

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра інформаційних систем та технологій

«На правах рукопису»
УДК _____ 004.457 _____

До захисту допущено:
В. о. завідувача кафедри
_____ Олександр РОЛІК
« ____ » _____ 2021 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**за освітньо-професійною програмою «Інтегровані інформаційні системи»
зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»**

**на тему: «Система керування елементами розумного будинку з використанням
GPS»**

Виконала:
студентка VI курсу, групи ІА-02мп
Висоцька Юлія Русланівна _____

Керівник:
доцент каф. ІСТ, к.т.н., доцент
Репнікова Наталія Борисівна _____

Рецензент:
к.т.н., комерційний директор ТОВ НВП «Мадек»
Коломейко Дмитро Анатолійович _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студентка _____

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра інформаційних систем та технологій

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 126 «Інформаційні системи та технології»

Освітньо-професійна програма «Інтегровані інформаційні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____ Олександр РОЛІК

« ___ » _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Висоцькій Юлії Русланівні

1. Тема дисертації «Система керування елементами розумного будинку з використанням GPS», науковий керівник дисертації Репнікова Наталія Борисівна к.т.н, доцент затверджені наказом по університету від « 27 » жовтня 2021р. №3587-с.
2. Термін подання студентом дисертації 13 грудня 2021 року _____
3. Об'єкт дослідження елементи розумного будинку _____
4. Вихідні дані: системи розумного будинку, система керування опаленням, система керування в'їзними воротами, калорифер потужністю 6000кВт, терморегулятори, датчики температури, модуль GPS, визначення координат користувача, цифровий регулятор, перерегулювання 0%, помилка 0, час перехідного процесу 3 хв.
5. Перелік завдань, які необхідно розробити аналіз існуючих рішень, розроблення структурної схеми, розроблення функціональної схеми, розроблення моделі цифрової системи, виведення математичної моделі об'єкту управління, аналіз стійкості і якості цифрової системи, синтез цифрового регулятора, програмна реалізація цифрового регулятора, реалізація інтерактивної моделі роботи системи, розроблення стартап- проекту.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу схема електрична структурна, схема електрична функціональна, блок-схема керування системами опалення та відчинення воріт, блок-схема керування системою опалення, блок-схема керування системою відчинення воріт, блок-схема визначення координат, часові характеристики дослідження методу цифрової апроксимації для вибору періоду квантування за часом, схема часових характеристик.

7. Орієнтовний перелік публікацій Репнікова Н. Б. Дослідження методу цифрової апроксимації для вибору періоду квантування за часом / Н. Б. Репнікова, Ю. Р. Висоцька - <https://iconfs.net/s.infocom2021/doslidzhennya-metodu-tsyfrovoyi-aproksymatsiyi-dlya-vyboru-periodu-kvantuvannya-za-chasom>

8. Дата видачі завдання 1 вересня 2021 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд існуючих рішень	01.09.21 – 15.09.21	
2	Розроблення схеми електричної структурної	16.09.21 – 05.10.21	
3	Розроблення схеми електричної функціональної	06.10.21 – 12.10.21	
4	Розроблення математичної моделі	13.10.21 – 02.11.21	
5	Аналіз результатів моделювання	03.11.21 – 12.11.21	
6	Розроблення цифрового регулятора	13.11.21 – 28.11.21	
7	Оформлення текстової документації	28.11.21 – 07.12.21	

Студент

Юлія ВИСОЦЬКА

Керівник

Наталія РЕПНІКОВА

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на здобуття ступеня «магістр» за освітньо-професійною програмою підготовки «Інтегровані інформаційні системи» на тему «Система керування елементами розумного будинку з використанням GPS». Дисертація містить 135 сторінки, 46 рисунків, 22 таблиць, 26 джерел.

Актуальність. Нині все більш актуальним стає завдання вдосконалення процесу управління будівлею («Smart home»). Принцип системи автоматизації будівлі передбачає спільне використання програмно-апаратних засобів, з використанням яких значно зростає ефективність роботи і надійність управління усіх систем і пристроїв. Рішення такої задачі має достатньо великий та реальний попит.

Метою магістерської дисертації є підвищення ефективності керування елементами розумного будинку.

Об'єкт дослідження: елементи розумного будинку.

Предмет дослідження: система керування елементами розумного будинку з використанням GPS.

Наукова новизна одержаних у магістерській дисертації результатів полягає у розширенні можливостей вибору оптимального значення періоду квантування сигналів за часом при створенні моделей цифрових систем керування.

Публікація результатів дисертації. За результатами роботи було опубліковано тези: Репнікова Н. Б. Дослідження методу цифрової апроксимації для вибору періоду квантування за часом / Н. Б. Репнікова, Ю. Р. Висоцька. XI Міжнародна науково-практична конференція Winter InfoCom Advanced Solution 2021, 1-2 грудня, м. Київ.

Ключові слова: РОЗУМНИЙ БУДИНОК, GPS, КООРДИНАТИ, ЦИФРОВІ СИСТЕМИ, ПЕРЕДАВАЛЬНІ ФУНКЦІЇ, Z-ПЕРЕТВОРЕННЯ, ПЕРІОД КВАНТУВАННЯ ЗА ЧАСОМ, ЦИФРОВА АПРОКСИМАЦІЯ, ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ, МОДЕЛІ МАТЛАВ.

ABSTRACT

The master's dissertation for the master's degree in the educational and professional training program "Integrated Information Systems" on the topic "Smart home control system using GPS". The master's dissertation consists of 130 pages, 46 Figures, 22 tables, and 26 sources.

The topicality. Nowadays, the task of improving the process of building management ("Smart home") is becoming increasingly important. The principle of building automation system involves the joint use of software and hardware, which significantly increases the efficiency and reliability of management of all systems and devices. The solution of such a problem is quite high and real demand.

The aim of the study is to improve the efficiency of managing smart home elements.

The object of the study: elements of a smart home.

The subject of the study: smart home control system using GPS.

The originality of the research obtained in the master's thesis is to expand the possibilities of choosing the optimal value of the signal quantization period over time when creating models of digital control systems.

Publications of dissertation results. Based on the results of the work, theses were published: Repnikova N. B. Investigation of the digital approximation method for selecting the quantization period over time / N. B. Repnikova, J. R. Vysotska. XI International Scientific and Practical Conference Winter InfoCom Advanced Solution 2021, December 1-2, Kyiv

Keywords: SMART HOME, GPS, COORDINATES, DIGITAL SYSTEMS, TRANSFER FUNCTIONS, Z-TRANSFORMATION, TIME QUANTIZATION PERIOD, DIGITAL APPROXIMATION, QUALITY IMPROVEMENT, MATLAB MODELS.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ	9
1.1 Загальні відомості	9
1.2 Можливості розумних будинків.....	10
1.3 Огляд існуючих рішень для керування елементами розумного будинку	19
1.3.1 Система керування HomeKit від Apple	19
1.3.2 Система розумного будинку Ajax.....	21
1.3.3 Система керування елементами розумного будинку Xiaomi	24
Висновки до розділу	27
2 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕМЕНТАМИ РОЗУМНОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ GPS	28
2.1 Аналіз основних елементів структурної схема системи керування елементами розумного будинку з використанням GPS	28
2.1.1 Підсистема керування температурою приміщення	28
2.1.2 Підсистема керування в'їзними воротами	30
2.1.3 Загальний блок керування	30
2.1.4 Мобільний телефон	35
2.2 Опис роботи основних елементів структурної схема системи керування елементами розумного будинку з використанням GPS	37
2.2.1 Алгоритм керування підсистемою керування опаленням	37
2.2.2 Алгоритм керування підсистемою в'їзних воріт опаленням	39
2.2.3 Алгоритм визначення відстані користувача від будинку	40
Висновки до розділу	44
3 РОЗРОБЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕМЕНТАМИ РОЗУМНОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ GPS	45
3.1 Підсистема керування температурою приміщення.....	45
3.1.1 Датчики температури	45
3.1.1.2 Модуль виконавчих пристроїв.....	49

3.2 Підсистема керування в'їзними воротами	55
Висновки до розділу	60
4 РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕМЕНТАМИ РОЗУМНОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ GPS	61
4.1 Виведення математичної моделі об'єкту управління	61
4.3 Розроблення моделі досліджуваної системи в прикладному пакеті MathLab Simulink.....	64
4.4 Розроблення цифрової моделі досліджуваної моделі.	66
4.5 Вибір оптимального значення періоду квантування сигналу за часом для забезпечення функціонування системи у стійкій області.....	69
Висновки до розділу	75
5 АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ І ЯКОСТІ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕМЕНТАМИ РОЗУМНОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ GPS	76
5.1 Аналіз стійкості системи.....	76
5.2 Аналіз якості системи.....	80
Висновки до розділу	83
6 СИНТЕЗ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА	84
6.1 Синтез цифрового ПД-регулятора.....	84
6.2 Синтез цифрового регулятора зі зворотними зв'язками за станом	88
Висновки до розділу	94
7 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА	95
7.1 Метод безпосередньої декомпозиції.....	95
Висновки до розділу	99
8 РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕМЕНТАМИ РОЗУМНОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ GPS	100
Висновки до розділу	107
9 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ	108
9.1 Опис ідеї стартап-проекту.....	108
9.2 Технологічний аудит ідеї стартап-проекту	110

9.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.....	112
9.4 Розроблення ринкової стратегії проєкту	122
9.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту.....	125
Висновки до розділу	128
ВИСНОВОК.....	130
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	131

ВСТУП

Актуальність. Розумний будинок - це житло, в якому використовуються пристрої, підключені до Інтернету, для віддаленого моніторингу та управління приладами і системами, такими як освітлення та опалення. Технології "розумного будинку", які також часто називається домашньою автоматизацією або технологіями інтелектуального будинку, забезпечують безпеку, комфорт, зручність і енергоефективність, дозволяючи управляти інтелектуальними пристроями, часто за допомогою програми " Розумний будинок " на своєму смартфоні або іншому мережевому пристрої. Як частина Інтернету речей (IoT), системи та пристрої "розумного будинку" часто працюють разом, обмінюючись даними про параметри роботи елементів розумного будинку.

Елементи розумного будинку працюють не залежно від того, дається команда голосом, пультом дистанційного керування, планшетом або смартфоном, будинок реагує. Більшість додатків пов'язані з освітленням, домашньою безпекою, домашнім кінотеатром і розвагами, а також регулюванням термостата.

Метою магістерської дисертації є підвищення ефективності керування елементами розумного будинку.

Для досягнення поставленої мети вирішені наступні задачі:

- огляд та аналіз існуючих рішень для керування системами розумного будинку та їх функціональних можливостей;
- розроблення математичної моделі об'єкта керування;
- розроблення та реалізація цифрового регулятора;
- аналіз стійкості та показників якості системи;
- експериментальні дослідження ефективності розробленої системи;
- розроблення та реалізація алгоритму визначення координат користувача за допомогою GPS модулю;
- реалізація інтерактивної моделі системи за допомогою програмних методів.

Для вирішення задач магістерської дисертації використані наступні методи:

- метод комп'ютерного моделювання;
- метод простору станів;
- алгоритми, конструкції та моделі Matlab/Simulink;
- з-перетворення, для отримання цифрової системи;
- синтез цифрового регулятора, з використанням методів заснованих на ПДД законах регулювання та регулятора зворотніх зв'язків за станами;
- програмування регулятора за допомогою метода безпосередньої декомпозиції; алгоритм визначення координат користувача з використанням GPS.

Об'єктом дослідження є елементи розумного будинку, а предметом — система керування елементами розумного будинку з використанням GPS.

Публікація результатів дисертації. Відповідно до результатів роботи опубліковано тези:

Репнікова Н. Б. Дослідження методу цифрової апроксимації для вибору періоду квантування за часом / Н. Б. Репнікова, Ю. Р. Висоцька - <https://iconfs.net/s.infocom2021/doslidzhennya-metodu-tsyfrovoyi-aproksymatsiyi-dlya-vyboru-periodu-kvantuvannya-za-chasom>

Апробація. Результати досліджень магістерської дисертації обговорювались на XI Міжнародній науково-практичній конференції InfoCom Advanced Solutions 2021, яка відбулася 1 та 2 грудня 2021 року; опубліковані тези на тему «Дослідження методу цифрової апроксимації для вибору періоду квантування за часом».

Наукова новизна одержаних у магістерській дисертації результатів полягає у розширенні можливостей вибору оптимального значення періоду квантування сигналів за часом при створенні моделей цифрових систем керування.

1 АНАЛІЗ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1 Загальні відомості

В даний час все більш актуальним стає завдання вдосконалення процесу управління будівлею. Системи автоматизації будинку відомі так само і під іншими назвами – «Розумні будинки», «Smart home», інтелектуальні будинки і адаптивні будинки. Саме поняття «Smart home» почало широко використовуватися в США. У 70-х роках минулого століття компанії Leviton і X10 розробили технологію управління побутовими електроприладами. Дана технологія працювала при частоті 60 Гц і напруга мережі 110 В.[1]

Принцип системи автоматизації будівлі передбачає спільне використання програмно-апаратних засобів, за рахунок яких значно зростає ефективність роботи і надійність управління всіх систем і пристроїв, які забезпечені датчиками або підключені безпосередньо до головного пристрою.

Важливою особливістю систем автоматизації, є, те що людина може однією командою змінювати навколишню її обстановку в будинку, а автоматика відповідно до зовнішніх і внутрішніх умов задає і відстежує режими роботи всіх контрольованих систем і електроприладів. Це дає можливість відмовитися від використання дистанційних пультів управління, безлічі вимикачів, окремих блоків управління кліматичними установками або відеоспостереження і так далі.

Особливу популярність здобули бездротові системи керування. У цих системах, на відміну від дротових, сигнал від керуючих пристроїв до виконавчих йде по радіоканалу, а не по дротах. Такий спосіб дозволяє значно скоротити кількість дротів, а також спрощує механізми інсталяції системи. Завдяки простоті монтування та бездротовим технологіям такі системи можна впроваджувати після завершення зовнішнього ремонту. Кожен бездротовий вимикач є й радіопередавачем, який зв'язується з усіма іншими вимикачами. Це дозволяє створювати різні сценарії, наприклад для освітлення(нічний режим, вимкнути всі і т.д.), а також перепрограмувати функціонал клавіш.

Перевагами таких розумних будинків є те, що такі системи можна встановлювати в квартирах і будинках з уже готовим ремонтом та з класичною проводкою. Якщо використовувати повністю бездротовий вимикач, який працює на батарейках і посилає сигнал виконавчому пристрою (наприклад радіореле, розташованому близько світильника або світлової групи), то такий вимикач можна розташувати скрізь, де тільки завгодно. Вони можуть бути як накладного так і вбудованого монтажу.

Використання бездротових технологій зменшує кількість проводів, в порівнянні з провідною системою. А також такі системи є досить доступними в ціні так як на ринку є достатня кількість готових рішень.

1.2 Можливості розумних будинків

Концепція інтелектуальної(розумної) будівлі надає безмежні можливості для його власника, розглянемо основні з них.

1.2.1 Керування в'їзними воротами

Сьогодні вже досить часто на в'їзні ворота ділянки з будинком встановлюють електричний мотор або привід з дистанційним управлінням. Існують багато видів в'їзних воріт. Є дві найбільш популярні конструкції воріт[2].

1.2.1.1 Двостулкові ворота

Двостулкові ворота є достатньо простими у своїй конструкції, не складні при будівельному монтажу і прості в експлуатації в різних погодних умовах.

Рекомендований комплект елементів для автоматичних двостулкових воріт наступний[3].

Каркас стулків воріт. Рекомендується обирати двостулкові ворота тільки з заглушеними трубами і зачищеними зварними швами. Каркас має бути повністю погрунтований, а потім пофарбований і висушений в цеху. Такий підхід гарантує багаторічне використання, відсутність патьоків іржі і розводів фарби.

Зашивання воріт. Не залежно від варіанту зашивання (профнастил, кування, дерево), він має вкладається всередину каркаса воріт. Це не тільки надає естетичності, але і продовжить термін експлуатації воріт при різних погодних умовах.

Петлі. Мають приварюватись з внутрішньої або зовнішньої сторони, в залежності від необхідного напрямку відкриття.

Комплект автоматики. Автоматика для двостулкових воріт підбирається виходячи з ваги і розміру воріт, кількості циклів відкривання-закривання в день, а також особистих переваг замовника.

Недоліком автоматичних двостулкових воріт є необхідність установки пари приводів і можливість випадкового удару людини або автомобіля. Для вирішення проблеми безпеки роботи воріт необхідно встановити не менше 4 фотоелементів безпеки уздовж усіх воріт. Елементи безпеки блокують відкривання або закривання воріт якщо в зоні роботи воріт присутня перешкода – людина, тварина чи машина.

Принцип дії фотоелементів безпеки простий: один з парних елементів є передавачем інфрачервоного променя, другий – приймачем. Елементи розташовуються один проти одного з різних боків проїзду. Під час руху воріт інфрачервоний промінь «сканує» отвір. Допоки світло досягає приймача – система працює, але якщо з'явиться перешкода між датчиками, яка заблокує передачу променя, вона буде сигналом системі про наявності перешкоди на шляху ступки. Автоматика зреагує згідно заданої програми. Як правило, при зачиненні воріт такий сигнал призводить до реверсу роботи воріт, тобто ворота переходять в режим відчинення.

В основному фотоелементи кріплять в отворі поруч з воротами. При монтажі фотоелементів потрібно простежити, щоб нічого не заважало роботі датчиків – щоб

не було виступів, можливих перешкод та рослин в зоні дії датчиків. Схема розміщення елементів двостулкових воріт зображена на рисунку 1.1.

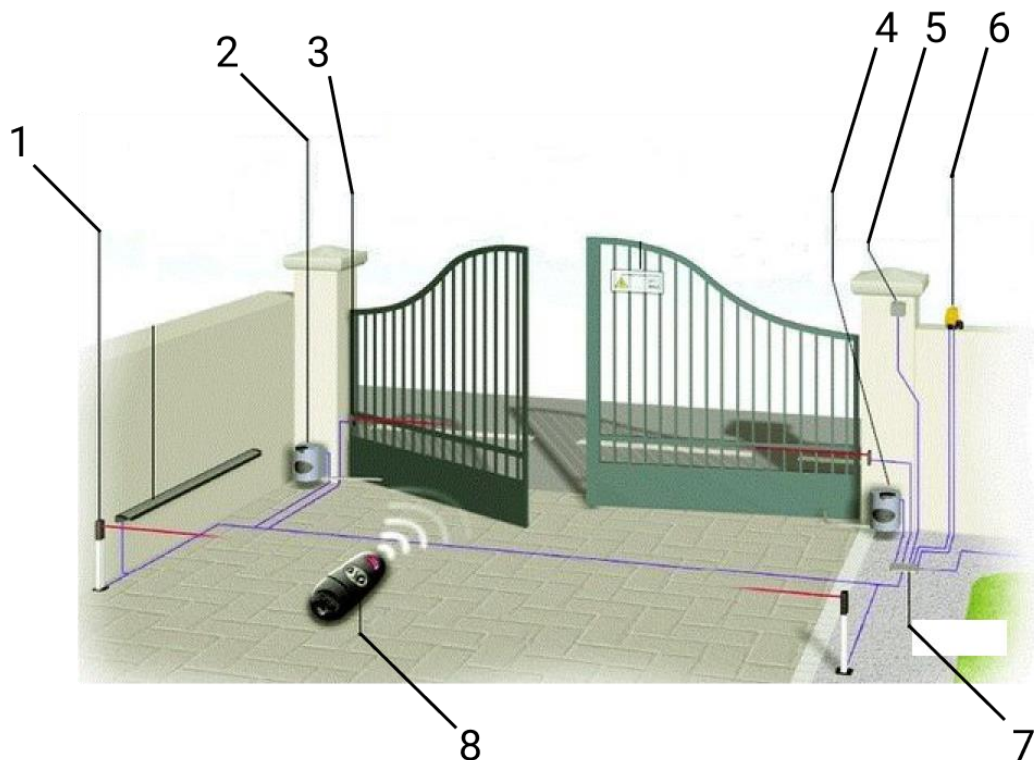


Рисунок 1.1 - Конструкція двостулкових воріт(1 – фотоелемент безпеки на стійках; 2 – електропривод; 3 – фотоелемент безпеки; 4 – другий електропривод, блок керування, радіоприймач, елементи блокування; 5 – ключ вимкнення; 6 – сигнальна лампа; 7 - розгалужувальна коробка; 8 – брелок керування)[2]

Принцип роботи системи управління двостулковими воротами наступний. Після натискання кнопки на пульті керування блок управління дає команду одразу двом електроприводам , які сполучені зі стулками, на відкриття чи закриття воріт.

Для безпеки та сигналізації про роботу автоматичної системи поруч встановлюється сигнальна лампа, а вздовж лінії переміщення стулок воріт встановлюються захисні фотоелементи на різному рівня, які заблокують рух воріт при появі автомобіля, тварини або людини.

1.2.1.2 Відкотні ворота

На противагу двостулковим воротам існує більш безпечна альтернатива - відкотні ворота [3]. Відкотні ворота, або як їх ще називають «розсувні ворота» – відрізняються від інших, тим що зсуваються в бік уздовж паркану. Вони не займають місця в отворі, на них практично не впливає вітрове навантаження. Також відкотні ворота набагато легше автоматизувати.

Відкотні ворота мають просту конструкцію. Вона складається з фундаменту з роликowymi опорами, каркасу з профільних труб або з т-подібного профілю з декоративною обшивкою (найчастіше з профнастилу) і направляючої. На фундамент відкотних воріт встановлюються 2 роликові опори. Ці ролики заводяться в направляючу(профільну балку) стулки яка повністю їх приховує з лицьової і внутрішньої сторони. І таким простим способом стулка воріт рухається – «відкочується».

Існує 2 способи приведення воріт в рух:

- механічний – зрушити стулку можливо лише при прикладенні фізичної сили;
- автоматичний – зрушити стулку можна за допомогою автоматики(привода)

для відкотних воріт.

Управління роботою ступок в автоматичному режимі надійно відбувається тільки тоді, коли всі механізми добре налагоджені і перевірені вручну. Тому ним займаються на заключному етапі будівництва.

Автоматика таких воріт може працювати:

- від стаціонарного пульта управління, розташованого, наприклад, на стіні будівлі;

- дистанційно на основі передачі радіокоманд від мобільного пульта-брелка на приймач, який керує вихідними сигналами роботи електродвигуна та інших елементів;

- від комбінації першого і другого способів.

Управління на основі дистанційних методів базується на принципах, що і для стаціонарно встановленого пульта зі звичайними кнопками запуску і відключенням простого електродвигуна.

Принцип роботи автоматики від стаціонарного пульта управління виглядає наступним чином. Привод воріт рухає ступки на відкриття або закриття при подачі напруги на електродвигун і припиняє свою дію відразу після його відключення. Цей принцип закладений в роботу блоку автоматики.

Для своєчасного і правильного управління приводом враховується:

- напрямок обертання ротора двигуна (до подачі напруги);
- момент зупинки обертання по досягненню ступками кінцевого положення;

безпека руху ступок щодо об'єктів всередині їх зони переміщення контролюється фотоелементами, наприклад, для запобігання ударів ступками по кабіні виїжджаючого автомобіля;

- перевищення величини навантаження на механізми приводу, здатної викликати їх пошкодження. Наприклад, відсунення снігу зусиллям приводу перед відкотними воротами може деформувати металеві деталі рами ступок. Тому включені в ланцюг навантаження двигуна датчики струму зафіксують зайве зусилля і відімкнуть напругу живлення.

При роботі автоматики від дистанційного пульта управління застосовується невелике ускладнення схеми керування, яке полягає в підключенні паралельно з кнопками управління електронних ключів. Вони працюють від сигналів приймача, який отримує радіокоманди з передавача пульта-брелка[4].

Ці прилади випускаються в досить великому асортименті (рисунок 1.2) з різними функціями, зовнішнім виглядом і елементами управління, але схожим принципом роботи.

Розташування датчиків контролю і елементів силової системи залежить від конструкції воріт і конкретних умов місцевості.

У всіх схемах автоматики передбачається система дублювання окремих робочих процесів, що дозволяє резервувати захисні функції. Наприклад, при відмові кінцевого вимикача зупинки ступки повинен працювати захист від перевантаження двигуна, який припинить роботу приводу і запобіжить поломці.

Окрім датчиків контролю роботи встановлюються фотоелементи безпеки. Місцями установки фотоелементів з відкотними конструкціями зазвичай служать:

- опорні стовпи або начільники;
- спеціальні виносні стійки, призначені для фотоелементів. Вони можуть бути заводського виробництва або виготовлені самостійно з профільної труби перетином 40*20 мм.



Рисунок 1.2 – Пульти-брелки для дистанційного керування воротами (а – Alutech AT-4N пульт 4-х канальний для автоматичних воріт [5]; б – Comunello Victor Vic-4Black RC пульт для автоматических ворот [5]; в – Пульт Nice Flo4RE для автоматичних воріт и шлагбаумів з радіокеруванням ERA FLOR [5])

Датчики з фотоелементами можуть встановлюються різній висоті (40-80 сантиметрів або 10-20 сантиметрів) в зоні в'їзду і в зоні ходіння воріт на стійках. Вони запобігають можливість контакту стулки воріт з людьми, тваринами і автомобілем. Схема розташування всіх елементів відкотних воріт зображено на рисунку 1.3.

Система управління воротами складається з наступних елементів: блоку управління і електроприводу. Як правило ці елементи розміщуються в одному корпусі для зручності експлуатації. Також тут розташовуються елементи електроживлення і дроти від всіх інших елементів системи.

Відкривання відбувається після натискання відповідної кнопки на дистанційному пульті. Система надсилає спеціальний закодований сигнал, який дає

команду електроприводу на відкриття або закриття воріт. За допомогою зубчастої рейки з упором і спеціальною кінцівкою блок керування отримує інформацію про повне відкриття чи закриття воріт.

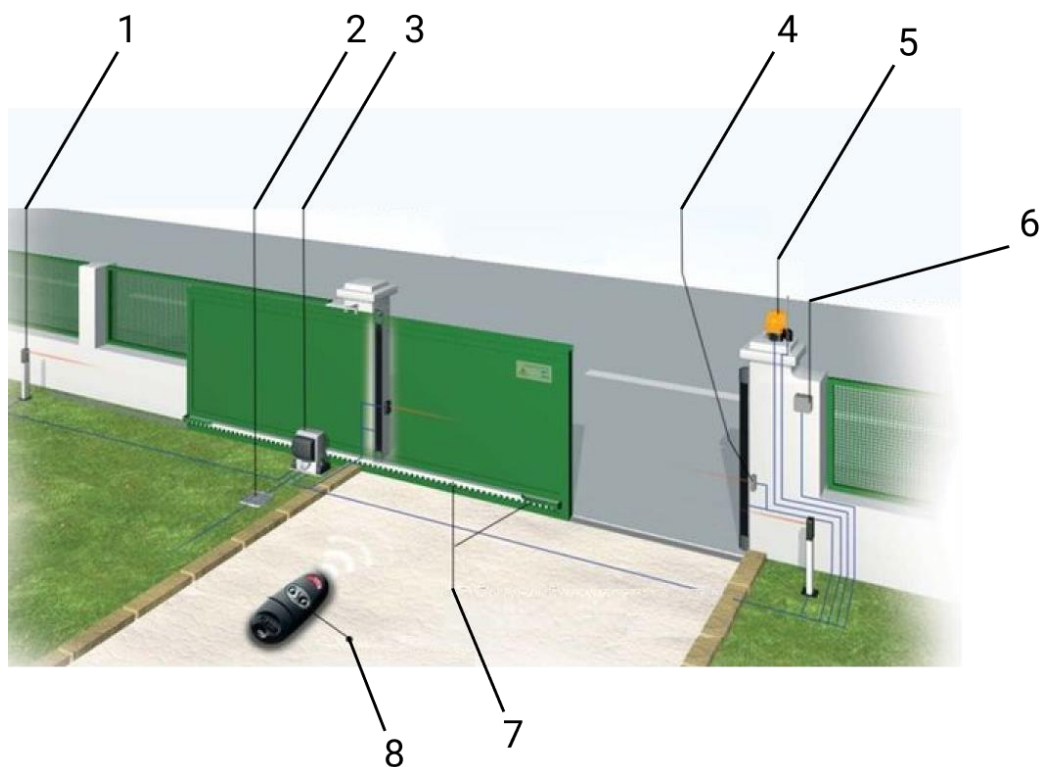


Рисунок 1.3 - Конструкція розсувних воріт (1 – фотоелемент безпеки на стойках; 2 – розгалужувальна коробка; 3 – другий електропривод, блок керування, радіоприймач; 4 - фотоелемент безпеки; 5 – сигнальна лампа; 6 – ключ вимкнення; 7 – зубчата рейка; 8 – брелок керування)[2]

1.2.2 Керування температурою

Завдяки використанню систем інтелектуального будинку можна оптимально використовувати системи опалення, роблячи великий внесок у заощадження електроенергії та водних ресурсів. Постійний контроль температури приміщень і автоматичне управління опаленням попереджає виникнення і розвиток критичних ситуацій — занадто холодно, мерзлякувато і сиро, надто жарко.

