

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем

РУДКОВСЬКИЙ Олександр Андрійович

Автоматизована система керування обігрівом приватного будинку /
Automated heating control system for a private house

Спеціальність: 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКІТ-41

О.А. Рудковський

Науковий керівник

к.е.н., доцент А.М. Шевчук

Кваліфікаційну роботу допущено

до захисту:

«_____» _____ 2026р.

Завідувач кафедри

_____ А.І. Сегін

Тернопіль 2026

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"

Спеціальність: 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри СКС

А.І.Сегін

“ ____ ” _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Рудковському Олександру Андрійовичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Автоматизована система керування обігрівом приватного будинку / Automated heating control system for a private house.

Керівник роботи: к.е.н., доцент Шевчук А.М.

затверджені наказом по університету від «1» грудня 2025 р. № 894.

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи: 25.05.2026р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Особливості побудови автоматизованих систем керування обігрівом приватного будинку.

2. Способи керування спеціалізованим обладнанням та засобами обігріву.

3. Технічні засоби автоматизації об'єкта управління.

4. Синтез автоматизованої системи керування обігріву будинку.

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Аналіз складової та технічних засобів автоматизованої системи керування обігрівом та опаленням приватних будинків.

2. Реалізація структури автоматизованої системи керування обігрівом та обґрунтування вибору технічних засобів реалізації запропонованої системи.

3. Розробка функціональної схеми комплексу технічних засобів автоматизації.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

1. Структура автоматизованої системи керування обігрівом приватного будинку.

2. Графічні залежності перехідних процесів та графіки керування задаючим впливом на систему.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Шевчук А.М.		
2	Шевчук А.М.		
3	Шевчук А.М.		

7. Дата видачі завдання 1 грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування	12.2025р. – 01.2026р.	
2	Специфікація вибору технічних засобів автоматизації	02.2026р. – 03.2026р.	
3	Розрахунок системи автоматичного регулювання	04.2026р. – 05.2026р.	

Студент

(підпис)

Рудковський О.А.

Керівник роботи

(підпис)

к.е.н., доцент Шевчук А.М.

АНОТАЦІЯ

Рудковський О.А. Автоматизована система керування обігрівом приватного будинку. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, освітньо-професійна (наукова) програма - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2026.

У роботі досліджено системи керування обігріву будинків, тобто системи основне завдання яких підтримувати задані температурні режими різних зон враховуючи категорію приміщень, визначено функціональні, структурні та архітектурні особливості систем, що забезпечують температурний рівень, і управління основними технічними засобами контролю, проаналізовано технічну базу та обґрунтовано вибір засобів автоматизації, реалізації запропонованої системи. Розроблено структуру та функціональну схеми комплексу технічних засобів, а також проведено синтез запропонованої автоматизованої системи.

ABSTRACT

Rudkovskiy O.A. Automated heating control system for a private house. - Manuscript.

Research for the degree of Bachelor in specialty 174 Automation, computer-integrated technologies and robotics, educational and professional (scientific) program - Automation and computer-integrated technologies. – Western Ukrainian National University, Ternopil, 2026.

The work investigates the control systems of heating of buildings, that is, systems whose main task is to maintain the specified temperature regimes of different zones taking into account the category of premises, determines the functional, structural and architectural features of the systems that provide the temperature level and control the main technical means of control, analyzes the technical base and justifies the choice of automation means, implementation of the proposed system. The structure and functional scheme of the complex of technical means are developed, and the synthesis of the proposed automated system is carried out.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	9
1.1 Особливості роботи автоматизованих систем опалення будинків на базі технологій «Smart Home»	9
1.2 Аналіз ринку інтелектуальних рішень опалення та обігріву для будинків різного призначення	16
1.3 Загальне представлення інтелектуальним систем обігріву та особливості їх роботи	22
2. СПЕЦИФІКАЦІЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	27
2.1 Розробка структури автоматизованої системи управління обігрівом будинку у складі комплексу «розумний дім»	27
2.2 Реалізація функціональної схеми та опис роботи основних вузлів автоматизованої системи	33
2.3 Обґрунтування вибору програмовано-логічного контролера для автоматизованої системи обігріву заміського будинку	37
2.4 Вибір сенсорів та виконавчих механізмів для ефективного керування автоматизованою системою	44
3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ	51
3.1 Розробка алгоритму та математичного апарату проектування автоматизованих систем керування обігрівом будинку	51
3.2 Розробка методу аналітичного синтезу систем із керуванням за вихідними сигналами та збуреннями для технологій «розумного будинку»	58

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Рудковський О.А.			Автоматизована система керування обігрівом приватного будинку / Automated heating control system for a private house	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Шевчук А.М.					4	71
Консульт.		Шевчук А.М.				ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		
Н. Контр.		Заставний О.М.						
Затверд.		Сегін А.І.						

3.3 Синтез автоматизованої системи керування обігрівом будинку на основі запропонованого методу	62
ВИСНОВКИ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	69

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність розробки зумовлена сучасними тенденціями розвитку енергетики, інформаційних технологій та підвищеними вимогами до комфорту і енергоефективності житлових будівель. Умови постійного зростання вартості енергоресурсів, а також необхідність раціонального їх використання роблять питання оптимізації систем опалення надзвичайно важливими як для окремих домогосподарств, так і для держави в цілому.

Традиційні системи обігріву, що працюють без автоматизованого керування, як правило, не забезпечують ефективного використання теплової енергії. Вони не враховують змін зовнішніх умов, таких як температура навколишнього середовища, рівень тепловтрат будівлі чи індивідуальні потреби користувачів. У результаті це призводить до перевитрат енергії, нерівномірного розподілу тепла та зниження загального рівня комфорту проживання.

Впровадження автоматизованих систем керування обігрівом дозволяє значно підвищити ефективність функціонування опалювальних систем. Завдяки використанню сучасних сенсорів, контролерів і виконавчих механізмів стає можливим у реальному часі контролювати параметри мікроклімату в приміщенні та оперативно реагувати на їх зміни. Такі системи можуть адаптувати режими роботи опалення відповідно до заданих сценаріїв, часу доби, присутності людей у приміщенні або погодних умов.

Особливої актуальності набуває інтеграція систем опалення у структуру «розумного будинку», що дозволяє об'єднати керування різними інженерними підсистемами (опалення, вентиляція, освітлення) в єдину платформу. Це забезпечує централізований контроль, підвищує зручність експлуатації та відкриває можливості для впровадження інтелектуальних алгоритмів керування, зокрема із застосуванням методів прогнозування та машинного навчання.

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім того, автоматизація обігріву сприяє зниженню негативного впливу на довкілля за рахунок зменшення споживання енергоресурсів і, відповідно, скорочення викидів парникових газів. У контексті глобальних екологічних викликів це є важливим фактором сталого розвитку.

Таким чином, розробка автоматизованої системи керування обігрівом приватного будинку є актуальним науково-технічним завданням, що поєднує в собі питання енергоефективності, підвищення комфорту проживання, надійності та екологічної безпеки. Реалізація таких систем дозволяє досягти оптимального балансу між витратами енергії та якістю життєвих умов, що визначає практичну значущість даної теми.

Мета кваліфікаційної роботи. Актуалізація розробки автоматизованої системи керування обігрівом приватного будинку. У кваліфікаційній роботі розроблено та представлено автоматизовану систему керування обігрівом приватного будинку на основі програмно-технічних засобів, а також проведено вибір технічних засобів автоматизації (ТЗА) безпосередньо на об'єкті керування. Основним завданням створення автоматизованих систем обігрівом будинку з застосуванням інтегрованих технічних рішень «розумного будинку» та промислових програмованих контролерів, що є невід'ємними для автоматизованих систем різного ступеня складності.

