повітря в об'ємі калорифера.

Спростимо рівняння (2.4) та отримаємо:

$$T_A \frac{d\Delta\theta_{A1}}{dt} + \Delta\theta_{A1} = k_2 \theta_E + k_3 \Delta\theta_{A0} + k_4 \Delta G_A, \quad (2.5)$$

де $K_A = c_A G_A + \alpha_e F_0$, $T_A = \frac{c_A M_A}{K_A}$, $k_2 = \frac{\alpha_0 F_0}{K_A}$, $k_3 = 1 - k_2$, $k_4 = \frac{c_A (\theta_{A0} - \theta_{A1})}{K_A}$.

Запишемо рівняння транспортного запізнення, яке вносить

повітропровід:

$$\theta_{A2}(t) = \theta_{A1}(t - \tau), \quad (2.6)$$

де τ час запізнення, яке вносить повітропровід.

Запишемо рівняння теплового балансу для повітряного простору

приміщення:

$$G_A c_A (\theta_{A2} - \theta_A) - \alpha_0 F_0 (\theta_A - \theta_S) + N_{E1} = c_A M_A \frac{d\theta_A}{dt}, \quad (2.7)$$

де c_A теплоємність повітря, α_0 коефіцієнт тепловіддачі в приміщенні (між

повітрям та стінами), M_A маса повітря в приміщенні об'ємом V_0

Спростимо рівняння (2.7) та отримаємо:

$$T_{A1} dt + \Delta\theta_A = k_5 \Delta\theta_{A2} + k_6 \Delta G_A + k_7 \Delta\theta_S + k_8 \Delta N_{E1}, \quad (2.8)$$

$$\text{де } K_{A1} = c_A G_A + \alpha_0 F_0, T_{A1} = \frac{c_A M_A}{K_{A1}}, k_5 = \frac{c_A G_A}{K_{A1}}, k_6 = \frac{\theta_{A0} - \theta_A}{K_{A1}}, k_7 = \frac{\alpha_0 F_0}{K_{A1}}, k_8 = \frac{1}{K_{A1}}$$

Запишемо рівняння теплового балансу для теплоізолюючої стінки

приміщення:

$$\alpha_0 F_0 (\theta_A - \theta_S) - \alpha_1 F_1 (\theta_S - \theta_N) = c_S M_S \frac{d\theta_S}{dt}, \quad (2.9)$$

де c_S теплоємність стін, α_1 коефіцієнт тепловіддачі зовні (між стінами та

навколишнім повітрям), M_S маса матеріалу стін.

Спростимо рівняння (2.9) та отримаємо:

$$T_S \frac{d\theta_S}{dt} + \Delta\theta_S = k_9 \Delta\theta_A + k_{10} \Delta\theta_N, \quad (2.10)$$

$$\text{де } K_S = \alpha_0 F_0 + \alpha_1 F_1, T_S = \frac{c_S M_S}{K_S}, k_9 = \frac{\alpha_0 F_0}{K_S}, k_{10} = 1 - k_9.$$

Отже, з рівнянь (2.3), (2.5), (2.6), (2.8) та (2.10) отримали систему рівнянь,

яка утворює комплексну математичну модель електрокалорифера та

приміщення:

$$\begin{cases} T_E \frac{d\Delta\theta_E}{dt} + \Delta\theta_E = k_0 \Delta N_E + k_1 \Delta\theta_{A1} \\ T_A \frac{d\Delta\theta_{A1}}{dt} + \Delta\theta_{A1} = k_2 \theta_E + k_3 \Delta\theta_{A0} + k_4 \Delta G_A \\ \theta_{A2}(t) = \theta_{A1}(t - \tau) \end{cases}$$

$$\begin{cases} T_{A1} \frac{d\theta_A}{dt} + \Delta\theta_A = k_5 \Delta\theta_{A2} + k_6 \Delta G_A + k_7 \Delta\theta_S + k_8 \Delta N_{E1} \\ T_S \frac{d\theta_S}{dt} + \Delta\theta_S = k_9 \Delta\theta_A + k_{10} \Delta\theta_N \end{cases} \quad (2.11)$$

Для системи рівнянь (2.11) застосуємо перетворення Лапласа відносно

змінної t .

$$\text{НУ} \begin{cases} \Delta\theta_E(T_E p + 1) = k_0 \Delta N_E + k_1 \Delta\theta_{A1} \\ \Delta\theta_{A1}(T_{AP} + 1) = k_2 \theta_E + k_3 \Delta\theta_{A0} + k_4 \Delta G_A \\ \theta_{A2} = \theta_{A1}^{-p\tau} \\ \Delta\theta_A(T_{A1p} + 1) = k_5 \Delta\theta_{A1} + k_6 \Delta G_A + k_7 \Delta\theta_S + k_8 \Delta N_{E1} \\ \Delta\theta_S(T_{Sp} + 1) = k_9 \Delta\theta_A + k_{10} \Delta\theta_N \end{cases} \text{ІНІ} \quad (2.12)$$

Приведемо систему (2.12) до зручної форми для моделювання у Simulink.

$$\text{НУ} \begin{cases} \Delta\theta_E = \frac{k_0}{T_E p + 1} \Delta N_E + \frac{k_1}{T_E p + 1} \Delta\theta_{A1} \\ \Delta\theta_{A1} = \frac{k_2}{T_{AP} + 1} \theta_E + \frac{k_3}{T_{AP} + 1} \Delta\theta_{A0} + \frac{k_4}{T_{AP} + 1} \Delta G_A \\ \theta_{A2} = \theta_{A1}^{-p\tau} \\ \Delta\theta_A = \frac{k_5}{T_{A1p} + 1} \Delta\theta_{A1} + \frac{k_6}{T_{A1p} + 1} \Delta G_A + \frac{k_7}{T_{A1p} + 1} \Delta\theta_S + \frac{k_8}{T_{A1p} + 1} \Delta N_{E1} \\ \Delta\theta_S = \frac{k_9}{T_{Sp} + 1} \Delta\theta_A + \frac{k_{10}}{T_{Sp} + 1} \Delta\theta_N \end{cases} \text{ІНІ} \quad (2.13)$$

Система рівнянь (2.13) описує кожний елемент динамічної моделі у просторі Лапласа, тобто за допомогою даних рівнянь можна отримати передаточну функцію кожного елемента. Також за допомогою даної системи рівнянь можна змоделювати у середовищі Simulink динамічну модель послідовно з'єднавши кожен елемент моделі та отримати перехідний процес зміни температури у приміщенні.

2.4. Моделювання перехідних характеристик динамічної моделі підтримання температурного режиму у складському приміщенні

Змодельовано перехідні характеристики динамічної моделі підтримання температурного режиму у складському приміщенні. Для моделювання необхідні параметри електрокалорифера та параметри приміщення, а також розрахувати коефіцієнти системи рівнянь (2.13).

Параметри електрокалорифера для розрахунку динамічної моделі виробничого приміщення наведені у таблиці 2.1. Параметри приміщення для розрахунку динамічної моделі виробничого приміщення наведені у таблиці

22.

Таблиця 2.3.

Параметри електрокалорифера НК 400x200-4,5-3

Назва параметру	Позначення	Числове значення	Розмірність
Габарити калорифера	$H \cdot L \cdot C$	0,2 · 0,4 · 0,2	м
Електрична потужність	N_E	4500	Вт
Загальна маса ТЕНа	M_E	4,5	кг
Теплоємність ТЕНа	C_E	430	Дж / (кг°С)
Коефіцієнт тепловіддачі для внутрішньої поверхні	α_0	1500	Вт / (м ² °С)
Площа теплообміну	F_0	0,35	м ²
Теплоємність повітря	C_A	1010	Дж / (кг°С)
Маса повітря в калорифері	M_A	0,019	кг
Витрата повітря	G_A	0,19	кг/с
Вхідна температура повітря	θ_{A0}	20	°С
Вихідна температура повітря	θ_A	22	°С

Таблиця 2.4.

Параметри приміщення

Назва параметру	Позначення	Числове значення	Розмірність
-----------------	------------	------------------	-------------

Габарити приміщення	$H \cdot L \cdot \epsilon$	$3 \cdot 10 \cdot 10$	м
Густина повітря	ρ_A	1,2	кг/м ³
Об'єм повітря	V_A	300	м ³
Витрата повітря	G_A	0,19	кг/с
Теплоємність повітря	c_A	1010	Дж/(кг ⁰ С)
Маса повітря	M_A	360	кг
Площа теплообміну в середині приміщення	F_0	120	м ²
Коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни	α_0	8,7	Вт/(м ² С)
Густина стіни	ρ_s	1750	кг/м ³
Теплоємність стіни	c_s	920	Дж/(кг ⁰ С)

Для розрахунку коефіцієнтів динамічної моделі використовувався

Matlab. Код m файлу:

```

параметри
Nek=4500;
Mek=4.5;
cek=430;
alpha0k=1500;
F0k=0.35;
cak=1010;
Mak=0.019;
Gak=0.19;
ta0k=20;
tak=22;
pap=1.2;
Var=300;
cap=1010;
Map=360;
F0=120;
alpha0p=8.7;
rhp=1750;

```

```

csp=920;
Msp=87000;
Flp=130;
alpha1p=23;
ta0p=22;
tap=22.2;
da0p=9.2;
dap=9;
% рівняння
Ke=alpha0k*F0k;
T_K=(cek*Mek)/(Ke);
Ka1=cak*Ga+alpha0p*F0p;
Ks=alpha0p*F0p+alpha1p*Flp;
T_Af=(cap*Map)/(Ka1);
T_S=(csp*Msp)/(Ks);
Ka=cak*Ga+alpha0k*F0k;
; T_A=(cak*Mak)/(Ka);
k_0=1/Ke; k_1=1;
k_2=(alpha0k*F0k)/(Ka); k_3=1;
k_4=(cak*(ta0k-tak))/(Ka);
k_5=(cap*Ga)/(Ka1); k_6=(ta0p-
tap)/(Ka1);
k_7=(alpha0p*F0p)/(Ka1);
k_8=1/Ka1;
k_9=(alpha0p*F0p)/(Ks); k_10=1-
k_9;

```

Для отримання перехідних характеристик змоделиємо динамічну модель підтримання температурного режиму у складському приміщенні за допомогою Simulink на основі структурної схеми з рисунку 2.4. Модель підтримання температурного режиму у складському приміщенні у Simulink наведена на рисунку 2.6. Зображена структурна схема для моделювання відповідає системі рівнянь (2.13).