За комфортну температуру повітря у будинку відповідають такі опалювальні

прилади як радіатори, котли, нагрівальні кабелі підлоги та інші. Кожен з цих приладів має свій принцип роботи і виконує свою окрему функцію. Система опалювання має такі вузли як[6] і зображена на рисунку 1.4:

- котел - теплогенератор, що спалює паливо, нагріває воду – теплоносій;
- циркуляційний насос – переміщає теплоносій по трубах. Може бути встановлений як окремий елемент системи, але також може знаходитися безпосередньо в складі автоматизованого котла, як і деякі інші елементи;
- труби – використовуються сучасні пластикові або металопластикові труби різного діаметру;
- радіатори – передають енергію повітря;
- розширювальний бак - обов'язковий елемент рідинної системи опалення, призначений для прийому надлишку теплоносія, що виникає при тепловому розширенні в результаті нагрівання. Оберігає систему від аварії;
- група безпеки – елемент опалювальної системи, може бути в складі котла або окремо. Основні задачі цього елемента - увімкнення запобіжного клапану, автоматичне відведення повітря та функції манометра. Обов'язково встановлюється в будь-якій замкнутій системі;
- фільтр очищення - обов'язковий елемент для підготовки води перед використанням. Фільтр очищує воду від домішок - очищає воду від твердих домішок, таких як сміття та пісок, очищає воду від запахів, солей, розчинених газів, а також регулює жорсткість води.

Для керування безпосередньо температурою в приміщенні використовуються термостати. Термостат дозволяє регулювати потужність грілки і тим самим - підтримувати постійну температуру теплоносія. Подібний терморегулятор - це найпростіший пристрій автоматики для котла. Опалювальні котли з термостатами підійдуть тим, хто буває в замському будинку нерегулярно і хоче під час своєї відсутності економити енергію[7].

До більш досконалого, цифрового термостата можна підключити датчик температури, встановлений на вулиці. Датчик реагує на зміну погодних умов,

збільшуючи або знижуючи потужність котла. Так реалізується найпростіша схема системи опалення яка залежить від погоди.

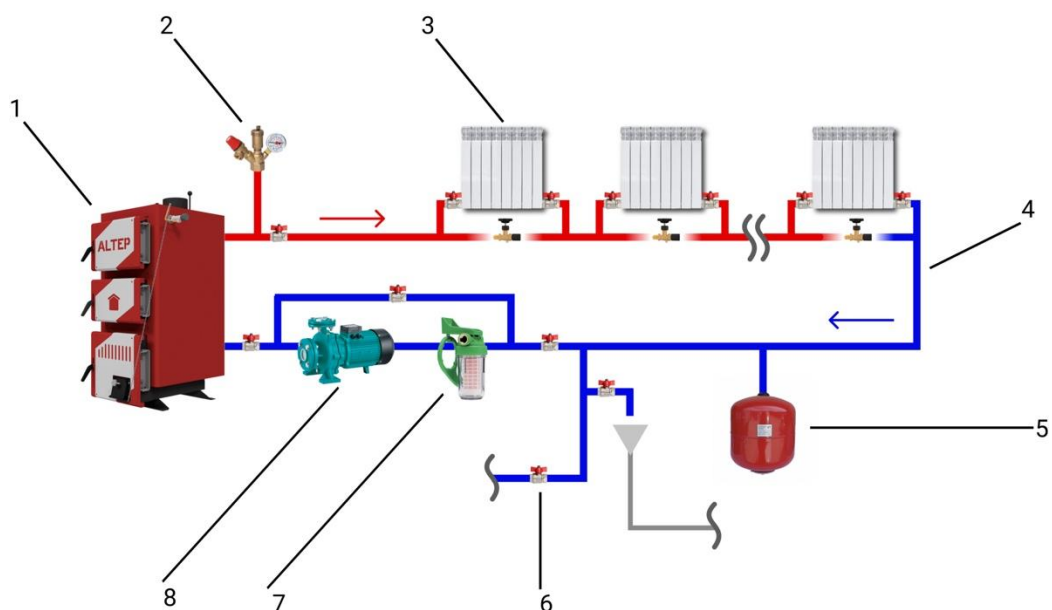


Рисунок 1.4 – Система опалення з основними вузлами (1 – котел; 2 – група безпеки; 3 – радіатори; 4 – труби для теплоносія; 5 – розширювальний бак; 6 – голкові крани; 7 – фільтр для води; 8 – циркуляційний насос)

Для систем інтелектуального будинку окрім цифрових термостатів використовується термостатичні головки і вентилі для радіаторів для регулювання температури в приміщенні. Такі пристрої можуть мати різну функціональність. Прості пристрої підтримують задану температуру, економлячи при цьому близько 20% витрат на опалення. Більш складні програмуються, підтримують певну температуру в залежності від часу доби і дня тижня. Найбільш сучасними пристроями можна управляти за допомогою смартфона через Інтернет, що виключає перевитрати енергії і втрату комфорту, навіть якщо власник вибивається з графіка. Часто такі пристрої мають додаткову функціональність, наприклад відключення опалення на період провітрювання.

Завдяки впровадженню цифрових технологій дуже зручним, особливо для будинків великої площі, від 150-200 квадратних метрів, є регулювання яке залежить від погоди або регулювання за певним сценарієм. Система включає або відключає

котел в залежності від зовнішньої температури і завчасно прогріває приміщення або економить паливо, підтримуючи всередині стабільну температуру.

Залежно від заданої програми система розумного будинку контролює роботу всіх елементів опалення. Температура повітря в кімнатах відстежується за допомогою датчиків. Від них інформація передається на блок управління температурою[7]. Цей пристрій володіє енергонезалежною пам'яттю - при відключенні електроенергії ні налаштування системи, ні отримана з датчиків інформація не загубиться. При відновленні живлення робота системи буде відновлена в повному обсязі. Розумний будинок функціонує в автоматичному режимі. Змінити програму можна за допомогою спеціального пульта або через комп'ютер, деякі системи підтримують функції дистанційного керування через телефон або Інтернет.

1.3 Огляд існуючих рішень для керування елементами розумного будинку

Для керування розумними будинками частіше за все використовують або штатні системи, наприклад штатний модуль керування в системі Ajax, або додаткові застосунки які встановлюються на пристрої користувача.

Для того аби користуватись додатком було зручно додаток для розумного будинку має бути в першу чергу функціональним. Для того щоб користувач міг вільно керувати будь-яким обладнанням, підключеним до системи, воно повинно комплексно взаємодіяти з технічними пристроями. Також необхідно, щоб додаток однаково добре працював на всіх пристроях, які є у господаря і у всіх членів сім'ї.

1.3.1 Система керування HomeKit від Apple

HomeKit[8] - це програмне забезпечення розроблене компанією Apple, яке дозволяє використовувати пристрої на операційній системі iOS для налаштування взаємодії с «розумними» побутовими приладами і системами. Іншими словами, це програмний комплекс, який об'єднує в мережу пристрої і дозволяє ними керувати з

мобільних приладів, а також за допомогою голосового помічника Siri. Програма була представлена в 2014 році одночасно з презентацією iOS 8.

Для того аби користуватись цим застосунком необхідно облаштувати сервер розумного будинку. Сервер розумного будинку - це центр керування всіма сумісними приладами через мережу інтернет. Для HomeKit такими центрами можуть виступити iPad, HomePod та Apple TV. Інтерфейс застосунку HomeKit увімкнений на iPhone, iPad и MacBook зображено на рисунку 1.5.

Сервер управління розумним будинком, прикладом може служити Apple TV, дозволяє об'єднати всі прилади в цілісну систему, налаштувати не складні сценарії роботи і після цього використовувати інші пристрої, наприклад, iPhone для управління. Але якщо потрібен простий функціонал, такий як наприклад керування світлом, кондиціонером, без налаштування певних сценаріїв роботи - достатньо одного мобільного пристрою без серверу розумного будинку.

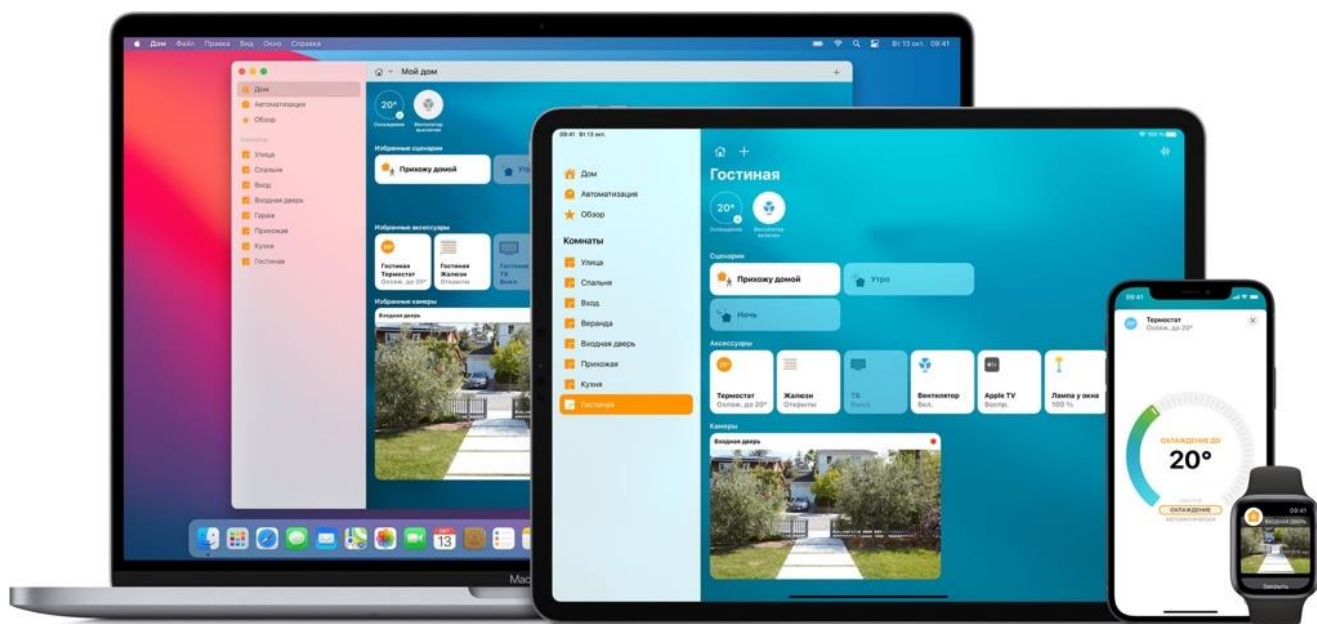


Рисунок 1.5 – Інтерфейс застосунку HomeKit увімкнений на iPhone, iPad і MacBook [8]

Переваги застосунку HomeKit:

- сервіс надає можливість інтеграції не лише з простими системами

автоматизації (наприклад, розумне освітлення), але й зі складними такі як відчинення вікон чи дверей;

- сервіс інтегрується в мобільну операційну систему, дозволяючи управляти пристроями з Пункту управління. Є повна підтримка голосового асистента без додаткових налаштувань;

- додаток працює на стаціонарному комп'ютері чи ноутбучі.

Недоліки застосунку Homekit[9]:

- далеко не всі пристрої без додаткового налаштування працюють з додатком Apple;

- девайси з нативною підтримкою HomeKit коштують дорожче аналогів;

для керування автоматизованою системою необхідно точно і явно вказувати команди які необхідно виконати;

- додаток не завжди коректно відображає всі параметри розумних пристроїв, наприклад такі як заряд вбудованої батареї, що для деяких пристроїв є критичним;

- деякі розширені можливості, на зразок нестандартних режимів роботи або точного вибору кольору освітлення недоступні в додатку Homekit. Для цього доводиться користуватися стандартними програмами від виробника;

- якщо необхідно використовувати складні сценарії необхідно облаштувати сервер розумного будинку і доналаштувати системи в самих приладах і додатку;

- це програмне забезпечення не являє собою повноцінну систему розумного будинку.

1.3.2 Система розумного будинку Ajax

Охоронна система Ajax[9] була представлена в 2011 році Олександром Конотопським. Метою компанії було зайняти нішу виробництва охоронних систем середнього цінового діапазону. З часом система компанія розробила свою систему для керування елементами розумного будинку.

Дана система автоматизації будинку в повній мірі справляється з двома важливими завданнями: система забезпечує комфорт і зручність в керуванні життєзабезпеченням приміщення, а також гарантує безпеку житла в повній мірі. Гарантія безпеки забезпечується контролем меж об'єкта на предмет злому, а також запобігає електричній, пожежній, газовій та іншим можливим загрозам будинку за рахунок великої кількості автоматизованих датчиків.

Головним блоком керування в системі Ajax є хаб. До цього хабу підключаються всі датчики, які є в асортименті виробника. Зовнішній вигляд та вигляд з середини хабу який використовується зображено на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 – Зовнішній та внутрішній вигляд хабу від Ajax [10]

Підключення всіх датчиків бездротове. Системи можуть використовувати як Wi-Fi, так і частоти в діапазоні 868,7-869,2 МГц. Завдяки цьому Тому роутер і система можуть працювати незалежно, не створюючи взаємних перешкод.

Протокол передачі даних між пристроями це власна розробка Ajax — протокол передачі Jeweller. Дані захищені AES-шифруванням, тому перехопити дані чи управління не вдасться.

Хаб підтримує кілька каналів зв'язку – це може бути Ethernet, мобільний GSM зв'язок(в хабі присутні місця для двох SIM-карт), 3G і Wi-Fi. Комбінації з двох технологій цілком достатньо: кабельний Інтернет можна використовувати як основний канал, мобільний — як запасний.

Для початку роботи необхідно зареєструватись в системі, використовуючи мобільний телефон та електронну пошту. Після успішної реєстрації є можливість додавати елементи розумного будинку такі як датчики диму чи води, датчики відкритих/закритих дверей і тому подібне. Окрім цього система Ajax підтримує підключення деяких сторонніх приладів, як наприклад розумних розеток чи датчиків руху. Завдяки цьому можна створити як захисну систему будинку так і розумний будинок.

Перевагами такої системи є :

- простий монтаж;
- бездротовий канал зв'язку між системними елементами;
- велика зона дії сигналу (до 2000 м);
- наявність захисту від зняття будь-якого з датчиків;
- можливий доступ інших користувачів – можна налаштувати повний або частковий або частковий доступ до керування елементами;
- автономна робота головного центру керування від акумулятора до 15 годин;
- багато каналів зв'язку – Ethernet, Wi-Fi, GSM-зв'язок, ;
- різноманітність способів інформування користувача про різноманітні ситуації(дзвінок, SMS, push-повідомлення);
- при інтеграції розумних розеток система показує витрату електроенергії з урахуванням підключених приладів і автоматично відключається при перепадах напруги;
- управління за допомогою смартфона (iOS, Android);
- велика мережа підключень – можна підключити до 100 різноманітних пристроїв і датчиків;
- наявність тривожної кнопки на пульті керування і можливість налаштування

окремого сценарію роботи при критичних ситуаціях

В свою чергу основним недоліком такої системи є функціонування системи тільки з роботою центрального контролера - хаба, тобто в системі відсутня автономність окремих датчиків [11].

1.3.3 Система керування елементами розумного будинку Xiaomi

Xiaomi - китайська компанія утворена в 2010 році, що стала відома завдяки своїй прошивці MIUI, на базі Android і фірмовим смартфонам. Асортимент продукції стрімко зростає, починаючи від телефонів, закінчуючи побутовою технікою та електро-велосипедами. В кінці 2014 року Xiaomi представила систему домашньої автоматизації, що складається з розумної розетки (Mi Smart Power Plug), камери спостереження (Yi Camera), розумної лампочки (Yeelight LED) і інфрачервоного блоку управління побутовою технікою (IR Remote Controller). За 7 років компанія значно розширила склад своєї системи автоматизації і активно продовжує представляти нові пристрої для автоматизації.

Для того аби автоматизувати будинок на базовому рівні необхідно використовувати комплект Xiaomi Smart Home Kit [11], яких складається з шести пристроїв і він зображений на рисунку 1.7:

- багатофункціональний шлюз(хаб), що є мозком системи, з яким взаємодіють всі інші пристрої;
- сенсор відкриття вікон/дверей - складається з двох частин, легко монтується на вікна або двері, а при розмиканні прилад повідомляє про це користувачеві;
- датчик руху та температури тіла, що реагує на появу людини або тварини в зоні дії датчиків;
- сенсор температури і вологості, що сигналізує користувачеві при зміні заданих параметрів на ± 3 градуси або відсотків відповідно;
- бездротовий перемикач - кнопка, що дозволяє створювати різні сценарії;
- розумна розетка, що працює по протоколу ZigBee.

Кожен з цих приладів можна придбати окремо в необмеженій кількості. Цей мінімальний набір дає волю фантазії - користувач своїми силами, використовуючи інструкцію від виробника, створює оптимальні для своєї домівки сценарії і налаштовує обладнання для їх реалізації.

Перевагами такого набору є:

- повна автономність пристроїв;
- можливість масштабування системи до необхідного розміру;
- бездротовий протокол ZigBee;
- зручне управління за допомогою смартфона через Wi-Fi;
- налаштування різних сценаріїв для різних систем за участі різноманітних пристроїв;
- компактність і стильний дизайн;
- низька вартість базового комплекту (всього 90\$).



Рисунок 1.7 – Базовий комплект Xiaomi Smart Home Kit (зверху вниз, з ліва на право: датчик температури, датчик руху, хаб, адаптер для підключення хабу до електромережі, датчик відчинення-зачинення дверей та вікон, датчик затоплення)[11]

Недоліки:

- дуже мала зона дії сигналу (до 10 м);
- малий набір сенсорів і виконавчих пристроїв в базовому наборі – для реалізації повномасштабних сценаріїв необхідно докупати кілька комплектів різних приладів, після цього вартість буде понад 150\$;
- для різних датчиків потрібно зберігати своє певне положення;
- відсутність резервного живлення головного центру управління – хаб працює лише від розетки.

Висновки до розділу

Таким чином, аналіз існуючих рішень створення елементів розумного будинку показав недоліки та переваги різних класів підсистем керування технологічними параметрами розумного будинку.

2 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕМЕНТАМИ РОЗУМНОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ GPS

В магістерській дисертації розроблена структурна схема системи керування елементами розумного будинку з використанням GPS, яка забезпечує ефективне керування температурою повітря у будинку та автоматичне керування відкотними воротами. Структурна схема представлена в Додатку А.

2.1 Аналіз основних елементів структурної схема системи керування елементами розумного будинку з використанням GPS

Система керування елементами розумного будинку з використанням GPS має такі основні блоки: підсистему керування температурою приміщення, підсистема керування в'їзними воротами, загальний блок керування та GPS модуль користувача. Розглянемо кожен із елементів системи окремо.

2.1.1 Підсистема керування температурою приміщення

Підсистема керування температурою приміщення має такі основні елементи: регулятор, модуль виконавчих пристроїв, система датчиків.

Роздивимось роботу кожного елемента окремо:

При роботі нагрівальних приладів потрібно контролювати ступінь нагріву теплоносія, а також повітря в приміщенні. Знімати і передавати інформацію допомагають датчики температури для опалення, відомості з яких можуть зчитуватися візуально або відразу ж направлятися в контролер.

Контролювати систему опалення можна різноманітними пристроями, серед яких:

- автоматичні пристрої для своєчасної енергоподачі;
- блоки, що стежать за безпекою;

– змішувальні вузли.

Для коректної роботи всіх цих груп необхідні датчики температур (термодатчики), що подають сигнали про поточне значення температури. Є ряд приладів, які виконую спостереження за відповідними значеннями для вчасного виявлення несправності в системі і вжити заходів щодо виправлення.

Термодатчик може використовуватися як окремий прилад, наприклад, для контролю за температурою кімнати, або бути нерозривною частиною складного пристрою, наприклад, опалювального котла.

В основу подібних пристроїв, що застосовуються в автоматизованому управлінні, покладено принцип перетворення температурних показників в електричний сигнал. Завдяки цьому результати вимірювання можна швидко передавати по мережі у вигляді цифрового коду, що гарантує високу швидкість, чутливість і точність виміру.

У той же час різні прилади для вимірювання стадії нагріву можуть мати конструктивні особливості, що впливають на ряд параметрів: роботу в певному середовищі, спосіб передачі, метод візуалізації та інші. Термоприлади можуть класифікуватися по ряду важливих критеріїв, серед яких спосіб передачі інформації, місце і умови монтажу, а також алгоритм зняття показань[6].

Для інтелектуальних будинків використовуються одночасно кілька видів термодатчиків для різних потреб. У будинках і квартирах термодатчики найчастіше використовуються для підтримки комфортної температури в приміщеннях, а також регулювання опалювальних систем – батарей, теплої підлоги. Для безпосередньо керування і відслідковування стану котла використовують термопари та терморезистори, а для жилих приміщень можуть використовуватись цифрові термодатчики.

Модуль виконавчих пристроїв включає в себе безпосередньо систему опалювання. Для житлових будинків в переважній більшості випадків застосовується водяна система опалення з примусовою циркуляцією рідини. Теплоносій (вода)

рухається по трубах під дією насоса, нагріває радіатори, від яких гріється повітря. Енергія для нагрівання теплоносія генерується в котлі.

В залежності від побажань користувача можна нагрівати будинок різними матеріалами [5]. Багато будинків опалюється природним газом з магістралей. Це найдешевший і зручний вид палива. Якщо в будинку є газова труба, найлогічнішим і найпростішим способом опалення приміщення буде підключення то газових магістралі і установка газового котла.

Також часто можна зустріти опалення дровами або іншими матеріалами в твердопаливних котлах. Це достатньо дешевий спосіб опалення але не зручним. Щоб спростити процес топки систему доповнюють буферною ємністю, або складними, не найкращими котлами тривалого горіння. Така конструкція має не найкращі показники якості і роботи.

Нині набирають популярність й електричні котли, так як вони дуже зручні в експлуатації і досить економічні якщо налаштувати певні режими роботи.

2.1.2 Підсистема керування в'їзними воротами

Підсистема керування в'їзними воротами має такі основні елементи: модуль виконавчих пристроїв, система датчиків безпеки.

Розглянемо роботу кожного окремо:

В модуль виконавчих пристроїв входить привід, за допомогою якого буде відбуватись відчинення чи зачинення дверей. В залежно від обраної системи відчинення воріт це може бути пара електроприводів для двостулкових воріт або один елемент електроприводу для відкотних воріт. Для автоматизації системи відчинення воріт було обрано систему відкотних воріт.

2.1.3 Загальний блок керування

Для того аби керувати всіма підсистемами розумного будинку і слідкувати за їх станом існують різні системи автоматизації. Існують системи централізованого та децентралізованого керування, з відкритим чи закритим протоколом передачі даних, а також дротові та бездротові системи керування [12].

Суть схеми роботи централізованої системи управління будинком в тому, що тут програмується один центральний елемент, який і керує усіма підсистемами. Найчастіше – це контролер розумного будинку з багатьма виходами. Для кожного об'єкта в системі пишеться програма, за допомогою якої і здійснюється управління виконавчими пристроями і підсистемами. Потім ця програма переміщується в контролер розумного будинку. Такий підхід дає можливість використовувати багатозадачні сценарії з використанням широкого вибору обладнання.

Перевагами централізованої системи автоматизації є єдиний інтерфейс для управління всіма підсистемами і елементами, можливість створення багатозадачних сценаріїв і підключення до системи практично будь-якого обладнання.

Але слід врахувати і деякі особливості при установці централізованих систем. В першу чергу це уразливість. Вся система управління залежить від центрального модуля. Якщо модуль виходить з ладу — завмирає вся система. Також людський фактор. Якщо загублено зв'язок з програмістом, який спочатку розробляв вашу систему, то внести зміни чи перепрограмувати систему іншій людині буде досить складно. Швидше за все доведеться писати програму заново.

На противагу централізованої системи автоматизації існує децентралізовані системи автоматизації. У децентралізованій системі кожен виконавчий пристрій в будинку містить в собі мікропроцесор, який в свою чергу містить в собі енергонезалежну пам'ять. Через такий підхід децентралізовані системи мають високу надійність.

У випадку виходу з ладу одного з пристроїв вся система працює коректно, за винятком тих приладів, які були підключені до пристрою, що вийшов з ладу. Прикладом децентралізованої системи є цифрові будинки, побудовані на технологіях KNX [13].

Основними ключовими особливостями KNX є сумісність продуктів різних виробників, єдиний програмний інструмент (Engineering Tool Software, скорочено - ETS) для планування, розробки та реалізації проєкту. З технічної точки зору, рішення дозволяють реалізувати всі популярні сценарії автоматизації, включаючи освітлення, управління кліматом і безпеку.

Переважна більшість проєктів KNX засновані на використанні спеціальної виділеної провідний шини(кручений пари). Всі контролери, датчики та виконавчі пристрої підключаються до дротової шини. На практиці це означає необхідність розробки проєкту і прокладку необхідних комунікацій під час будівництва або ремонту. Формально в стандарті існують і інші середовища передачі(зокрема мережа електроживлення і радіозв'язок), проте вони відносно рідко зустрічаються в проєктах.

В якості альтернативного варіанту, що не вимагає прокладки додаткової контрольної шини, досить часто використовуються схеми з виведенням всіх індивідуальних споживачів на загальний щиток. Обидві версії мають свої плюси і мінуси. При цьому допускається і їх поєднання, якщо зберігається відповідність специфікаціям KNX. До такої системи можна підключити досить багато виконавчих приладів та систем. Наприклад, до системи KNX можна підключити систему визначення координат користувача відносно координат будинку і в залежності від отриманих даних можна вмикати певні системи.

Перевагами децентралізованої системи автоматизації в першу чергу є надійність, всі пристрої в системі не залежать один від одного. У випадку виходу одного пристрою з ладу система буде продовжувати працювати.

Наявність енергонезалежної пам'яті в кожній з підсистем, у випадку поломки налаштування і конфігурації не будуть втрачені.

Популярність стандарту KNX так як не виникне питань з підключеннями, налаштуваннями, сервісним обслуговуванням, так як сертифікованих фахівців з даного обладнання в нашій країні досить багато. Також дизайн елементів. Вибір модельного ряду електрофурнітури, а також датчиків досить широкий як в плані дизайну, так і в плані його функціоналу.

Але слід також врахувати і деякі особливості при установці децентралізованих систем. Основною особливістю таких систем є великий обсяг щитового обладнання. Так як елементів в системі багато для кожного необхідно підготувати власний вихід, тому до щитки мають бути від п'ятдесяти до ста посадочних місць.

В загальному блоці керування може бути присутній GPS модуль який буде зчитувати координати будинку.

Для кожного GPS модуля є своя бібліотека для роботи з GPS. Наприклад, для модуля EB-500 є файл з описом тих даних з якими можна працювати.

У таку структуру і складатимуться розпарсені дані.

У бібліотеці є влаштована функція `gps_getc`. Вона зчитує отримані з порту символи, поміщає в буфер і при виявленні кінця рядка викликає функцію `gps_parse`, яка обробляє отриманий від GPS модуля рядок і розкладає дані в структуру, описану на рисунку 2.1.

```
typedef struct
{
    unsigned long    latitude;
    char            latitude_c;
    unsigned long    longitude;
    char            longitude_c;
    uint8_t         satels;
    double          altitude;
    double          geodeff;
    double          Time;
    uint8_t         Day;
    uint8_t         Month;
    unsigned int    Year;
    double          course;
    double          speed;
    uint8_t         actual;
} tpGPG;
```

Рисунок 2.1 – Структура даних отримана після виклику функції `gps_parse()[14]`

Для того, щоб можна було читати дані зі структури, зображеної на рисунку 2.1, до даних треба звертатись наступним чином GPS.latitude і GPS.speed.

За допомогою модуля ми можемо дізнаватись про всі GPS дані які нас цікавлять.

Модуль GPS видає інформацію в кількох варіантах. Для отримання координат достатньо використовувати одне повідомлення – це повідомлення RMC.

RMC - повідомлення, що містить всю найнеобхіднішу інформацію. Містить дані про час, місце розташування, курс та швидкості. Для таких повідомлень обов'язково має бути присутня контрольна сума, а інтервали передачі не повинні перевищувати 2 секунди. Всі повідомлення починаються з символів \$GP, потім іде 3 символи ідентифікатора формату повідомлення. Дані в повідомленнях розділяються комами, нулі не опускаються. В кінці може стояти контрольна сума після символу '*'. Контрольна сума 8 бітна для всіх символів повідомлень. RMC повідомлення має наступний вигляд, з якого можна дізнатись всю необхідну інформацію.

\$GPRMC,181057.000,A,5542.2389,N,03741.6063,E,0.47,74.50,190311,,A*51

\$GPRMC – ідентифікатор повідомлення.

181057.000 — час 18.10.57.

A — дані достовірні, V — не достовірні.

5542.2389,N — широта («N» для північної або «S» для південної широти).

03741.60637,E — довгота («E» для східної або «W» для західної довготи).

0,47 — швидкість (вузлів за годину).

74,50 — шляховий кут в градусах. Дробове число. Значення, яке рівне 0 - відповідає руху на північ, 90 — схід, 180 — південь, 270 — захід.

190311 — день 19.03.2011.

A — режим: «A» — автономний, «D» — диференціальний, «E» — апроксимація, «N» — невідомі дані.

*51 — контрольна сума.

Завдяки таким даним можна обрахувати координати будинку, дату та час.