Основним завданням кваліфікаційної роботи є:

- аналіз систем керування обігрівом та опаленням будинків у енергоефективні системи як об'єкти керування;
- розробка структури автоматизованої системи керування обігрівом приватного будинку;
- специфікація вибору технічних засобів автоматизації;
- розрахунок системи автоматичного регулювання.

Автоматизовані системи керування обігрівом будинку є актуальним рішенням сучасних виробничих цехів промислового об'єкта. Рішенням такої

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

задачі є компоновка найновіших сучасних програмно-технічних засобів автоматизації з принципово новими ідеями та алгоритмами безпеки.

Предметом дослідження є процес автоматизованого керування обігрівом будинку.

Об'єктом дослідження є автоматизована система керування обігрівом будинку.

Методи дослідження – аналіз літературних джерел та електронних ресурсів, порівняння сучасних розробок в галузі технологій керування «розумного будинку» та засобів обігріву, програмно-технічних засобів автоматизації.

Практичне значення одержаних результатів. Базується на тому, що запропоновані практичні та теоретичні рекомендації по розробці та розрахунку систем автоматизованого управління, які дають можливість підвищити їх надійність та ефективність роботи в рази.

Апробація. Албанський І., Мерва М., Рудковський О., Солтис Д. Взаємодія автоматизованих систем керування з інтелектуальними сенсорами технології IoT / Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2026), Тернопіль, 2026. С.97-102.

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1 Особливості роботи автоматизованих систем опалення будинків на базі технологій «Smart Home»

Комфортна температура та затишна атмосфера в оселі є важливими чинниками гарного самопочуття мешканців. Надмірна вологість або, навпаки, пересушене внаслідок роботи радіаторів повітря можуть спричиняти дискомфорт і навіть негативно впливати на здоров'я. Для забезпечення оптимального мікроклімату недостатньо просто використовувати додаткові обігрівачі, оскільки в такому разі тепло розподіляється нерівномірно, а повітря часто стає надто сухим.

Смарт-система опалення будинку чи квартири може здаватися зайвою розкішшю лише на перший погляд. Насправді ж правильно підібраний автоматизований комплекс дозволяє ефективно економити сімейний бюджет, водночас забезпечуючи автоматичне регулювання температури та вологості повітря відповідно до максимально комфортних умов.

Сучасна смарт-система опалення охоплює широкий спектр функцій, об'єднаних в єдину інтегровану систему. Після налаштування вона здатна автономно контролювати не лише процес опалення приміщень, але й роботу вентиляції та системи водопостачання в будинку. Як і більшість інтелектуальних рішень, керування здійснюється дистанційно за допомогою смартфона або планшета.

«Розумне» опалення є значно ефективнішим і економічнішим порівняно з традиційними системами. Систему «Smart Home» можна налаштувати таким чином, щоб у кожному приміщенні підтримувався індивідуальний температурний режим і рівень вологості. Зокрема, житлові кімнати, такі як дитяча, спальня чи вітальня, можуть інтенсивніше обігріватися, тоді як у кухню, санвузол або вітальня доцільно підтримувати нижчу температуру як представлено на рисунку 1.1. Крім того, передбачена

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можливість автоматичного зниження температури в нічний час, коли для здорового та повноцінного сну комфортні дещо нижчі температурні значення [1].



Рисунок 1.1 – Розподіл температурних режимів в будинку за допомогою системи «Smart Home»

У системі «розумного будинку» відсутня потреба оплачувати опалення під час вашої відсутності. Поки ви перебуваєте на роботі, у торговому центрі чи в гостях, система працює в енергозберігаючому режимі, зменшуючи температуру, а перед вашим поверненням автоматично створює комфортні умови. Для цього достатньо надіслати команду за допомогою смартфона чи планшета.

На сучасному ринку smart-технологій представлено широкий вибір подібних систем у різних цінових сегментах. Є можливість придбати як повноцінний комплекс, так і окремі інтелектуальні пристрої, що дозволяє оптимально поєднати вартість і функціональність.

За умови наявності вже встановленої системи Smart Home більшість сучасних інтелектуальних систем опалення легко інтегруються в основний модуль керування [2]. Смарт-опалення охоплює широкий спектр рішень: від радіаторів із системами керування до теплих стін, які в холодний період

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обігрівають приміщення, а в спекотну погоду сприяють підтриманню прохолоди. До інтелектуальних елементів системи також належать теплі підлоги, розумні конвектори та інші пристрої. Усі компоненти здатні автоматично регулювати температуру в приміщенні для забезпечення максимально комфортних умов.

Центральним елементом є система керування (керуючий контролер) — основний обчислювальний модуль, до якого підключені всі пристрої та сенсори будинку, зокрема сенсори температури як у приміщеннях, так і зовні (рисунок 1.2). Користувач попередньо задає бажані температурні параметри в налаштуваннях центрального керуючого модуля системи опалення. Надалі система аналізує інформацію, що надходить від сенсорів. У разі відхилення фактичної температури від встановлених значень смарт-система автоматично активується та подає команди на коригування роботи нагрівальних елементів для досягнення оптимального температурного режиму в приміщенні.

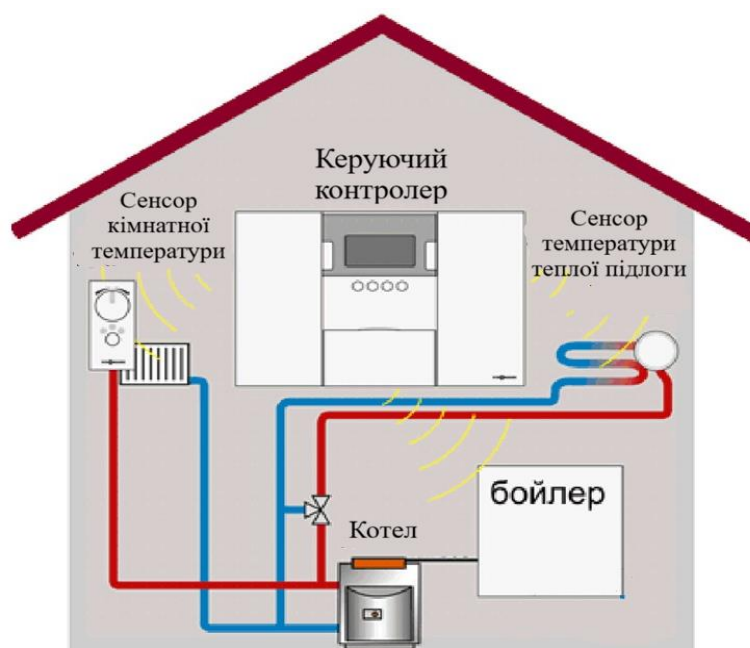


Рисунок 1.2 – Загальне представлення системи контролю і обігріву систем смарт-опалення

Під час встановлення такої системи необхідно враховувати низку чинників. У налаштуваннях зазвичай можна задати загальні характеристики

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

будинку або квартири, після чого система самостійно визначає спосіб регулювання тепла відповідно до заданих параметрів. На температурний режим у приміщенні впливають наступні фактори:

- рівень вологості повітря;
- якість і монтаж вікон;
- ефективність теплоізоляції;
- наявність протягів;
- тип обраної системи опалення.