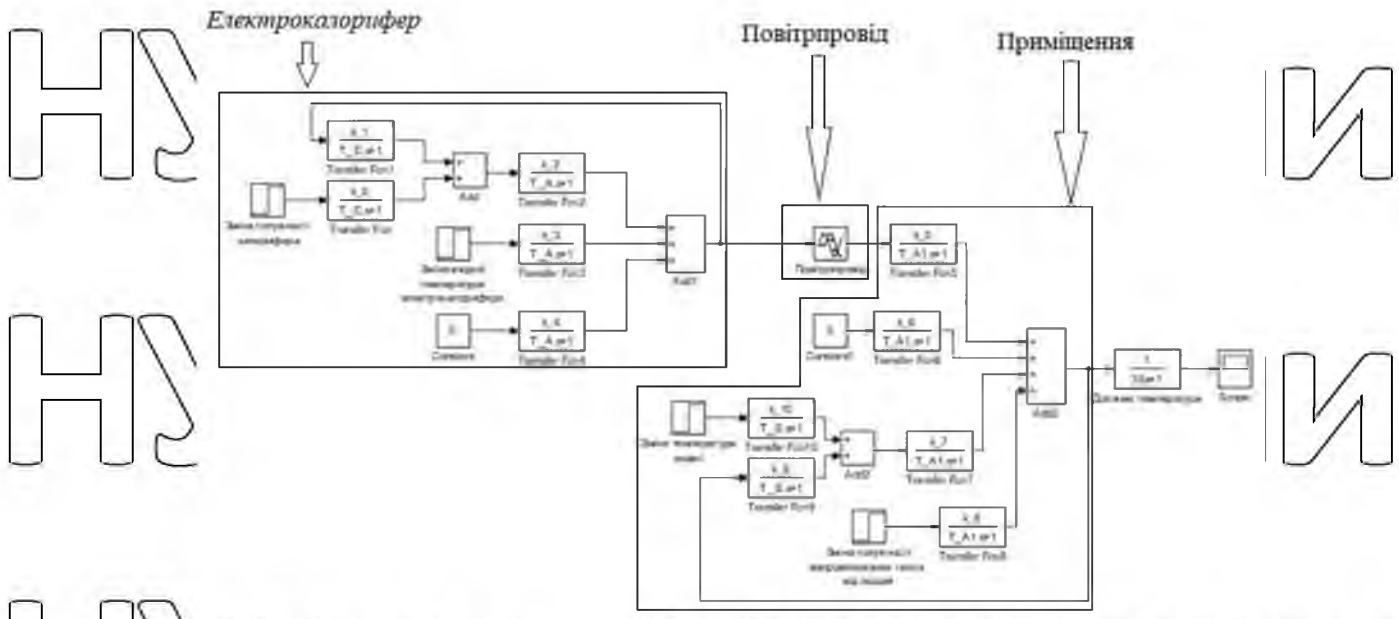


Рис. 2.6. Модель підтримання температурного режиму у складському приміщенні у Simulink

Побудуємо графік перехідної характеристики моделі підтримання температурного режиму у складському приміщенні при зміні потужності електрокалорифера на 1000 Вт рис. 2.7, тобто за каналом регулювання.

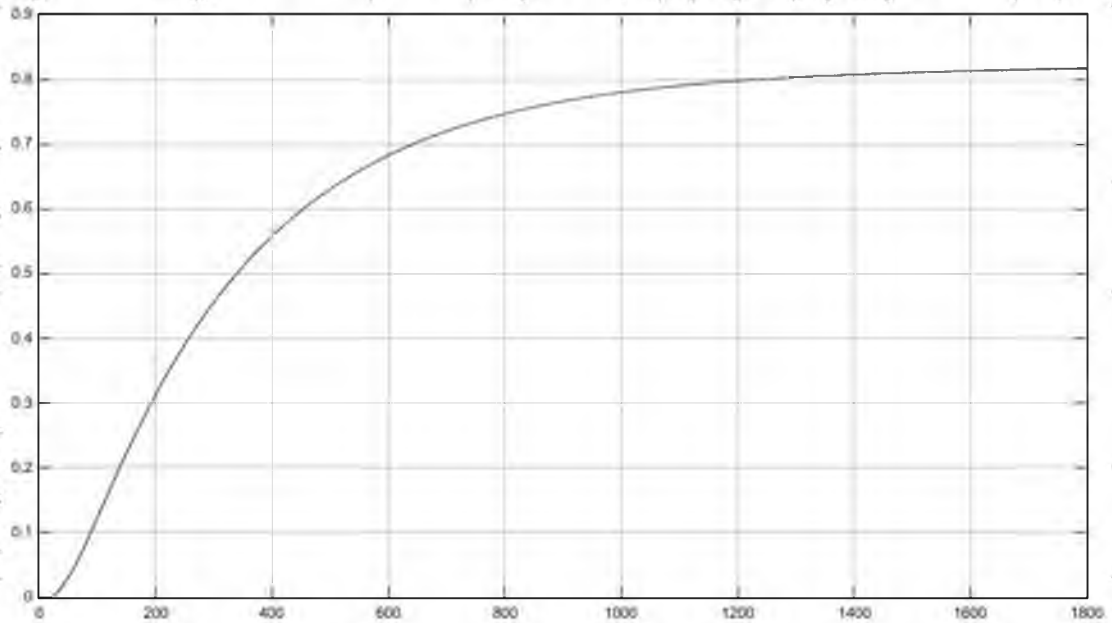


Рис. 2.7. Графік перехідної характеристики моделі підтримання температурного режиму у складському приміщенні при зміні потужності електрокалорифера на 1000 Вт

Побудуємо графік перехідної характеристики моделі підтримання температурного режиму у складському приміщенні при зміні температури на вході електрокалорифера на 1°C рис. 2.8, тобто за каналом збурення.

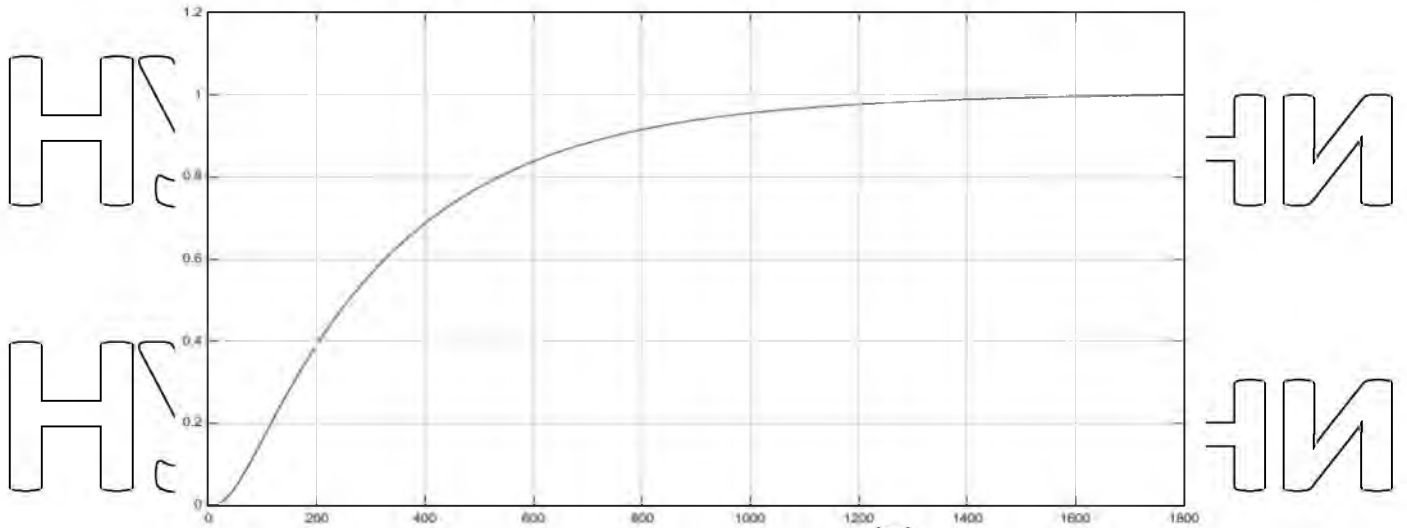


Рис. 2.8. Графік перехідної характеристики моделі підтримання

температурного режиму у складському приміщенні при зміні температури на вході електрокалорифера на 1°C

Побудуємо графік перехідної характеристики моделі підтримання

температурного режиму у складському приміщенні при зміні температури ззовні приміщення на 1°C рис. 2.9, тобто за каналом збурення.