2.1.4 Мобільний телефон

За допомогою мобільного телефону користувача може здійснюватися керування підсистемами опалення та підсистемою керування в'їзними воротами. Технологія заснована на використанні навігаційних даних користувача.

В будь-якому сучасному телефоні уже вбудований GPS модуль за допомогою якого користувач може користуватись навігаційними картами. Також цей модуль можна використовувати для власних цілей.

Алгоритм роботи будь-яких навігаційних системи можна описати наступним чином: на орбіті знаходиться кілька супутників [14]. Вони представляють із себе точні атомні годинники з антеною і сонячною батареєю. Супутник надсилає радіосигнал, в якому міститься точний час. Цей сигнал рухається до приймача зі швидкістю світла. В якості приймача може бути смартфон, планшет або спеціальний навігатор, тобто любий пристрій який зможе прийняти цей радіосигнал. У випадку даної системи - це буде телефон користувача і приймач у будинку. Всередині смартфона присутній мобільний процесор і однією з важливих частин процесора є модем. Модем приймає сигнал від вишок стільникового зв'язку, Wi-Fi, Bluetooth і багато інших сигналів. Іноді такий модем може не бути частиною процесора, а представляти з себе окремий чіп. Коли модем отримує сигнал від супутника, він порівнює час відправлений супутником час зі своїм і після цього визначає різницю. Знаючи швидкість сигналу і час, який знадобився для його проходження, приймач розраховує на якій відстані знаходиться супутник.

Зберігаючи 3 набори даних від трьох різних супутників і знаючи точне положення супутників на земній орбіті можна обчислити координати приймача. Супутники рухаються по орбіті з постійною швидкістю і їх координати відомі з високою точністю в кожен момент часу. Ці дані зібрані в «альманахи» - таблиці з даними. Такими таблицями повинен обов'язково керуватись будь-який супутниковий приймач ще до початку змін. В смартфонах альманахи зберігаються в пам'яті

радіомодуля. Маючи мінімум три набори даних з трьох різних супутників з'являється можливість визначити місце розташування приймача.

Для отримання найбільш точних результатів і для уникнення помилок завжди використовуються дані з четвертого супутника. Отже, дані з 4-х супутників - це мінімальний набір даних, який необхідний для коректної роботи GPS функції. Чим більше супутників зможе «побачити» телефон, тим точніше він зможе визначити своє місце розташування. Саме з цією метою всі виробники GPS чіпів налаштовуються в своїх пристроях підтримку максимальної кількості навігаційних систем.

Для визначення скільки супутників може визначити конкретний смартфон, необхідно скористатися спеціальним додатком для визначення. У сучасних смартфонах за замовчуванням вже існує підтримка GPS і GLONASS систем. Також, до цього списку можна додати ще одну мережу - європейську мережу Galileo. Завдяки великій кількості навігаційних систем, смартфони можуть збирати інформацію про місцезнаходження з рівновіддалених супутників, об'єднувати та обробляти отримані дані і видавати користувачеві смартфона максимально точний і якісний результат.

Але навігація в сучасних телефонах не обмежується лише даними з супутників GPS. Для підвищення швидкості, точності і якості навігації використовуються також дані з вишок стільникового зв'язку. Така технологія називається Location-based service(LBS) [15].

Location-based service - це загальний термін, що позначає програмні сервіси, які використовують географічні дані та інформацію для надання послуг або інформації користувачам. LBS може використовуватися в різних контекстах, таких як пошук об'єктів в приміщенні і на зовні, здоров'я, реклама та багато іншого. Зазвичай використовувані приклади послуг, заснованих на місцезнаходження, включають навігаційне програмне забезпечення, служби соціальних мереж, рекламу на основі місця розташування і системи відстеження. LBS також може включати мобільну комерцію у формі купонів або реклами, спрямованої на клієнтів залежно від їх поточного місця розташування. LBS включає в себе персоналізовані погодні служби та навіть ігри на основі місцезнаходження.

Під «Пошуком» в стільниковому LBS мається на увазі не визначення місця розташування безпосередньо мобільного телефону, а прив'язка його місця розташування до орієнтирів, нанесених на карту LBS-системи оператором стільникового зв'язку і надається в простій і зрозумілій для людини формі. Завдяки цим даним, смартфони можуть визначити положення на карті з точністю кількох метрів, після чого довантажує дані з мережі про наявні в супутниках дані в конкретний момент часу в чітко визначеному місці, і на основі цієї інформації приймають необхідний сигнал.

2.2 Опис роботи основних елементів структурної схема системи керування елементами розумного будинку з використанням GPS

Базуючись на координатах користувача за допомогою визначення його GPS локації здійснюється керування підсистемами розумного будинку, а саме опалення і в'їзними воротами.

2.2.1 Алгоритм керування підсистемою керування опаленням

Система керування опаленням буде вмикатись тоді коли відстань від користувача до будинку буде 20км. Для точного прорахунку відстані необхідно прорахувати час, за який кімната нагріється до бажаної температури. Для цього необхідно визначити потужність теплових приладів (в даному випадку калориферів), бажану температуру в приміщення, сталу температуру, площу кімнати та теплопровідність повітря.

Визначити час можна за такою формулою:

$$t = \frac{C * V * T}{P}, \quad (2.1)$$

де C – теплопровідність повітря, $1005 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$;

V – об'єм кімнати;

$T = (t_{\text{баж}} - t_{\text{стале}})$ – різниця температур, $t_{\text{баж}}$ бажана температура в приміщенні, $t_{\text{стале}}$ температура в приміщенні до нагрівання;

P – потужність калориферів.

Виконаємо розрахунок часу для кімнати з наступними параметрами. Площа кімнати 20м^2 , висота стелі 2.7м , потужність калорифера 6000Вт , бажана температура в приміщенні 22°C , температура до нагрівання - 19°C .

Для обчислення температури необхідно порахувати об'єм кімнати:

$$V = S * h, \quad (2.2)$$

де h – висота стелі.

Розраховуємо:

$$V = 20 * 2.7 = 54\text{м}^3 \quad (2.3)$$

Тепер розраховуємо різницю температур:

$$T = (22 - 19) = 3^\circ\text{C} \quad (2.4)$$

Так як потужність калорифера відома можна виконати розрахунок часу:

$$t = \frac{1005 * 54 * 3}{6000} \approx 30\text{с} \quad (2.5)$$

Приблизний час нагріву до 1 хвилини, але варто враховувати що ця формула справедлива для умов коли в приміщенні нема тепловтрат.

Точні розрахунки часу нагрівання повітря в кімнаті вкрай складні, тому що необхідні спеціальні знання, програми. Необхідно врахувати безліч параметрів розрахунків, це об'єм приміщення, з якого матеріалу зведені стіни, стелі, підлоги. Як і якими матеріалами утеплена будівля, скільки дверних та віконних отворів у приміщенні, їх точні розміри та загальна площа. Регіон проживання. Також необхідно зважати на орієнтацію приміщення (будівлі) по сторонах світу та наявність або відсутність склопакетів у вікнах.

Для простоти розрахунків було взято час 15хв.

Середня швидкість руху пішохода в місті 5км/год, на велосипеді - 15 км/ч, на автомобілі – 30км/год, максимальна швидкість руху на автомобілі в місті - 50км/год. Відстань між користувачем і будинком було обрано 20км. За допомогою формули для прорахунку часу можемо дізнатись скільки часу буде затрачено на проходження цієї дистанції. Для пішоходів цей час становить 4 години, для велосипедистів - це 1.3 годину, для автомобіля цей час становить від 25 хвилин(при швидкості в 50 км/год) до 40 хвилин(при швидкості в 30 км/год). Так як час проходження дистанції 20км більший за представлений час нагрівання, тому такої дистанції цілком вистачить для повного прогрівання кімнат в будинку.

Користувач може самостійно налаштувати відстань при якій має відбуватись керування опаленням, а також налаштувати бажану температуру.

У випадку якщо між користувачем і будинок відстань понад 20км, система буде переходити в економний режим, тобто температура буде підтримуватись на рівні 19-20°C.

2.2.2 Алгоритм керування підсистемою в'їзних воріт опаленням

Система керування в'їзними воротами буде вмикатись тоді, коли відстань від користувача до будинку буде 5-10м. Цієї відстані достатньо для того, щоб підсистема керування воротами перевірила працездатність автоматики і почала процес відчинення воріт.

Якщо всі складові автоматики працюють, буде надіслано повідомлення про те, що автоматика працює і вона почне відкочувати стулку воріт на відчинення і користувач без проблем потрапить усередину двору. Так як буде встановлено кілька фотоелементів безпеки стулка не вдарить проїжджаючий автомобіль, людей чи тварин.

Якщо ж якийсь із складових автоматики не працює, наприклад, при використанні пружин для сигналізації крайнього положення стулки, вони можуть примерзати і надсилати не правильні сигнали до автоматики, буде надіслано повідомлення про непрацюючу автоматику. І ворота не буде відчинено, аби не пошкодити силові механізми. В такому випадку користувач має самостійно відчинити ворота.

Ворота можна закрити за допомогою натискання кнопки зачинення/відчинення воріт в будинку на основному пульті керування.

2.2.3 Алгоритм визначення відстані користувача від будинку

Для визначення координат використовується наступний метод обчислення.

Форма Землі відрізняється від кулі і має дещо сплющену форму, близьку до сфероїда(еліпсоїда обертання), але справжня фігура Землі відрізняється і від сфероїда, і від тривісного еліпсоїда і не може бути представлена жодною з відомих математичних фігур. Тому, говорячи про фігурі Землі, мають на увазі не фізичну форму земної поверхні, з океанами і материками, з їхніми височинами та впадинами, а так звану поверхню геоїду.

Для вирішення багатьох завдань навігації та складання карт дрібного масштабу Землю приймають за сферу(кулю).

Положення точки на земній сфері визначається сферичними координатами: сферичною широтою та сферичною довготою - географічні координати.

Сферична широта точки A — кут φ між площиною екватора та напрямом R на цю точку із центру земної сфери(рисунок 2.2, 2).

Сферична довгота точки А - кут λ , укладений між площиною нульового (Гринвічського) меридіана та площиною меридіана даної точки (рисунок 2.6, 1).

Середній радіус Землі $R = 6371,210$ км.

Номінальний екваторіальний радіус Землі $R_E = 6378,1$ км.

Номінальний полярний радіус Землі $R_{\Pi} = 6356,8$ км.

Довжина дуги меридіана (дуги екватора, дуги кола великого кола) в 1° , $1'$ і $1''$ дорівнює відповідно: 111.2 км, 1.852 км та 30.9 м.

Завдяки цим даним та законам сферичної тригонометрії можна розрахувати відстань між точками розташованими на сфері. Найкоротша відстань між двома точками на земній поверхні (якщо прийняти її за сферу) визначається залежністю:

$$\cos(d) = \sin(\varphi_A) * \sin(\varphi_B) + \cos(\varphi_A) * \cos(\varphi_B) * \cos(\lambda_A - \lambda_B), \quad (2.6)$$

де φ_A та φ_B – широти, λ_A та λ_B – довготи відповідних точок, d – відстань між точками, яка вимірюється в радіанах довжини дуги великого кола земної кулі.

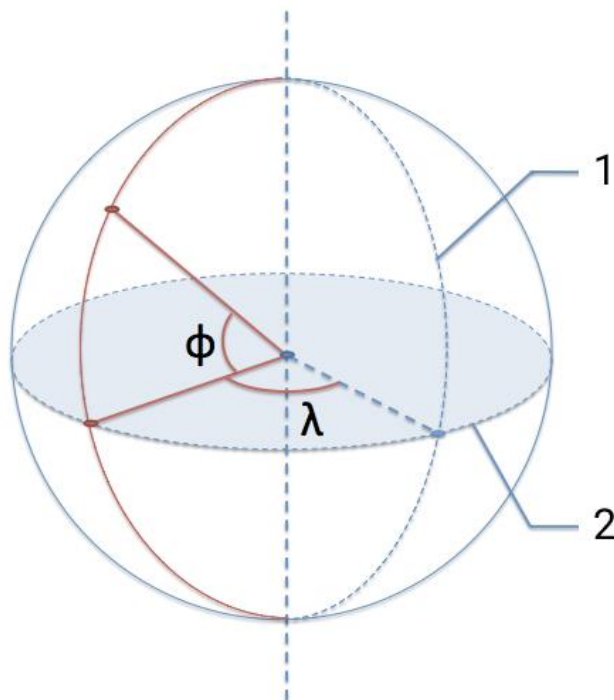


Рисунок 2.2 – Визначення сферичної довготи та широти на глобусі (1 – нульовий Гринвічський меридіан; 2 – площина екватора)

В свою чергу відстань між пунктами, що вимірюється в кілометрах, визначається за формулою:

$$L = d * R, \quad (2.7)$$

де $R = 6371$ км - середній радіус земної кулі.

Для розрахунку відстані між пунктами, розташованими в різних півкулях (північна-південна, східна-західна), знаки (\pm) у відповідних параметрів (широт або довгота) мають бути різними.

Наприклад порахуємо відстані – відстань між будинком і користувачем більше 20 км, відстань від користувача менше 20 км і відстань від користувача менше 5м.

2.2.3.1 Розрахунок 1 – відстань більше 20км

Розрахунок відстань між користувачем і будинком становить більше 20км.

Координати будинку 50.50829033598633, 30.807970762641194.

Координати заданої точки 50.455890183706465, 30.612766265043756.

За формулою (4.3) розраховуємо найкоротша відстань між двома точками на земній поверхні.

$$\begin{aligned} \cos(d) &= \sin(50.50829033598633) * \sin(50.455890183706465) & (2.8) \\ &+ \cos(50.50829033598633) * \cos(50.455890183706465) \\ &* \cos(30.807970762641194 - 30.612766265043756) \\ &= 0.9869118564111719 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= \arccos(0.9869118564111719) * R = & (2.9) \\ &= \frac{(1031894.174474027)}{1000} = 1031.89(\text{км}) \end{aligned}$$

Відстань між об'єктами становить 1031.89 км, тож користувач за колом радіуса 20км. А отже підсистема керування опаленням працює в штатному режимі, і підсистема керування в'їзними воротами тримає ворота зачиненими.

2.2.3.2 Розрахунок 2 – відстань менше 20км

Розрахунок відстань між користувачем і будинком становить менше 20км.

Координати будинку 50.50829033598633, 30.807970762641194.

Координати заданої точки 50.508195636289784, 30.80799045870454.

За формулою (4.3) розраховуємо найкоротша відстань між двома точками на земній поверхні.

$$\begin{aligned} \cos(d) &= \sin(50.508195636289784) * \sin(30.80799045870454) & (2.10) \\ &+ \cos(50.508195636289784) * \cos(30.80799045870454) \\ &* \cos(30.807970762641194 - 30.80799045870454) \\ &= 0.9999980824738743 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= \arccos(0.9999980824738743) * R = & (2.11) \\ &= \frac{12476.47880230825}{1000} = 12.467 \end{aligned}$$

Відстань між об'єктами становить 12.4764 км, тож користувач в колі радіусом 20км. А отже підсистема керування опаленням почала працювати і налаштувала температуру в приміщенні на 26 градусів. Для цього увімкнула калорифери. В той же підсистема керування в'їзними воротами тримає ворота зачиненими.

2.2.3.2 Розрахунок 3 – відстань менше 10м

Розрахунок відстань між користувачем і будинком становить менше 10м.

Координати будинку 50.50829033598633, 30.807970762641194.

Координати заданої точки 50.5082172507354, 30.807853121110895.

За формулою (4.3) розраховуємо найкоротша відстань між двома точками на земній поверхні.

$$\begin{aligned} \cos(d) &= \sin(50.5082172507354) * \sin(30.807853121110895) & (2.12) \\ &+ \cos(50.508195636289784) * \cos(30.807853121110895) \\ &* \cos(30.807970762641194 - 30.80799045870454) \\ &= 0.9999999998288017 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L &= \arccos(0.9999999998288017) * R = & (2.13) \\ &= \frac{114.20599714993526}{1000} = 0.1142366912(\text{км}) \end{aligned}$$

Відстань між об'єктами становить 0.114 км, тож користувач в колі радіусом 10м. А отже підсистема керування опаленням уже працює і нагріла приміщення до заданої температури. А підсистема керування в'їзними воротами починає свою роботу – перевіряє автоматику та дає команду на відчинення воріт.

Висновки до розділу

Розроблена структурна схема керування елементами розумного будинку, а саме: підсистема керування температурою приміщення та підсистема керування розсувними воротами. А також виконано розрахунок відстані користувача реального часу до координат розташування розумного будинку з використанням технологій GPS.

3 РОЗРОБЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕМЕНТАМИ РОЗУМНОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ GPS

Функціональна схема системи керування елементами розумного будинку з використанням GPS побудована на базі структурної схеми. Функціональна схема системи керування елементами розумного будинку з використанням GPS зображена в Додатку Б.

3.1 Підсистема керування температурою приміщення

Підсистема керування температурою приміщення включає в себе систему датчиків – це датчики температури, які розташовані в різних частинах будинку. Це можуть бути різноманітні датчики для різних задач. Для керування температурою приміщень має передаватись інформація на регулятор, за допомогою якого і буде здійснюватися керування.

3.1.1 Датчики температури

За способом передачі інформації датчики поділяються на дві великі категорії - дротові датчики та бездротові датчики [6].

На початку всі пристрої для вимірювання температури оснащувалися дротами, через які термодатчики зв'язувалися з блоком управління, передаючи на нього інформацію. Хоча зараз такі пристрої потіснили бездротові аналоги, вони все ж часто використовуються при простих схемах. Дротові датчики відрізняються більшою точністю показань і надійністю в роботі.

В даний час поширення набули бездротові пристрої, які найчастіше передають відомості за допомогою передавача і приймача радіохвиль. Подібні прилади можна монтувати практично всюди, включаючи окреме приміщення або відкрите повітря.

Важливими характеристиками подібних термодатчиків є:

- наявність акумулятора;
- похибка проведених вимірювань;
- дальність передачі сигналу.

Бездротові або дротові пристрої можуть повністю замінити один одного, проте в їх функціонуванні є деякі особливості.

Для зняття показань температури використовуються пристрої, що мають різний принцип дії:

Датчики термопари. Прилад складається з двох спаяних один з одним дротів, зроблених з різних металів. Різниця температур, що виникає між гарячим і холодним кінцем, служить джерелом електричного струму величиною 40-60 мкВ, показник залежить від матеріалу термопари. Найбільш часто для виготовлення термопар застосовуються такі комбінації металів і сплавів: хром-алюміній, залізо-костантан, залізо-нікель, нікель-хром та інші. Структура термопари яка використовується для опалювальних систем зображена на рисунку 3.1.

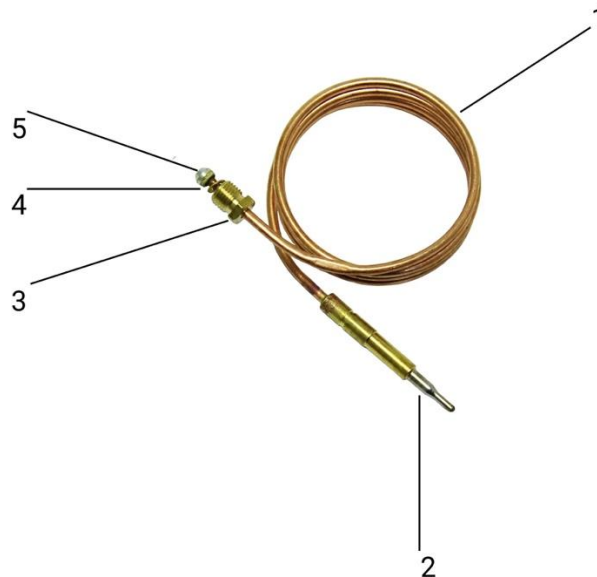


Рисунок 3.1 – Термопара для системи опалення (1 - подовжувач; 2 – термоелектрод з «гарячим» спаєм з двох різнорідних сплавів; 3 - кріпильна гайка; 4 – діелектрична шайба; 5 – центральний контакт)[17]

Термопара вважається високоточним температурним датчиком, проте зняти точні показання з неї досить складно. Для цього потрібно дізнатися електрорушійну силу (ЕРС), використовуючи різницю температур пристрою.

Щоб результат був коректний, важливо компенсувати температуру холодного спаю, застосовуючи, наприклад, апаратний спосіб, при якому друга термопара поміщається в середу заздалегідь відомої температури.

Терморезистори (рисунок 3.2). Значно простіше вимірювати температуру за допомогою терморезисторів, в основу яких покладено принцип залежності опору матеріалів від температури навколишнього середовища. Подібні пристосування, наприклад, зроблені з платини, мають такі важливі переваги як висока точність і лінійність.



Рисунок 3.2 – Терморезистор для опалювальних систем[17]

Основною проблемою подібних термодатчиків можна вважати вкрай низький температурний коефіцієнт опору, проте точно виміряти його все ж легше, ніж вловити малі значення напруги термопар.

Широке застосування отримали також цифрові термодатчики. Робота таких датчиків за допомогою мікросхеми, що має три виходи. Завдяки такому пристрою можливо знімати температурні показання одночасно з декількох паралельно працюючих датчиків, при цьому похибка дорівнює всього 0,5°C.

Серед інших переваг цього пристосування можна відзначити також широкий спектр робочих температур (-55+125°C). Головний же недолік - повільна робота: для максимально точних обчислень приладу потрібно не менше 750мс.

При виборі датчиків температури слід враховувати такі як фактори як:

- температурний діапазон, в якому проводяться вимірювання;
- необхідність і можливість занурення датчика в об'єкт або середовище;
- умови проведення виміру: для зняття показників в агресивному середовищі краще віддати перевагу безконтактний варіант або модель, вміщену в антикорозійний корпус;
- термін експлуатації приладу до калібрування або заміни-деякі типи приладів (наприклад, термістори) досить швидко виходять з ладу;
- технічні дані: роздільна здатність, напруга, швидкість подачі сигналу, похибка;
- величина сигналу виходу.

У деяких випадках також важливий матеріал корпусу приладу, а при використанні в приміщеннях – розміри і дизайн.

3.1.1.1 Вибір датчиків температури

Для вимірювання температури було розглянуто наступні датчики для розумних будинків:

- датчик температури і вологи connect home — ch-s02[18];
- датчик температури та вологи z-wave plus popp mold detector - pore701202[19];
- Xiaomi Mijia bluetooth hygrothermograph 2[20].

Результати порівняння були занесені в таблицю 3.1 – Порівняльна характеристика датчиків температури для розумного будинку.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика датчиків температури для розумного будинку

Критерії відбору	Connect home	Z-wave plus popp mold detector	Xiaomi Mijia bluetooth hygrothermograph
Похибка	1%	0.25%	0.25%
Діапазон температур	-55°C до +90°C	0 до + 65 ° C	-55°C до +90°C
Вихідний сигнал	4-20мА	4-20мА	4-20мА
Джерело живлення	Від мережі	ER14250	1 x CR2032
Протокол передачі даних	S-Bus	Z-Wave Plus	WiFi
Сумісність з іншими системами	За умови присутності приладу ConnectHome	так	так
Підтримка дистанційного керування	ні	так	так

Виходячи з таблиці 1 було обрано датчик Xiaomi Mijia bluetooth hygrothermograph так як він має уніфікований вихідний сигнал 4-20 мА, повністю вдовольняє всі потреби по вимірюванню температури в приміщенні та межі вимірювання достатньо великі, його легко інтегрувати в уже налаштовані системи за рахунок роботи по мережі WiFi

3.1.1.2 Модуль виконавчих пристроїв

В модуль виконавчих пристроїв входить безпосередньо сама система опалення. В цю систему входять такі елементи:

- нагрівальний елемент - калорифер;

- термостати;

- сервоприводи, які приводять в рух регулятори або керують клапанами опалювального обладнання;

В залежності від обраної системи опалення керувати температурою можна по різному. На сьогоднішній момент, найбільш популярним методом опалювальної системи є електричне опалення. Існує кілька видів електричного опалення:

- Електрокотли, підключені до контуру водяного опалення.
- Теплова помпа.
- Конвектори, що нагрівають повітря в приміщенні.
- Інфрачервоні обігрівачі, які нагрівають предмети в приміщенні.
- Електричний підігрів підлоги (плівковий і кабельний).

Електрокотли для опалення розділені за типами нагрівальних елементів. Електрокотли можна розділити на дві великі групи: електрокотли з трубчастими електричними нагрівачами і електрокотли з електродами.

У першому випадку з трубчастими електричними нагрівачами нагрів теплоносія відбувається всередині котла. Зазвичай, в котлі встановлено від 2 до 4 теплових електричних нагрівача, які включаються незалежно один від одного.

Основними блоками які допомагають керувати роботою і температурою котла є блоки програматора, термостату і автоматики. Основні функціональні елементи електрокотлів зображені на рисунку 3.3.

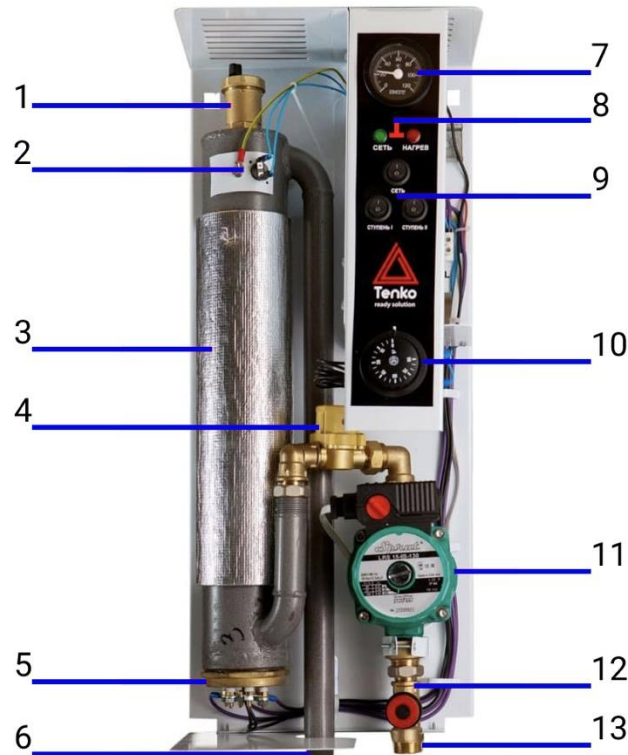


Рисунок 3.3 – Електрокотел(1- клапан автоматичного скидання повітря; 2 – термовідсікач; 3 – теплообмінник; 4 - реле протоку; 5 – блок тепло енергетичних нагрівачів; 6 – патрубок подачі; 7 – термометр; 8 – світлові індикатори станів; 9 – кнопки мережі та ступенів нагріву; 10 – термостат; 11 – насос; 12 – запобіжний клапан; 13 – патрубок зворотної подачі)[7]

Програматор може регулювати температуру в залежності від дня тижня і часу доби. Це значно скорочує споживання електроенергії. При правильному підборі режиму економія електрики становить до 30-40%.

Кімнатний термостат дає можливість точно і економно управляти роботою електричного котла в залежності від температури повітря в приміщенні, а не температури теплоносія. Завдяки цьому під час несподіваних потеплінь на вулиці котел буде автоматично перемикається на меншу потужність.

Автоматика електрокотла спрощує керування роботою котла а також подовжує термін роботи самого котла, так як регулює основні робочі параметри пристрою без постійної присутності людини.

Залежно від способу роботи автоматика буває:

- механічна(термореле, біметалічні термостати, контактори) – проста у виконанні, не дорога, але не точна і голосна;

- електронна - більш точна, але дорожча. Часто сумісна з блоками дистанційного керування, виносними датчиками. Завдяки такій автоматичі котел витрачає електроенергії на 15-20% менше.

На противагу електрокотлів в ТЕНами електродні котли опалення нагрівають теплоносії струмом, який пропускається через рідину від одного електрода до іншого. В котлах електродного типу в якості теплоносія застосовують пропіленгліколь.

Потужність нагріву регулюється кількістю включених нагрівачів і може становити сумарно від 3 до 50 кВт. Для забезпечення більшої сумарної потужності електричні котли встановлюють каскадом. Циркуляційний насос забезпечує рух теплоносія.

Перевагами таких електричних котлів є:

- екологічність-робота без відходів;
- низька вартість опалювального обладнання та системи;
- легкість монтажу та експлуатації;
- низька інерційність - регулювання потужності, включення і виключення відбуваються відразу.

- електронне управління за сигналами від винесених датчиків температури повітря і/або теплоносія в системі опалення;

- ККД близько 99,8%.

Іншим варіантом керування температурою в приміщенні являються теплові помпи. Теплові насоси – найбільш економний вид опалення з використанням електрики. Вони не використовують безпосередньо електрику для отримання тепла - електрична енергія потрібна тепловому насосу для роботи циркуляційного насоса і компресора.

Теплонасоси як правило встановлюються в системах з водяним або повітряним опаленням. Перетворення і передача теплової енергії із зовнішнього середовища в

безпосередньо опалювальну систему відбувається в співвідношенні з витраченою енергією у відношенні 4 до 1. Таким чином, опалення тепловим насосом в 4 рази економніше, ніж будь-яким іншим електричним приладом.

Для всіх теплонасосів які нині випускаються виробниками потужність становить від 6 до 30 кВт. А для забезпечення більшої потужності системі теплові насоси встановлюються каскадною системою, яка оснащується загальним пультом управління.