Під час налаштування «розумного опалення» необхідно враховувати загальний стан приміщення, адже його комплексний аналіз дозволяє виявити недоліки та причини їх виникнення. Інакше ефективність роботи системи може суттєво знизитися. У разі недостатньої ізоляції або постійних втрат тепла через щілини система змушена працювати на максимальних режимах, намагаючись підтримувати заданий мікроклімат. Хоча автоматизована система опалення здатна забезпечити необхідні умови, це потребуватиме додаткових енергетичних витрат, що, відповідно, призведе до збільшення витрат на комунальні послуги.

Існує кілька підходів до автоматизації систем опалення. Це можуть бути як окремі смарт-пристрої, які встановлюються самостійно відповідно до інструкцій, так і комплексні рішення, інтегровані з газовими або електричними котлами.

Перший варіант є оптимальним для квартир або невеликих будинків із вже змонтованою системою опалення. До такого комплексу зазвичай входить термостат, який встановлюється в центральній частині приміщення. Він вимірює та аналізує температуру, після чого передає сигнал для регулювання подачі тепла до радіаторів. Радіотерморегулятор, вбудований у механічний клапан, може бути пропорційного або двопозиційного типу. Пропорційний забезпечує плавне регулювання температури, змінюючи потужність нагрівальних елементів залежно від відхилення фактичної температури від

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заданої. Двопозиційний регулятор функціонує дискретно, змінюючи режим роботи відповідно до коливань температури в приміщенні.

Повноцінна система з котлом виконує функцію джерела тепла. Для регулювання теплопостачання використовується модуль керування нагрівом, який аналізує температуру як усередині приміщення, так і зовні. На основі отриманих даних відбувається контроль подачі газу до пальника. Керування котельнею здійснюється за допомогою погодозалежної автоматики, що оперативно реагує на зміни навколишнього середовища.

Погодозалежна автоматика є одним із ключових компонентів ефективної смарт-системи опалення. Зовнішній сенсор порівнює температуру повітря на вулиці та в приміщенні, після чого система автоматично визначає оптимальний режим роботи.

Регулятор забезпечує контроль процесу обігріву, швидко реагуючи на зміну зовнішньої температури. Це дає змогу поступово підвищувати рівень обігріву в холодний період або зменшувати чи припиняти його під час потепління.

Існуючі смарт-системи опалення можна класифікувати за принципом їх роботи. Зазвичай виділяють чотири основні типи [3]:

- провідні;
- бездротові (що працюють через радіоканал);
- централізовані;
- децентралізовані.

Щоб обрати найбільш відповідний варіант для будинку або квартири, доцільно детально розглянути особливості кожного з них. У провідних системах смарт-опалення всі сенсори, виконавчі механізми та інші компоненти з'єднані між собою за допомогою спеціального кабелю. Основною перевагою такого рішення є висока надійність. Сигнали від сенсорів безперешкодно передаються до центрального контролера, забезпечуючи повну та точну передачу інформації. При цьому відсутні затримки або перешкоди під час передачі команд виконавчим пристроям, що

					ДП.АКТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

гарантує швидку реакцію системи та комфортне керування в межах концепції Smart Home.

Провідні системи є багатофункціональними та дають змогу інтегрувати до схеми різноманітні зовнішні пристрої. Вони безперешкодно поєднуються з кліматичним і опалювальним обладнанням.

Тривалий строк служби таких систем поєднується з простотою їх обслуговування. Смарт-пристрої, підключені через єдину кабельну мережу, не потребують додаткових джерел живлення. Відсутня необхідність у заміні батарей чи акумуляторів, що значно спрощує експлуатацію та обслуговування.

Водночас недоліком провідних систем «розумного будинку» є складність і трудомісткість монтажу на початковому етапі. Приховане прокладання кабелів передбачає демонтаж стін і підлогових покриттів. Тому встановлення такої системи доцільне під час капітального ремонту або на етапі будівництва. У вже відремонтованих квартирах або будинках, введених в експлуатацію з готовими комунікаціями, монтаж подібної системи є вкрай складним або практично неможливим.

Під час монтажу дротової системи необхідно заздалегідь визначити розташування вимикачів і розеток. У зв'язку з цим першим кроком має бути правильно розроблений монтажний проект, що забезпечить оптимальну організацію всієї опалювальної системи. Зазвичай для цього залучають фахівця, який володіє досвідом проектування систем автоматизації опалення, а також їх монтажу та налаштування. Також слід врахувати, що на завершальному етапі потрібно встановити, підключити й налаштувати центральний модуль керування системою (рисунок 1.3) [3, 4].

Реалізація такого масштабного проекту потребує значних фінансових витрат, часу та зусиль. Самостійний монтаж дротової системи без відповідних знань у сфері електрики є неприпустимим.