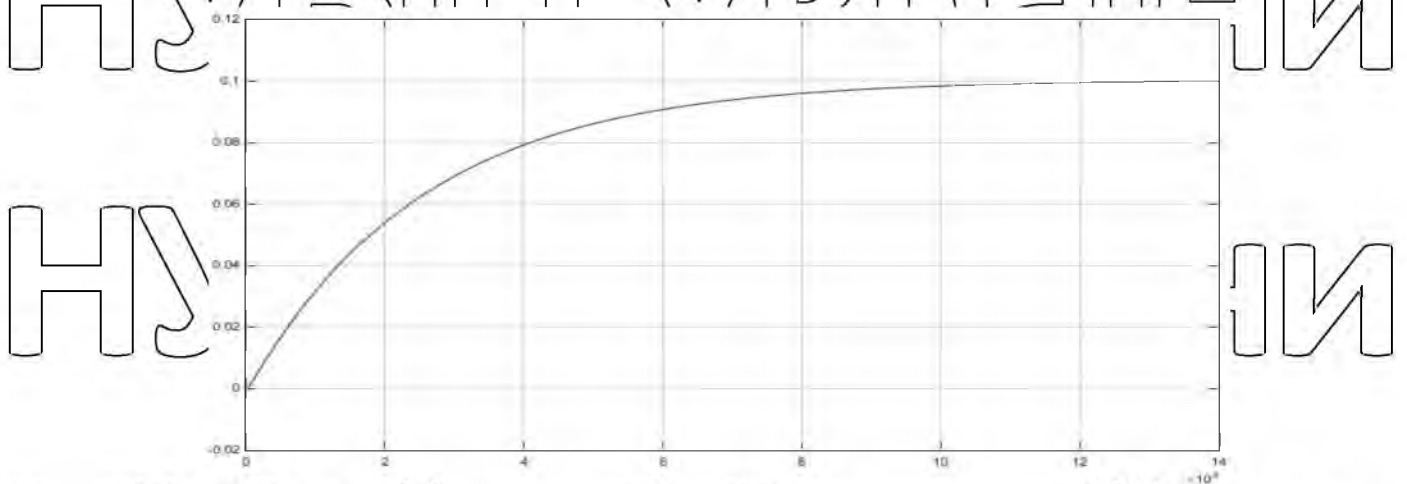


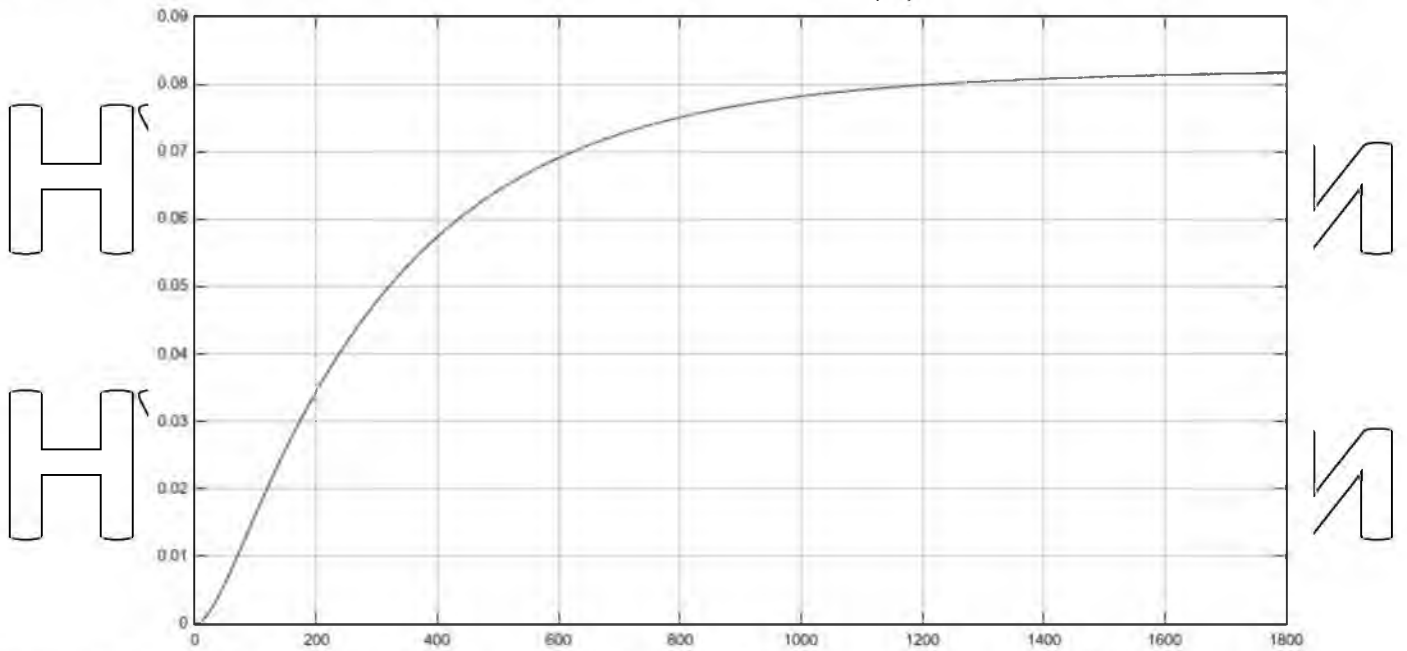
Рис. 2.9. Графік перехідної характеристики моделі підтримання температурного режиму у складському приміщенні при зміні температури

зовні приміщення на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$

НУБІП України

Побудуємо графік перехідної характеристики моделі підтримання температурного режиму у складському приміщенні при зміні потужності випромінювання тепла від людей у приміщення на 100 Вт рис. 2.10, тобто за каналом збурення.

НУБІП України



НУБІП України

Рис. 2.10. Графік перехідної характеристики моделі підтримання температурного режиму у складському приміщенні при зміні потужності випромінювання тепла від людей у приміщення на 100 Вт

НУБІП України

2.5. Апроксимація перехідних характеристик динамічної моделі підтримання температурного режиму у складському приміщенні

НУБІП України

Апроксимуємо перехідну характеристику характеристики моделі підтримання температурного режиму у складському приміщенні при зміні потужності електрокалорифера на 1000 Вт за допомогою методу

логарифмування. Значення коефіцієнта передачі: $K = 0,8171$. Значення постійної часу: $T = 1,25(t_B - t_A) = 1,25((0,7)\varphi_{\infty} - (0,33)\varphi_{\infty}) = 1,25(417 - 174) = 304$. Значення транспортного запізнення: $\tau = 52$. Отже передаточна функція за каналом регулювання, зміна потужності електрокалорифера на 1000 Вт, має вигляд:

$$W_p = \frac{0,8171}{304p+1} e^{-52p} \quad (2.14)$$

Порівняємо апроксимований і неапроксимований перехідний процес

рис. 2.11.

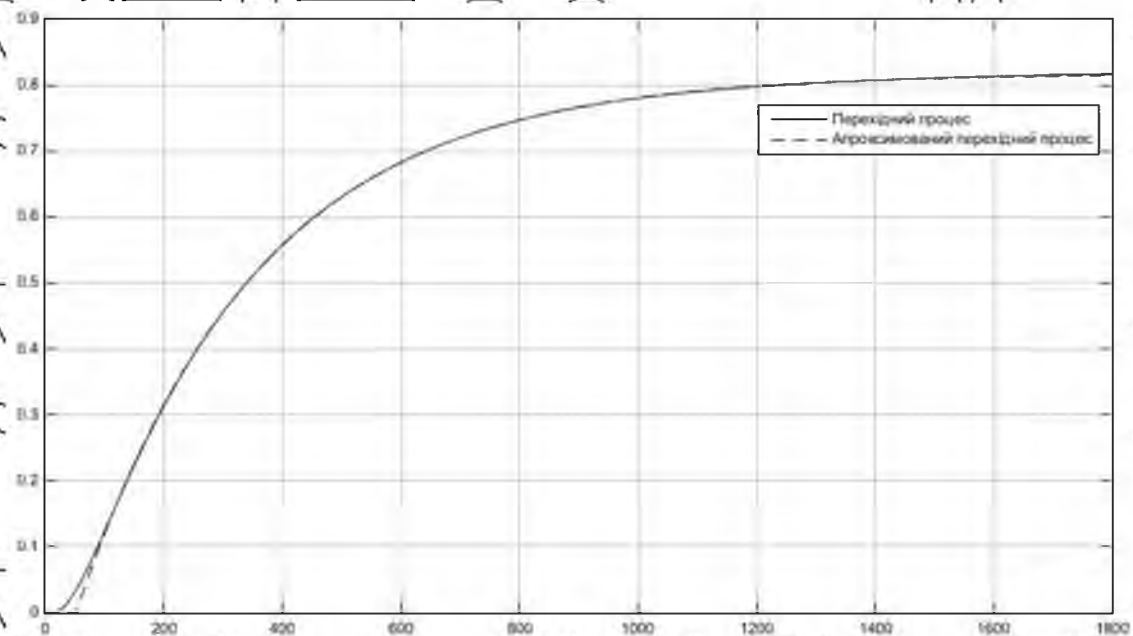


Рис. 2.11. Порівняння апроксимованого і неапроксимованого перехідного процесу моделі підтримання температурного режиму у складському

приміщенні при зміні потужності електрокалорифера на 1000 Вт

Апроксимуємо перехідну характеристику характеристики моделі підтримання температурного режиму у складському приміщенні при зміні температури на вході електрокалорифера на 1 °С. Значення коефіцієнта передачі: $K = 1$. Значення постійної часу: $T = 1,25(408 - 169) = 299$. Значення транспортного запізнення: $\tau = 52$. Отже передаточна функція за

каналом збурення, зміна температури на вході електрокалорифера на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, має вигляд:

$$W_{36.вх} = \frac{1}{354p+1} e^{-52p} \quad (2.15)$$

Порівняємо апроксимований і неапроксимований перехідний процес

рис. 2.12.

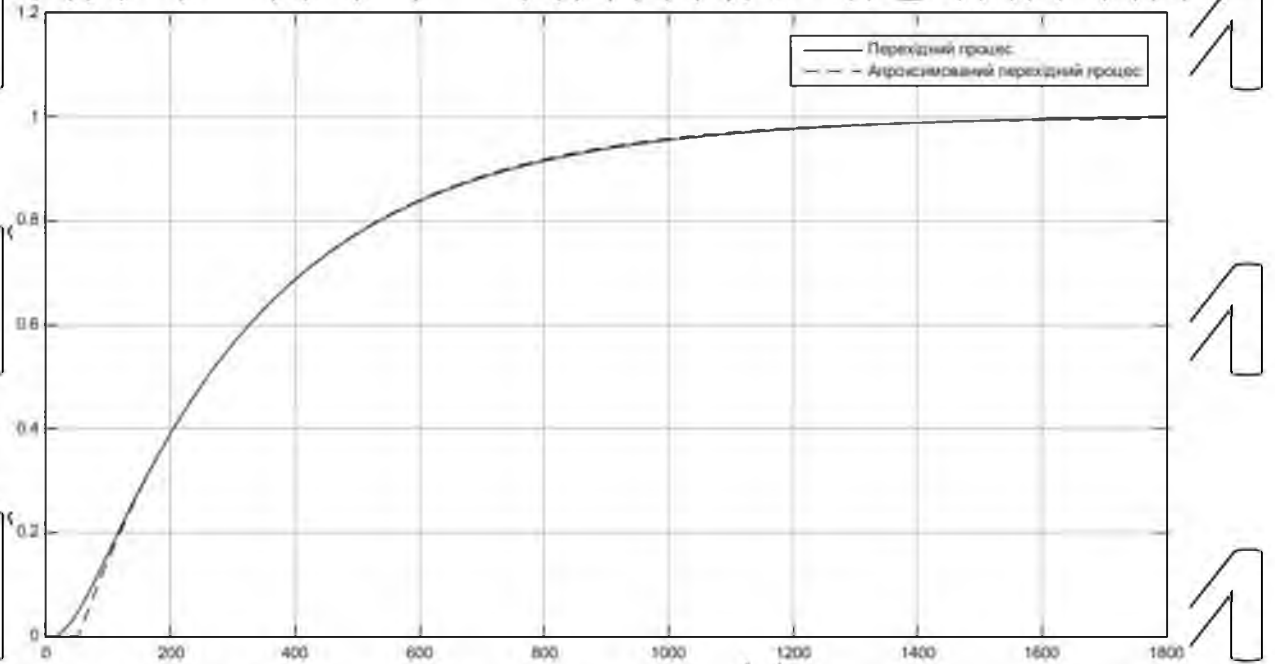


Рис. 2.12. Порівняння апроксимованого і неапроксимованого перехідного

процесу моделі підтримання температурного режиму у складському

приміщенні при зміні температури на вході електрокалорифера на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$

Апроксимуємо перехідну характеристику характеристики моделі

підтримання температурного режиму у складському приміщенні при зміні

температури ззовні приміщення на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Значення коефіцієнта передачі: $K =$

$0,1$. Значення постійної часу $T = 1,25(30320 - 10160) = 25200$. Значення

транспортного запізнення: $\tau = 300$. Отже передаточна функція за каналом

збурення, зміна температури ззовні приміщення на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, має вигляд:

$$W_{36.з} = \frac{0,1}{25200p+1} e^{-300p} \quad (2.16)$$

Порівняємо апроксимований і неапроксимований перехідний процес

рис. 2.13.