Головний недолік теплових насосів - висока вартість самого обладнання та його установки. Але недолік окупається економією коштів під час експлуатації.

Також ще одним із варіантів опалення будинку є конвектори та теплові панелі. У ролі нагрівального елемента в конвекторах виступає тепловий електронагрівач, який нагріває повітря всередині металевого корпусу конвектора. Циркуляція повітря відбувається в результаті природного фізичного явища - руху теплого повітря вгору.

Конвектори можуть встановлювати на підлогу або кріпитись на стіну.

Управління температурою на конвекторі забезпечує електроніка яку можна запрограмувати за певними параметрами. В таку систему без проблем можна підключити автоматичні системи для віддаленого керування.

Електричні конвектори і панелі випускаються потужністю від 1 до 3 кВт, вони розраховані на обігрів однієї кімнати до 30 кв.м. Для того щоб повністю обігріти будинок, потрібно в кожную кімнату встановлювати окремий прилад, так як за рекомендаціями 1кВт потужності може обігріти 10 кв. м.

Ще одним із варіантів підтримання температури в приміщенні виступають системи теплої підлоги. Електричні теплі підлоги бувають двох видів: плівкові і кабельні.

Плівковий підігрів підлоги представляє з себе тонкий мат з вбудованим провідником з металу з високим електричним опором, що забезпечує нагрів підлогового покриття, яке в свою чергу нагріває повітря в приміщенні. Плівка укладається під декоративний шар підлоги - лінолеум або ламінат. Правильне розташування шарів плівкового підігріву підлоги зображено на рисунку 3.4

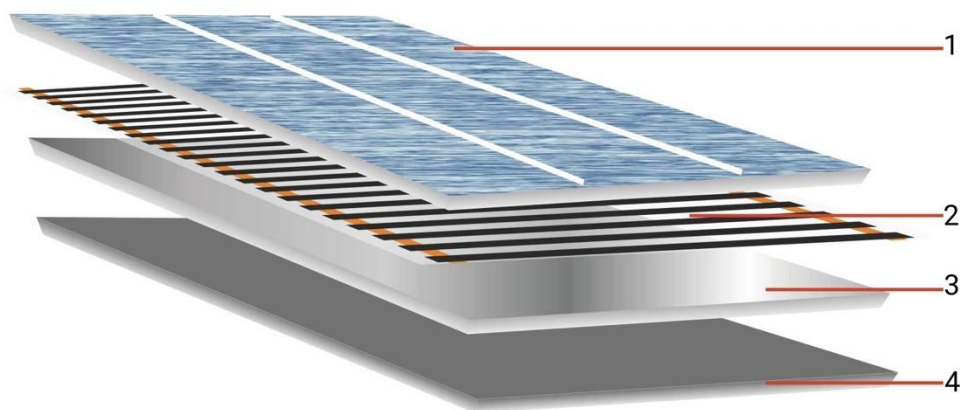


Рисунок 3.5 – Шари плівкового підігріву підлоги(1 – декоративний шар; 2 – інфрачервона плівкова підлога; 3 – теплоізоляція; 4 – основа підлоги)[7]

Розташовувати предмети меблів над плівковим теплою підлогою не рекомендується, тому що підлога буде нагрівати меблі.

В свою чергу кабельний підігрів рівномірно укладається під чистове покриття підлоги: бетонну стяжку, паркет чи ламінат. На кожну окрему кімнату укладається свій контур теплої підлоги.

Роботою електричного підігріву підлоги управляє автоматика з контролером. За допомогою цього методу можна підтримувати задану температуру в приміщенні за допомогою заданого сценарію роботи, що значно скоротить енергозатрати та кошти.

Для узгодження сигналів використовуються аналого-цифрові перетворювачі(АЦП) та цифро-аналогові перетворювачі(ЦАП).

3.1.1.2.1 Вибір нагрівальних елементів

Для обігріву приміщення було обрано калорифери потужністю 2300 кВт. В кожну кімнату необхідно встановлювати окремий прилад з розрахунку 1кВт потужності на 10 кв. м для оптимального обігріву приміщення. Також варто

розраховувати на тепловтрати які відбуваються через вікна, двері та нагрівання елементів всередині кімнати.

За цими потребами було обрано калорифер RZTK CVT 3023E(рисунок 3.5) [21].
Характеристики даного калориферу наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики калорифера RZTK CVT 3023E

Характеристика	Значення
Площа обслуговування, м кв	30 м кв
Потужність, Вт	2300 Вт
Номінальне навантаження, В	230 В ± 10%
Номінальна частота струму, Гц	50-60 Гц
Регулювання температури, °С	від +5 °С до +37 °С
Максимальна температура поверхні: °С	37°С



Рисунок 3.5 - Калорифер RZTK CVT 3023E

3.2 Підсистема керування в'їзними воротами

Підсистема керування в'їзними воротами включає в себе таке обов'язкове обладнання та елементами для автоматизації воріт як:

- електропривод з вбудованим блоком управління і кінцевими вимикачами;
- зубчаста рейка;
- система для подачі команд – це може бути пульт дистанційного керування або кнопкова панель для ручного керування;
- фотоелементи безпеки;
- сигнальна лампа.

Привод встановлюють між роликівими каретками. Така конфігурація обладнання одним силовим вузлом, який і приводить в рух одну ступку воріт[16] . Електродвигун передає крутільний момент через шестерню редуктора зовнішній шестерні. Шестерня, що знаходиться ззовні, автоматично зіплюється зубцями з зубцями зубчастої рейки. Вона ж в свою чергу переміщує ступку так як на ній закріплена. Силова конструкція з зубчатої рейки, шестернею і редуктором представлена на рисунку 3.6.



Рисунок 3.6 – Силова конструкція для відкотних воріт з зубчатою рейкою, шестернею і редуктором[16]

В залежності від виробника і обраної моделі автоматики привод редуктора може

мати повністю металеві деталі, так і деталі виконані з полімерних матеріалів. Електроприводи, у яких в силовому механізмі присутні деталі виконані з полімерів, мають експлуатуватися лише в визначеному виробником температурному діапазоні.

При експлуатації електроприводу за температури нижче граничної, полімерні матеріали стануть крихкими і зламаються, а якщо експлуатувати за температури вище граничної – деталі втратять форму під навантаженням.

Основна маса приводів для відкотних воріт є нереверсивними, тобто самостійно блокуються, тому, в ситуаціях, коли автоматика не працює вручну ворота зрушити неможливо. Для розблокування мотор-редуктора у електроприводі передбачений спеціальний механізм, який більшості моделей задіється поворотом спеціального ключа, який йде в комплекті з автоматикою.

Блок керування автоматикою - це плата, яка знаходиться в корпусі електроприводу. Основним функціоналом автоматики є:

- відчинення і зачинення воріт;
- автоматичний режим роботи - ворота автоматично закриваються, як тільки пройде заданий час;
- плавний старт і зупинка, для того щоб не допустити різких ривків при роботі стулки;
- режим дверей - стулку можна зафіксувати в будь-якому положенні, щоб залишився тільки невеликий прохід;
- відпрацювання датчиків безпеки – фотоелементів;
- керування роботою сигнальної лампи.

Кінцевий вимикач являє собою систему відключення приводу, при досягненні крайнього положення – ворота або повністю відкриті або повністю закриті. Є два методи відключення - магнітне і механічне.

Магнітний метод відключення включає в себе два різнополярні магніти. Вони кріпляться по краях зубчастої рейки[22] як зображено на рисунку 3.7. У корпусі електроприводу знаходяться два спеціальні датчика – геркони. Кожен з герконів

реагує на магніт своєї полярності. Ці датчики знаходяться в спеціальному футлярі, який не дає навколишньому середовищу впливати на них.

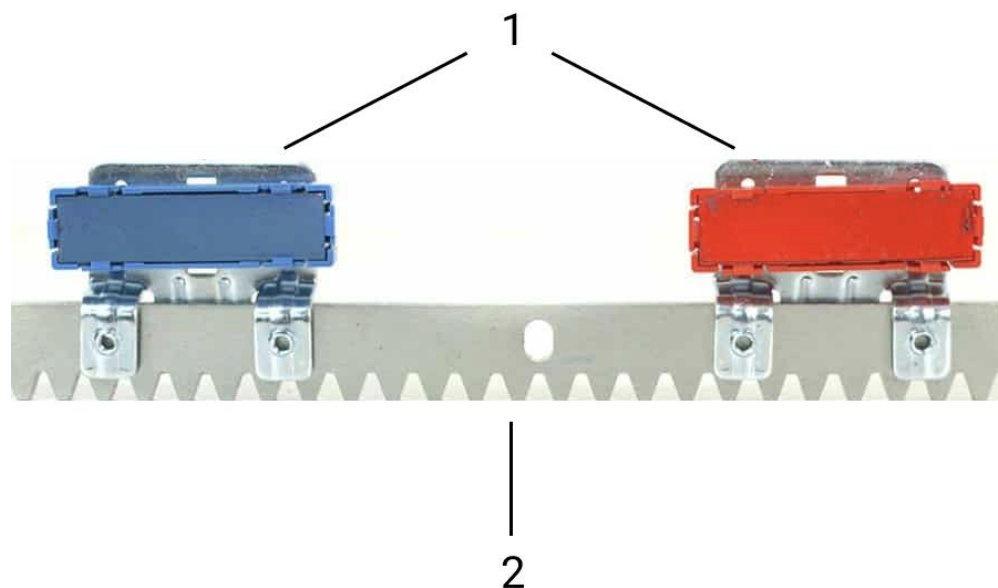


Рисунок 3.7 – Магнітний метод відключення привода(1 – різнополярні магніти; 2 – зубчата рейка)[22]

Коли один з магнітів, наближаючись до електроприводу, то він впливає на геркон своєї полярності, після чого автоматика автоматично зупиниться.

Принцип роботи механічного відключення подібний до магнітного. На зубчастій рейці закріплені металеві кронштейни - кінцевики, а в приводі знаходиться пружина, що виходить назовні, і два вимикача. Коли один з кронштейнів наближаючись до приводу, він відгинає блокувальну пружину, яка натискає на кнопку вимикача і привод зупиняє свою роботу.

Механічне відключення електропривода дешевше і простіше в порівнянні з магнітним, але має недоліки, які проявляються взимку, що в свою чергу важливо для клімату в якому будуть знаходитись і експлуатуватись ворота. Пружина може примерзнути до одного з вимикачів і автоматику неможливо буде увімкнути, так як блок управління буде отримувати не вірний сигнал про те, що ступка знаходиться в крайньому положенні. Для уникнення таких ситуацій цей вузол доведеться певним чином відігрівати.

Автоматизувати роботу воріт без зубчатої рейки неможливо. Рейка складається з відрізків по одному метру - це забезпечує її максимальну відповідність довжині стулки.

Довжина рейки розраховується так: ширина проїзду плюс ще метр. Схематичний розрахунок представлено на рисунку 3.8. Цей припуск необхідно враховувати для зчеплення зубчатої рейки з керуючою шестернею електроприводу. Сам привод знаходиться в стороні від опори воріт. Рейку потрібно кріпити до основної труби каркаса, а не до направляючого профілю, за допомогою спеціальних кріплень, які йдуть в комплекті з системою.

Для того аби керувати автоматикою воріт можна застосовувати пульт віддаленого керування. В залежності від моделі пульта, передавачі можуть посилати сигнал на приймач з відстані до кількох десятків метрів.

Пульт може бути одно або багатоканальним. Найбільш популярні пульти керування мають від двох до чотири каналів передачі.

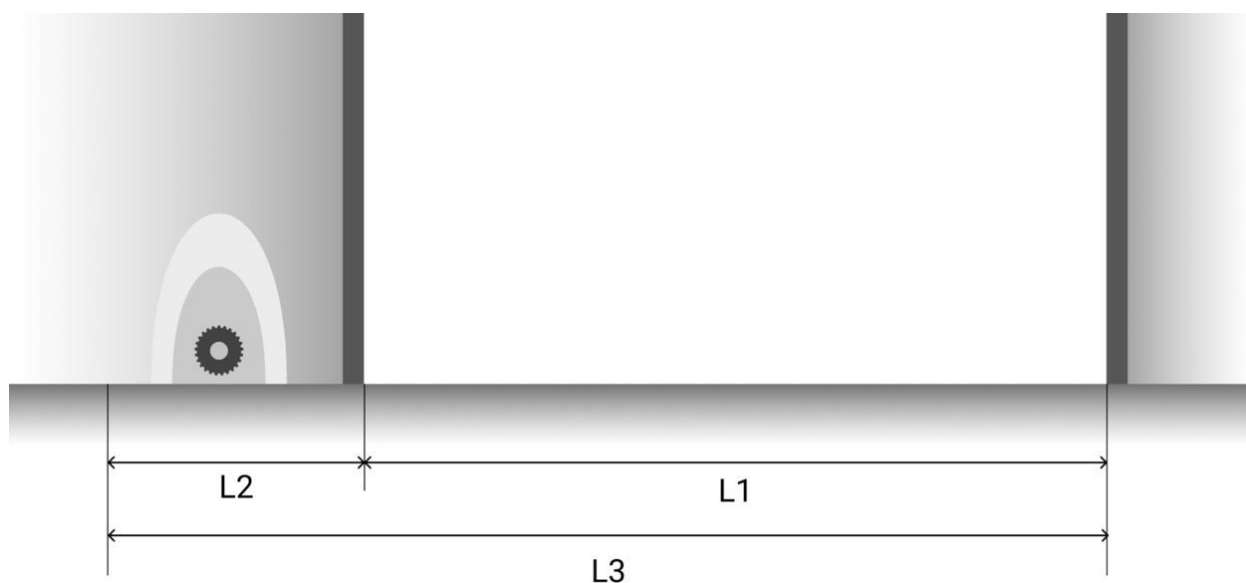


Рисунок 3.8 – Розрахунок довжини зубчатої рейки. Довжина рейки L3 складається з ширини проїзду L1 і метру L2 для зчеплення з механізмом приводу

Фотоелементи безпеки в автоматичній системі є єдиними елементами, які виявляють перешкоду до зіткнення її з воротами. Дані датчики являють собою

передавач і приймач інфрачервоного променя, тому встановлюватись вони мають один навпроти одного. Промінь з'являється, як тільки автоматика починає працювати. Якщо промінь буде розірвано перешкодою, ворота, що відкривалися, автоматично зупиняться, а які закривалися – навпаки, почнуть відкриватися.

Для того щоб автоматика реагувала на перешкоду раніше необхідно встановлювати фотоелементи безпеки на спеціальних стовпцях за 40-100см від воріт. Ще більше можна підвищити рівень безпеки встановивши додаткову пару фотоелементів на висоті 10-15 см від землі. Одним з важливих елементів безпеки роботи відкотних воріт є сигнальна лампа. Світловий сигнал присутній протягом усього часу, поки працює привод. Лампу монтують щоб її було видно з усіх сторін.

Висновки до розділу

Таким чином, у даному розділі виконано вибір конкретних блоків системи керування елементами розумного будинку з використанням GPS. Проведено аналіз їх технічних характеристик, діапазонів функціонування, потужностей.

4 РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕМЕНТАМИ РОЗУМНОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ GPS

4.1 Виведення математичної моделі об'єкту управління

Основним елементом, яким потрібно керувати є приміщення, в якому постійно відбувається коливання температури. Обслуговане приміщення характеризується великою кількістю характеристик. Облік характеристик складний, тому що приміщення при вирішенні завдань автоматичного регулювання розглядається як об'єкт з багатьма зосередженими параметрами, тобто температура і вологість повітря визначаються в найбільш типовій (робочій) зоні. Саме в цій зоні мають бути встановлені датчики для регульованих параметрів. Деякі приміщення можуть характеризуватись зонами з різними параметрами, що потребують використання місцевих елементів нагріву чи кондиціонування.

Управління температурою приміщення за допомогою кількісного регулювання, незважаючи на переваги, пов'язані з економією теплоти, води та електроенергії, реалізується рідко. Це пов'язано з відносно високими капіталовкладеннями і складністю управління, особливо в багатозональних системах. Тому найбільш поширеними є системи стабілізації температури повітря в приміщенні по каналу підвищення температури повітря. Такі системи повно досліджені як об'єкти автоматизації: виведені аналітично і експериментально підтверджені передавальні функції, значення коефіцієнтів передач і постійних часу.

Крім розглянутих вище (в розділах 2 і 3) апаратів, як ланок систем регулювання в об'єктах управління необхідно враховувати датчики та регулюючі органи. Датчики параметрів температури повітря та теплоносіїв можна розглядати як аперіодичну ланку першого порядку. Їхня інерційність (постійна часу) залежить від динаміки керованих процесів.

Слід враховувати, що для приміщень характерні періоди зміни складових теплового навантаження від декількох хвилин до годин, тому в задачах з такими періодами коливань часу, динаміку керованого процесу можна представити

аперіодичною ланкою другого порядку з передавальною функцією наступного вигляду:

$$W_{\text{приміщення}}(s) = \frac{K_{\text{приміщення}}}{(T_1 * s + 1)(T_2 * s + 1)}. \quad (4.1)$$

Теплообмін між твердими тілами і газами або рідинами, які мають різні температури, може відбуватися трьома різними способами: випромінюванням, теплопровідністю і конвекцією.

При випромінюванні тепло передається від одного тіла до іншого за допомогою електромагнітних хвиль, без прямого контакту між випромінюючим і поглинає тілами. При теплопровідності тепло поширюється всередині тіла від частинки до частинки, причому ці частинки залишаються нерухомими. При конвекції перенесення тепла здійснюється рідкої або газоподібної середовищем до твердого тіла або навпаки.

Як правило, ці три механізми діють одночасно.

Численні теоретичні та експериментальні дослідження показали, що передавальна функція нагрівальних апаратів незалежно від каналу управління описується типовою аперіодичною ланкою першого порядку виду[24]:

$$W(s) = \frac{K}{T_{\text{то}} * s + 1}, \quad (4.2)$$

де K - статичний коефіцієнт передачі апарату;

$T_{\text{то}}$ -постійна часу теплообмінного апарату.

При цьому виявилось, що при різних збуреннях постійна часу для такого виду апаратів не залежить від виду збурення і визначається тільки витратами середовищ.

Згідно з цих даних рамках пакета Matlab Simulink було побудовано модель цифрової системи керування температурою приміщення зображену на рисунку 4.1.

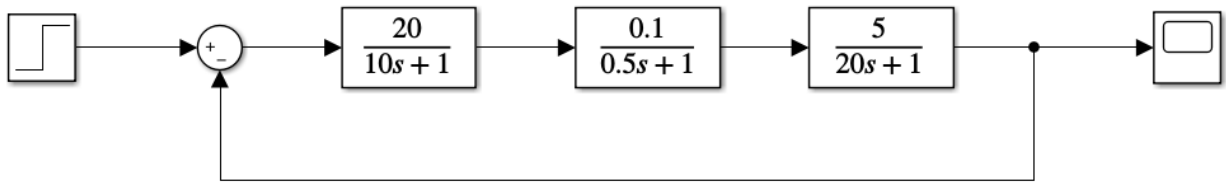


Рисунок 4.1 – Модель системи керування температурою приміщення

При послідовному з'єднанні ланок вихідна величина передньої ланки подається на вхід наступної ланки. Для послідовного з'єднання передавальна функція представляє собою добуток передавальних функцій ланок, що з'єднуються. Формула об'єднання виглядає наступним чином:

$$W(s) = W_1 * W_2 * W_3, \quad (4.3)$$

де

$$W_1(s) = \frac{20}{10s + 1}, \quad (4.4)$$

$$W_2(s) = \frac{0.1}{0.5s + 1}, \quad (4.5)$$

$$W_3(s) = \frac{5}{20s + 1}. \quad (4.6)$$

Підставляючи відповідні дані отримаємо:

$$W(s) = \frac{20}{10s + 1} * \frac{0.1}{0.5s + 1} * \frac{5}{20s + 1} \quad (4.7)$$

Зводимо до спільного знаменника:

$$\begin{aligned}
 W(s) &= \frac{20}{10s + 1} * \frac{0.1}{0.5s + 1} * \frac{5}{20s + 1} = & (4.8) \\
 &= \frac{10}{(10s + 1)(0.5s + 1)(20s + 1)} = \\
 &= \frac{10}{100s^3 + 215s^2 + 30.5s + 1}
 \end{aligned}$$

Скорочуємо чисельник на число яке знаходиться в знаменнику біля s у найвищому степені і отримуємо таку передавальну функцію безперервної частини.

$$W(s) = \frac{0.1}{s^3 + 2.15s^2 + 0.305s + 0.01} \quad (4.9)$$

4.3 Розроблення моделі досліджуваної системи в прикладному пакеті MathLab Simulink.

Будуємо передавальну функцію безперервної частини в MatLab. Побудована модель зображена на рисунку 4.4, а графік перехідного процесу модулі зображено на рисунку 4.5.

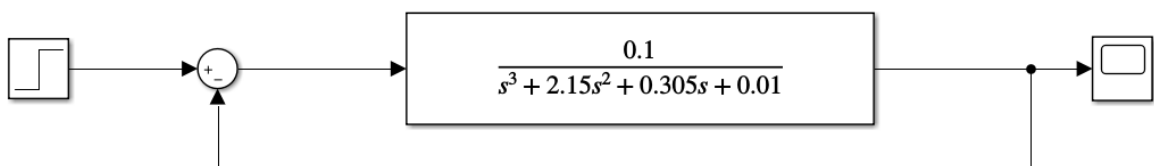
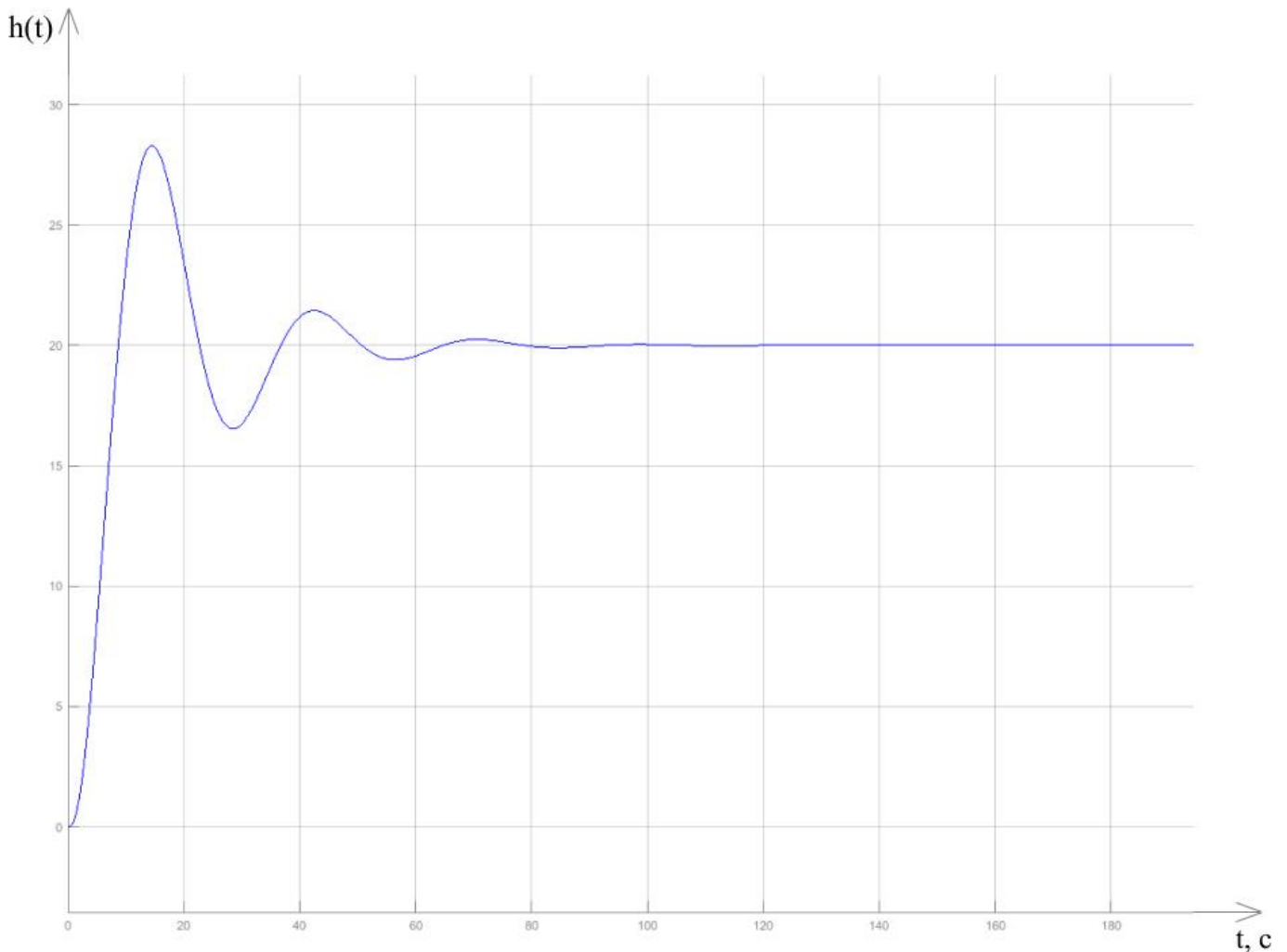


Рисунок 4.4 – Модель системи



4.5 – Графік перехідного процесу

Як відомо, показники якості перехідного процесу (перерегулювання, час устанавлення та час перехідного процесу) визначаються за графіком.

Перерегулюванням $\sigma\%$, називається максимальне відхилення вихідної величини від сталого значення. Обчислюється за формулою:

$$\sigma = \frac{h_{\max} - h_{\text{см}}}{h_{\text{см}}} * 100\%, \quad (4.10)$$

де h_{\max} – максимальне відхилення, $h_{\text{см}}$ – стале значення.

Час устанавлення $t_{\text{уст}}$ - проміжок часу, за який вихідна величина вперше досягла сталого значення.

Час перехідного процесу $t_{пп}$ – характеризує швидкодію системи. Це час від початку перехідного процесу до того моменту, коли відхилення вихідної величини залишається в межах заданої величини 2σ [25, 26].

Як видно з графіку перехідного процесу на рисунку 4.5 система має такі показники якості:

Максимальне відхилення $h_{max} = 28.29$;

Стале значення $h_{ст} = 20$;

Час устанавлення $t_{уст} = 8.707$ с;

Час перехідного процесу $t_{пп} = 46.213$ с;

Перерегулювання $\sigma = \frac{33.52-23.62}{23.62} * 100\% = 41.45\%$.

Динаміка системи керування розсувними воротами описується аперіодичною ланкою другого порядку і алгоритм дослідження аналізу якості, розроблення цифрового регулятора аналогічний як і для системи керування температурою, тільки з іншими значеннями параметрів та коефіцієнтами. Тому у дисертації у подальшому досконально розглядається саме аналіз і синтез системи керування температурою.

4.4 Розроблення цифрової моделі досліджуваної моделі.

Обчислимо передавальну функцію приведеної безперервної частини системи керування. Передавальна функція обчислюється наступним чином:

$$W_{ПБЧ}(s) = \frac{1 - e^{-T_0 s}}{s} W_{БЧ}(s). \quad (4.11)$$

$$W_{ПБЧ}(s) = Z \left\{ \frac{1 - e^{-T_0 s}}{s} W_{БЧ}(s) \right\} = Z \left\{ \frac{W_{БЧ}(s)}{s} \right\} - Z \left\{ \frac{e^{-T_0 s} W_{БЧ}(s)}{s} \right\} \quad (4.12)$$

Для подальших обчислень треба застосувати теорему про заміщення аргументу в оригіналі.

$$Z \{f(t \pm vT)\} = Z \{e^{\pm vT_0 s} F(s)\} = z^{\pm v} Z \{F(s)\} \quad (4.13)$$

Тоді,

$$Z \left\{ \frac{W_{БЧ}(s)}{s} \right\} - z^{-1} Z \left\{ \frac{W_{БЧ}(s)}{s} \right\} = \frac{z-1}{z} \left\{ \frac{W_{БЧ}(s)}{s} \right\} \quad (4.14)$$

Розрахунок Z-перетворення аналітично.

$$W_{БЧ}(z) = \frac{0.1}{(s + 2.026)(s + 0.0619 + 0.225i)(s + 0.0619 - 0.225i)} \quad (4.15)$$

$$W_{ПБЧ}(z) = \frac{z-1}{z} * \quad (4.16)$$

$$* \left\{ \frac{0.1}{s(s + 2.026)(s + 0.0619 + 0.225i)(s + 0.0619 - 0.225i)} \right\}$$

$$= 0.1 \frac{z-1}{z} *$$

$$* \left\{ \frac{0.1}{s(s + 2.026)(s + 0.0619 + 0.225i)(s + 0.0619 - 0.225i)} \right\}$$

Для подальшого обчислення за допомогою методів невизначених коефіцієнтів було розкладено передавальну функцію $W_{ПБЧ}$ на суму простих дробів:

$$\frac{A}{s} + \frac{B}{(s + 2.026)} + \frac{C}{(s + 0.0619 + 0.225i)} + \frac{D}{(s + 0.0619 - 0.225i)} \quad (4.17)$$

$$= \frac{1}{s(s + 2.026)(s + 0.0619 + 0.225i)(s + 0.0619 - 0.225i)}$$

$$A(s + 2.026)(s + 0.0619 + 0.225i)(s + 0.0619 - 0.225i) + \quad (4.18)$$

$$+Ds(s + 2.026)(s + 0.0619 + 0.225i) = 1$$

Виконаний математичний розрахунок коефіцієнтів A, B, C і D.