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

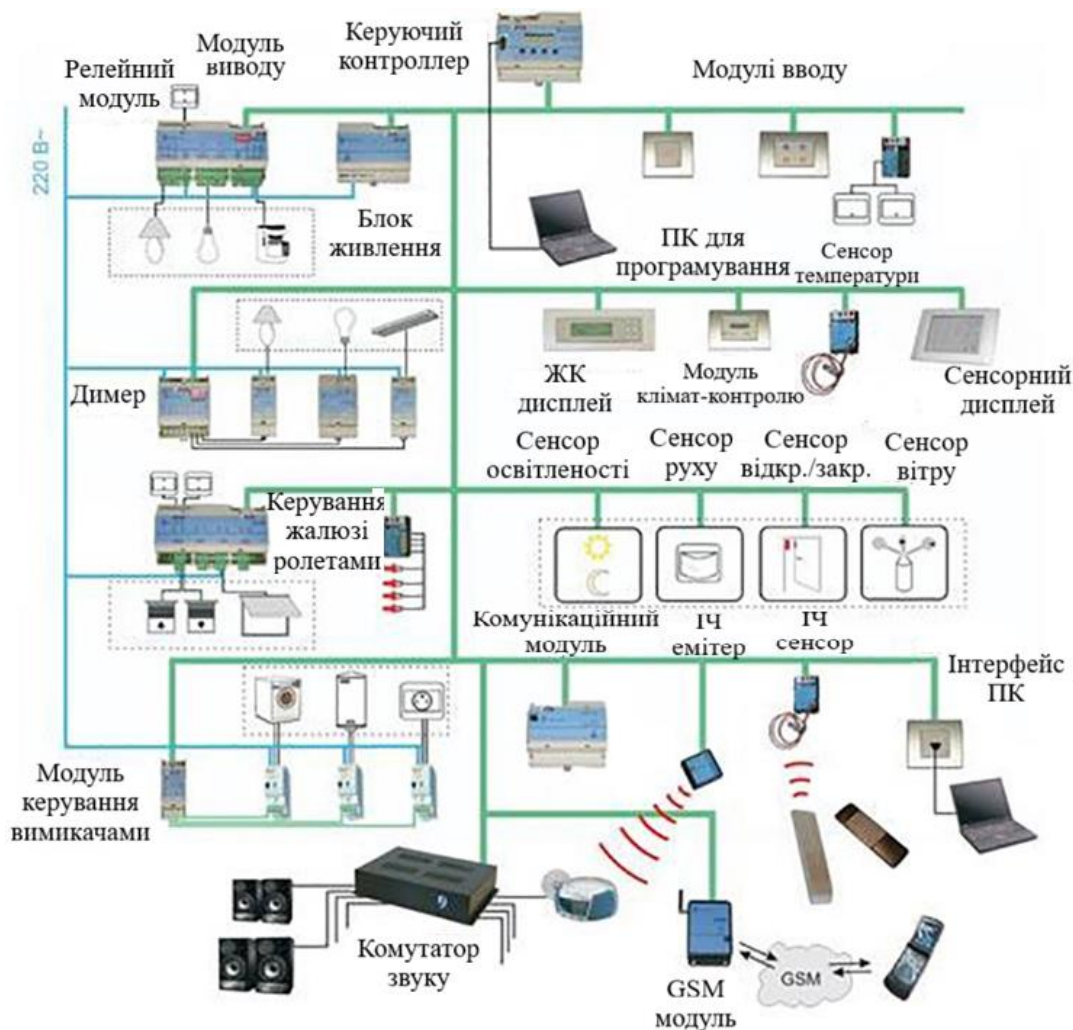


Рисунок 1.3 - Загальна топологія автоматизованої системи керування Smart Home

У бездротовій системі “smart home” усі підключені пристрої обмінюються даними між собою через радіоканал. Такий спосіб зв’язку «по повітрю» значно зменшує кількість кабелів, що дає змогу зберегти цілісність стін і не порушувати загальний дизайн приміщення.

Для встановлення подібної системи не потрібно розробляти складний індивідуальний монтажний проект — достатньо лише визначити місця розміщення сенсорів та виконавчих пристроїв. Це суттєво знижує загальну вартість інсталяції. Варто зазначити, що на сучасному ринку розумних домашніх технологій саме бездротові рішення є найпоширенішими.

1.2 Аналіз ринку інтелектуальних рішень опалення та обігріву для будинків різного призначення

Актуальність теми аналізу ринку інтелектуальних рішень опалення та обігріву обумовлена низкою взаємопов'язаних факторів, що формують сучасний підхід до енергоефективності та управління інженерними системами будівель. У першу чергу, зростання вартості енергоресурсів і підвищені вимоги до їх раціонального використання стимулюють впровадження технологій, здатних оптимізувати споживання тепла без втрати комфорту для користувачів. Інтелектуальні системи опалення дозволяють гнучко регулювати температурні режими, адаптуватися до змін зовнішніх умов та поведінки мешканців, що безпосередньо впливає на зниження експлуатаційних витрат.

Не менш важливим чинником є глобальна тенденція до цифровізації житлового та комерційного секторів. Концепція “розумного будинку” поступово переходить із категорії інновацій у стандарт сучасного будівництва та реконструкції об'єктів різного призначення — від приватних будинків і квартир до офісних та промислових приміщень. У цьому контексті системи інтелектуального опалення виступають ключовим елементом загальної автоматизації, інтегруючись із іншими підсистемами, такими як вентиляція, кондиціонування, безпека та енергоменеджмент [4].

Також актуальність дослідження визначається активним розвитком ринку відповідних технологій. З'являється велика кількість виробників і рішень, що відрізняються за функціональністю, архітектурою (централізовані, децентралізовані, гібридні), способом передачі даних (провідні та бездротові), а також рівнем інтеграції та складністю налаштування. Це створює необхідність систематизації та порівняльного аналізу існуючих пропозицій для визначення оптимальних варіантів залежно від типу об'єкта та потреб користувача. Крім того, важливим аспектом є підвищення вимог до екологічності та сталого розвитку. Використання

					ДП.АКТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інтелектуальних систем опалення сприяє зменшенню викидів парникових газів за рахунок більш ефективного використання енергії, що відповідає сучасним міжнародним стандартам і політикам у сфері енергозбереження.

Таким чином, аналіз ринку інтелектуальних рішень опалення є актуальним як з практичної, так і з наукової точки зору, оскільки дозволяє оцінити поточний стан розвитку технологій, визначити їхні переваги та недоліки, а також окреслити перспективи подальшого впровадження в умовах зростаючих вимог до енергоефективності, комфорту та автоматизації житлового середовища.

Завдяки простоті налаштування та інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу такими системами можуть користуватися навіть люди без значного досвіду взаємодії з технікою (рисунок 1.4). Водночас бездротові системи автоматизації опалення мають і певні недоліки. Зокрема, необхідно постійно контролювати рівень заряду батарей або акумуляторів у автономних сенсорах і виконавчих пристроях. Хоча регулярна заміна або підзарядка елементів живлення з часом стає звичною, більш серйозною проблемою є потенційна вразливість передачі сигналу. Оскільки зв'язок здійснюється через радіоканал, він може перериватися або спотворюватися через перешкоди. У таких випадках частково допомагає встановлення спеціального мережевого фільтра, який зменшує вплив високочастотних завад і стабілізує передачу сигналу.

Ще одним фактором, який може не влаштувати активних користувачів “розумних” пристроїв, є обмежена функціональність бездротових систем. У стандартних моделях, що працюють через радіоканал, зазвичай доступні лише базові можливості: керування освітленням, охоронною сигналізацією та системами клімат-контролю. Водночас для багатьох користувачів цього набору функцій цілком достатньо, тому не варто перебільшувати цей недолік.

Таким чином, бездротові системи “розумного” опалення залишаються найбільш популярними на ринку. Сьогодні виробництвом подібних

					ДП.АКТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інтелектуальних рішень займаються провідні світові компанії, зокрема Xiaomi, Redmond, Broadlink, Zamel, HDL та інші.



Рисунок 1.4 – Компоновка та налаштування контролю температури приміщень

Централізована система являє собою поєднання дротових і бездротових “smart home” рішень, у яких керування всіма пристроями здійснюється через головний контролер. Фактично це компактний комп’ютер із інтерфейсами для підключення зовнішніх пристроїв. Саме в ньому відбувається прийом сигналів від усіх підключених гаджетів, їх обробка та аналіз, а також передача керівних команд на виконавчі механізми (актуатори).

Серед переваг таких систем варто відзначити зручність керування всіма підсистемами будинку через єдиний центр. Для запуску роботи достатньо лише налаштувати потрібні сценарії в контролері. Крім того, подібні смарт-рішення зазвичай підтримують широкий спектр сумісних пристроїв і обладнання різного типу.

Водночас централізовані системи мають і суттєві недоліки, зокрема високу вартість та знижену надійність. У разі виходу з ладу головного блоку керування вся система автоматично перестане функціонувати.

Децентралізована модель є протилежністю централізованої системи. У ній кожен пристрій має власний процесор, пам’ять і джерело живлення. Саме

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

це визначає ключову перевагу таких “розумних” систем — дуже високу надійність. Навіть якщо один або кілька елементів виходять з ладу, інші продовжують працювати автономно.

У таких рішеннях часто використовується протокол KNX, який є одним із найпоширеніших і найзрозуміліших у світі. За необхідності систему можна доповнити окремим модулем для обробки нестандартних або складних сценаріїв. Єдиним суттєвим недоліком є складність налаштування кожного окремого пристрою в мережі, оскільки кожний сенсор і виконавчий механізм має власну “інтелектуальну” логіку та потребує індивідуальної конфігурації.

Під час підключення смарт-системи можна користуватися детальною інструкцією та виконати монтаж самостійно [5]. Проте такий підхід іноді призводить до некоректної або неузгодженої роботи окремих пристроїв. Виробники провідних систем “розумного” опалення зазвичай рекомендують для стабільної та безпечної експлуатації залучати кваліфікованих фахівців із відповідним досвідом і знанням програмного забезпечення для налаштування обладнання.