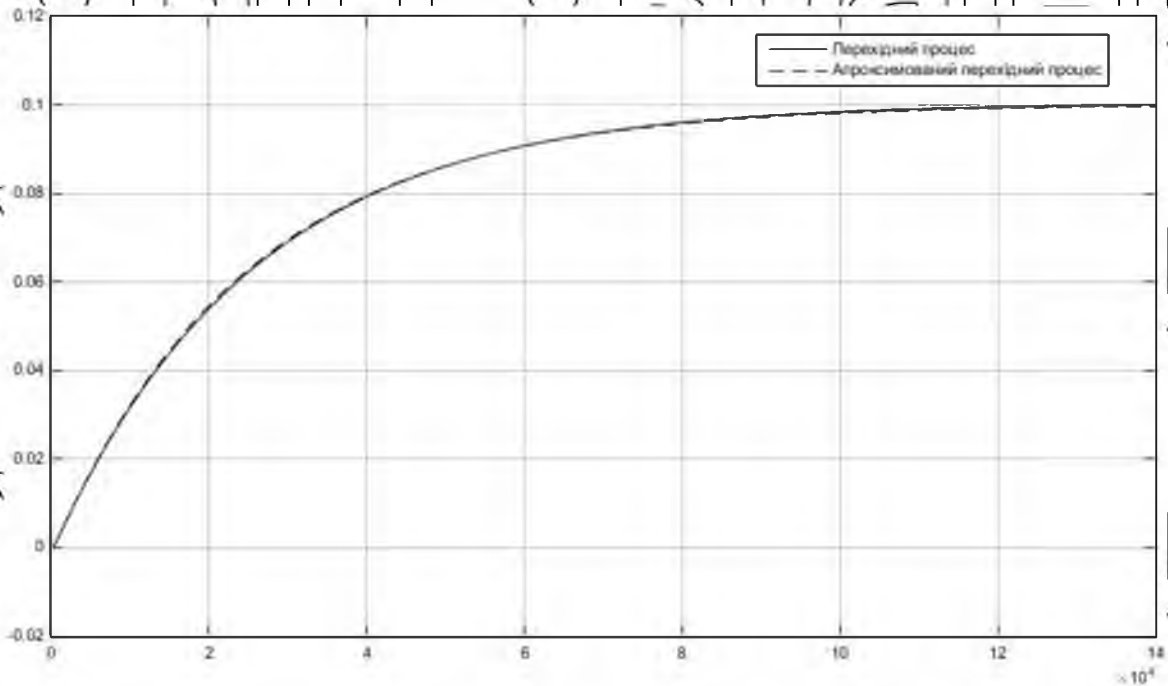


Рис. 2.13. Порівняння апроксимованого і неапроксимованого перехідного процесу моделі підтримання температурного режиму у складському приміщенні при зміні температури ззовні приміщення на 1 °С

Апроксимуємо перехідну характеристику характеристики моделі підтримання температурного режиму у складському приміщенні при зміні потужності випромінювання тепла від людей у приміщення на 100 Вт. Значення коефіцієнта передачі: $K = 0.08174$. Значення постійної часу: $T = 1,25(395 - 155) = 300$. Значення транспортного запізнення: $\tau = 35$. Отже передаточна функція за каналом збурення, зміна потужності випромінювання тепла від людей у приміщення на 100 Вт, має вигляд

$$W_{зб.вн} = \frac{0.08174}{300p+1} e^{-35p} \quad (2.17)$$

Порівняємо апроксимований і неапроксимований перехідний процес

рис. 2.14.

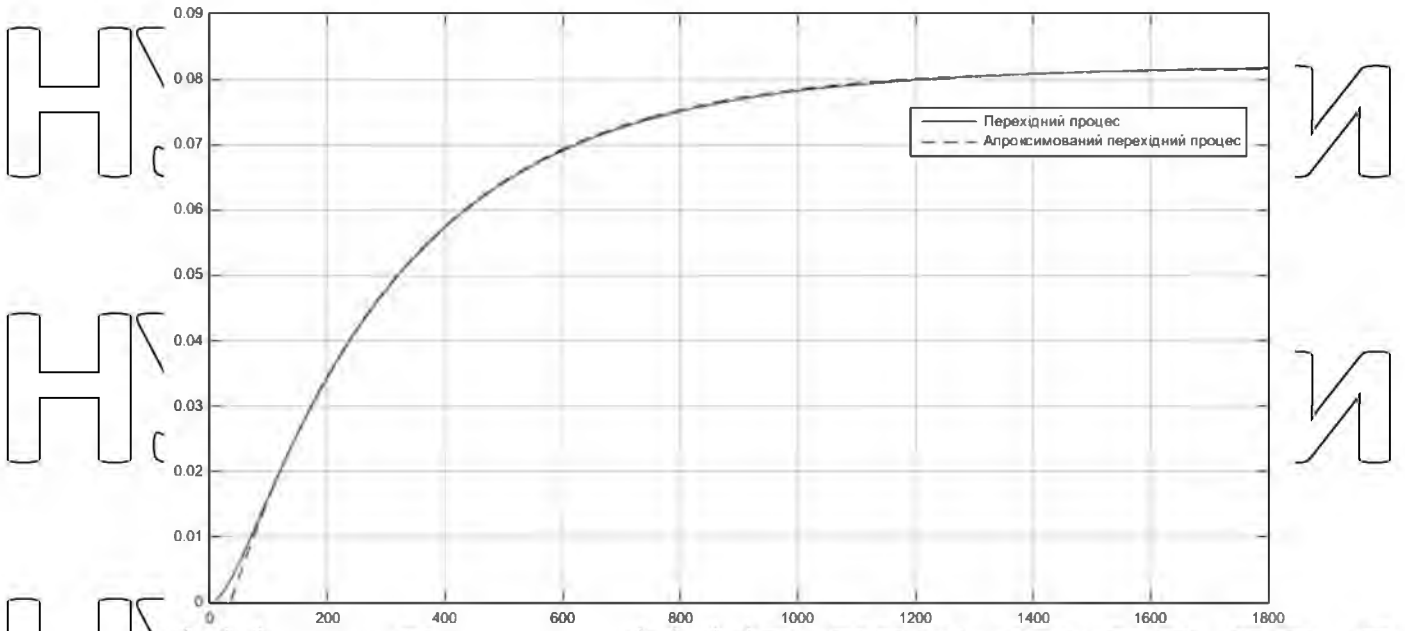


Рис. 2/14. Порівняння апроксимованого і неапроксимованого перехідного процесу моделі підтримання температурного режиму у складському приміщенні при зміні потужності випромінювання тепла від людей у приміщення на 100 Вт

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ

3.1 Вибір алгоритму керування

Ефективна система керування температурою в складському приміщенні бази КТЗ Arduino вимагає ретельного обґрунтування та вибору відповідного алгоритму керування. У цьому розділі розглядається обґрунтування вибору конкретного алгоритму та визначення його переваг для досягнення поставлених цілей.

ПІ-регулятор визначається високою точністю та швидкістю реакції на зміни температури, що робить його ідеальним кандидатом для системи з урахуванням потреб у точному та оперативному контролі. ПІ-регулятор добре справляється із збуреннями, що можуть виникнути в системі, таким чином, гарантуючи стабільність температурного режиму. Обґрунтовано вибір алгоритму ПІ-регулятора через його здатність ефективно керувати системою в умовах змінюючихся потреб та забезпечувати стійкість в різних ситуаціях. Вибір алгоритму також обґрунтовується врахуванням конкретних особливостей об'єкта керування, таких як теплові втрати, характеристики систем опалення та вентиляції, що можуть впливати на ефективність алгоритму.

Обґрунтовано, як вибраний алгоритм забезпечує високу точність та ефективність в керуванні температурою, що важливо для зберігання різних видів продукції. Алгоритм виявляє адаптивність до змін умов, таких як зміна навантаження на склад або зміни в кліматичних умовах, забезпечуючи сталу ефективність системи. Обґрунтування та вибір алгоритму керування є

ключовим етапом у розробці системи керування температурою в складському приміщенні на базі КТЗ/Arduino.

Вибір ПІ-регулятора обґрунтовано його точністю, швидкістю реакції, стійкістю до збурень та адаптивністю до змін умов. Цей алгоритм визначено як оптимальний для забезпечення стабільного та ефективного керування температурою в реальному часі.

3.2. Структурна схема регулювання підтримання температурного режиму багатоцільового складу

Найбільш суттєве збурення – це збурення від зміни вхідної температури електрокалорифера, передаточна функція, це випливає з спрощеної структурної схеми рис. 2.4 та передаточних функцій отриманих у пункті 2.4. На основі цих даних побудовано схему прецизійного регулювання підтримання температурного режиму багатоцільового складу рис. 3.1.

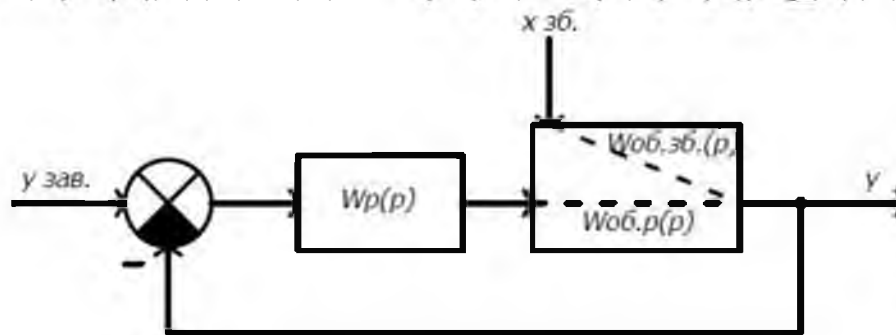


Рис. 3.1. Структурна схема прецизійного регулювання підтримання температурного режиму багатоцільового складу

Прецизійне регулювання температурного режиму багатоцільового складу передбачає зміну заданої температури залежно від зберігаємої продукції. Це означає, що задане значення буде змінюватися, тобто система прецизійного регулювання повинна реагувати на зміну завдання

Отже, для нашого випадку передаточна функція замкнутої системи регулювання на основі передаточних функцій (2.15), (2.14) та спрощеної структурної схеми підтримання температурного режиму у складському приміщенні:

$$W_{зс.}(p) = \frac{W_{об.р.}(p) \cdot W_p(p)}{1 + W_{об.р.}(p) \cdot W_p(p)} \quad (3.1)$$

3.3. Розрахунок періоду дискретизації системи регулювання підтримання температурного режиму складського приміщення

Для розрахунку дискретної системи регулювання необхідно, щоб час дискретизації регулятора був більший за мінімально допустимий час дискретизації при якому система вважається аналоговою.