Коефіцієнт B:

$$s = -2.026 \quad (4.19)$$

$$B * (-2.026) * (-2.026 + 0.0619 + 0.225i) * \quad (4.20)$$

$$* (-2.026 + 0.0619 - 0.225i) = 1$$

$$B * (-7.01765) = 1 \quad (4.21)$$

$$B = -0.1263 \quad (4.22)$$

Коефіцієнт A:

$$s = 0 \quad (4.23)$$

$$A(0 + 2.026)(0 + 0.0619 + 0.225i)(0 + 0.0619 - 0.225i) = 1 \quad (4.24)$$

$$A * (0.1098) = 1 \quad (4.25)$$

$$A = 9.1075 \quad (4.26)$$

Коефіцієнт C:

$$s = -0.0619 - 0.225i \quad (4.27)$$

$$C(-0.0619 - 0.225i)(-0.0619 - 0.225i) \quad (4.28)$$

$$+ 2.026)(-0.0619 - 0.225i + 0.0619 - 0.225i) = 1$$

$$C(-0.0619 - 0.225i)(1.9642 - 0.2244i)(-0.4488i) = 1 \quad (4.29)$$

$$C(-0.1916 + 0.0771i) = 1 \quad (4.30)$$

$$C = \frac{1}{-0.1916 + 0.0771i} \quad (4.31)$$

Коефіцієнт D:

$$s = -0.0619 + 0.225i \quad (4.32)$$

$$D(-0.0619 + 0.225i)(-0.0619 + 0.225i) \quad (4.33)$$

$$+ 2.026)(-0.0619 + 0.225i + 0.0619 - 0.225i) = 1$$

$$D(-0.0619 - 0.225i)(1.9642 - 0.2244i)(-0.4488i) = 1 \quad (4.34)$$

$$D(-0.1916 - 0.0771i) = 1 \quad (4.35)$$

$$D = \frac{1}{(-0.1916 - 0.0771i)} \quad (4.36)$$

Так як коефіцієнти А, В, С, D відомі, вираз $W_{\text{ПВЧ}}(z)$ має вигляд:

$$W_{\text{ПВЧ}}(z) = 0.1 \frac{z-1}{z} \left\{ \frac{9.1075}{s} + \frac{-0.1263}{(s+2.026)} \right. \quad (4.37)$$

$$\left. + \frac{1}{(s+0.0619+0.225i)(-0.1916+0.0771i)} \right.$$

$$\left. + \frac{1}{(s+0.0619-0.225i)(-0.1916-0.0771i)} \right\}$$

Виконати z-перетворення користуючись таблицею z-перетворень неможливо, так як вираз має комплексні числа. У цьому випадку z-перетворення було обраховане завдяки вбудованим методам командного рядка MatLab.

4.5 Вибір оптимального значення періоду квантування сигналу за часом для забезпечення функціонування системи у стійкій області

На прикладі системи третього порядку, яка описує передавальною функцією приміщення:

$$W(s) = \frac{10}{(10s+1)(0.5s+1)(20s+1)} \quad (4.38)$$

Виконано вибір періоду квантування за часом T наступним методом. Передавальну функцію замкнутої системи було обчислено в формулі (4.9). Вихідну функцію представимо як

$$Y(s) = \frac{Ks^{-4}}{A + Bs^{-1} + Cs^{-2} + (1 + K)s^{-3}} \quad (4.39)$$

$$Y(s) = \frac{10s^{-4}}{100 + 2.15s^{-1} + 0.305s^{-2} + 11s^{-3}} \quad (4.40)$$

$$Y(s) = \frac{Ks^{-4}}{A + Bs^{-1} + Cs^{-2} + (1 + K)s^{-3}}$$

Використовуючи відповідні z -форми, отримаємо

$$Y(z) \quad (4.41)$$

$$= \frac{10 \frac{T^4}{6} * \frac{z^{-1} + 4z^{-2} + z^{-3}}{(1 - z^{-1})^4} * \left(-\frac{T^4}{720}\right)}{100 + 2.15 \frac{T}{2} \left(\frac{1 + z^{-1}}{1 - z^{-1}}\right) + 0.305 \frac{T^2}{12} \left(\frac{1 + 10z^{-1} + z^{-2}}{(1 - z^{-1})^2}\right) + 11 \frac{T^3}{2} \frac{z^{-1} + z^{-2}}{(1 - z^{-1})^3}}$$

$$\text{при } 1(t) \rightarrow \frac{z}{z-1} \rightarrow \frac{1}{1-z^{-1}}.$$

Використовуючи критерії стійкості було визначено, що значення K і T , відповідають стійкій моделі, зв'язаній залежністю. Залежність коефіцієнтів K і T зображено на рисунку 4.6.

Для перевірки отриманих результатів було проведено моделювання досліджуваної системи за допомогою пакетного застосування Matlab/Simulink. Для найкращої візуалізації результатів виконано моделювання цифрових систем з вибраними співвідношеннями коефіцієнту підсилення та періоду квантування в стійкій та не стійкій областях системи.

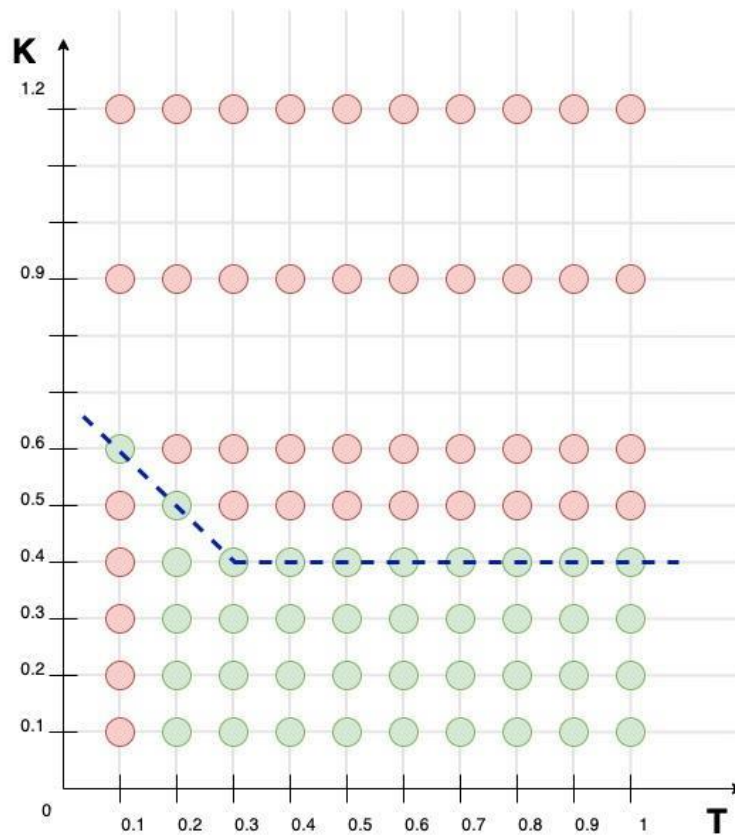


Рисунок 4.6 - Результати досліджень стійкості системи, де $T_1 = 10$, $T_2 = 0.5$, $T_3 = 20$

Моделювання стійкої системи. Модель передавальної функції цифрової системи з коефіцієнтом підсилення $K = 0.1$ і періодом квантування $T = 0.5$ с (стійка область, рисунок 4.6) зображена на рисунку 4.7.

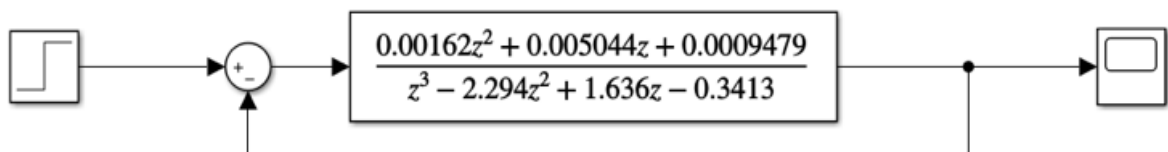


Рисунок 4.7 - Модель цифрової системи

Графік перехідного процесу обраної моделі зображений на рисунку 4.8.

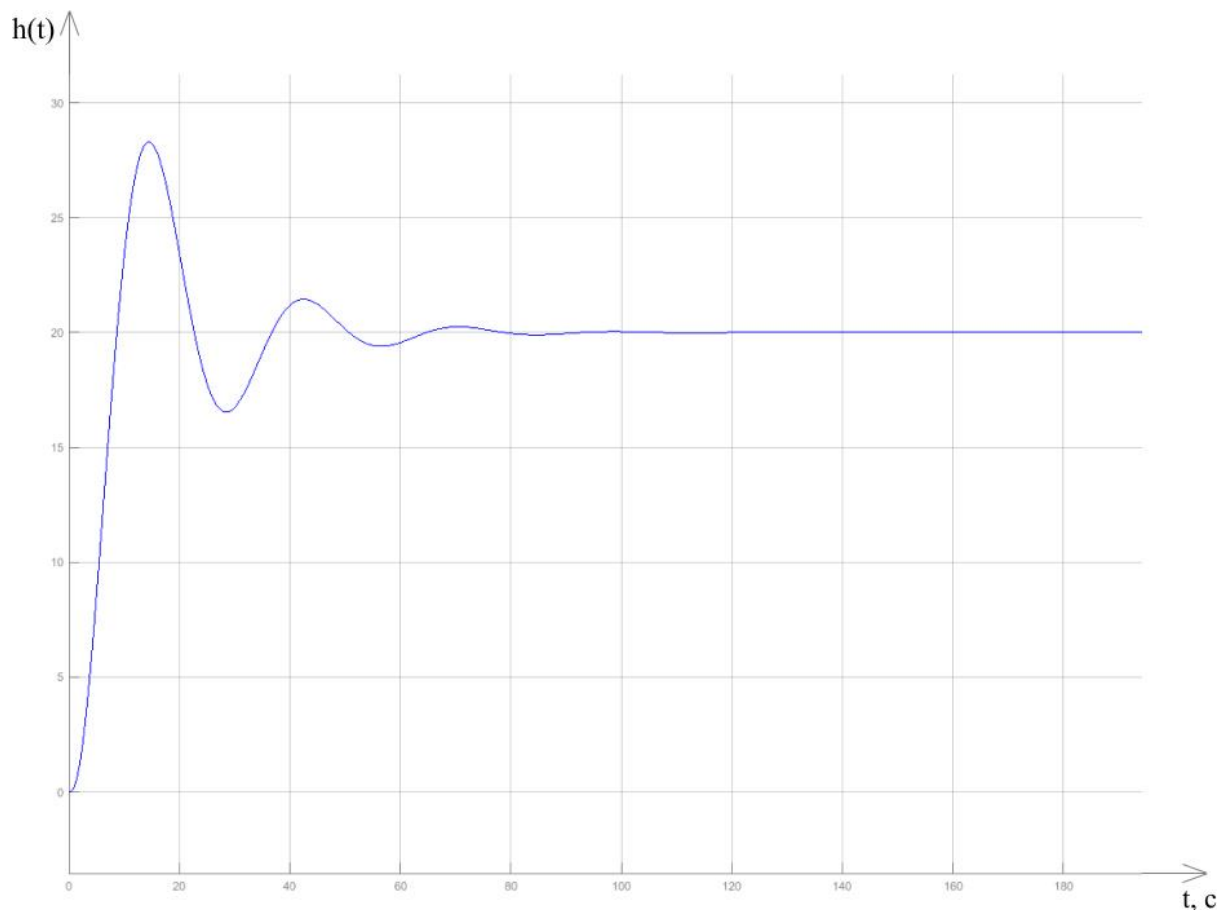


Рисунок 4.8 - Графік перехідного процесу

Моделювання нестійкої системи. Модель передавальної функції цифрової системи з коефіцієнтом підсилення $K = 0.5$ і періодом квантування $T = 0.5$ с (не стійка область, рисунок 4.6) зображена на рисунку 4.9.

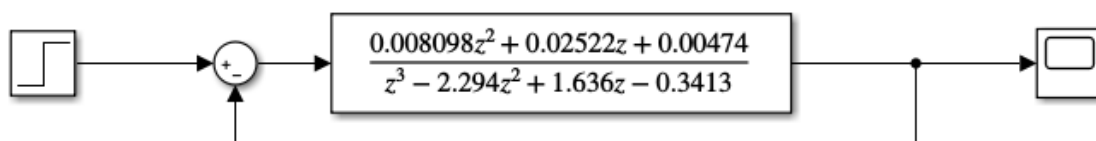


Рисунок 4.9 - Модель цифрової системи

Результати моделювання представлені на рисунку 4.10.

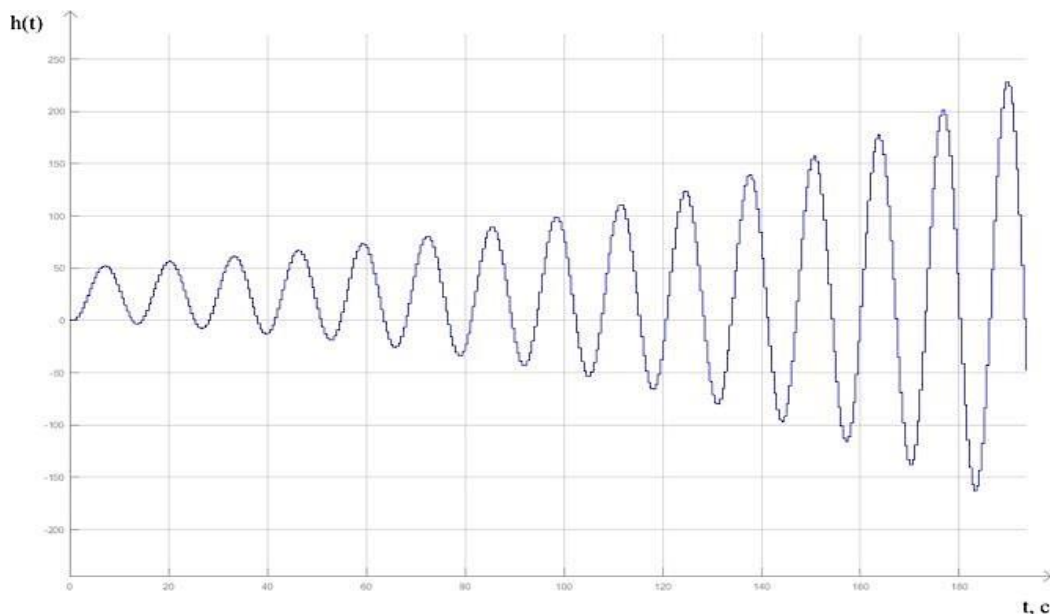


Рисунок 4.10 - Графік перехідного процесу нестійкої системи

З результатів моделювання можна зробити висновок, що вибране співвідношення коефіцієнту підсилення та періоду квантування за часом з стійкої та нестійкої областей демонструє повну адекватність запропонованої методики. Для обчислень було обрано час квантування 0.5.

Розрахування передавальної функції безперервної частини в командному рядку:

```
>> w = tf(0.1, [1 2.15 0.305 0.01])
```

```
w =
```

```
0.1
```

```
-----
```

```
s^3 + 2.15 s^2 + 0.305 s + 0.01
```

```
Continuous-time transfer function.
```

Тоді z-перетворення:

```
>> wz = c2d(w, 0.5)
```

```
wz =
```

```
0.00162 z^2 + 0.005044 z + 0.0009479
```

```
-----
```

```
z^3 - 2.294 z^2 + 1.636 z - 0.3413
```

Sample time: 0.5 seconds

Discrete-time transfer function.

Моделювання цифрової системи за допомогою блоку Discrete Transfer Fcn у пакеті MatLab Simulink зображено на рисунку 4.11.

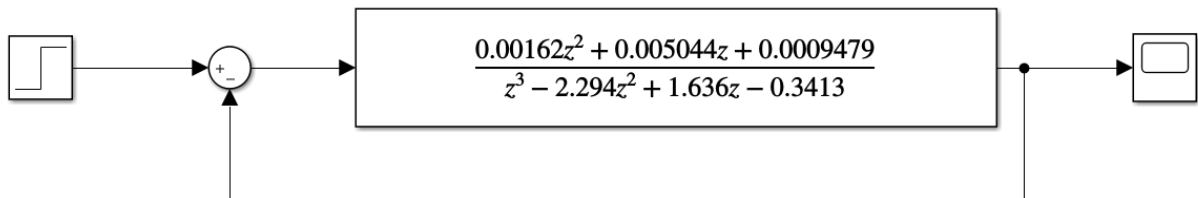


Рисунок 4.11 – Модель цифрової системи

Графік перехідного процесу передавальної функції цифрової системи представлений на рисунку 4.12.

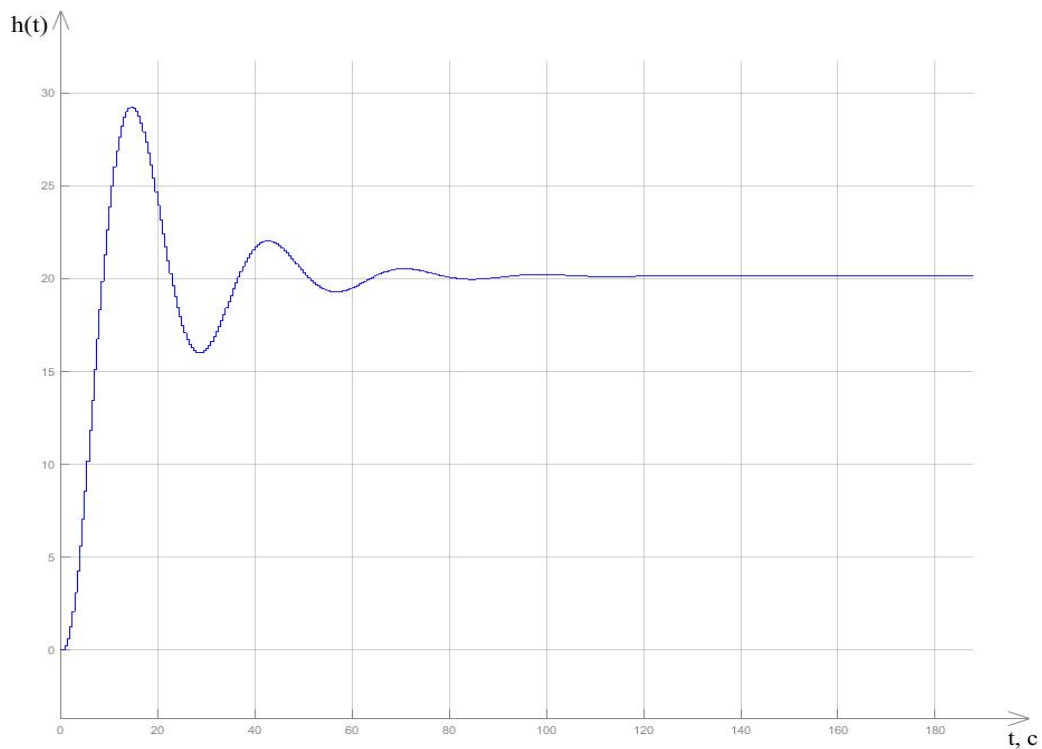


Рисунок 4.12 – Графік перехідного процесу цифрової системи

Показники якості графіка перехідного процесу цифрової системи, зображеної на рисунку 4.2:

Максимальне відхилення $h_{\max} = 29.26$;

Стале значення $h_{\text{ст}} = 20.15$;

Час установлення $t_{\text{уст}} = 9.27\text{с}$;

Час перехідного процесу $t_{\text{пп}} = 47.771\text{с}$;

Перерегулювання $\sigma = \frac{34.57-23.81}{23.81} * 100\% = 45.21\%$.

Висновки до розділу

Таким чином, розроблена математична модель системи керування температурою приміщення розумного будинку з використанням аналітичного методу на базі передавальних функцій та структурних схем. Запропоновано розширення відомих методів визначення значення періоду квантування сигналів за часом з використанням цифрової апроксимації. Це дозволило отримати цифрову модель системи керування температурою, яка забезпечує її функціонування в стійкій області.

5 АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ І ЯКОСТІ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕМЕНТАМИ РОЗУМНОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ GPS

5.1 Аналіз стійкості системи

Дослідження стійкості цифрової системи за допомогою загального алгоритму.

Загальний алгоритм дослідження стійкості полягає у знаходженні коренів характеристичного рівняння [20]. Для цього необхідно замкнути цифрову систему. Замикання цифрової системи відбувається за формулою, наведеною нижче:

$$W_3(z) = \frac{W_{\text{ПБЧ}}(z)}{1 + W_{\text{ПБЧ}}(z)} \quad (5.1)$$

Розрахунок замкненої системи.

$$W_3(z) = \frac{W_{\text{ПБЧ}}(z)}{1 + W_{\text{ПБЧ}}(z)} \quad (5.2)$$

$$\begin{aligned} W_3(z) &= \frac{\frac{0.00162 z^2 + 0.005044z + 0.0009479}{z^3 - 2.294z^2 + 1.636z - 0.3413}}{1 + \frac{0.00162 z^2 + 0.005044z + 0.0009479}{z^3 - 2.294z^2 + 1.636z - 0.3413}} = \\ &= \frac{\frac{0.00162 z^2 + 0.005044z + 0.0009479}{z^3 - 2.294z^2 + 1.636z - 0.3413}}{\frac{z^3 - 2.29238z^2 + 1.641044z - 0.3403521}{z^3 - 2.294z^2 + 1.636z - 0.3413}} = \\ &= \frac{0.00162 z^2 + 0.005044z + 0.0009479}{z^3 - 2.29238z^2 + 1.641044z - 0.3403521} \end{aligned} \quad (5.3)$$

Характеристичне рівняння має наступний вигляд:

$$D(z) = z^3 - 2.29238z^2 + 1.641044z - 0.3403521 \quad (5.4)$$

Через те, що характеристичне рівняння третього степеня, розклад його на множники виглядає наступним чином:

$$\begin{aligned} D(z) &= z^3 - 2.29238z^2 + 1.641044z - 0.3403521 = & (5.5) \\ &= (z - 0.360028)(z^2 - 1.93235z + 0.945343) = \\ &= (z - 0.360028)(z - 0.966175 - 0.108853i) * (z - 0.966175 \\ &\quad + 0.108853i) \end{aligned}$$

Корені рівняння:

$$z_1 = 0.360028 \quad (5.6)$$

$$z_{2,3} = 0.966175 \pm 0.108853i \quad (5.7)$$

Умовою стійкості системи є

$$|z_i| < 1 \quad (5.8)$$

Модуль комплексних коренів.

$$|z_{2,3}| = \sqrt{u^2 + v^2} = \sqrt{0.966175^2 + 0.108853^2} \approx 0.972287, \quad (5.9)$$

де u – дійсна частина; v – уявна частина.

Оскільки

$$|z_1| = 0.360028 < 1 \quad (5.10)$$

та

$$|z_{2,3}| = 0.972287 < 1 \quad (5.11)$$

то система стійка.

Перевіримо систему на стійкість, застосовуючи критерій Гурвіца. Для того щоб застосувати критерій Гурвіца необхідно виконати білінійне перетворення. Для цього в характеристичному рівнянні $D(z)$ виконується наступна підстановка.

$$z = \frac{1+w}{1-w} \quad (5.12)$$

Заміна в характеристичному рівнянні.

$$\left(\frac{1+w}{1-w}\right)^3 - 1.92978 \left(\frac{1+w}{1-w}\right)^2 + 1.32122 \left(\frac{1+w}{1-w}\right) - 0.23872 = 0 \quad (5.13)$$

Зведення до спільного множника

$$\frac{(1+w)^3}{(1-w)^3} - 2.29238 \frac{(1+w)^2(1-w)}{(1-w)^2} + 1.641044 \frac{(1+w)(1-w)^2}{(1-w)} - 0.3403521(1-w)^3 = 0 \quad (5.14)$$

$$\frac{(1+w)^3}{(1-w)^3} - \frac{2.29238(1+w)^2(1-w)}{(1-w)^3} + \frac{1.641044(1+w)(1-w)^2}{(1-w)^3} - \frac{0.3403521(1-w)^3}{(1-w)^3} = 0 \quad (5.15)$$

Розкриття дужок.

$$4.93342w^3 + 3.65134w^2 - 0.933424w + 0.0083119 = 0 \quad (5.16)$$

Дане рівняння третього порядку, тому було використано окремий випадок критерію Гурвіца. Для цього рівняння умови стійкості системи мають вигляд:

$$a_0 > 0 \quad (5.17)$$

$$\Delta_1 = a_1 > 0 \quad (5.18)$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0 \quad (5.19)$$

Третій (останній визначник) дає умова .

Обчислення умов.

$$a_0 = 4.93342 > 0 \quad (5.20)$$

$$\Delta_1 = a_1 = 3.65134 > 0 \quad (5.21)$$

$$\Delta_2 = 4.93342 * 3.65134 - (-0.933424) * 0.0083119 \quad (5.22)$$

$$= 18.01359 - 0.007758 = 18.21352$$

$$\Delta_2 = 18.21352 > 0 \quad (5.23)$$

$$a_3 = 0.0083119 > 0 \quad (5.24)$$

Оскільки всі умови виконуються то система стійка.

Стійкість системи визначається також за допомогою критерія Найквіста. За допомогою командного рядка MatLab було побудовано АФЧХ ЦС. Результати виконання функції зображено на рисунку 5.1.

```
>> nyquist(wz_05)
```

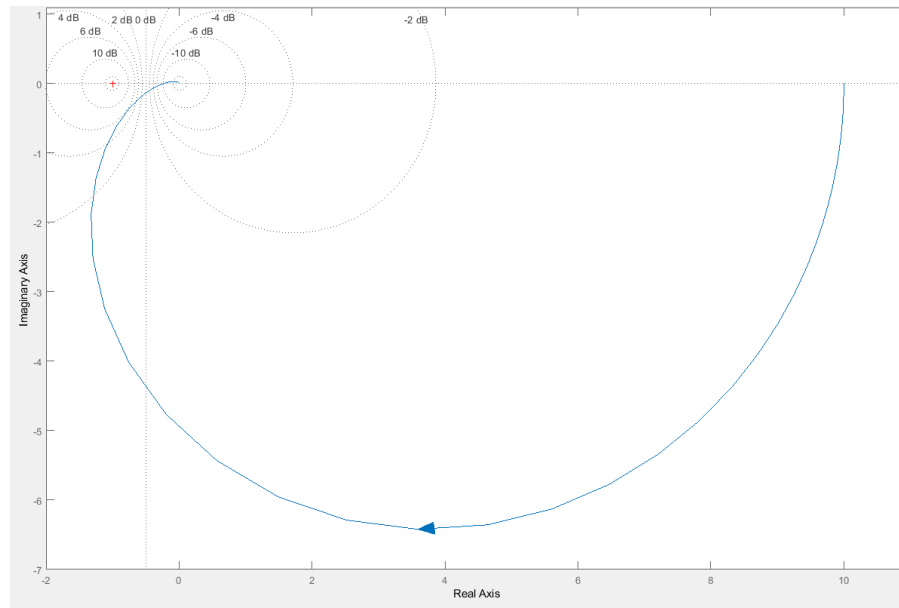


Рисунок 5.1 – АФЧХ

Як видно з графіка, кількість полюсів 1, що лежать поза колом одиничного радіуса $l = 0$ ($z_1 = -0.2026$; $z_{1,2} = -0.0619 \pm 0.225i$). То можна зробити висновок що система є стійкою, оскільки АФЧХ розімкнутої системи охоплює точку $(-1; j_0) 0/2 = 0$ разів, інакше кажучи не охоплює вказану точку.

5.2 Аналіз якості системи

Стала похибка системи визначається за теоремою про кінцеве значення z -перетворення.

$$\varepsilon_{ст} = \lim_{z \rightarrow 1} (z - 1)E(z) \quad (5.25)$$

Z -перетворення одиничного стрибка визначається за такими формулами:

$$\xi(t) = 1(t) \quad (5.26)$$

$$E(z) = Z\{1(t)\} = \frac{z}{z - 1} \quad (5.27)$$

Визначена похибка:

$$\begin{aligned}
 E(z) &= \Xi(z)(1 - W_3(z)) & (5.28) \\
 &= \frac{z}{z-1} \left(1 - \frac{0.00162z^2 + 0.005044z + 0.0009479}{z^3 - 2.294z^2 + 1.636z - 0.3413} \right) \\
 &= \frac{z}{z-1} \left(\frac{z^3 - 2.296z^2 + 1.641z - 0.3421}{z^3 - 2.294z^2 + 1.636z - 0.3412} \right) \\
 &= \frac{z^4 - 2.296z^3 + 1.641z^2 - 0.3421z}{(z^3 - 2.294z^2 + 1.636z - 0.3412)(z-1)}
 \end{aligned}$$

Отже, стала похибка:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{ст} &= \lim_{z \rightarrow 1} (z-1)E(z) = & (5.29) \\
 &= \lim_{z \rightarrow 1} (z-1) \frac{z^4 - 2.296z^3 + 1.641z^2 - 0.3421z}{(z^3 - 2.294z^2 + 1.636z - 0.3412)(z-1)} \\
 &= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z^4 - 2.296z^3 + 1.641z^2 - 0.3421z}{z^3 - 2.294z^2 + 1.636z - 0.3412} \\
 &= \frac{1 - 2.296 + 1.641 - 0.3421}{1 - 2.294 + 1.636 - 0.3412} \approx 2.19
 \end{aligned}$$

Для перевірки правильності розрахунків побудуємо систему в Simulink. Модель системи для визначення сталої похибки зображена на рисунку 5.2.