Система “розумного” опалення здатна підтримувати комфортний мікроклімат у будинку чи квартирі відповідно до параметрів, заданих користувачем. Інтелектуальне керування опаленням розширює можливості контролю побутових процесів, допомагає економити ресурси та зменшує витрати на комунальні послуги.

Ринок інтелектуальних систем опалення та обігріву є складною багаторівневою екосистемою, у якій взаємодіють великі транснаціональні корпорації, спеціалізовані виробники автоматизації, а також інноваційні компанії, що розробляють вузькопрофільні рішення. Ключові гравці цього ринку формують технологічні стандарти, визначають напрям розвитку галузі та забезпечують широкий спектр обладнання для житлових, комерційних і промислових об’єктів.

Перш за все, до лідерів ринку належать глобальні електротехнічні та інженерні корпорації, такі як Siemens AG, Schneider Electric та ABB Ltd.. Ці

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

компанії займають провідні позиції завдяки широкому портфелю рішень у сфері автоматизації будівель, включаючи системи керування опаленням, вентиляцією та кондиціонуванням (HVAC). Їхнє обладнання охоплює програмовані логічні контролери (PLC), центральні контролери будівель, сенсори температури, виконавчі механізми (актуатори), а також комплексні системи енергоменеджменту. Вони активно інтегрують технології Інтернету речей (IoT), що дозволяє реалізовувати віддалене керування, аналітику споживання енергії та адаптивне регулювання мікроклімату.

Важливу роль на ринку відіграють також компанії, що спеціалізуються на стандартизованих системах автоматизації, зокрема на базі протоколу KNX Association. Серед них варто виділити Legrand, Hager Group, Gira, JUNG та Zennio [6]. Вони виробляють широкий спектр KNX-сумісного обладнання: сенсорні панелі, термостати, модулі керування опаленням, інтерфейси для інтеграції з іншими системами, а також програмні рішення для конфігурації мереж. Особливістю таких пристроїв є висока сумісність і масштабованість, що дозволяє будувати складні системи автоматизації для об'єктів будь-якого призначення.

Окремий сегмент формують компанії, орієнтовані безпосередньо на інтелектуальні системи опалення та енергоменеджменту для кінцевого споживача. Серед них виділяється Tado, яка спеціалізується на “розумних” термостатах, радіаторних регуляторах та системах клімат-контролю. Їхні рішення дозволяють зменшити витрати на опалення до 30% завдяки автоматичному регулюванню температури залежно від поведінки користувачів і зовнішніх умов. Подібні продукти пропонують також Honeywell International та Johnson Controls, які виробляють інтелектуальні термостати, сенсори, системи моніторингу та комплексні рішення для управління теплопостачанням у будівлях різного масштабу.

Крім того, на ринку активно представлені компанії, що працюють у сегменті доступних або масових smart-home рішень, наприклад eQ-3 (бренд Homematic IP) та HDL Automation. Вони виробляють бездротові сенсори

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температури, контролери, термостати, релейні модулі та інші пристрої, які легко інтегруються в існуючі системи опалення.

Щодо типів обладнання, яке виготовляють ключові гравці, можна виділити кілька основних категорій [6, 7]:

- інтелектуальні термостати – забезпечують автоматичне регулювання температури та дистанційне керування;
- радіаторні регулятори та клапани – дозволяють керувати окремими зонами опалення;
- сенсори (температури, вологості, присутності) – забезпечують збір даних для адаптивного управління;
- контролери та хаби – виконують функції центрального або розподіленого керування системою;
- актуатори та виконавчі механізми – безпосередньо впливають на роботу опалювального обладнання;
- програмне забезпечення та хмарні сервіси – реалізують аналітику, сценарії автоматизації та інтеграцію з іншими системами.

Актуальність використання такого обладнання в автоматизованих системах опалення обумовлена кількома ключовими аспектами. По-перше, інтелектуальні пристрої забезпечують значне підвищення енергоефективності. Завдяки точному регулюванню температури та використанню алгоритмів адаптивного керування зменшуються втрати тепла та оптимізується споживання енергії. По-друге, підвищується рівень комфорту користувачів, оскільки система автоматично підтримує задані параметри мікроклімату. По-третє, сучасні системи дозволяють інтегрувати опалення з іншими підсистемами “розумного будинку”, створюючи єдину екосистему управління. Наприклад, система може автоматично знижувати температуру під час відсутності мешканців або враховувати погодні умови. Крім того, розвиток IoT і впровадження стандартів, таких як KNX IoT, забезпечують високу сумісність і перспективність таких рішень.

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Не менш важливим є екологічний аспект: автоматизовані системи опалення сприяють зменшенню викидів CO₂ за рахунок більш ефективного використання ресурсів. У контексті глобальних тенденцій енергозбереження та сталого розвитку це робить подібне обладнання не лише технологічно, але й соціально значущим.

Таким чином, ключові гравці ринку інтелектуальних систем опалення формують широкий спектр обладнання — від базових сенсорів до складних інтегрованих платформ управління будівлями. Їхня діяльність спрямована на підвищення енергоефективності, автоматизацію та цифровізацію інженерних систем, що визначає високу актуальність і перспективність використання таких технологій у сучасних умовах.

1.3 Загальне представлення інтелектуальним систем обігріву та особливості їх роботи

Інтелектуальні системи обігріву та опалення є складовою сучасних автоматизованих інженерних рішень будівель, що забезпечують підтримку комфортного мікроклімату з мінімальними витратами енергії (рисунки 1.5). Вони базуються на принципах автоматичного керування, адаптації до зовнішніх умов і поведінки користувачів, а також інтеграції з іншими підсистемами “розумного будинку”. Основною відмінністю таких систем від традиційних є не лише можливість дистанційного керування, а й здатність до самостійного прийняття рішень на основі зібраних даних.

Загалом інтелектуальна система опалення функціонує за замкненим контуром керування: відбувається постійний збір інформації про стан середовища (температура, вологість, наявність людей у приміщенні, погодні умови), подальша обробка цих даних і формування керуючих впливів на опалювальне обладнання. Наприклад, система може автоматично знижувати температуру в приміщенні під час відсутності мешканців або підвищувати її перед їх поверненням, враховуючи задані сценарії.

					ДП.АКТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.5 – Компонівка автоматизованої системи керування обігрівом у складі комплексу «розумний будинок»

Особливістю роботи таких систем є їх адаптивність і гнучкість. Вони можуть функціонувати за різними архітектурами: централізованою (з єдиним контролером), децентралізованою (коли кожен пристрій має власний “інтелект”) або гібридною. Передача даних може здійснюватися як провідними каналами (наприклад, через спеціалізовані шини), так і бездротовими (Wi-Fi, ZigBee, Z-Wave). Це дозволяє підбирати оптимальні рішення залежно від типу будівлі, етапу будівництва або модернізації.

До ключових особливостей інтелектуальних систем опалення належать [7]:

- можливість зонального керування (окреме регулювання температури в різних приміщеннях);
- програмування сценаріїв роботи (добові, тижневі, сезонні режими);
- інтеграція з погодними сервісами та іншими інженерними системами;
- дистанційний доступ через мобільні додатки або веб-інтерфейси;
- самонавчання та оптимізація режимів роботи на основі аналітики даних.

					ДП.АКТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Склад засобів автоматизації інтелектуальних систем обігріву є досить різноманітним і включає кілька основних груп компонентів. Сенсори - це первинні елементи системи, які забезпечують збір інформації (рисунок 1.6). До них належать сенсори температури, вологості, руху, освітленості, відкриття вікон/дверей, а також зовнішні погодні сенсори. Вони формують вхідні сигнали для системи керування.