Для розрахунку мінімально допустимого часу дискретизації при якому система вважається аналоговою використовувалась теорема Котельникова-Шеннона. Теорема Котельникова-Шеннона говорить, що частота дискретизації повинна бути не менше, ніж дві частоти зрізу.

Для визначення частоти зрізу використовувалося середовище Matlab. Для побудови АЧХ рис. 3.2 використовувалась передаточна функція (2.15) збурення від теплового випромінювання людей у середині складського приміщення. Код m файлу:

```
figure %АЧХ w = 0:0.00001:0.08;
W=((0.8171)./(304.*1i*w+1)).*exp(-
5i.*1i*w);
A=(sqrt(real(W).^2+(imag(W)).^2).^(1/2));
plot(w,A,'b','linewidth',2), grid on;
title('\bf\fontsize{12} АЧХ ');
xlabel('\bf\fontsize{12} w');
ylabel('\bf\fontsize{12} A(w)');
```

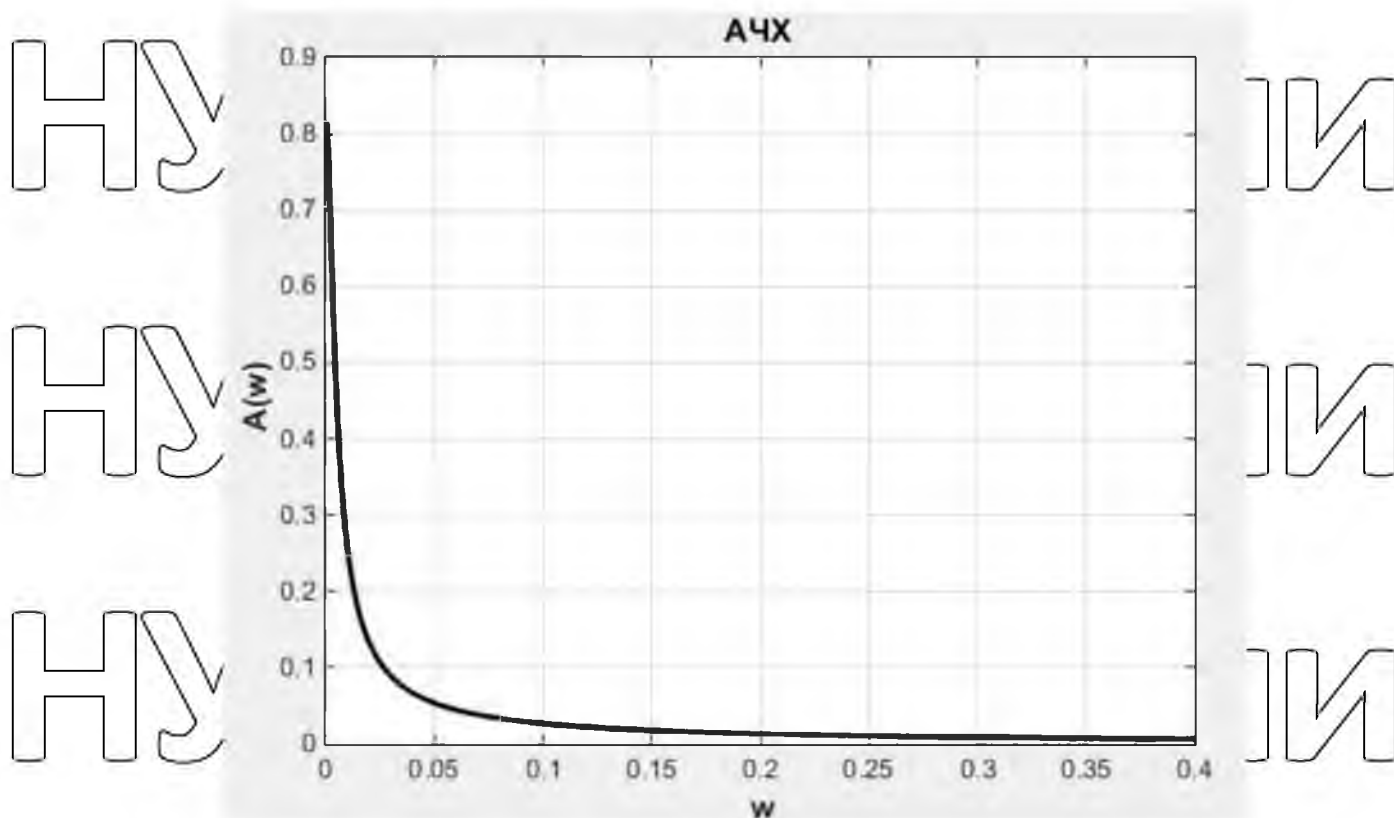


Рис. 3.2. АЧХ передаточної функції збурення від теплового випромінювання лисдей у середині складського приміщення

Згідно з АЧХ рис. 3.2 частота зрізу дорівнює $\omega_3 = 0,25$. Для

розрахунку періоду дискретизації використовується наступна формула:

$$T = \frac{\pi}{2\omega_3} \quad (3.2)$$

За допомогою формули (3.2) розрахуємо період мінімально

допустимого часу дискретизації при якому система вважається аналоговою:

$$T = \frac{\pi}{2 \cdot 0,25} = 6,28 \text{ с} \quad (3.3)$$

Отже, з рівняння (3.3) видно, що для того щоб система керування регулювання підтримання температурного режиму багатощельового складу

була дискретною необхідно, щоб період дискретизації був більше, ніж 6,28

секунди.

3.4. Розрахунок прецизійної системи регулювання підтримання температурного режиму складського приміщення

У пункті 3.1 зазначалося, що система регулювання націлена на зміну завдань. Метод розрахунку системи повинен бути націлений на мінімальний інтегральний квадратичний показник якості за технологічними умовами роботи системи керування: $I_{\text{кв}} = \int_0^{\infty} e_n^2(t) dt$, де e_n помилка регулювання.

Методи розрахунку, які націлені на мінімальний інтегральний квадратичний показник якості призначені на швидке усуванню великих за значенням помилок регулювання, але невеликі за значенням помилки регулювання можуть зберігатися протягом тривалого часу. Для прецизійної системи регулювання підтримання температурного режиму багатоцільового складу невеликі за значенням помилки регулювання є допустимі, а великі за значенням є недопустимі. При розрахунку системи регулювання методом націленим на мінімальний інтегральний квадратичний показник якості система буде ефективно змінювати завдання та гасити збурення.

3.5. Розрахунок цифрової системи регулювання з ПІ модуляцією

Для розрахунку цифрової системи регулювання необхідно задати час дискретизації системи, який більше за мінімально допустимий час дискретизації при якому система вважається аналоговою. Для дискретної системи регулювання підтримання температурного режиму багатоцільового складу задаємо час дискретизації 10 секунд.

Для регулювання використовується дискретний ПІ регулятор, даний регулятор забезпечує регулювання без статичної похибки та з необхідним періодом дискретизації. Для розрахунку параметрів ПІ регулятора використовувались формули з [7], які націлені на мінімальний інтегральний квадратичний показник якості:

$$K = \frac{1}{K_{об.}} (0,329 + 0,751 \left(\frac{T_{об.}}{\tau}\right)^{0,783} - 0,257 \frac{T}{T_{об.}}) \quad (3.4)$$

$$T_i = 1,186T_{об.} + 0,652\tau - 0,587T \quad (3.5)$$

З формули (3.4) та (3.5) були отримані такі параметри налаштування регулятора: $K = 4$, $T_i = 388$. Дискретний ПІ регулятор буде керувати об'єктом управління за допомогою ПІ модуляції з змінним періодом імпульсу.

Схема моделювання перехідного процесу у Simulink наведена на рис. 3.3.

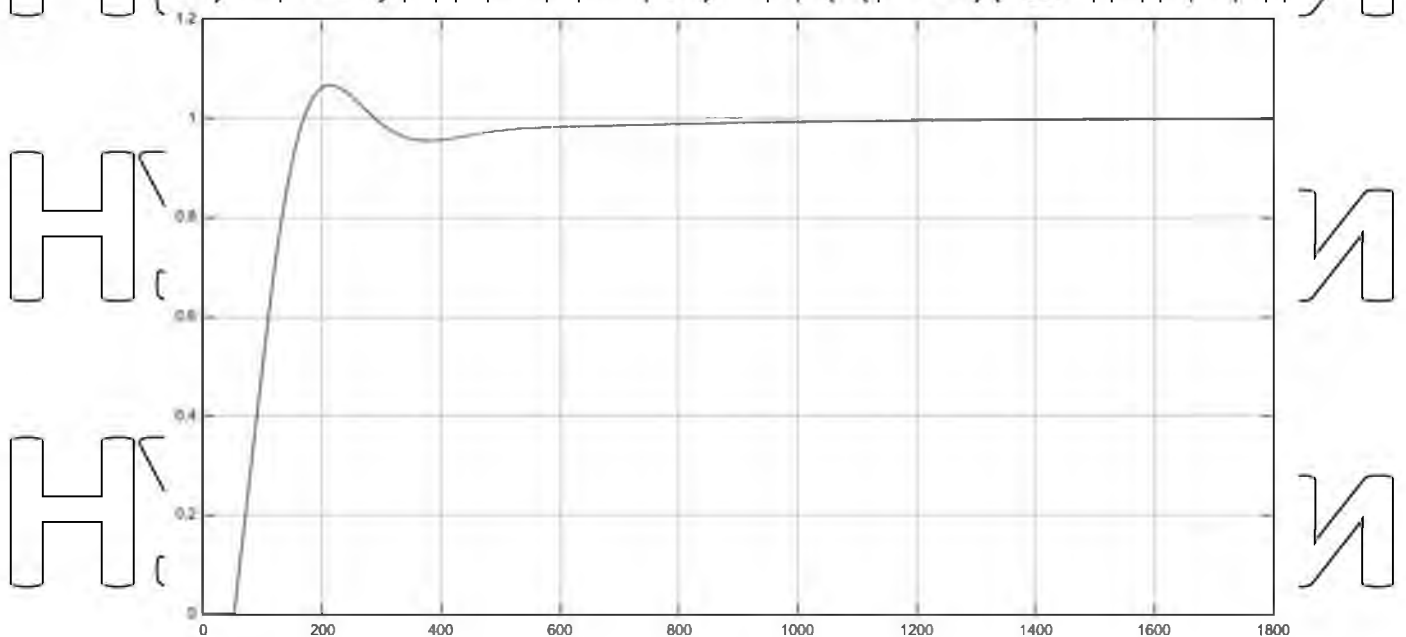


Рис. 3.3. Графік перехідного процесу цифрової системи регулювання з ПІ регулятором

З рисунку 3.3 визначено показники якості системи:

Час регулювання рівний 300с; перерегулювання = 7%.