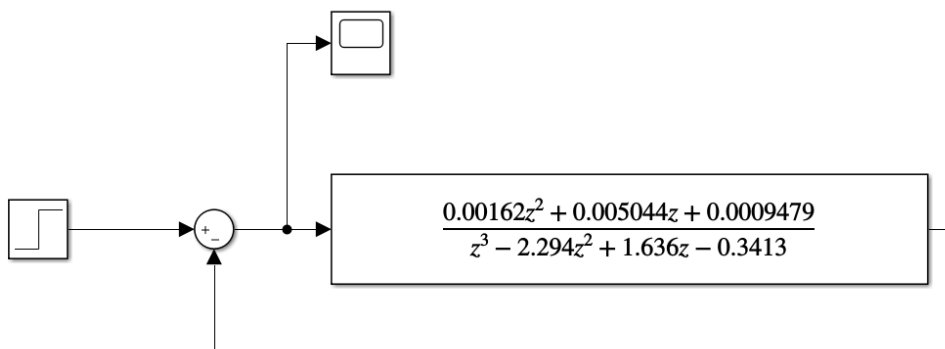
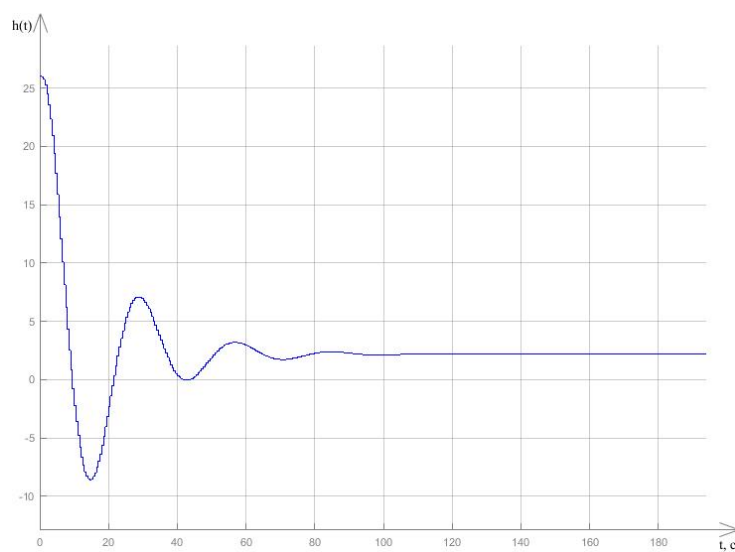
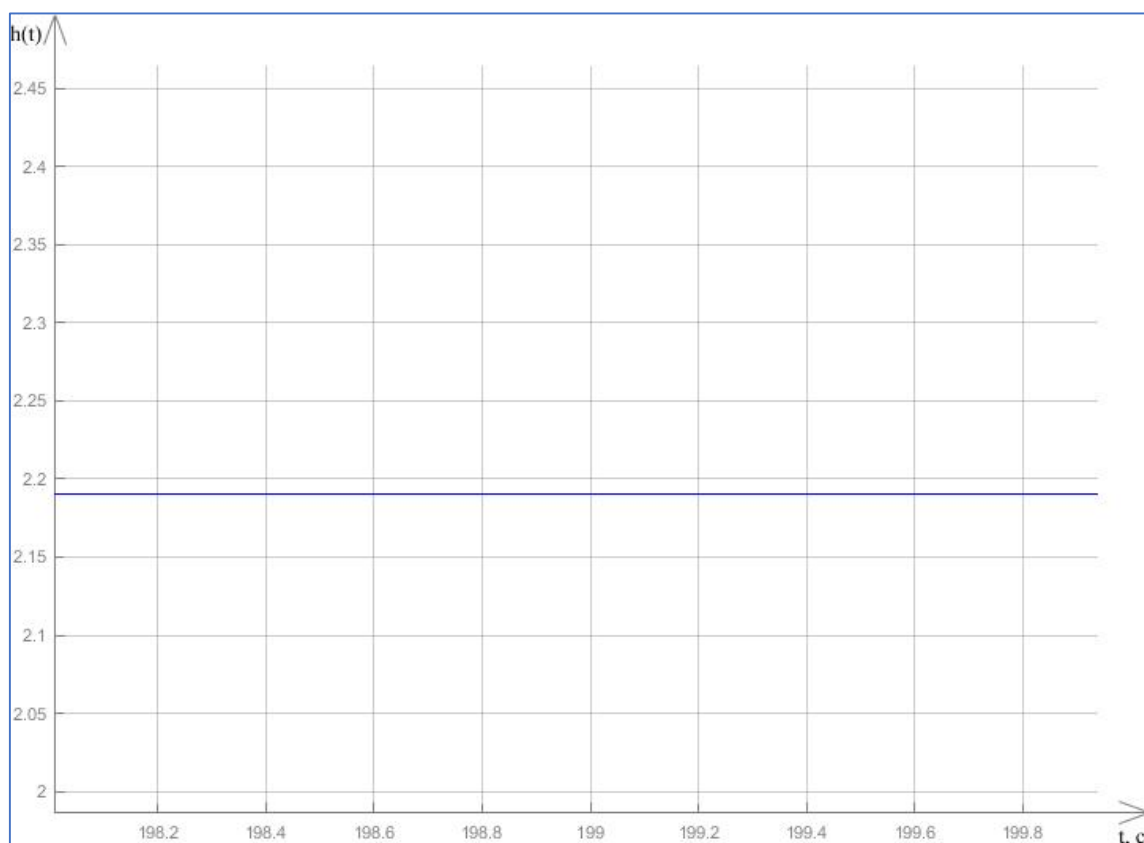


Рисунок 5.2 – Модель системи для визначення сталої похибки

Графік сталої похибки на одиничний сигнал представлено на рисунку 5.3.



а)



б)

Рисунок 5.3 – Похибка цифрової системи при одиничному стрибку:

а) – графік похибки;

б) – збільшена ділянка графіка, що відповідає сталому значенню

Висновки до розділу

Таким чином, хоча досліджувана система є стійкою, показники якості не задовольняють вимогам магістерської роботи тому необхідно виконати синтез цифрового регулятора.

6 СИНТЕЗ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА

В даному розділі розглядаються 2 методи синтезу цифрового регулятора – пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор і регулятор зі зворотними зв'язками за станом на базі математичної платформи методу простору станів [25, 26].

6.1 Синтез цифрового ПІД-регулятора

Було виконано розрахунок пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) регулятора. Структурна схема ПІД регулятора зображена на рисунку 6.1.

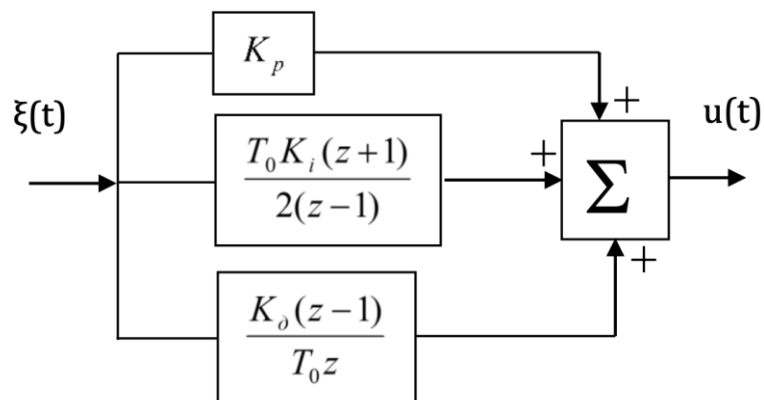


Рисунок 6.1 – Структурна схема ПІД-регулятора

Передавальна функція розімкнутої системи з цифровим ПІД регулятором буде мати вигляд:

$$\begin{aligned}
 W_{СК}(z) &= W_{ПІД}(z) * W_{ПБЧ}(z) & (6.1) \\
 &= \frac{(K_i T_0^2 + 2K_d + 2K_p T_0)z^2 + (K_i T_0^2 - 2K_p T_0 - 4K_d)z + 2K_d}{2T_0(z(z-1))}
 \end{aligned}$$

* $W_{ПБЧ}(z)$

В формулі 6.1 T_0 – це період квантування, K_i , K_d і K_p – параметри інтегральної диференціальної і пропорційний складових закону регулювання.

Для того щоб синтезувати ПІД-регулятор необхідно розрахувати параметри K_i , K_d і K_p . Для цього було використано вбудовані методи обрахунку в пакеті MatLab Simulink – блок PID Controller. Модель цифрової системи з блоком PID Controller зображена на рисунку 6.2.

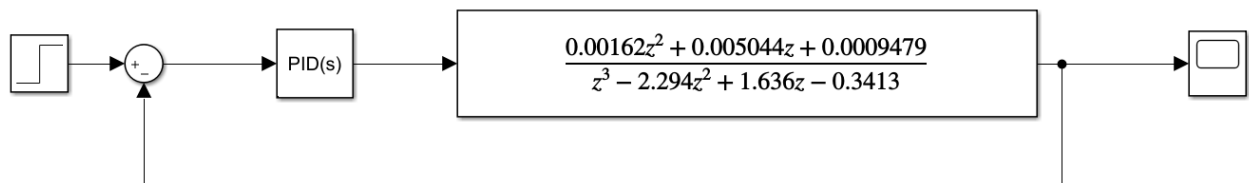


Рисунок 6.2 – Модель цифрової системи з блоком PID Controller

Використовуючи блок автоматичного налаштування ПІД регулятора, налаштуємо коефіцієнти ПІД регулятора.

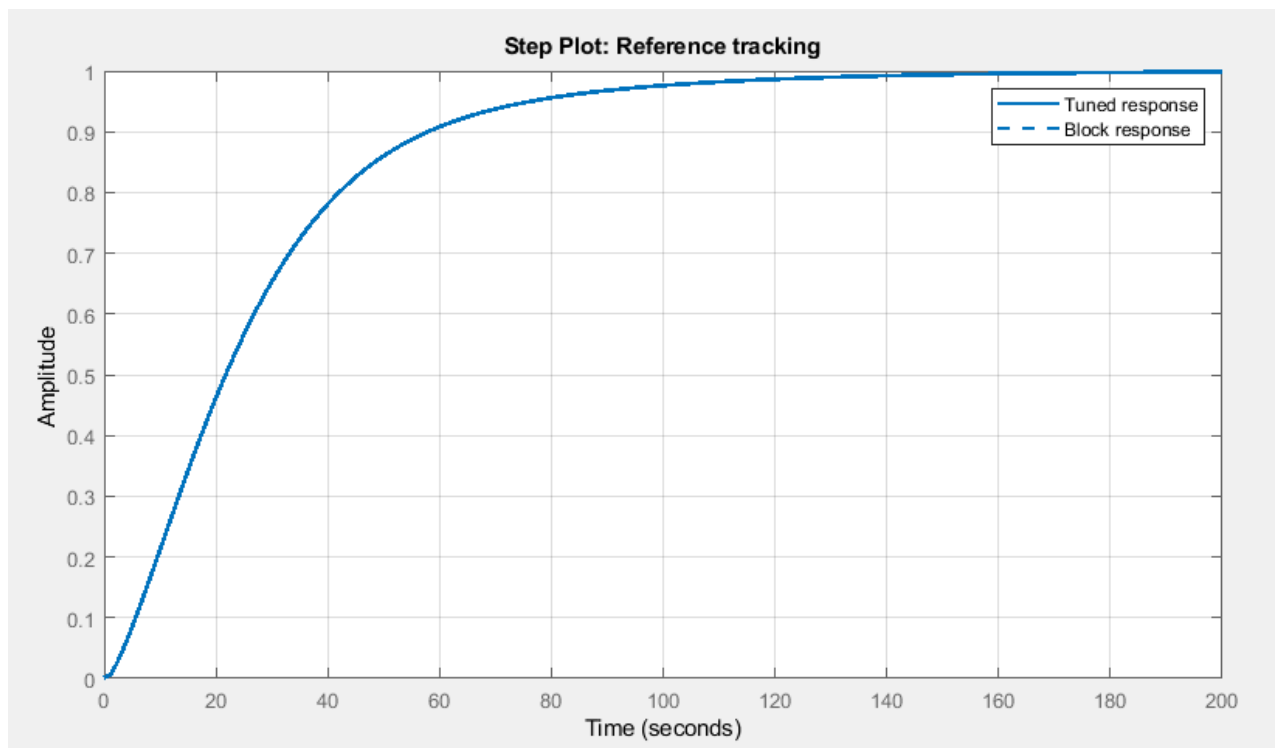


Рисунок 6.2 – Налаштування коефіцієнтів ПІД регулятора

PID Controller автоматично порахував усі параметри для ПІД-регулятора(рисунок 6.4).

Source: [Compensator formula](#)

Proportional (P):

Integral (I):

Derivative (D):

Filter coefficient (N):

Select Tuning Method:

$$P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}}$$

Рисунок 6.4 – Пораховані параметри K_i , K_d і K_p .

Побудована схема з цифровим ПІД-регулятором в MatLab Simulink та значення блоків коефіцієнтів представлено на рисунка 6.5, 6.6, 6.7,6.8 відповідно.

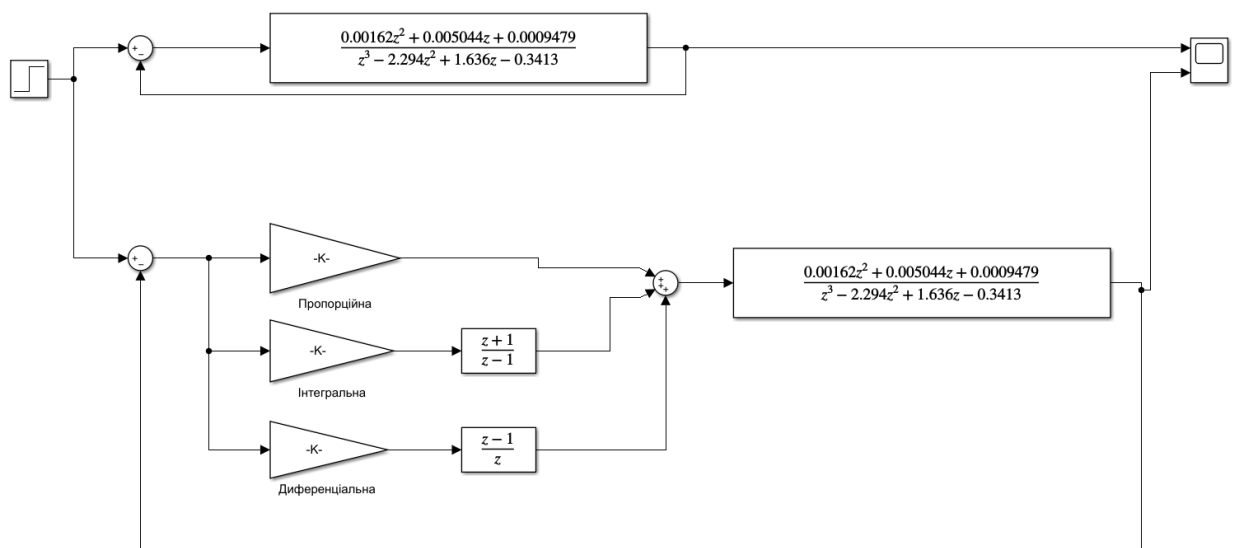


Рисунок 6.5 – Модель цифрової системи з ПІД-регулятором та без нього

Gain:

Multiplication:

Рисунок 6.6 – Параметри пропорційного блоку ПІД регулятора

Gain:

Multiplication:

Рисунок 6.7 – Параметри інтегрального блоку ПІД регулятора

Gain:

Multiplication:

Рисунок 6.8 – Параметри диференціального блоку ПІД регулятора

Графіки перехідного процесу з цифровим ПІД-регулятором і без нього представлені на рисунку 6.9.

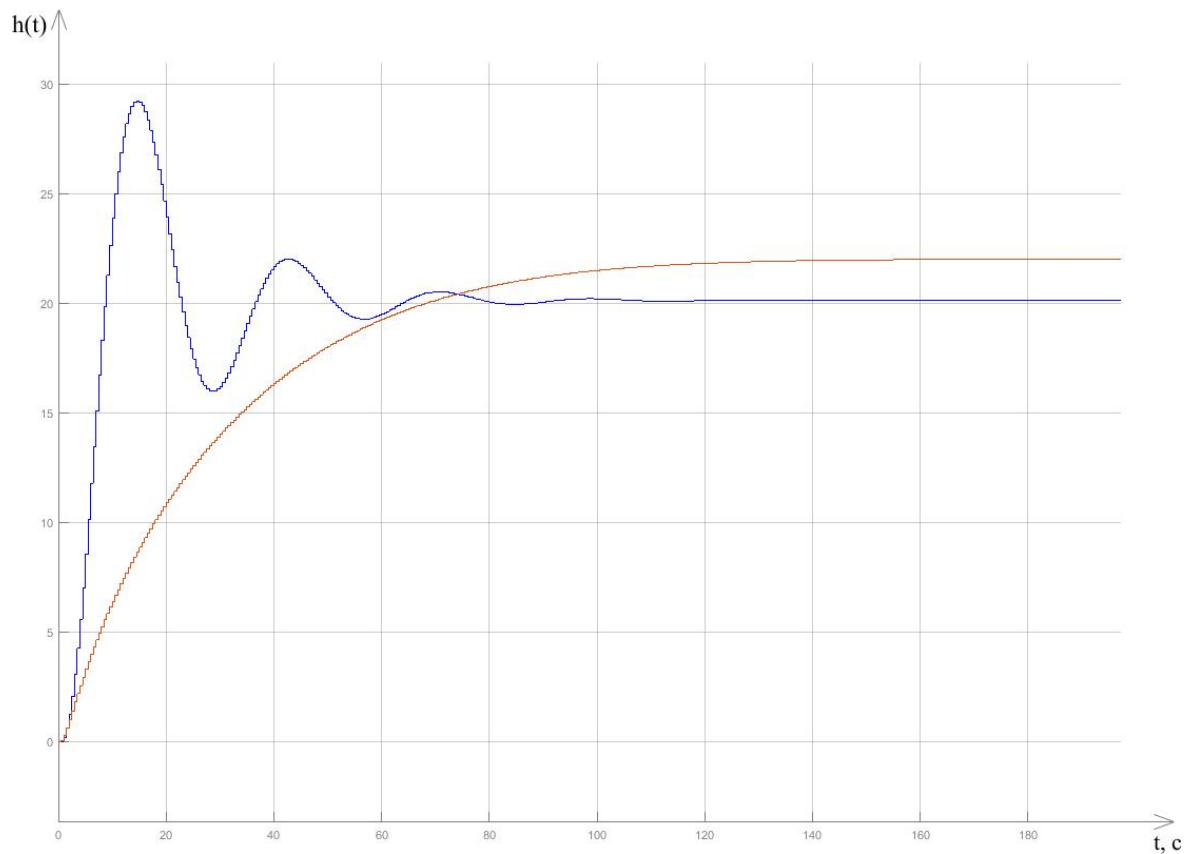


Рисунок 6.9 – Графіки перехідного процесу з цифровим ПД-регулятором (червона лінія) і без нього (синя лінія)

Показники якості:

1. Без регулятора

- a. Максимальне відхилення $h_{\max} = 29.26$;
- b. Стале значення $h_{\text{ст}} = 20.15$;
- c. Час устанавлення $t_{\text{уст}} = 9.27\text{с}$;
- d. Час перехідного процесу $t_{\text{пп}} = 47.771\text{с}$;
- e. Перерегулювання $\sigma = \frac{34.57-23.81}{23.81} * 100\% = 45.21\%$

2. З регулятором:

- a. Максимальне відхилення $h_{\max} = 22$;
- b. Стале значення $h_{\text{ст}} = 22$;
- c. Час устанавлення $t_{\text{уст}} = 220\text{ с}$;
- d. Час перехідного процесу $t_{\text{пп}} = 82.84\text{ с}$;
- e. Перерегулювання $\sigma = \frac{22-22}{22} * 100\% = 0\%$.

6.2 Синтез цифрового регулятора зі зворотними зв'язками за станом

Векторно-матрична модель цифрового об'єкту керування задана в наступній формі:

$$\begin{aligned} x[n + 1] &= Ax[n] + BU[n] \\ Y[n] &= Cx[n] + DU[n], \end{aligned} \quad (6.2)$$

де A , B , C , D – матриці відповідних розмірностей і мають наступний вигляд:

$$A = \begin{vmatrix} 2.294 & -1.636 & 0.6826 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 \end{vmatrix} \quad (6.3)$$

$$B = \begin{vmatrix} 0.125 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \quad (6.4)$$

$$C = |0.013 \quad 0.0403 \quad 0.0152| \quad (6.5)$$

$$D = |0| \quad (6.6)$$

Дослідимо керованість системи за допомогою функцій MatLAB. Обчислюємо матрицю керованості за допомогою функції `ctrb()`.

```
>> P = ctrb(A , B)
```

```
P =
```

```
0.1250  0.2868  0.4533
         0  0.1250  0.2868
         0         0  0.0625
```

Обчислюємо ранг матриці керованості.

```
>> n = rank(P)
```

```
n =
```

```
3
```

Так як $n=3$ – ранг матриці керованості дорівнює порядку об'єкта, отже система повністю керована.

Для регулювання було обрано метод, який базується на використанні зворотнього зв'язку за всіма змінними за станом і забезпечує бажаний розподіл коренів керованого процесу.

Вираз для керованої дії має вид:

$$U[n] = -Kx[n] \quad (6.7)$$

де K – матриця коефіцієнтів зворотнього зв'язку за станом та має вигляд:

$$K = |k_1 \quad k_2 \quad k_3| \quad (6.8)$$

Характеристичний поліном має наступний вигляд:

$$D(z) = |zE - A + BK| \quad (6.9)$$

Для знаходження коренів характеристичного поліному було використано блок Check Step Response Characteristics. Схема підключення моделі системи управління з приєднаним блоком Check Step Response Characteristics представлена на рисунку 6.10.

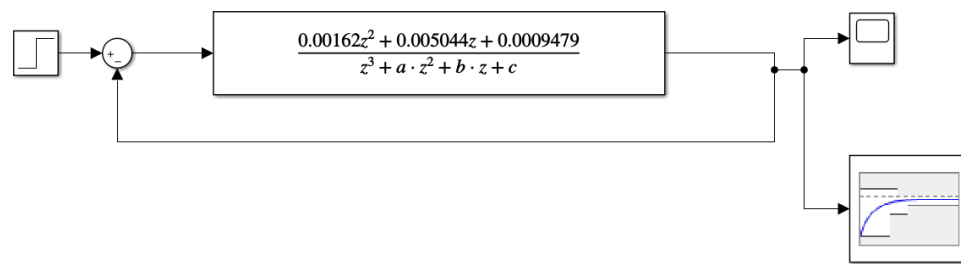


Рисунок 6.10 - Модель системи управління з приєднаним блоком Check Step Response Characteristics

Чисельник моделі - це чисельник приведеної безперервної частини цифрової системи.

Знаменник моделі - шуканий характеристичний поліном.

Виконавши оптимізацію отримаємо бажаний перехідний процес: зображений на рисунку 6.11.

В результаті отримуємо:

$$a = -1.6043 \quad (6.10)$$

$$b = 1.2284 \quad (6.11)$$

$$c = -0.4379 \quad (6.12)$$

Тобто бажаний характеристичний поліном матиме наступний вигляд:

$$D_B(z) = z^3 - 1.6043z^2 + 1.2284z - 0.1843 \quad (6.13)$$

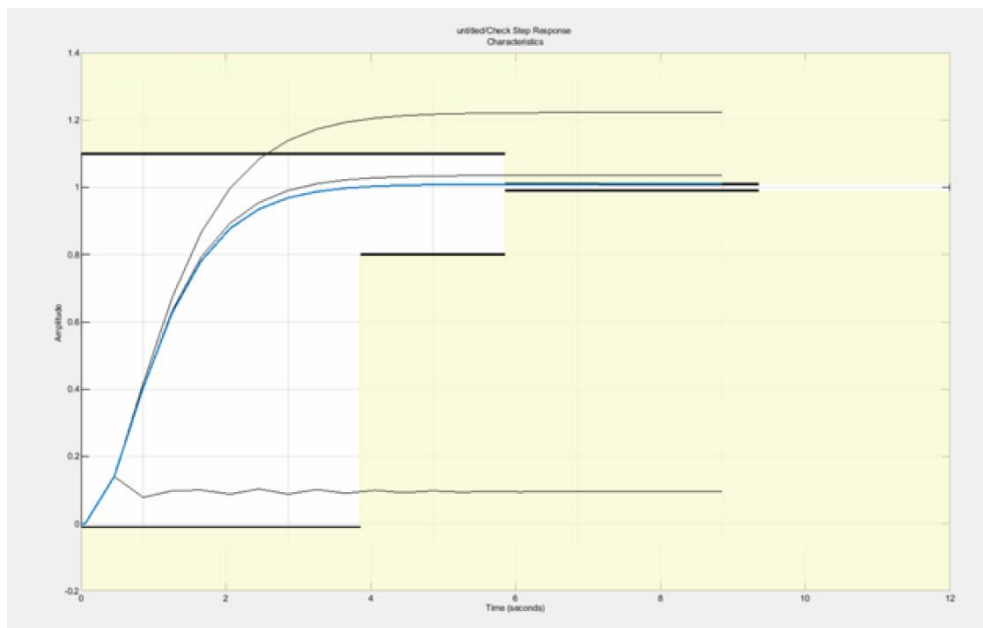


Рисунок 6.11 – Бажаний перехідний процес зможельований в блоці Check Step Response Characteristics

$$|zE - A + B * K| \quad (6.14)$$

$$\begin{aligned}
 &= \begin{vmatrix} z & 0 & 0 \\ 0 & z & 0 \\ 0 & 0 & z \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} 2.294 & -1.636 & 0.6826 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0.125 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} * |k_1 \quad k_2 \quad k_3| \\
 &= \begin{vmatrix} z - 2.294 & 1.636 & -0.6826 \\ -1 & z & 0 \\ 0 & -0.5 & z \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0.125k_1 & 0.125k_2 & 0.125k_3 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \\
 &= \begin{vmatrix} z - 2.294 + 0.125k_1 & 1.636 + 0.125k_2 & -0.6826 + 0.125k_3 \\ -1 & z & 0 \\ 0 & -0.5 & z \end{vmatrix}
 \end{aligned}$$

Знаходимо визначник матриці:

$$\begin{aligned}
 |zE - A + B * K| &= \quad (6.15) \\
 &= z^3 + 2.294z^2 - 0.125z^2k_1 + 0.125k_2z + 1.636z + 0.0625k_3 = \\
 &= z^3 + z^2(2.294 - 0.125k_1) + z(0.125k_2 + 1.636) + 0.0625k_3
 \end{aligned}$$

Прирівняємо коефіцієнти при z , отриманого рівняння та бажаного, за системою рівнянь знаходять матрицю коефіцієнтів зворотного зв'язку.

$$\begin{cases} 2.294 - 0.125k_1 = -1.6043 \\ 0.125k_2 + 1.636 = 1.2284 \\ 0.00615k_3 = -0.4279 \end{cases} \quad (6.16)$$

Розв'язуємо систему рівнянь і одержуємо значення матриці К :

$$\begin{cases} 2.294 - 0.125k_1 = -1.6043 \\ 0.125k_2 + 1.636 = 1.2284 \\ 0.00615k_3 = -0.4279 \end{cases} \quad (6.17)$$

$$\begin{cases} 0.125k_1 = -1.6043 + 2.294 \\ 0.125k_2 = 1.2284 - 1.636 \\ 0.00615k_3 = -0.4279 \end{cases} \quad (6.18)$$

$$\begin{cases} k_1 = 5.5176 \\ k_2 = -3.2608 \\ k_3 = -1.3856 \end{cases} \quad (6.19)$$

Тоді матриця зворотного зв'язку має вигляд:

$$K = [5.5176 \quad -3.2608 \quad -1.3856] \quad (6.20)$$

Виконаємо моделювання цифрової системи в Simulink. Модель цифрової системи з регулятором зі зворотними зв'язками за станом зображена на рисунку 6.12.