Рисунок 1.6 – Сенсори автоматизованих систем керування опаленням

Контролери (керуючі пристрої) - центральні або локальні обчислювальні модулі, які обробляють отримані дані та формують керуючі сигнали (рисунок 1.7). Це можуть бути програмовані логічні контролери (PLC), спеціалізовані HVAC-контролери або хаби “розумного будинку” [6-8].



Рисунок 1.7 – Загальний вигляд контролера (керуючого пристрою)

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Виконавчі механізми (актуатори) - пристрої, що безпосередньо впливають на роботу системи опалення: електроприводи клапанів, реле, сервоприводи радіаторів, керовані насоси, котли або теплові насоси (рисунк 1.8) [9]. Вони реалізують команди, сформовані контролером.



Рисунок 1.8 – Загальний вигляд широкого ряду виконавчих механізмів (актуаторів) інтелектуальних систем опалення

Комунікаційні модулі – модулі, що забезпечують передачу даних між елементами системи. Це можуть бути провідні інтерфейси (KNX, Modbus, BACnet) або бездротові технології (Wi-Fi, ZigBee, Z-Wave, Bluetooth) (рисунк 1.9). Вибір залежить від вимог до надійності, швидкості та вартості.



Рисунок 1.9 – Загальний вигляд комунікаційного обладнання автоматизованих систем опалення та обігріву

Інтерфейси користувача - засоби взаємодії людини з системою: настінні панелі, сенсорні дисплеї, мобільні додатки, веб-інтерфейси (рисунок 1.10). Через них користувач задає параметри, переглядає стан системи та керує сценаріями.



Рисунок 1.10 – Загальний вигляд можливих інтерфейсів користувача для взаємодії людини з системою

Програмне забезпечення та аналітичні модулі, реалізують алгоритми керування, зберігання даних, аналіз споживання енергії та оптимізацію режимів роботи. У сучасних системах часто використовуються хмарні сервіси та елементи штучного інтелекту.

Таким чином, інтелектуальні системи опалення являють собою комплекс взаємопов'язаних апаратних і програмних засобів, що забезпечують ефективне, гнучке та економічно доцільне управління тепловими процесами в будівлях. Їх впровадження дозволяє не лише підвищити комфорт користувачів, але й суттєво зменшити енергоспоживання, що є критично важливим у сучасних умовах зростання вартості ресурсів і підвищених вимог до енергоефективності.

2. СПЕЦИФІКАЦІЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Розробка структури автоматизованої системи управління обігрівом будинку у складі комплексу «розумний дім»

На сьогодні дослідження та розробка систем керування для “розумних будинків” є одним із найбільш актуальних і активно обговорюваних напрямів. Стрімкий розвиток сучасних технологій суттєво змінює підходи до проектування, будівництва та експлуатації будівель. Усе частіше на практиці впроваджуються інтелектуальні системи, які використовують новітні технологічні рішення для автоматизації та оптимізації різних інженерних підсистем. “Розумні будинки” відіграють важливу роль у повсякденному житті, оскільки підвищують комфорт, безпеку та спрощують виконання багатьох побутових і робочих процесів.

Вагоме місце в таких системах займає автоматизація опалення. Вона не лише сприяє зменшенню витрат на експлуатацію, але й позитивно впливає на продуктивність людей, які перебувають у цих приміщеннях, завдяки підтриманню оптимального мікроклімату.

Інтелектуальні будинки являють собою комплексні системи, що включають сенсори, контролери та виконавчі пристрої, які забезпечують автоматизацію різних процесів. Такі системи здатні оперативно реагувати на зміни зовнішнього середовища та індивідуальні налаштування користувачів, створюючи найбільш сприятливі умови для проживання і роботи.

Для організації взаємодії між компонентами та реалізації керування в “розумних будинках” застосовуються різні технології та стандарти, а саме [10]:

- Internet of Things (IoT) — забезпечує підключення пристроїв до мережі Інтернет, збір даних і можливість віддаленого керування;
- ZigBee — енергоефективний стандарт бездротового зв’язку з високою надійністю, широко використовується в системах автоматизації будівель;

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

- Z-Wave — бездротова технологія, орієнтована на “розумний дім”, яка характеризується простотою інтеграції та низьким енергоспоживанням;

- BACnet — спеціалізований протокол для автоматизації та диспетчеризації будівель, який активно застосовується в комерційних і адміністративних об’єктах.

Рациональне керування опаленням у “розумних будинках” дає змогу суттєво оптимізувати енергоспоживання, що у свою чергу, забезпечує економічну вигоду та сприяє зменшенню вуглецевого сліду. Системи керування опаленням можуть реалізовуватися за централізованою або децентралізованою архітектурою. У централізованих рішеннях усі дані акумулюються та обробляються в єдиному керуючому вузлі, що спрощує процес управління, але створює залежність від його працездатності. Натомість децентралізовані системи розподіляють функції обробки інформації та прийняття рішень між окремими пристроями, підвищуючи надійність, однак ускладнюючи конфігурацію та адміністрування.

Головною метою керування системою опалення є підтримання комфортного температурного режиму в приміщеннях при мінімальних витратах енергії. Для досягнення цього необхідно враховувати широкий спектр факторів, зокрема зовнішні кліматичні умови, рівень вологості, теплові втрати будівлі, а також індивідуальні налаштування користувачів.

Важливим аспектом ефективної роботи є прогнозування потреби в теплі. Це може реалізовуватися на основі аналізу історичних даних щодо температури та енергоспоживання, а також із застосуванням методів машинного навчання. Завдяки прогнозуванню система здатна заздалегідь коригувати режими роботи, забезпечуючи оптимальні умови.

Серед основних алгоритмів регулювання температури можна виділити:

- PID-регулювання — використання пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора для підтримання заданої температури шляхом аналізу відхилення між фактичним і заданим значенням;

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

- адаптивне керування — методи, що дозволяють системі автоматично підлаштовувати параметри роботи відповідно до змін умов і поведінки користувачів.

Інтеграція системи опалення з іншими підсистемами “розумного будинку”, такими як освітлення чи вентиляція, забезпечує створення комплексних рішень для підвищення енергоефективності та комфорту. Для цього використовуються уніфіковані протоколи та технології зв’язку, зокрема IoT, ZigBee, Z-Wave і BACnet, які дають змогу об’єднувати обладнання різних виробників у єдину узгоджену систему.

Єдина платформа керування виступає ядром “розумного будинку”, об’єднуючи всі підсистеми та забезпечуючи централізоване управління і моніторинг температурних режимів у відповідних зонах будинку (рисунок 2.1). Така платформа повинна відповідати вимогам гнучкості, масштабованості та сумісності з різноманітними пристроями і комунікаційними протоколами.

Принцип функціонування структурної схеми (рисунок 2.1) автоматизованої системи обігріву заміського будинку в складі “розумного будинку” базується на класичній замкненій системі керування з використанням зворотного зв’язку, доповненій елементами прогнозування, адаптації та інтеграції з іншими підсистемами [11, 12].

У загальному вигляді така система складається з кількох взаємопов’язаних рівнів: рівня збору даних (сенсорів), рівня обробки та прийняття рішень (контролерів), рівня виконавчих механізмів, а також інтерфейсів взаємодії з користувачем і зовнішніми сервісами.

На першому етапі функціонування здійснюється збір інформації за допомогою сенсорів. Вони вимірюють температуру повітря в приміщеннях, температуру теплоносія, вологість, наявність людей, стан вікон і дверей, а також зовнішні кліматичні параметри (температура повітря, швидкість вітру тощо). Отримані дані передаються до центрального або розподіленого контролера через провідні чи бездротові канали зв’язку.