3.6. Вибір мови програмування

С — мова комп'ютерного програмування загального призначення. Він був створений у 1970-х роках Деннісом Річі та залишається дуже широко використовуваним і впливовим [6]. За дизайном функції С чітко відображають можливості цільових ЦП. Він знайшов тривале використання в операційних системах, драйверах пристроїв і стеках протоколів, але його

використання в прикладному програмному забезпеченні зменшується. С зазвичай використовується в комп'ютерних архітектурах, які варіюються від найбільших суперкомп'ютерів до найменших мікроконтролерів і вбудованих систем [7].

Наступник мови програмування B, C спочатку був розроблений Річі в Bell Labs між 1972 і 1973 роками для створення утиліт, що працюють на Unix. Його було застосовано для повторної реалізації ядра операційної системи Unix. [8] Протягом 1980-х C поступово набрав популярності. Вона стала однією з найбільш широко використовуваних мов програмування [9]

[10], компілятори C доступні практично для всіх сучасних комп'ютерних архітектур і операційних систем. Книга «Мова програмування C», написана в співавторстві з розробником оригінальної мови, багато років служила фактичним стандартом для мови. [11] [12] З 1989 року C стандартизовано

Американським національним інститутом стандартів (ANSI) і Міжнародною організацією стандартизації (ISO).

C — це імперативна процедурна мова, яка підтримує структуроване програмування, область видимості лексичних змінних і рекурсію зі статичною системою типів. Він був розроблений для компіляції для

забезпечення низькорівневого доступу до пам'яті та мовних конструкцій, які ефективно відображаються на машинні інструкції, і все це з мінімальною підтримкою часу виконання. Незважаючи на свої низькорівневі можливості,

мова була розроблена для заохочення кросплатформного програмування.

Сумісна зі стандартами програма C, написана з урахуванням переносимості, може бути скомпільована для широкого спектру комп'ютерних платформ і операційних систем з невеликими змінами у вихідному коді [13].

3.7. Вибір середовища розробки

Інтегроване середовище розробки Arduino (IDE) - це кросплатформенний додаток (для Windows, macOS, Linux), яке записується у функції з C та C ++. Він використовується для запису та завантаження

програм на суміжні плати Arduino, але також, за допомогою сторонніх ядер, інших плат розвитку розробників.

Вихідний код для IDE випускається згідно з Загальною публічною ліцензією GNU, версія 2. IDE Arduino підтримує мови C та C ++, використовуючи спеціальні правила структуризації коду. Arduino IDE постачає бібліотеку програмного забезпечення від проекту Wiring, яка забезпечує безліч загальних процедур введення та виведення даних. Написаний користувачем код вимагає лише двох основних функцій для запуску ескізу та основного циклу програми, які компілюються та

пов'язуються із заголовком програми main () у виконуваних циклічну виконавчу програму з ланцюжком інструментів GNU, що також входить до розподілу IDE. У Arduino IDE використовується програмна avrdude для

перетворення виконуваного коду в текстовий файл у шістнадцятковому кодуванні, який завантажується на плату Arduino програмою-завантажувачем у програмному забезпеченні плати. За замовчуванням avrdude використовується як інструмент для завантаження для відтворення коду користувача на офіційні плати Arduino

З ростом популярності Arduino як програмної платформи, інші постачальники почали впроваджувати власні компілятори та інструменти з відкритим кодом (ядра), які можуть створювати та завантажувати ескізи в інші MCU, які не підтримуються офіційною лінією MCU Arduino.

У жовтні 2019 року організація Arduino почала надавати ранній доступ до нового Arduino Pro IDE з налагодженням та іншими розширеними функціями.

3.8 Написання коду програми

Код прошивки — це програмний код, який завантажується на контролер, і в подальшому виконується ним. Програмний код для прошивки на ардуіно пишеться мовою C в середовищі Arduino IDE.

Код прошивки, написаний для контролера представлено нижче:

```

#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2
#define DHT2PIN 3
#define DHT3PIN 4
#define RELAYPIN 5
float dest = 28.00;

DHT dht(DHTPIN, DHT22);
DHT dht2(DHT2PIN, DHT22);
DHT dht3(DHT3PIN, DHT22);

void setup() {
  dht.begin();
  dht2.begin();
  dht3.begin();
}

void loop() {
  float t1 = dht.readTemperature();
  float t2 = dht2.readTemperature();
  float t3 = dht3.readTemperature();
  float average = (t1+t2+t3)/3;
  if(average <= dest){
    digitalWrite(RELAYPIN, HIGH);
  }
  else {

```

НУБІ! ПІДКРАЇНИ

НУБІ! ПІДКРАЇНИ

НУБІ! ПІДКРАЇНИ

НУБІ! ПІДКРАЇНИ

НУБІ! ПІДКРАЇНИ

НУБІ! ПІДКРАЇНИ

НУБІ! ПІДКРАЇНИ

digitalwriting.com (RELAYPIN, LOW)

РОЗДІЛ 4

РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТА

НУБІП України

4.1 Вибір технічних засобів автоматизації

НУБІП України

Для номінальної роботи автоматичної системи підтримання температурного режиму в складському приміщенні використовуються такі прилади:

НУБІП України

1) Вимірювання температури припливного повітря та температури зовнішнього повітря проводиться за допомогою термоопору TF43 NTC10K

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України



Рис. 4.1 Термоопір TF43 NTC10K

НУБІП України

THERMASCARD® TF 43 – це термометр опору із пасивним виходом, корпусом із пластика з високою ударною в'язкістю, застібаним

кристалом і прямою захисною трубкою. THERMASGARD® TF 65 - це термометр опорю із пасивним виходом, корпусом із пластика з високою ударною в'язкістю, кришкою корпусу з швидкозатискними гвинтами і прямою захисною трубкою.

2). Вимірювання витрат припливного повітря проводяться за допомогою датчику тиску DPT-FLOW.



Рис. 4.2 Датчик тиску DPT-FLOW

Канальний датчик обсягу повітря DPT-FLOW використовується для вимірювання потоку повітря в вентиляційних і кондиціонувальних системах. Датчик може використовуватися з різними типами вимірювальних зондів, зокрема FloXact. Також можливе застосування інших типів вимірювальних зондів за умови, що відоме значення коефіцієнта K для використовуваного зонда.

3). Вимірювання температури у приміщеннях проводяться за допомогою термоопору RTF1 NTC10K.

НУБІ

аїни

НУБІ

аїни



Рис. 4.3 Термопір RTF1 NTC10K

НУБІП України

RTF1-SD-NTC10k - це кімнатний датчик який використовується для вимірювання температури в офісних, житлових або виробничих приміщеннях.

НУБІП України

4). Контроль перепаду тиску на притяжному (витяжному) вентиляторах та фільтрах проводиться за допомогою пресостату PS500 В.

НУБІП України

НУБІ

аїни



НУБІ

аїни

Рис. 4.4 Пресостат PS500 В

PS500 - Диференціальне реле перепаду тиску (пресостат) з діапазоном вимірювання тиску 30...500 Па*, виробництва HK Instruments (Фінляндія).

5). Вимірювання температури зворотного теплоносія водяного нагрівника проводяться за допомогою термоопору ETF6 NTC10K.



Рис. 4.5 Термоопір ETF6 NTC10K

Термометр опору, який вважається вкручуваним термометром або датчиком температури, THERMAGARDE® ETF 6 з пасивним виходом, оснащений з'єднувальною голівкою з алюмінію та прямою захисною трубкою. Канальний датчик призначений для вимірювання температури рідин або газів. Використовується у трубопроводах, резервуарах або колекторах, переважно в тих випадках, коли необхідно ізолювати труби або резервуари.

6) Контроль замерзання водяного нагрівника проводиться за допомогою термостату загрози замерзання FST-1D.



Рис. 4.6 Термостат загрози замерзання FST-1D

FST-1D Термостат загрози замерзання з діапазоном уставки $0 \dots +15$ °C, виробництва компанії S+S Regeltechnik, використовується в системах для захисту теплообмінника вентиляційних установок від замерзання. Має довжину чутливого капіляра 6 метрів. Термостат має капілярну трубку, заповнену термочутливою рідиною, вузол налаштування температури і контактну групу перекидний контакт 10 (2,5) А (АС 230V). При падінні температури повітря нижче критичного значення контакти термостата замикають або розмикають відповідний електричний ланцюг, який при цьому зупиняє вентиляційну установку.

Для номінальної роботи автоматизованої системи підтримання температурного режиму складського приміщення виконується керування такими виконавчими механізмами:

1). Керування продуктивністю водяного нагрівника та охолоджувача відбувається за допомогою приводу шарового клапана LR24A-SR



Рис. 4.7 Привод шаровий клапана LR24A-SR

Привід LR24A-SR без пружинного повернення використовується для керування регулюючими кульовими клапанами серій R20 ..., R4 ..., R60 ..., R30 ..., R5 ..., R70 ... Керується приводом стандартним аналоговим сигналом 2...10 В. Напруга живлення - AC/DC 24 В. Час ходу приводу становить 90 секунд.

2). Керування витратою повітря здійснюється за допомогою вбудованого частотного перетворювача у притяжному та витяжному вентиляторах ВКПФИ 4Д



Рис. 4.8 Прямотно-витяжний вентилятор ВКПФИ 4Д

Вентилятор для прямокутних воздуховодів Вентс ВКПФИ 4Д 600x350 є трьохфазовим центробіжним вентилятором для переміщення повітря при температурі від -20°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Корпус вентилятора обладнаний звукоізоляцією на основі мінеральної вати товщиною 50 мм. Використовується в системах приточної та витяжної вентиляції з підвищеними вимогами до рівня шуму.

3). Керування продуктивністю електричних нагрівачів відсувається за допомогою напівпровідникових реле RGC2P60V25C1DM.