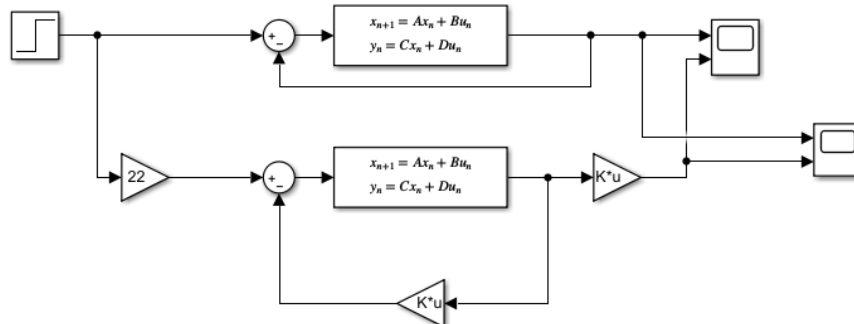


Рисунок 6.12 – Модель цифрової системи з регулятором зі зворотними зв'язками за станом

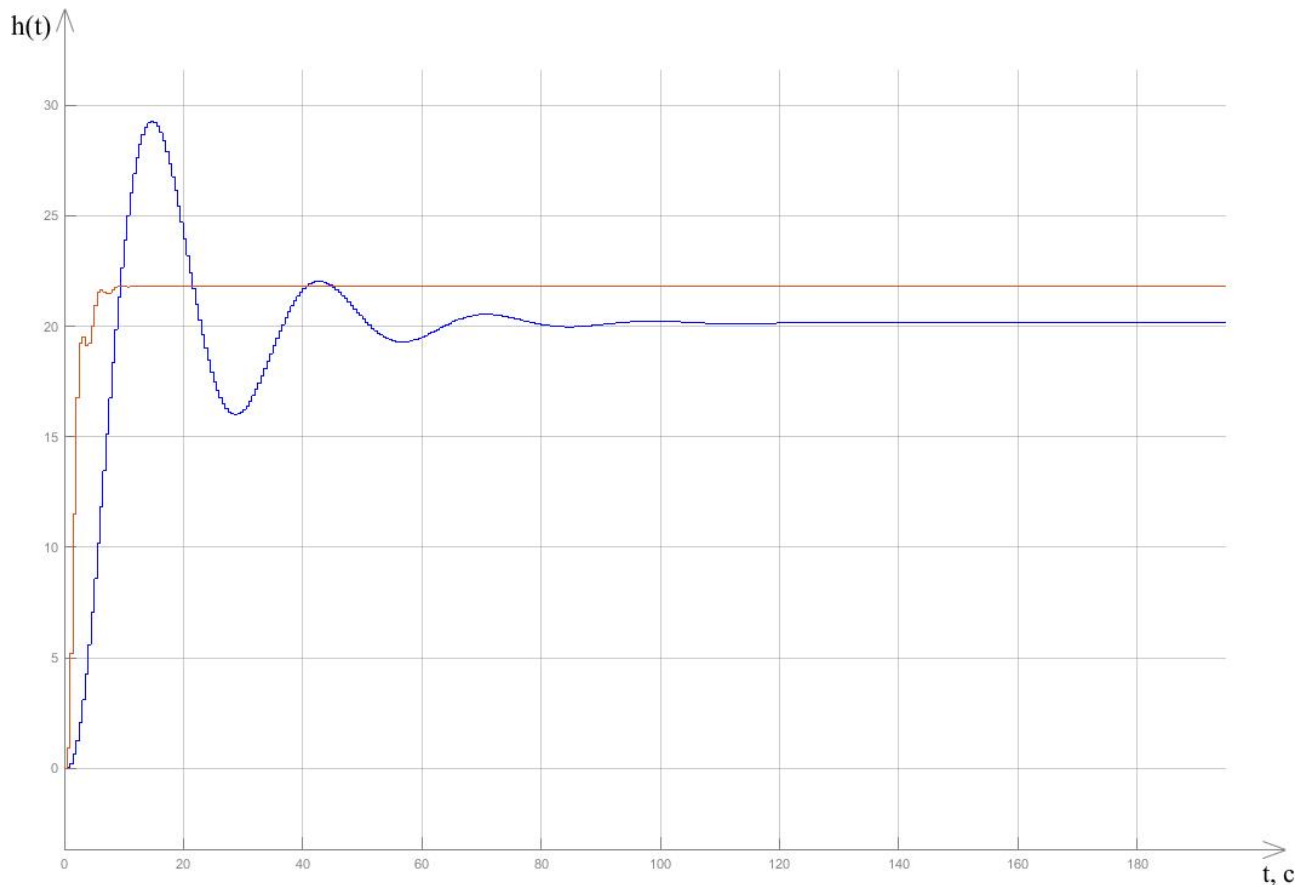


Рисунок 6.13 - Графіки перехідного процесу з регулятором зі зворотними зв'язками за станом (червона лінія) і без нього (синя лінія)

Показники якості:

– без регулятора

- максимальне відхилення $h_{\max} = 29.26$;
- стале значення $h_{\text{ст}} = 20.15$;
- час установалення $t_{\text{уст}} = 9.27\text{с}$;
- час перехідного процесу $t_{\text{пп}} = 47.771\text{с}$;
- перерегулювання $\sigma = \frac{34.57 - 23.81}{23.81} * 100\% = 45.21\%$

– з регулятором:

- максимальне відхилення $h_{\max} = 21.93$;
- стале значення $h_{\text{ст}} = 21.94$;
- час установалення $t_{\text{уст}} = 12.632\text{с}$;
- час перехідного процесу $t_{\text{пп}} = 9.897\text{с}$;

– перерегулювання $\sigma = \frac{21.94-21.93}{21.93} * 100\% \approx 0\%$.

Висновки до розділу

З огляду з графіків перехідного процесу на рисунку 6.2 та рисунку 6.6, які було отримано при моделюванні цифрового ПД регулятора та цифрового регулятора зі зворотними зв'язками за станом можна зробити висновок, що для подальших розрахунків краще брати ПД регулятор, перехідний процес якого краще підкреслює достовірність практичного нагріву приміщення.

7 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА

7.1 Метод безпосередньої декомпозиції

У загальному вигляді передавальна функція цифрового регулятора має вигляд

$$D(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_m z^{-m}}{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n}} = \frac{E_2(z)}{E_1(z)} \quad (7.1)$$

Для методу безпосередньої декомпозиції функція цифрового регулятора представляється наступним чином [25, 26].

$$E_2(z) = (b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_m z^{-m}) * A(z), \quad (7.2)$$

де $A(z)$ - фіктивна змінна.

$$A(z) = \frac{1}{a_0} E_1(z) - \frac{1}{a_0} (a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n}) * A(z). \quad (7.3)$$

Тоді, на основі цієї формули модель методу безпосередньої декомпозиції матиме вигляд, як на рисунку 7.1.

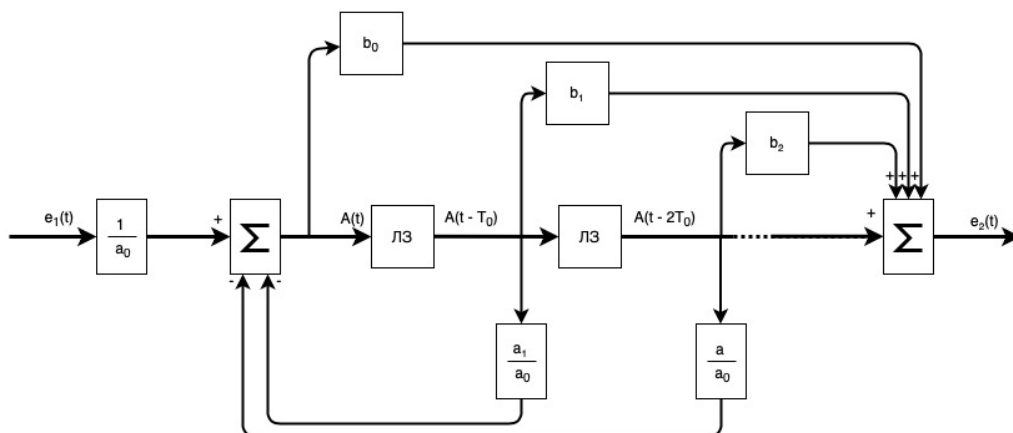


Рисунок 7.1 – Структурна схема моделі методу безпосередньої декомпозиції [25, 26]

У попередньому підрозділі (6.1) було розроблено модель цифрового ПІД регулятора і знайдено коефіцієнти:

$$\begin{aligned} K_p &= 0.10112629 \\ K_i &= 0.00322359 \\ K_d &= 0.3209015 \end{aligned} \quad (7.4)$$

Для отримання передавальної функції цифрового ПІД регулятора необхідно підставити розраховані коефіцієнти в наступну формулу.

$$W_{\text{ПІД}}(z) = K_p + \frac{K_i T_0 (z + 1)}{2(z - 1)} + \frac{K_d (z - 1)}{T_0 z}, \quad (7.5)$$

де T_0 -це час квантування 0.5.

Підставляємо коефіцієнти та розраховуємо передавальну функцію.

$$\begin{aligned} W_{\text{ПІД}}(z) &= 0.10112629 + \frac{0.00322359 * 0.5(z + 1)}{2(z - 1)} + \frac{0.3209015(z - 1)}{0.5z} = \\ &= 0.10112629 + \frac{0.000806(z + 1)}{(z - 1)} + \frac{0.641803(z - 1)}{z} = \\ &= \frac{0.10112629z^2 - 0.10112629z + 0.000806z^2}{z^2 - z} \\ &+ \frac{0.000806z + 0.641803z - 0.641803}{z^2 - z} \\ &= \frac{0.74373519z^2 - 1.38392639z + 0.641803}{z^2 - z} \end{aligned} \quad (7.6)$$

Перевіряємо правильність розрахунків завдяки моделюванню цифрового ПІД регулятора у вигляді коефіцієнтів і розрахованої передавальної функції(рисунок 7.2).

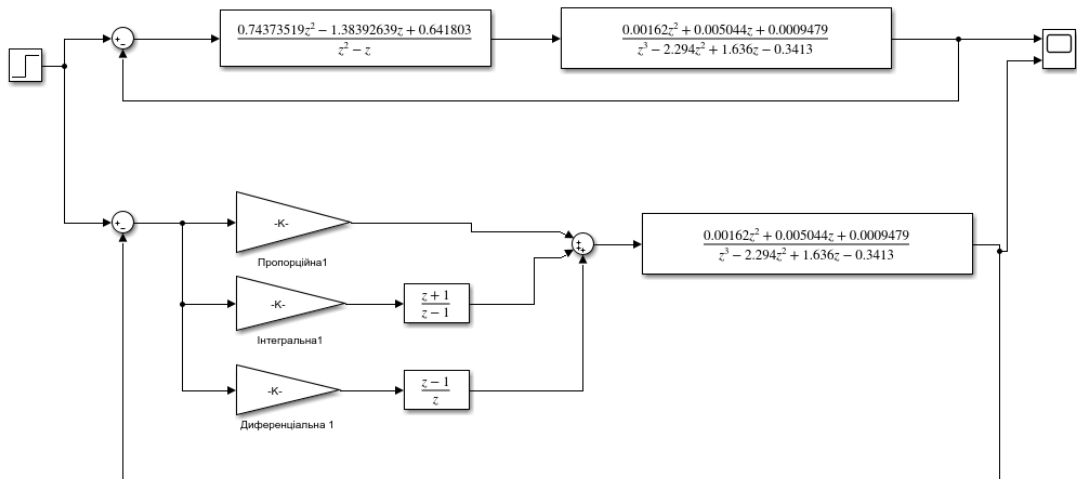


Рисунок 7.2 – Модулювання цифрового ПІД регулятора у вигляді коефіцієнтів і передавальної функції

Результати моделювання представлені на рисунку 7.3.

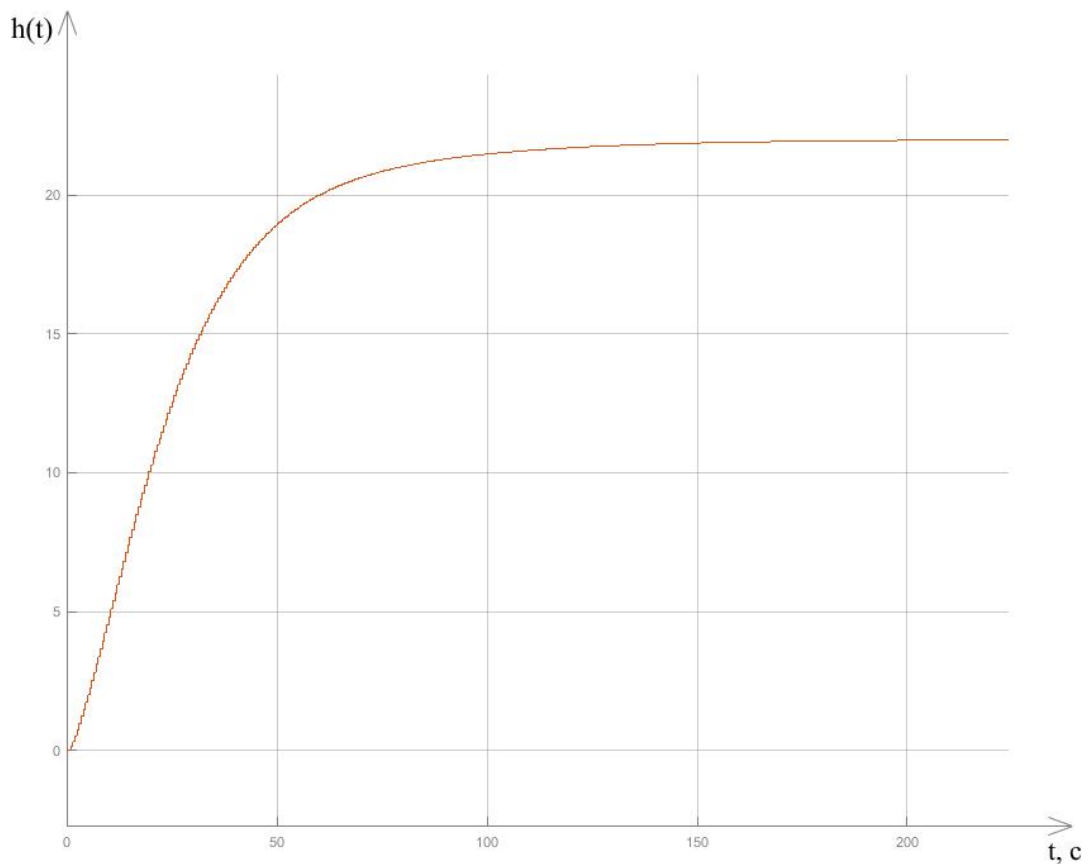


Рисунок 7.3 – Графіки перехідного процесу ПІД регулятора, розрахованого за допомогою PID Controller (червона лінія) і передавальної функції ПІД регулятора,

розрахованої аналітично (синя лінія)

Як видно, графіки повністю зійшлись, а отже робимо висновок що розрахунки вірні.

Представимо знайдену передавальну функцію ПД регулятора в типовому вигляді для використання методу безпосередньої декомпозиції:

$$D(z) = \frac{0.74373519 - 1.38392639z^{-1} + 0.641803z^{-2}}{1 - z^{-1}} = \frac{E_2(z)}{E_1(z)} \quad (7.7)$$

$$E_2(z) = (0.74373519 - 1.38392639z^{-1} + 0.641803z^{-2}) * A(z) \quad (7.8)$$

$$A(z) = \frac{1}{1} E_1(z) - \frac{1}{1} (1 - z^{-1}) * A(z) = E_1(z) + 1 * A(z) + z^{-1} * A(z) \quad (7.9)$$

Схема з реалізацією цифрового регулятора методом безпосередньої декомпозиції на моделі MATLAB/Simulink:

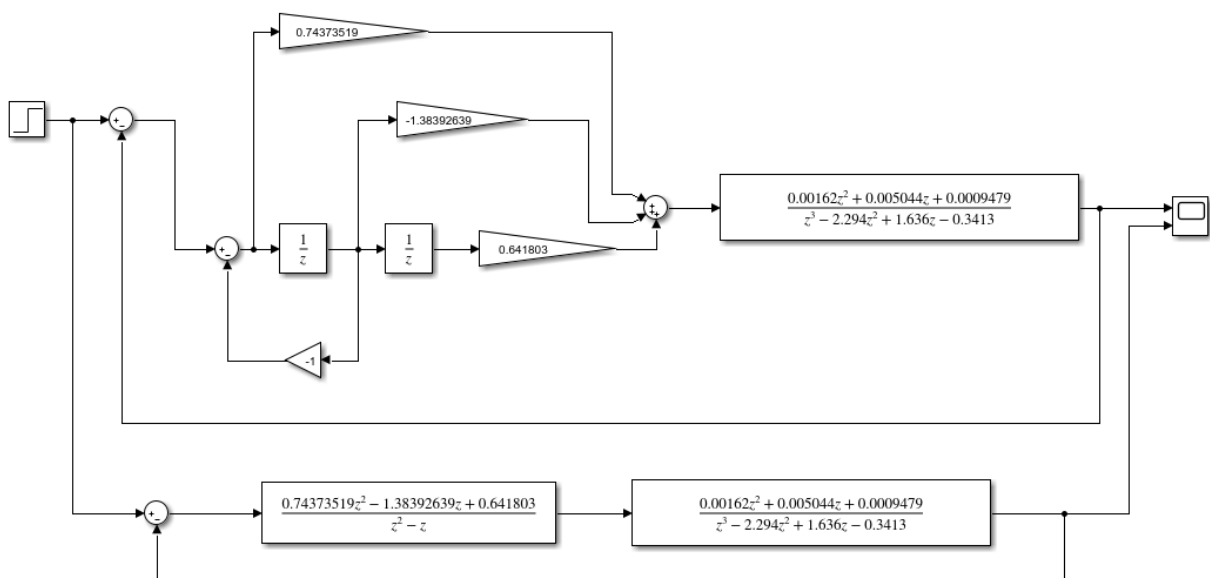


Рисунок 7.4 – Модель цифрової системи з цифровим регулятором, який реалізовано методом безпосередньої декомпозиції

Результат моделювання можна побачити на рисунку 7.5.

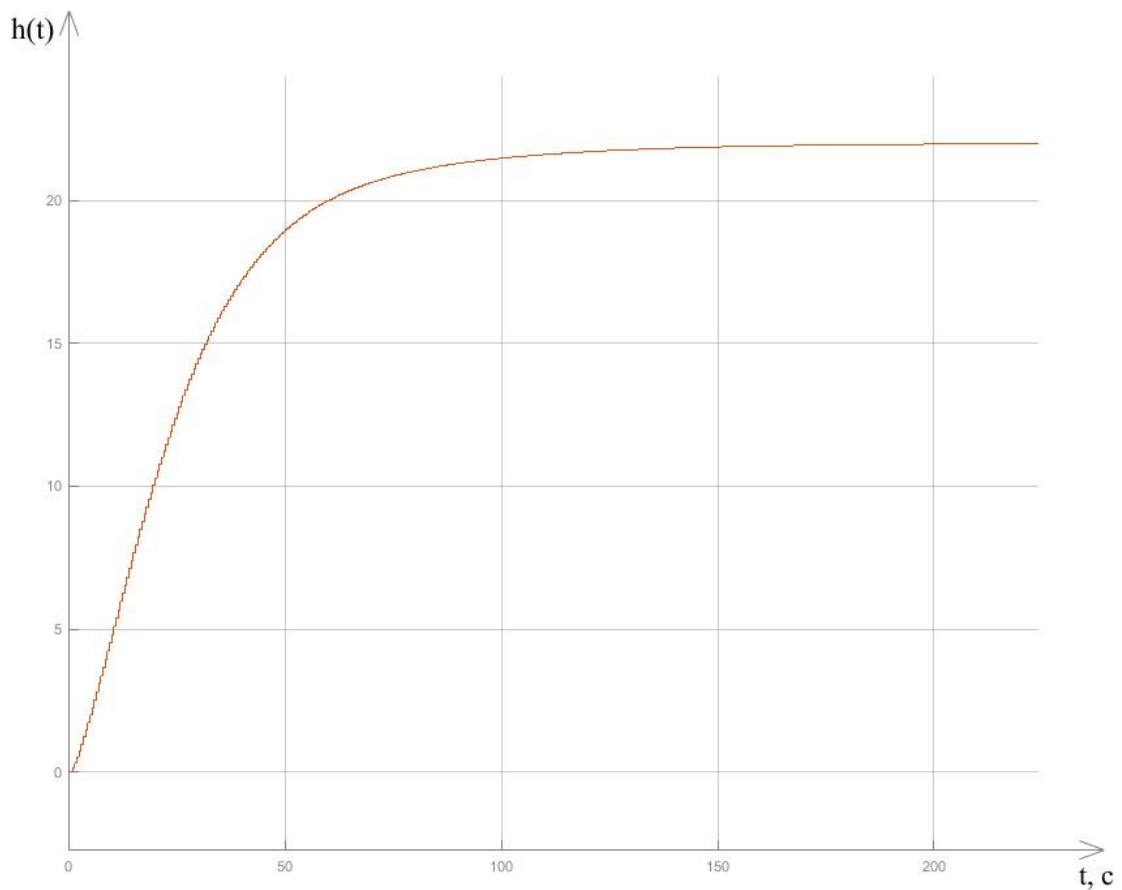


Рисунок 7.5 – Графіки перехідного процесу системи з цифровим регулятором, реалізованим за допомогою методу безпосередньої декомпозиції (червона лінія) і передавальної функції ПІД регулятора, розрахованої аналітично (синя лінія)

Висновки до розділу

Порівнюючи графіки на рисунку 7.3 та рисунку 5.2 можна зробити висновок про ідентичність моделей.

8 РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕМЕНТАМИ РОЗУМНОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ GPS

Для демонстрації роботи інтерактивної моделі системи керування елементами розумного будинку було створено інтерактивну модель на основі мови програмування JavaScript та оточення браузера для дослідження методів визначення користувача за даними геопозиції.

JavaScript[25]— мова програмування. Має підтримку об'єктно-орієнтованого, імперативного та функціонального стилів програмування. Є реалізацією специфікації ECMAScript 262. Найширше застосування знаходить у браузерах як мова сценаріїв надання інтерактивності веб-сторінок .

Основні риси: динамічна типізація, автоматичне керування пам'яттю, прототипове програмування, функції як об'єкти першого класу.

Підтримує основні типи даних. Number - для будь-яких чисел: цілих чисел з плаваючою точкою; цілі численні значення обмежені діапазоном $\pm(2^{53}-1)$. BigInt для цілих чисел довільної довжини. String - для строк або рядків, рядок може містити нуль або більше символів, тип String не має окремого символного типу. Boolean – логічний тип даних, основні значення true і false. Null для невідомих значень – окремий тип, має одне значення null. Undefined для неprisвоєних значень – окремий тип, що має значення undefined. Для складних структур даних є окремий тип даних object. Для взаємодії з даними можуть використовуватись інші складні структури даних такі як функції та масиви.

В залежності від середовища, в якому запускається JavaScript код, будуть доступні додаткові можливості, як наприклад визначення геолокації.

В браузері кожного користувача присутні API геолокації. Це високорівневий інтерфейс для інформації про місцезнаходження, пов'язаної лише з пристроєм, на якому розміщено реалізацію. Поширені джерела інформації про місцезнаходження включають глобальну систему позиціонування (GPS) і місцезнаходження, виведене з

мережевих сигналів, таких як IP-адреса, RFID, MAC-адреси WiFi і Bluetooth, ідентифікатори стільників GSM/CDMA, а також дані користувача.

Сам API не залежить від джерел інформації про місцезнаходження, і не надає гарантію, що API повертає фактичне місцезнаходження пристрою.

Якщо кінцевий користувач надає дозвіл для визначення геолокації, то API може реалізувати наступний функціонал.

API надає дані про місцезнаходження, такі як широту, довготу, висоту, швидкість і курс, а також точність отриманих даних про місцезнаходження та приблизний час, коли позиція була отримана через інтерфейс `GeolocationPosition`.

API підтримує «одноразове» оновлення позиції за допомогою методу `getCurrentPosition()` і можливість отримувати оновлення, коли положення пристрою суттєво змінюється за допомогою методу `watchPosition()`.

Через метод `enableHighAccuracy` підтримує запит даних про позицію «високої точності», хоча користувацький агент може проігнорувати запит.

При розробленні інтерактивної моделі використовувався метод `navigator.getCurrentPosition()`. В ролі координат будинку виступають координати приладу на якому запускається інтерактивна модель, в ролі користувача виступає масив згенерованих координат руху користувача.

При першому ж запуску моделі одразу починає працювати система визначення координат. Для оновлення даних в інтерактивній моделі система викликає метод визначення координат кожні 5 секунд. В системі розумного будинку можна встановити інтервал в 1 або 5 хвилин. В результаті виклику методу `getCurrentPosition()` система повертає результат, зображений на рисунку 7.1.

```
▼ GeolocationPosition {coords: GeolocationCoordinates, timestamp: 1637184241332} ⓘ  
  ▼ coords: GeolocationCoordinates  
    accuracy: 20  
    altitude: null  
    altitudeAccuracy: null  
    heading: null  
    latitude: 50.5087448  
    longitude: 30.8089116  
    speed: null  
    ► [[Prototype]]: GeolocationCoordinates  
  timestamp: 1637184241332  
  ► [[Prototype]]: GeolocationPosition
```

Рисунок 8.1 – Результат виклику методу `getCurrentPosition()`

Як видно з рисунку 8.1, в результаті повертається об'єкт з властивістю `coords` в якій присутні дані про широту та довготу на якій розташований об'єкт.

Для прорахунку відстані між елементами використовується формула яка була описана в блоці 2.1.3. Для реалізації цієї формули напишемо функцію яка приймає в аргументи 4 параметри – довготу і широту будинку та довготу та ширину користувача. В середині цієї функції описано формулу визначення відстані між користувачем і будинком в математичному вигляді з використанням влаштованих математичних функцій мови JavaScript. Аргументи, які передаються в середину мають бути типу даних число. Після прорахунків функція повертає значення, тип цього значення також число. Тіло та синтаксис функції представлено на рисунку 8.2.

```

// CalculateDistance
function CalculateDistance(lat1, long1, lat2, long2) {
  /**
   * @param lat1      type: number
   * @param long1     type: number
   * @param lat2      type: number
   * @param long2     type: number
   * @return distance type: number
   */

  // Translate to a distance
  let distanceTrigon =
    Math.sin(lat1 * Math.PI) * Math.sin(lat2 * Math.PI) +
    Math.cos(lat1 * Math.PI) * Math.cos(lat2 * Math.PI) *
    Math.cos(Math.abs(long1 - long2) * Math.PI);
  // Return the distance in meters
  const distance = (Math.acos(distanceTrigon) * 6370981.162) / 1000;
  return distance;
}

```

Рисунок 8.2 – Тіло та опис параметрів функції для визначення відстані між елементами

Для використання цієї функції необхідно в параметри функції передати координати будинку та координати користувача. Передача параметрів відбувається в функції для визначення координат. За допомогою функції `setInterval()` – функції затримки через кожні 5 секунд буде прораховуватись нова відстань до користувача, що дозволить динамічно відслідковувати користувача по карті.

Для взаємодії з системами опалення та відчинення воріт були написані відповідні функції. Для взаємодії з системою опалення було написано функції `increaseTemperature` і `decreaseTemperature`.

Функція `increaseTemperature` приймає в аргументи функції один параметр, цей параметр має бути тип число, і це параметр який відповідає за бажану температуру. У випадку якщо користувач не буде передавати бажану температуру – буде використовуватись стандартне значення – 22 градусів. В середині функції написана перевірка працездатності опалювальної системи. У випадку якщо опалювальна система вимкнена, а температура в будинку становить нижче критичного значення - 15 градусів – користувачеві буде надіслано повідомлення про увімкнення

опалювальної системи в будинку. Після цього буде дана команда для нагріву приміщення до заданої температури.

Функція `decreaseTemperature` приймає в аргументи функції один не обов'язковий параметр, цей параметр має бути тип число, і це параметр який відповідає за температуру коли користувача нема вдома. У випадку якщо користувач не буде передавати бажану температуру – буде використовуватись стандартне значення – 19 градусів.

```
// Call this on an interval
function OnInterval(targetlat, targetlong, lat, long) {
  /**
   * @param targetlat   type: number
   * @param targetlong  type: number
   * @param lat         type: number
   * @param long        type: number
   */
  const distance = CalculateDistance(targetlat, targetlong, lat, long);

  if (distance <= 20000) {
    increaseTemperature(26);
  } else {
    decreaseTemperature();
  }
}
```

Рисунок 8.3 – Функція для визначення відстані між користувачем та будинком

Для послідовного виклику кожної з функцій керування температурою, було написано умову, представлену на рисунку 8.3, за якою перевіряється відстань від користувача до будинку. У випадку якщо відстань від користувача до будинку становить менше 20 км, тобто 20000м то буде викликатись функція `increaseTemperature()`(рисунок 8.4), у випадку якщо користувач знаходиться поза колом радіуса 20км – в приміщенні буде підтримуватись задана температура, тобто викликатись функція `decreaseTemperature()`(рисунок 8.5).

```

Координати будинку:
Широта 50.508195636289784
Довгота 30.80799045870454
Координати користувача:
Широта 50.5087386
Довгота 30.8089112
Відстань від користувача до будинку становить: 10.878км
Ініціалізація системи керування опаленням...
increaseTemperature 20.5
increaseTemperature 21
increaseTemperature 21.5
increaseTemperature 22
increaseTemperature 22.5
increaseTemperature 23
increaseTemperature 23.5
increaseTemperature 24
increaseTemperature 24.5
increaseTemperature 25
increaseTemperature 25.5
increaseTemperature 26
Температура в будинку становить 26

```

Рисунок 8.4 – Результати виклику функції increaseTemperature(26)

```

Координати будинку:
Широта 50.508195636289784
Довгота 30.50799045870454
Координати користувача:
Широта 50.5087386
Довгота 30.8089112
Відстань від користувача до будинку становить: 154.6км
decreaseTemperature 19.5
decreaseTemperature 19
decreaseTemperature 18.5
decreaseTemperature 18
Температура в будинку 18

```

Рисунок 8.5 – Результати виклику функції decreaseTemperature()

Для взаємодії з системою відчинення дверей було написано функції openDoors() і closeDoors().