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

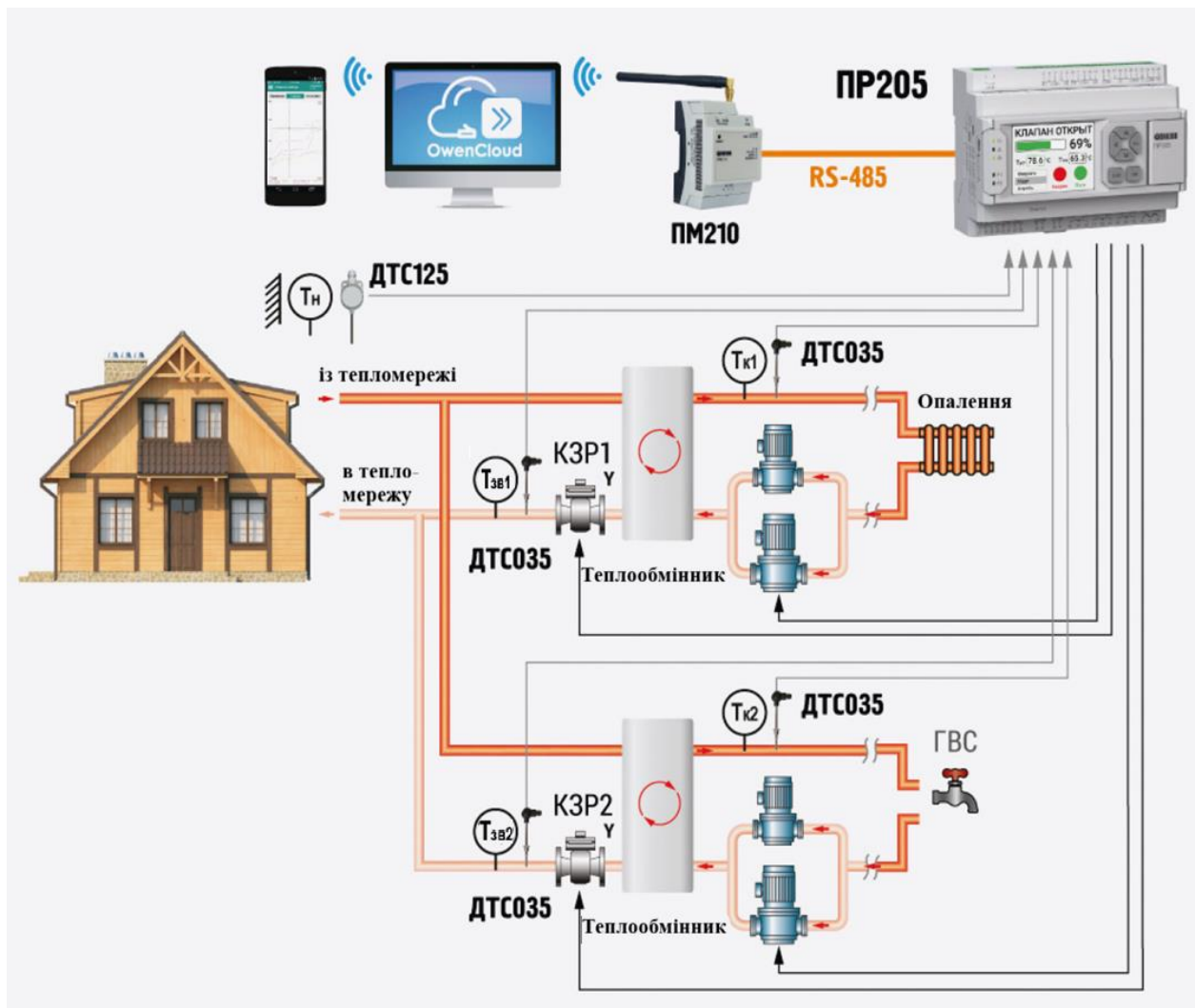


Рисунок 2.1 – Структурна схема автоматизованої системи керування обігрівом будинку

На другому етапі відбувається обробка інформації та формування керуючих впливів. Контролер (або група контролерів у децентралізованій системі) порівнює поточні значення параметрів із заданими користувачем або визначеними алгоритмом. На основі цього виконується розрахунок необхідного теплового навантаження. У системі можуть використовуватися різні алгоритми керування — від класичних PID-регуляторів до адаптивних або прогнозованих моделей, що враховують історичні дані та погодні умови. Далі сформовані команди передаються на виконавчі пристрої, до яких належать [12]:

- керовані котли або теплові насоси;

					ДП.АКТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

- циркуляційні насоси;
- електроприводи клапанів і змішувальних вузлів;
- термостатичні радіаторні головки;
- системи “теплої підлоги”.

Ці пристрої змінюють параметри роботи системи опалення наступним чином: регулюють подачу теплоносія, змінюють температуру, розподіляють тепло по зонах будинку. Таким чином реалізується безпосередній вплив на тепловий режим приміщень.

Важливою складовою є організація зворотного зв'язку: після виконання команд сенсори знову фіксують зміну параметрів, і система коригує свою роботу в режимі реального часу. Це забезпечує стабільність і точність підтримання заданої температури.

У структурі “розумного будинку” система обігріву інтегрується з іншими підсистемами, такими як вентиляція, кондиціонування, освітлення та безпека. Наприклад, при відкритті вікна система може автоматично знижувати подачу тепла, а при відсутності мешканців — переходити в енергозберігаючий режим. Також можливе врахування даних із зовнішніх сервісів (прогноз погоди), що дозволяє реалізувати випереджальне керування.

Керування системою здійснюється через інтерфейси користувача: настінні панелі, мобільні додатки або веб-інтерфейси. Користувач може задавати температурні режими, створювати сценарії (наприклад, “день/ніч”, “відпустка”), а також отримувати інформацію про стан системи та енергоспоживання.

У випадку заміського будинку додатково враховується наявність розподіленої інфраструктури (окремі будівлі, котельня, господарські приміщення). Тому часто застосовується ієрархічна структура керування з локальними вузлами, які взаємодіють із центральним контролером. Це дозволяє підвищити надійність системи та зменшити навантаження на комунікаційні канали.

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, принцип роботи автоматизованої системи обігріву полягає у безперервному зборі даних, їх аналізі, формуванні керуючих дій та їх реалізації через виконавчі механізми з подальшим контролем результату. Інтеграція в структуру “розумного будинку” забезпечує узгоджену роботу всіх інженерних систем, підвищуючи енергоефективність, комфорт і надійність експлуатації замиського житла [13].

Оцінювання ефективності алгоритмів керування опаленням здійснюється за двома ключовими критеріями:

- енергоефективність — рівень зниження споживання енергоресурсів;
- комфорт — здатність підтримувати оптимальні температурні умови для користувачів.

Для перевірки результативності застосовуються як імітаційне моделювання, так і експериментальні дослідження в реальних умовах. Моделювання дозволяє відтворювати різні сценарії функціонування системи, тоді як практичні випробування дають змогу оцінити роботу алгоритмів безпосередньо під час експлуатації.

Отримані результати піддаються аналізу та порівнюються з уже існуючими рішеннями. Це дає можливість визначити сильні та слабкі сторони розроблених підходів, а також окреслити напрями їх подальшого вдосконалення.