Рис. 4.9 Напівпровідникове реле RGC2P60V25C1DM

4.2 Схема електрична принципова

На рисунку 4.10 представлена схема електрична принципова, яка включає в себе кілька ключових компонентів. Ця принципова схема розроблена для керування системою обігріву з використанням популярного мікроконтролера Arduino Nano. Давайте докладніше розглянемо складові цієї схеми.

Першою складовою є Arduino Nano, яка є компактним мікроконтролером з багатьма цифровими та аналоговими входами і виходами. Arduino Nano виступає як мозковий центр цієї системи і відповідає за збір даних та управління іншими пристроями на основі отриманих інформаційних даних.

Далі, на схемі показані датчики температури. Вони призначені для вимірювання температури в навколишньому середовищі. Ці датчики можуть бути розміщені в різних частинах системи, де потрібно вимірювати температуру, і надсилають ці дані до Arduino Nano. Ця інформація про температуру стане ключовим фактором при прийнятті рішення щодо управління обігрівачами.

Останньою складовою є реле керування обігрівачами. Реле - це електромеханічний комутатор, який дозволяє ввімкнути або вимкнути живлення обігрівачів в залежності від команд, отриманих від Arduino Nano.

За допомогою цих реле, система може контролювати температуру у відповідності до заданих параметрів, наприклад, підтримуючи стабільну температуру в певному діапазоні значень.

У підсумку, ця схема дозволяє автоматизувати процес обігріву, використовуючи дані з датчиків температури і надаючи Arduino Nano можливість приймати рішення щодо керування обігрівачами на основі цих даних. Ця система може бути корисною для різних застосувань, де потрібно

забезпечити стабільні умови температури, такі як в каскадних системах обігріву, теплицях або котлах.

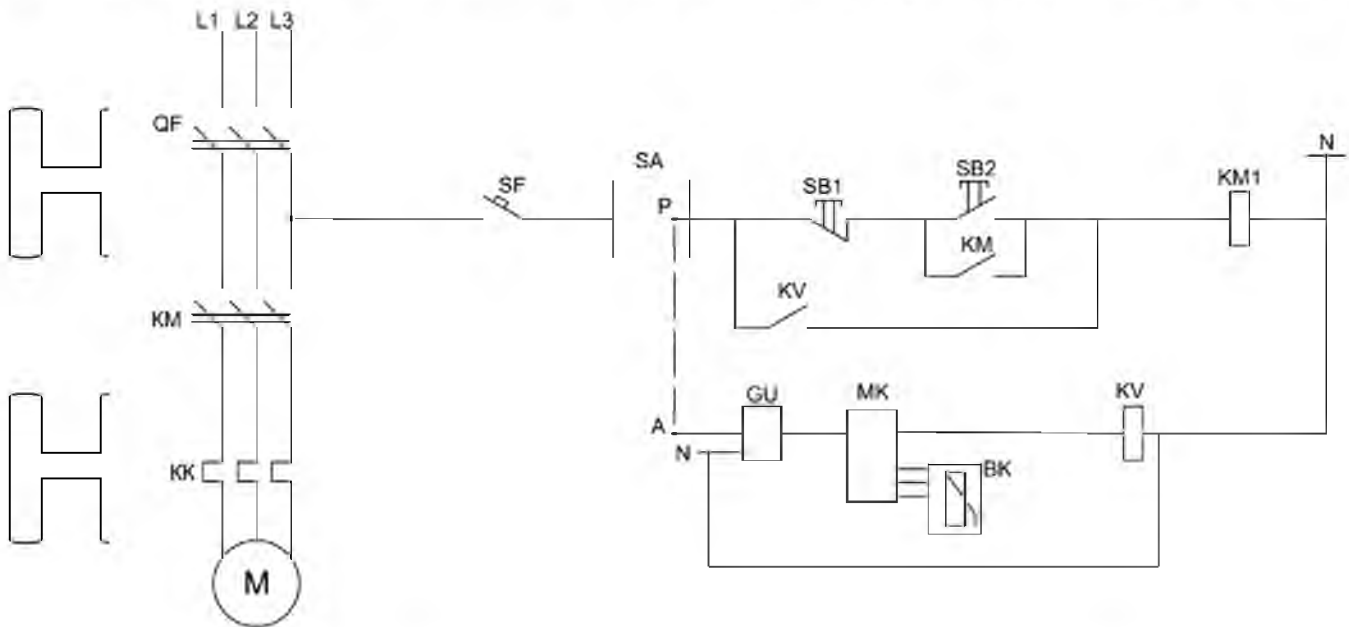


Рисунок 4.10 Схема електрична принципова

M- Нагрівач/охолоджувач

KK – теплове реле

KM - пускач

QF – автоматичний вимикач

BK – датчик температури

Mк – перетворювач

Sf – запобіжник

SB 1 – кнопка стоп

SB 2, KM – кнопка пуск

GU – контроллер

При натисканні на кнопку SB 2 – система запускається і вмикається M.
Для зупинки використовується кнопка SB-1 – стоп.

Датчик температури BK зчитує температуру, після чого він передає сигнал на контроллер GU, в якому записана програма з заданими значеннями допустимі температури. Якщо температура перевищує допустиме значення,

– вмикається охолоджувач, якщо температура менше допустимого значення –
вмикається нагрівач.

Для забезпечення безпеки в системі є запобіжник SF. Щоб захистити
мотор від перенапруги використовується теплове реле КК. В системі також
присутній автоматичний вимикач QF.

4.3. Блок-схема алгоритму

На рисунку 4.11 зображена блок-схема алгоритму, яка описує
послідовність роботи програмного коду.

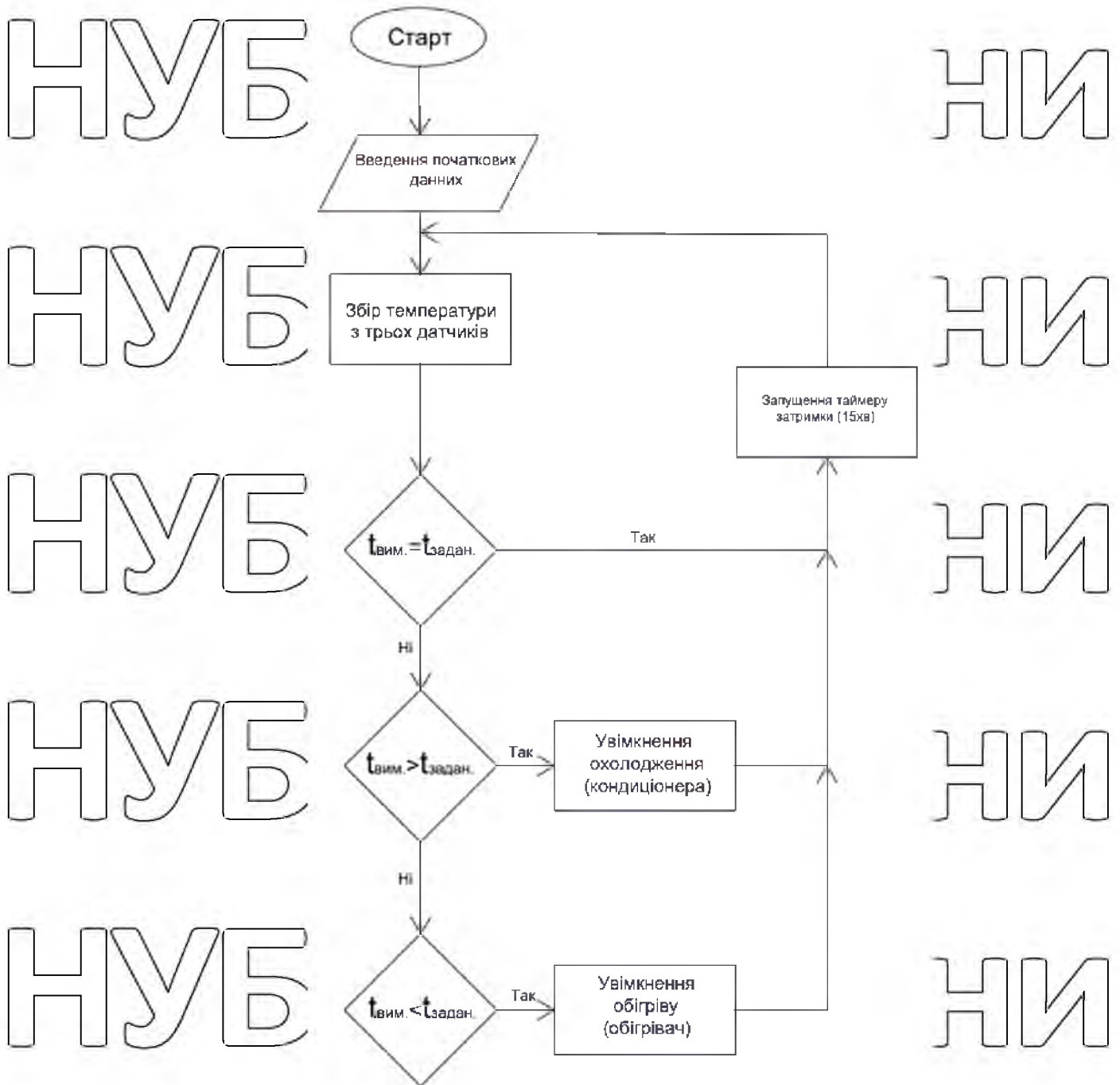


Рисунок 4.11 — Блок-схема алгоритму керування

РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок окупності автоматизованої системи

Ціна КТЗ Arduino Mega 2560: 2258 грн.

Ціна Термоопору TE43 NTC10K: 1260 грн

Ціна Датчика тиску DPT-FLOW: 10848 грн

Ціна Термоопору RTF1 NTC10K: 778 грн

Ціна Пресостату PS500 B: 941 грн

Ціна Термоопору ETF6 NTC10K: 4704 грн

Ціна Термостату загрози замерзання FST-1D: 4083 грн

Ціна Приводу шарового клапана LR24A-SR: 6409 грн

Ціна Прияжно-витяжного вентилятора ВКПФН 4Д: 77560 грн

Ціна Напівпровідникового реле RGC2P60V25C1DM: 273 грн

Середня температура в складському приміщенні без системи регулювання: 25 °С.

Середня температура в складському приміщенні з системою регулювання: 20 °С.

Загальна площа складського приміщення: 1000 м²

Середня вартість електроенергії: 2 грн./кВт·год.

Розрахунки:

Вартість обладнання

Вартість обладнання для автоматизованої системи регулювання температури складського приміщення становить:

2258 грн. + 1260 грн. + 10848 грн. + 778 грн. + 941 грн. + 4704 грн. + 4083 грн. + 6409 грн. + 77560 грн. + 273 грн. = 109114 грн.