Функція openDoors() не приймає в аргументи функції жоден параметр. В середині функції описано функціонал перевірки роботи автоматики. У випадку якщо автоматика не працює, наприклад через погодні умови або сама система вийшла з ладу, користувачу буде надіслано повідомлення про несправність системи. У цьому випадку робота цієї системи буде завершена. Якщо перевірка автоматики пройшла успішно, то буде надіслано сигнал на відчинення воріт.

Функція `closeDoors()` не приймає в аргументи функції жоден параметр. В середині функції описано функціонал для відправки сигналу на зачинення воріт.

Для послідовного виклику кожної з функцій керування в'їзними воротами, було написано умову за якою перевіряється відстань від користувача до будинку. У випадку якщо відстань від користувача до будинку становить менше 10м, буде викликатись функція `openDoors()` (рисунок 8.6) з подальшим викликом функції перевірки роботи автоматики (рисунок 8.7 – автоматика працює успішно, рисунок 8.8 – автоматика не працює), у випадку якщо користувач знаходиться поза колом радіуса 10м – в'їзні ворота будуть зачинені, тобто викликатись функція `closeDoors()` (рисунок 8.9).

```

Координати будинку:
Широта 50.5087448
Довгота 30.8089112
Координати користувача:
Широта 50.5087448
Довгота 30.8089116
Відстань від користувача до будинку становить: 0км
Ініціалізація перевірки роботи автоматики.
Автоматика працює успішно
Ворота відкриті

```

Рисунок 8.6 – Результат роботи функції `openDoors()`, функція перевірки роботи автоматики завершилась успішно

```

Координати будинку:
Широта 50.5087386
Довгота 30.8089112
Координати користувача:
Широта 50.5087386
Довгота 30.8089112
Відстань від користувача до будинку становить: 0км
Ініціалізація перевірки роботи автоматики.
Автоматика не працює. Зверніться в центр обслуговування
Ворота відкриті

```

Рисунок 8.7 – Результат роботи функції `openDoors()`, функція перевірки роботи автоматики завершилась не успішно

Координати будинку:
Широта 50.508195636289784
Довгота 30.8089112234567
Координати користувача:
Широта 50.5087448
Довгота 30.8089116
Відстань від користувача до будинку становить: 10.991км
Ворота закриті

Рисунок 8.8 – Результат роботи функції closeDoors()

Висновки до розділу

У даному розділі розроблено інтерактивну модель для тестування алгоритму визначення відстані користувача до розумного будинку з використанням технологій обчислення GPS координат.

9 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ

9.1 Опис ідеї стартап-проєкту

Ідея стартап-проєкту полягає у створенні системи керування, здатної керувати елементами розумного будинку базуючись на відстані користувача від будинку з використанням даних геопозиції користувача.

Опис ідеї, напрямків застосування стартап-проєкту, а також вигоди для користувача проаналізовано в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1 – Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення програмного продукту - системи керування елементами розумного будинку з використанням GPS	Приладобудування, організації, які займаються розробкою, встановленням та підтримкою інтелектуальних систем та розумних будинків	Підвищена ефективності керування елементами розумного будинку; збільшення терміну служби устаткування, економічне використання ресурсів та коштів на утримання та підтримання системи, що забезпечується його роботою при зниженому навантаженні.

Завдяки аналізу було визначено основний зміст ідеї та ряд переваг. Також визначено можливі потенційні ринки, основним з яких є ринок розумних будинків та інтелектуальних систем.

Для подальшого аналізу було виділено сильні (S), слабкі (W) та нейтральні (N) сторони ідеї стартап-у, які приведено в таблиці 9.2.

Таблиця 9.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних сторін ідеї проєкту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W	N	S
		Мій проєкт	HomeKit	Ajax	Xiaomi			
1.	Вартість	від 100\$	умовно безкоштовна	від 450\$	від 150\$	+		
2.	Багатофункціональність	+	+	+	+		+	
3.	Керування за допомогою смартфона	+	+	+	+		+	
4.	Керування на базі GPS координат користувача	+	-	-	-			+
5.	Підтримка кількох сценаріїв різного рівня складності	+	-	+	-			+
6.	Інформування користувача	+	+	+	+		+	
7.	Можливість інтеграція в уже готову систему	+	-	-	-			+
8.	Можливість централізованого керування та збору даних із кількох підсистем	+	-	-	-			+
9.	Простота додавання нових сценаріїв роботи в залежності від розташування користувача	+	-	-	-			+

10.	Перевірка роботи керованими підсистемами	+	-	-	-				+
-----	--	---	---	---	---	--	--	--	---

В результаті досліджень ринку було виявлено трьох основних конкурентів. На основі порівняння основних характеристик та можливостей було виявлено сильні, слабкі та нейтральні сторони стартап-проєкту. До сильних сторін відноситься керування елементами розумного будинку на базі GPS координат користувача, підтримка одразу кількох сценаріїв роботи різної складності та простота додавання нових в залежності від GPS координат користувача, перевірка роботи керованими підсистемами. До нейтральних сторін можна віднести багатофункціональність, керування за допомогою смартфона та інформування користувача. До слабких сторін можна віднести його ціну, так як існує умовно безкоштовний додаток HomeKit, але враховуючи недоліки даного додатку можна вважати, що моя система є найкращим представником у співвідношенні ціна/якість.

Проаналізувавши всі переваги які наявні в даному стартап-проєкті можна зробити висновок про гарну конкурентоспроможність даного продукту.

9.2 Технологічний аудит ідеї стартап-проєкту

Аналіз наявності та доступності усіх технологій, необхідних для реалізації стартап-проєкту приведено у таблиції 9.3.

Обрані технології для реалізації стартап-проєкту є повністю наявні та доступні. Для реалізації проєкту було обрано розроблений у магістерській дисертації метод цифрової апроксимації для вибору періоду квантування за часом, оскільки цей метод дозволяє забезпечити необхідну якість перехідних процесів. Для визначення координат користувача було обрано системи Geolocation API за допомогою яких

можна визначити геолокаційні дані користувача такі як координати широти та довготи та розрахувати фактичну відстань користувача до заданої точки.

Таблиця 9.3 – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Система керування елементами розумного будинку з використанням GPS	Розроблення структурної та функціональної схем системи	Наявна	Доступна
2.		Розроблення математичної моделі системи керування елементами розумного будинку з використанням GPS	Наявна	Доступна
3.		Метод цифрової апроксимації для вибору періоду квантування за часом, який забезпечить необхідну якість перехідних процесів	Розроблено у представлений магістерській дисертації	Доступна
4.		Комп'ютерне моделювання системи керування елементами розумного будинку з використанням GPS	Наявна	Доступна

5.	Метод визначення координат користувача за GPS та розрахунок відстані від користувача до заданої точки	Наявна	Доступна
6.	Geolocation API, Node.js	Наявна	Доступна
7.	Visual Studio Code, ECMAScript 262(JavaScript 2015)	Наявна	Доступна
Обрані технологія реалізації ідеї проєкту: Метод цифрової апроксимації для вибору періоду квантування за часом, метод визначення координат користувача за GPS та розрахунок відстані від користувача до заданої точки, Geolocation API, Node.js, Visual Studio Code, ECMAScript 262(JavaScript 2015)			

9.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Для ринкового впровадження проєкту було визначено ринкові можливості проєкту на ринкові загрози проєкту, які можуть перешкодити реалізації проєкту. Було проведено аналіз попиту, що наведений у таблиці 9.4. Кількість основних гравців - 3. Таблиця 9.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1.	Кількість головних гравців, од	3

2.	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	3000
3.	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4.	Наявність обмежень для входу	Наявна певна конкуренція в сферах застосування
5.	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6.	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	35

Ринок обраний для реалізації стартап-проєкту є достатньо привабливим завдяки гарній рентабельності та незначній конкуренції в межах України.

Для аналізу потенційних клієнтів було сформовано таблицю 9.5.

Основним цільовим сегментом ринку є організації як займаються розробкою, встановленням та підтримкою інтелектуальних систем та розумних будинків. Окрім цього сформовано вимоги до продукту та до постачальника.

Також було проаналізовано фактори які можуть перешкоджати впровадженню стартап-проєкту. Результати аналізу наведено в таблиці 9.6.

Аналіз факторів загроз показує що найбільшими загрозами для масового ринкового впровадження можуть стати органічні механізми роботи ринку, а саме моральне старіння використаних технологій, на яких написана система та зміна політики та методів надання тих чи інших технологій. Для вирішення можливих проблем було продумано заходи для усунення впливу факторів загроз.

Також було розглянуто фактори можливостей стартап-проєкту, результати аналізу наведено в таблиці 9.7.

Для стартап-проєкту було проаналізовано основні фактори загроз та можливостей. Загрози в більшості були пов'язані з виходом на ринок нових конкурентів чи зміною надання технологічних послуг компаніями-постачальниками. Не зважаючи на те, що загрози цілком ймовірні, вони потребують достатньо багато

часу на реалізацію, а враховуючи це у стартап-проекті буде достатньо часу для втілення на ринку. Основними можливостями для розвитку є вихід на нові ринки та розширення можливостей системи, що дасть значний приплив нових клієнтів.

Таблиця 9.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Система керування елементами розумного будинку з використанням GPS	Організації, які займаються розробкою, встановленням та підтримкою інтелектуальних систем та розумних будинків	Переваги над представленими аналогами на ринку.	До продукції: надійність, ефективність, точність, простота інтеграції. До компанії-постачальника: надійність, досвід роботи з системами.

Таблиця 9.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Підвищення конкуренції	Поява конкурентоспроможних продуктів та компаній	Підвищення якості, розробка нових рішень, покращення технічних характеристик системи керування.
2.	Моральне старіння використаних технологій	Поява нових версій технологій та	Оновлення наявного програмного забезпечення.

		програмного забезпечення на ринку	
--	--	--------------------------------------	--

3.	Розширення логіки	Неможливість внесення оновлень в існуючий алгоритм роботи	Аналіз роботи системи керування, розробка нової версії алгоритму роботи.
4.	Зміна політики та методів надання технологій	Зміна політики чи надання послуг з використання певних технологій може створити загрозу для роботи коректної підсистеми	Фіксація версій використаних технологій та своєчасне оновлення використаних технологій.
4.	Якість роботи продукту	Незадоволення точністю роботи певних підсистем	Покращення роботи систем для підвищення якості роботи продукту.

Таблиця 9.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Поява нових сфер застосування системи керування з використанням GPS	Поява нових сфер застосування системи керування з використанням GPS не лише елементами розумного будинку, а й в інших компаніях, які	Удосконалення системи керування для адаптації під умови роботи з різними підсистемами у нових сферах використання чи випуск вузькоспеціалізованих

		раніше не мали такої потреби.	версій систем для певної галузі застосування.
2.	Зростання попиту	Збільшення обсягів заcuпок екземплярів системи наявними компаніями та поява на ринку нових компаній, яким потрібна саме така система.	Збільшення обсягів виробництва системи з різними можливостями, зменшення ціни чи впровадження підписки.

Для виводу стартап-проекту на ринок необхідно проаналізувати також пропозиції та загальні риси конкуренції на ринку. Результати аналізу наведено в таблиці 9.8

Таблиця 9.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Тип конкуренції: чиста	На ринку нема жодного представника	Прогнозування змін на ринку та вибір найвдалішого моменту для старту продажів
2. За рівнем конкурентної боротьби: міжнародний	Конкурентоспроможність продукту на міжнародному рівні.	Сильні конкуренти відсутні. Можливість виходу на міжнародний ринок.
3. За галузевою ознакою: міжгалузева	Система може використовуватись не лише в основній галузі, а й різних галузях,	Виготовлення нових екземплярів програми, що відповідають специфічним потребам ринку в даному сегменті.

	виконуючи основні задачі.	
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Товар одного виду – програмне забезпечення.	-
5. За характером конкурентних переваг: цінова	За своїми характеристиками товар якісніший.	Пошук нового програмного забезпечення, використання актуальних технологій та методів, виготовлення вузькоспеціалізованих екземплярів.
6. За інтенсивністю: - не марочна	Товар лише починає виходити на ринок	Покращення якості, характеристик та зниження ціни продукту.

За даними аналізу конкуренції на ринку було з'ясовано, що на українському ринку конкуренція представленої системи дуже низька. Через це було зроблено висновок, що доцільніше всього вводити продукт спочатку на український ринок, а потім на міжнародний, оскільки представлена система достатньо конкурентоспроможна.

Також було проведено аналіз конкуренції в галузі за М. Портером, результати аналізу представлено в таблиці 9.9.

При аналізі за М. Портером прямих конкурентів не було виявлено, а потенційні конкуренти не можуть протидіяти виходу стартап-проєкту на ринок. Також повноцінних товарів замінників не було виявлено, адже стартап-проєкт пропонує унікальний функціонал. Можливість задоволення специфічних потреб може бути реалізована лише в ситуації проведення сертифікації продукту.

Окрім цього було проведено обґрунтування факторів конкурентоспроможності стартап-проєкту, результати аналізу представлено в таблиці 9.10.

Основним факторами конкурентоспроможності даного стартап-проєкту є вартість, яка є нижчою за аналогічні системи, функціональність, так як система дозволяє користувачеві налаштувати системи один раз і далі система працює автоматично без користувача, простота інтеграції даного продукту в уже існуючі системи.

Таблиця 9.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Відсутні	Конкурентам і можуть стати системи від Ajax, HomeKit, Xiaomi	Apple, Ajax, Xiaomi	Приладобудування, організації які займаються розробкою, встановленням та підтримкою інтелектуальних систем та розумних будинків.	Товари-замінники відсутні.

Висновки	Конкуренція відсутня	Постачальники великі та незалежні	Представлені постачальники не диктують умови роботи на ринку інтелектуальних системи.	Клієнт може висунути вимоги лише у випадку необхідності сертифікації представленою продукту	Товарів заміників не існує на ринку.
----------	----------------------	-----------------------------------	---	---	--------------------------------------

Таблиця 9.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Вартість	У 1,5-2 рази дешевше
2.	Функціональність	Функціонал продукту можна модифікувати під певні потреби
3.	Можливість керування підсистемами без явного вказування команд	Ця можливість необхідна для автоматизованого керування підсистемами без участі користувача. У конкурентів відсутня.
4.	Інтеграція у вже готову систему	Дане рішення достатньо просто інтегрувати в будь яку існуючу систему без повного переналаштування усієї системи цілком.

У таблиці 9.11 наведено порівняльний аналіз сильних та слабких сторін стартап-проєкту.

Таблиця 9.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проєкту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг мого проєкту у порівнянні з товарами-конкурентами
-------	-------------------------------	-----------	---

			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Вартість	18							+
2.	Функціональність	20							+
3.	Можливість керування підсистемами без явного вказування команд	20						+	
4.	Інтеграція у вже готову систему	20						+	

При порівняльному аналізі сторін проєкту (слабких та сильних) було отримано наступний результат – стартап-проєкт переважає конкурентів по більшості факторах, що дає підстави говорити - система конкурентоспроможна.

Для SWOT-аналізу стартап-проєкту(аналіз сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) було сформовано таблицю 9.12.

Таблиця 9.12 – SWOT-аналіз стартап-проєкту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> – функціональність; – керування за допомогою смартфона; – керування на базі GPS координат користувача; – підтримка кількох сценаріїв різного рівня складності; – можливість інтеграція в уже готову систему; <p>простота додавання нових сценаріїв в залежності від GPS координат користувача</p>	<p>Слабкі сторони:</p> <p>вартість.</p>
<p>Можливості:</p>	<p>Загрози:</p>

<ul style="list-style-type: none"> – поява нових сфер застосування системи керування з використанням GPS; зростання попиту; 	<ul style="list-style-type: none"> – зріст конкуренції; – моральне старіння використаних технологій; – розширення логіки; – зміна політики та методів надання технологій; якість роботи.
---	---

На основі SWOT-аналізу було розроблено альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на цільовий ринок та орієнтовний час їх ринкової реалізації з огляду на можливі проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. Результати представлено в таблиці 9.13

Таблиця 9.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Підвищення якості та покращення технічних характеристик продукту.	Висока	3 місяці
2.	Тестові запуски продукту на реальних об'єктах.	Висока	7 місяці

В результаті проведеного аналізу було обрано наступну альтернативу для ринкового впровадження – найкращим варіантом буде обрати альтернативу №1, так

як для її впровадження необхідно набагато менше часу ніж впровадження альтернативи №2. Завдяки такій стратегії продукт можна досить швидко вивести на ринок.

9.4 Розроблення ринкової стратегії проєкту

Стратегії охоплення ринку збуту, а саме опис цільових груп споживачів, визначено у таблиці 9.14.

Таблиця 9.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1.	Компанії, що займаються розробкою, встановленням та підтримкою інтелектуальних систем та розумних будинків	Висока	Високий	Середня	Відносно низька складність
<p>Обрано наступну цільові групи: Компанії, що займаються розробкою, встановленням та підтримкою інтелектуальних систем та розумних будинків.</p>					

В результаті аналізу було обрано одну цільову групу споживачів. Обрано стратегію концентрованого маркетингу, оскільки, на початок планується робота з одним визначеним сегментом ринку, а в подальшому можливий перехід на диференційований маркетинг та роботу з кількома групами споживачів.

На основі обраних сегментів роботи було обрано базову стратегію розвитку, результати аналізу було сформовано в таблиці 9.15.

Таблиця 9.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Розроблення продукту з розширеними функціональними можливостями	Концентрованого маркетингу	Повна відповідність усім потребам користувачів в конкретно обраній галузі; значно кращий функціонал, ніж у конкурентів.	Стратегія диференціації

За результатами проведеного аналізу стартап-проекту за базовою стратегією розвитку було обрано стратегію диференціації.

Результати визначення базової стратегії конкурентної поведінки було складено таблиця 9.16.

Так як проєкт має ряд важливих і конкурентоспроможних переваг було обрано наступну стратегію конкурентної поведінки – стратегія виклику лідера.

Таблиця 9.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових	Чи буде компанія копіювати основні характеристики	Стратегія конкурентної поведінки

		споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	товару конкурента, і які?	
1.	За використаними технологіями(методу цифрової апроксимації для вибору періоду квантування за часом) та запропонованим функціоналом, проект є «першопрохідцем» на ринку	Для просування продукту на ринку будуть шукатись нові клієнти.	Компанія не буде копіювати жодний функціонал. Будуть використовуватись власні напрацювання для роботи системи.	Стратегія виклику лідера

У таблиці 9.17 сформовано комплексну стратегію позиціонування стартап-проекту та вибрано ключові асоціації для його позиціонування на ринку.

Таблиця 9.17 – Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	Ціна	Стратегія диференціації	Вартість продукту нижча, ніж у конкурентів	Низька вартість, можливість системи підписки на програмне забезпечення

2.	Функціональність	Стратегія диференціації	Надання функціональних можливостей, які відсутні у конкурентів	Висока функціональність продукту
----	------------------	-------------------------	--	----------------------------------

Для того аби стартап-проект міг конкурувати з ринком було розглянуто вимоги товару до цільової аудиторії. Основні з них це ціна та функціональність. Для досягнення даних переваг в якості базової стратегії використовується стратегія диференціації.

9.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Для розроблення маркетингової програми стартап-проекту було визначено ключові переваги концепції потенційного товару, результати аналізу наведено в таблиці 9.18.

Основними перевагами продукту є ціна та функціональність системи, так як користувач отримує якісний продукт з унікальним функціоналом за достатньо привабливу ціну.

Таблиця 9.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Ціна	Дешевший товар з кращими характеристиками	Дешевший товар з кращими характеристиками
2.	Функціональність	Розроблена унікальна система управління елементами	Керування підсистемами розумного будинку з використанням GPS

		розумного будинку	
--	--	----------------------	--

Визначення меж встановлення ціни товару наведено в таблиці 9.19.

Таблиця 9.19 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на товари- аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар
1.	150-1500 у.о	відсутні	200-900 у.о.	120-500 у.о.

Було встановлено верхню та нижню межі ціни на товар у вигляді 120- 500 відповідно. Ця ціна повністю відповідає затратам на виготовлення продукту, очікуванням споживачів, та значно менше за ціну у конкурентів.

Також, для виводу продукту на ринок було виведено тривірневу маркетингову модель товару, таблиця 9.20.

У результаті заповнення таблиці 9.20 було отримано маркетингову модель товару та визначено, захист від копіювання буде здійснено шляхом збереження авторських прав в деяких країнах.

Таблиця 9.20 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за здумом	Система керування елементами розумного будинку з використанням GPS		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	функціональність;	М	Вр
	керування за допомогою смартфону;	М	Тх
	керування на базі GPS координат користувача;	М	Тх
		М	Тх

	<p>підтримка кількох сценаріїв різного рівня складності;</p> <p>можливість інтеграція в уже готову систему;</p> <p>простота додавання нових сценаріїв роботи в залежності від даних геопозиції користувача</p>	М	Тх
		М	Тх
Якість: продукт виконаний згідно з вимогами користувача			
Марка: «Автоматизована система керування підсистемами розумного будинку»			
III. Товар із підкріплення м	До продажу: реклама, продукт представлений клієнтам .		
	Після продажу: оновлення програмного забезпечення, технічна підтримка, гарантійне обслуговування.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: збереження авторських прав в деяких країнах			

Для того аби продуктом могли користуватись клієнти необхідно проаналізувати можливі шляхи збуту продукції. Результати аналізу наведено в таблиці 9.21.

Таблиця 9.21 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Замовлення через сайт виробника або сайт постачальника з	Підтримка та оновлення системи	Прямий канал збуту	Пряма система збуту

подальшим підписанням договору				
--------------------------------------	--	--	--	--

В якості оптимальної системи збуту було вирішено розповсюджувати продукт через сайт виробника або сайт постачальника.

В таблиці 9.22 наведено концепцію маркетингових комунікацій, що є однією із складових маркетингової програми. На основі даних таблиці 9.22 було сформовано концепцію маркетингових комунікацій, яка спрямована на залучення нових клієнтів, шляхом донесення до них інформації про новий товар та вигоди від його використання.

Таблиця 9.22 – Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Пошук необхідного товару на усіх інформаційних ресурсах.	Інтернет, виставки та презентації, інші джерела реклами.	Ціна, висока і унікальна функціональність	Поширення інформації про новизну, функціональність та переваги товару.	Підкреслення особливостей та переваг представлено го продукту.

Висновки до розділу

На результатах даної магістерської роботи було розроблено стартап-проект. Для цього було проведено аналіз актуального ринку збуту, а також було визначено конкурентоспроможність продукту. Для успішного впровадження продукту на ринку було обрано чіткі стратегії базової конкурентної поведінки та базової стратегії розвитку. Було проведено характеристика потенційних клієнтів та обрано цільову групу споживачів. Основним напрямком збуту продукту є організації які займаються розробкою, підтримкою та встановленням інтелектуальних систем та розумних будинків. Також було проведено аналіз ринку на наявність конкурентів та конкурентну спроможність стартап-проекту. З огляду на отримані дані впровадження є перспективним, оскільки даний продукт може охопити ринок не лише в країні розробника, а й на міжнародному ринку. Провівши та оцінивши всі характеристики даного стартап-проекту можна отримати висновок, що подальша імплементація є доцільною.

ВИСНОВОК

У магістерській дисертації розроблено систему керування елементами розумного будинку з використанням GPS, а саме:

- структурну та функціональну схеми системи керування розсувними воротами та температурою приміщення;
- алгоритми роботи системи в цілому та алгоритми конкретизації роботи керування опаленням приміщення та керування в'їзними воротами;
- математичну модель цифрової системи керування температурою приміщення з використанням математичних платформ передавальних функцій та методу простору станів.

Проведено аналіз та синтез досліджуваної системи та запропоновано два методи розрахунку цифрових регуляторів на базі ПІД-законів регулювання та методу зворотних зв'язків за станами.

Для подальшої реалізації обрано цифровий ПІД-регулятор, який забезпечив наступні показники якості час перехідного процесу $t_{\text{пп}}$ – 82.84 с, перерегулювання 0% та нульову усталену помилку.

Для тестування алгоритмів та технологій визначення координат користувача за GPS даними було розроблено інтерактивну модель на базі мови програмування JavaScript.

Для моделювання системи керування елементами розумного будинку з використанням GPS та виконання циклу досліджень використовувався прикладний пакет MatLab/Simulink.

Результати досліджень магістерської дисертації обговорювались на XI Міжнародній науково-практичній конференції InfoCom Advanced Solutions 2021, яка відбулася 1 та 2 грудня 2021 року; опубліковані тези на тему «Дослідження методу цифрової апроксимації для вибору періоду квантування за часом».

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Історія розумного будинку. URL: <https://smarton.com.ua/novosti-umnogo-doma/tpost/6rnX11ven1-istoriya-umnogo-doma>
2. Робота та підключення дистанційного керування воротами. URL: http://jelektro.ru/vse-o-elektromontazhe/distancionnoe_upravlenie_vorotami.html
3. Керування відкотними воротами: все що потрібно знати. URL: <https://novi-vorota.com.ua/upravlenie-otkannymi-vorotami.html#uov1>
4. Склад та принцип роботи автоматики для воріт. URL: <http://elektrik.info/main/automation/1066-avtomatika-dlya-vorot.html>
5. Варіації пультів для воріт. URL: <https://novi-vorota.com.ua/pult-dlya-vorot.html>
6. Опалення в приватному будинку – схеми та процес підключення. URL: <http://teplodom1.ru/domotop1/296-otoplenie-v-chastnom-dome-shemy-i-process-sozdaniya.html>
7. Датчики температури для системи опалення: види, інструкції по встановленню. URL: <https://sovet-ingenera.com/otoplenie/o-drugoe/datchiki-temperature-dlya-otopleniya.html#i>
8. Розумний будинок – слухняний будинок . URL: <https://www.apple.com/de/ios/home/>
9. Розумний будинок. Великий посібник по організації розумного будинку і автоматизації за допомогою Homekit . URL: <https://habr.com/ru/post/567522/>
10. New possibilities for the security business with Ajax PSU. URL: <https://ajax.systems>
11. ТОП 5: Рейтинг найкращих систем «Розумного будинку» по компаніям 2021 року. URL: <https://vencon.ua/articles/rejting-sistem-umnyy-dom-proizvoditelyam>
12. Офіційна документація Xiaomi Smart Home. URL: <https://xiaomi-smarhome.ru>

13. Розумний будинок – автоматика та обладнання. URL: <https://smarton.com.ua/novosti-umnogo-doma/tpost/ktu5fma9m1-umnii-dom-oborudovanie-i-avtomatika-dlya>
14. Технологія KNX для систем автоматизації. URL: <https://www.ixbt.com/home/knx-intro.shtml>
15. Що таке GPS и як він працює на мобільних телефонах. URL: <http://gsm-ka.com.ua/chto-takoe-gps-i-kak-on-rabotaet-na-mobilnykh-telefonakh/>
16. Location-based service. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Location-based_service
17. Виробник терморари Ten-2. URL: <https://ten24.com.ua/catalog/raskhodnye-materialy/termopary/>
18. Датчик температури та вологості - CH-S02 t. URL: <https://neosmart.com.ua/umnye-datchiki/umnye-datchiki-temperature-i-vlazhnosti/datchik-temperature-i-vlazhnosti-connect-home-ch-s02.html>
19. Датчик температури та вологості - z-wave plus popp mold detector - pope701202. URL: <https://neosmart.com.ua/umnye-datchiki/umnye-datchiki-temperature-i-vlazhnosti/datchik-temperature-i-vlazhnosti-z-wave-plus-popp-mold-detector-pope701202.html>
20. Датчик температури Xiaomi-smart home. URL: <https://xiaomi-smarthome.ru/datchik-temperature-i-vlazhnosti-xiaomi-lywsd03mmc/>
21. Калорифер RZTK CVT 3023E. URL: https://bt.rozetka.com.ua/rztk_cvt_3023e/p256627856/
22. Установка кріплення сталевий зубчастий рейки відкатних воріт. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=aSUAPr8kXEY>
23. Магнітні кінцеві вимикачі для воріт. URL: https://delaemvorota.com.ua/magnity_dlya_otkatnih_vorot.html
24. Розумний Дім - обладнання та автоматика для дому. URL: <https://smarton.com.ua/novosti-umnogo-doma/tpost/ktu5fma9m1-umnii-dom-oborudovanie-i-avtomatika-dlya>

25. Репнікова Н.Б. Теорія автоматичного керування / Н.Б. Репнікова – К.: НТУУ «КПІ», 2011.

26. Репнікова Н.Б. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напрямку 6.050201 «Системна інженерія». Теорія автоматичного управління - 2. Теорія цифрових систем управління. / Н.Б. Репнікова, А.В. Писаренко - К.: НТУУ «КПІ», 2012