Економія електроенергії

Економія електроенергії за рік становить:

$(25\text{ °С} - 20\text{ °С}) * 1000\text{ м}^2 * 24\text{ години/добу} * 365\text{ днів/рік} * 0,0004\text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2\cdot\text{°С} = 11520\text{ кВт}\cdot\text{год/рік}$

Економія коштів

Економія коштів за рік становить:

$11520\text{ кВт}\cdot\text{год/рік} * 2\text{ грн./кВт}\cdot\text{год} = 23040\text{ грн.}$

Період окупності
Період окупності автоматизованої системи регулювання температури складського приміщення становить.

$109114 \text{ грн.} / 23040 \text{ грн.} = 4,7 \text{ року.}$

Висновок:
Автоматизована система регулювання температури складського приміщення на базі КТЗ Arduino є економічно вигідною. Вартість обладнання окупається протягом 4 місяців, а потім система починає приносити прибуток.

Додаткові фактори, які слід враховувати

При розрахунках економічної ефективності автоматизованої системи регулювання температури складського приміщення необхідно враховувати такі фактори:

Тип і розміри складського приміщення. Чим більше площа приміщення, тим більшою буде економія електроенергії.

Кліматичні умови в регіоні. Чим холодніший клімат, тим більшою буде економія електроенергії.

Вартість електроенергії. Чим вища вартість електроенергії, тим більшою буде економія коштів.

При більш сприятливих умовах економічна ефективність автоматизованої системи регулювання температури може бути ще вищою.

ВИСНОВКИ

У цій дипломній роботі ми вивчили та розробили термостат на базі платформи Arduino з метою забезпечення точного та надійного контролю температурних умов в різних сферах застосування. Підсумовуючи наші дослідження та роботу над проектом, можна зробити наступні висновки:

1. Розробка функціонального та доступного термостата: Наша дипломна робота дозволила створити функціональний та доступний термостат, який здатний забезпечувати точний контроль та підтримку потрібних температурних умов у різних середовищах. Використання платформи Arduino спростило процес розробки та дозволило створити систему, яка може бути використана в різних сферах.

2. Апаратна та програмна реалізація: Ми детально розглянули апаратну частину термостата, включаючи сенсори температури та реле керування обігрівачами. Додатково, ми розробили програмний код для Arduino, який дозволяє ефективно керувати системою та реагувати на зміни температури.

3. Можливості розширення: Наш термостат не лише забезпечує базовий контроль температури, але також має потенціал для розширення функціональності. Ця робота створює фундамент для подальших досліджень та розробок, таких як використання Інтернету речей (IoT) для віддаленого керування, інтеграція зі смарт-системами будинків, або автоматизація виробничих процесів.

4. Практичні застосування: Наша розробка може бути використана в широкому спектрі сфер, включаючи системи опалення, теплиці, лабораторії, медичні пристрої та інші. Вона дозволяє підвищити якість та ефективність функціонування таких систем та процесів.

Загалом, дипломна робота підтвердила успішність використання Arduino для розробки і реалізації термостатів, що відкриває широкі можливості для автоматизації та контролю температурних умов у різних сферах. Результати нашої роботи вказують на потенціал для подальших досліджень і розробок в цій області, спрямованих на покращення і вдосконалення систем контролю та автоматизації температури.

СЕРЕДК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ^ "Getting Started: FOUNDATION > Introduction". arduino.cc. Archived from the original on 2017-08-29. Retrieved 2017-05-23.
2. ^ "Bare Bones Board (BBB) Kit". moderndevice.com. Archived from the original on 30 July 2018. Retrieved 29 November 2018.
3. ^ "DC Boarduino (Arduino compatible) Kit (w/ATmega328) - v1.0". adafruit.com. Retrieved 29 November 2018.
4. ^ Di Tore, Stefano; Todino, Michele; Sibilio, Maurizio (2019-04-30). "Disuffo: Design, prototyping, and development of an open-source educational robot". *Form@re - Open Journal per la Formazione in Rete* (in Italian). 19 (1): 106–116. doi:10.13128/FORMARE-24446. S2CID 181368197.
5. ^ "Redirect...". smartprj.com. Archived from the original on 2016-03-05. Retrieved 2017-05-03.
6. ^ Schmidt, Maik. *Arduino : a quick-start guide*. p. 201. ISBN 1-68050-523-8. OCLC 132833803.
7. ^ "Arduino - ArduinoBoardSerial". www.arduino.cc. Retrieved 20 February 2018.
8. ^ "Arduino - ArduinoBoardDreemila". www.arduino.cc. Retrieved 20 February 2018.
9. ^ "Arduino - ArduinoBoardDuemilanove". www.arduino.cc. Retrieved 20 February 2018.
10. ^ "Arduino Uno Rev3". www.arduino.cc. Retrieved 20 February 2018.
11. ^ Smith, (c) 2018, W.A. "Differences Between the Arduino Uno Revision 2 and Revision 3". startingelectronics.org. Retrieved 20 February 2018.
12. ^ "Arduino - ArduinoBoardUnoSMD". www.arduino.cc. Retrieved 20 February 2018.

13.^ "Arduino Leonardo with Headers". www.arduino.cc. Retrieved 20 February 2018.

14.^ "Arduino Pro". www.arduino.cc. Retrieved 20 February 2018.

15.^ "Arduino Mega official webpage (arduino.cc)". Retrieved 20 February 2018.

16.^ "Arduino Nano". www.arduino.cc. Retrieved 20 February 2018.

17.^ "LilyPad Arduino Main Board". www.arduino.cc. Retrieved 20 February 2018.

18.^ "Arduino Robot". www.arduino.cc. Retrieved 20 February 2018.

19.^ "Arduino Esplora". www.arduino.cc. Retrieved 20 February 2018.

20.^ "Arduino Ethernet Rev3 without PoE". www.arduino.cc. Retrieved 20 February 2018.

21.^ "Arduino Yún". www.arduino.cc. Retrieved 20 February 2018.

22.^ "Arduino Due". www.arduino.cc. Retrieved 20 February 2018.

23.^ "Arduino - Arduino Shields". www.arduino.es. Retrieved 2017-10-04.

24.^ "Arduino breadboard shield: \$10 & 10-mins". [todbot blog](http://todbot.blog).

25.^ "Arduino Shields for Prototyping". tgoe.net. Archived from the original on 2017-07-02. Retrieved 2011-09-16.

26.^ Ozer, Jonathan. "Arduino Shield list". Retrieved 5 Nov 2013.

27.^ "Using Atmel Studio for Arduino development". MegunoLink.com. Archived from the original on 2013-01-28. Retrieved 2013-01-18.

28.^ "Using AVR Studio for Arduino development". Engblaze.com. Archived from the original on 2012-08-28. Retrieved 2013-01-18.

29.^ "Ch Arduino". Retrieved 2016-10-07.

30.^ "Releases · arduino/Arduino · GitHub". [GitHub](https://github.com). Retrieved 12 November 2022.

31.^ "arduino/Arduino". August 27, 2020 – via [GitHub](https://github.com).

32.^ "arduino/Arduino". May 5, 2021 – via Arduino.cc.

33.^ "Releases · arduino/arduino-ide · GitHub". [GitHub](https://github.com). Retrieved 6 July 2023.

34.^ "It's here: please welcome Arduino IDE 2.0". 14 September 2022.
Retrieved 12 November 2022.

35.^ Williams, Al (21 October 2019). "The Arduino IDE Finally Grows Up".
Hackaday. Retrieved 26 October 2019.

36.^ "Introducing new Arduino Pro IDE with advanced features". Seed Studio.
21 October 2019. Retrieved 26 October 2019

37.^ Programming Arduino Getting Started with Sketches. McGraw-Hill. Nov
8, 2011. ISBN 978-0071784221.

38.^ "Arduino - BareMinimum". www.arduino.cc. Retrieved 20 February 2018.

39.^ "setup() - Arduino Reference". www.arduino.cc.

40.^ "loop() - Arduino Reference". www.arduino.cc.

41.^ "Blink Tutorial". Arduino.cc.

42.^ "pinMode() - Arduino Reference". www.arduino.cc.

43.^ "digitalWrite() - Arduino Reference". www.arduino.cc.

44.^ "delay() - Arduino Reference". www.arduino.cc.

45.^ "xinu-avr: The Xinu OS for AVR atmega328p". se.fi.uncoma.edu.ar.

46.^ "xinu-arduino". October 9, 2022 – via GitHub.

47.^ Dunkels, A.; Schmidt, O.; Voigt, T. (2005). Using Protothreads for Sensor
Node Programming. Proceedings of the REALWSN 2005 Workshop on
Real-World Wireless Sensor Networks Presented at the REALWSN 2005
Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks.

48.^ "FreeRTOS for Arduino". www.arduino.cc.

49.^ Beddows, Patricia A.; Mallon, Edward K. (2018-02-09). "Cave Pearl Data
Logger: A Flexible Arduino-Based Logging Platform for Long-Term
Monitoring in Harsh Environments". *Sensors*. 18 (2): 530.
Bibcode:2018Senso..18..530B. doi:10.3390/s18020530. PMC 5856100.
PMID 29425185.

50.^ Ali, Akram Syed; Zanzinger, Zachary; Debose, Deion; Stephens, Brent
(2016-05-01). "Open Source Building Science Sensors (OSBSS): A low-cost

Arduino-based platform for long-term indoor environmental data collection".

Building and Environment. 100: 114–126.

doi:10.1016/j.buildenv.2016.02.010. ISSN 0360-1323.

51.^ Bardaji, Raul; Sánchez, Albert-Miquel; Simon, Carine; Wernand, Marcel R.; Piera, Jaume (2016-03-15). "Estimating the Underwater Diffuse

Attenuation Coefficient with a Low-Cost Instrument: The KdUINO DIY Buoy". Sensors. 16 (3): 373. Bibcode:2016Senso..16..373B.

doi:10.3390/s16030373. PMC 4813948. PMID 26999132.

52.^ Lockridge, Grant; Dzwonkowski, Brian; Nelson, Reid; Powers, Sean (2016-04-13). "Development of a Low-Cost Arduino-Based Sonde for

Coastal Applications". Sensors. 16 (4): 528. Bibcode:2016Senso..16..528L.

doi:10.3390/s16040528. PMC 4851042. PMID 27089337

53.^ "Ars Electronica Archiv". Archived from the original on 2019-06-30.

Retrieved 2015-03-27.

54.^ "Arduino Education nominated for Bett Award". Arduino Blog. 2020-01-

20. Retrieved 2020-07-01.