Узагальнюючи, автоматизація систем опалення суттєво підвищує як енергоефективність, так і рівень комфорту. Для регулювання температури можуть застосовуватися різні алгоритмічні підходи, зокрема PID-регулювання або адаптивні методи керування. Вибір конкретного рішення залежить від умов застосування, при цьому для його обґрунтування доцільно використовувати як моделювання, так і експериментальні дослідження. Головною метою є забезпечення відповідності системи встановленим критеріям енергоефективності та комфорту.

Крім того, інтеграція системи опалення з іншими підсистемами “розумного будинку” дозволяє реалізувати комплексний підхід до

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

управління, забезпечуючи єдиний центр контролю всіх інженерних процесів. Подальший розвиток систем керування опаленням доцільно пов'язувати з удосконаленням алгоритмів, зокрема із впровадженням методів штучного інтелекту та машинного навчання, що відкриває нові можливості для підвищення ефективності та автономності таких систем.

2.2 Реалізація функціональної схеми та опис роботи основних вузлів автоматизованої системи

Функціональна схема автоматизованої системи обігріву може бути реалізована на базі конкретних промислових і побутових пристроїв, що широко застосовуються у сучасних системах “розумного будинку” (рисунок 2.2) [14]. Склад і структура таких систем може бути найрізноматніша.

Принцип роботи та функціонування таких систем включає поетапність виконання заданого алгоритму. Користувач задає параметри (температуру, сценарії, режими роботи) через інтерфейс керування. Відповідно центральний контролер отримує ці налаштування та координує роботу всієї системи. Сенсори у свою чергу передають інформацію про внутрішній стан приміщення (температура, вологість, присутність людей). Додатково враховуються зовнішні фактори (погода) та сигнали від інших підсистем будинку.

У блоці обробки даних виконується аналіз та прийняття рішень на основі алгоритмів керування. Формуються керуючі сигнали, які надходять до виконавчих пристроїв. Виконавчі механізми змінюють режими роботи системи опалення. Після чого відбувається обігрів приміщень, що супроводжується зміною параметрів, які знову зчитуються сенсорами. Завдяки зворотному зв'язку система постійно коригує свою роботу.

Особливості для замиського будинку це є: можливе використання локальних контролерів (котельня, окремі будівлі); комбінування провідних і бездротових каналів зв'язку; інтеграція з системами безпеки та

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергоменеджменту; робота в енергозберігаючих режимах (наприклад, при відсутності мешканців).

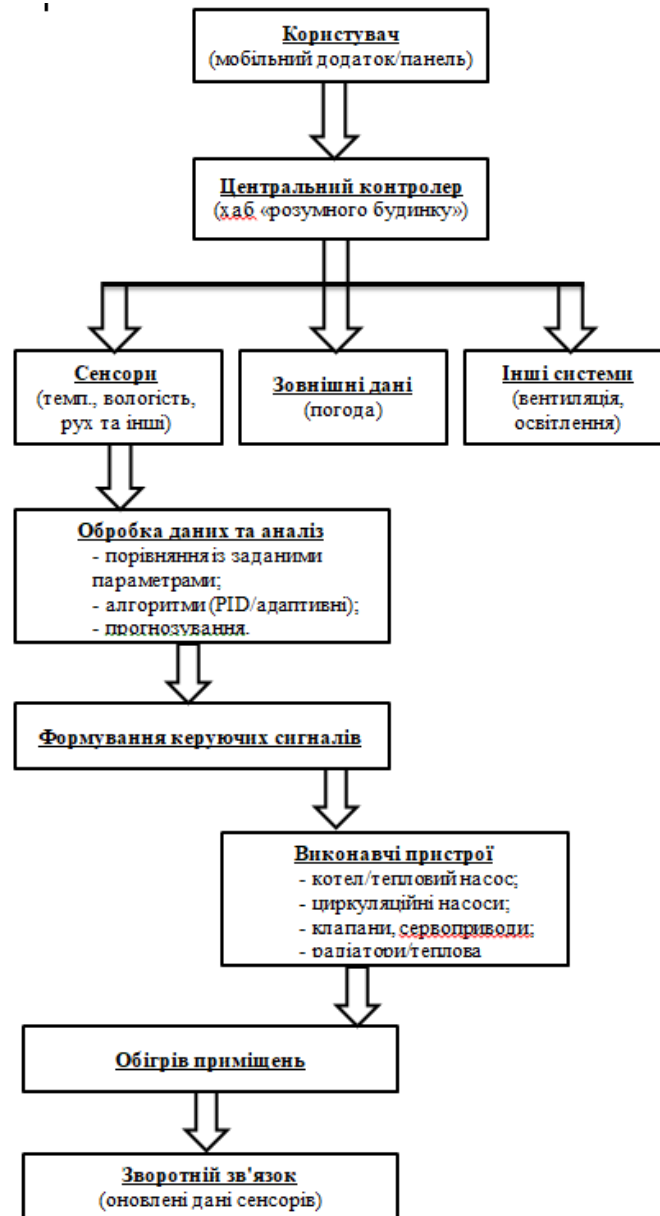


Рисунок 2.2 – Функціональна схема автоматизованої системи керування обігрівом заміського будинку

Наведена функціональна схема (рисунок 2.2) автоматизованої системи обігріву може бути реалізована на базі конкретних промислових і побутових пристроїв, що широко застосовуються у сучасних системах “розумного будинку” [14, 15].

Ієрархія функціональної схеми включає рівень сенсорів (збір даних). На цьому рівні використовуються пристрої, які формують вхідні сигнали для системи керування, а саме:

- сенсори температури (DS18B20 digital temperature sensor — недорогий цифровий сенсор для вимірювання температури повітря або теплоносія, Siemens QAA2061 room temperature sensor — промисловий кімнатний сенсор);

- сенсори вологості та мікроклімату (DHT22 temperature and humidity sensor — комбінований сенсор температури та вологості, Bosch BME280 environmental sensor — вимірює температуру, вологість і тиск);

- сенсори присутності/руху (Aqara Motion Sensor — використовується для визначення присутності людей);

- сенсори відкриття вікон/дверей (Fibaro Door/Window Sensor 2 — дозволяє знижувати опалення при відкритому вікні);

- зовнішні сенсори (Netatmo Outdoor Module — вимірює зовнішню температуру та кліматичні умови.

Центральний модуль керування (ПЛК / контролер) це “мозок” системи, який виконує обробку сигналів і формує керуючі впливи, він включає в себе:

- Siemens LOGO 8 PLC — компактний ПЛК для малих систем автоматизації;

- WAGO 750 PLC controller — модульний контролер із підтримкою промислових протоколів;

- Schneider Electric Modicon M221 PLC — надійний контролер для інженерних систем будівель.

До основних функцій ПЛК відносять [15]:

- збір даних із сенсорів;
- виконання алгоритмів (PID, адаптивне керування);
- обмін даними через протоколи (Modbus, KNX, BACnet);
- формування команд для виконавчих пристроїв.

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Ще одним рівнем ієрархічної структури є виконавчі механізми (рівень впливу). Ці пристрої безпосередньо змінюють режим роботи системи опалення і включають в себе:

- котли та теплогенератори (Vaillant ecoTEC plus boiler — газовий котел із можливістю зовнішнього керування);
- циркуляційні насоси (Grundfos Alpha2 circulation pump — енергоефективний насос із регулюванням швидкості);
- електроприводи клапанів (Danfoss AMV actuator — керує подачею теплоносія);
- радіаторні термоголовки (Tado Smart Radiator Thermostat — забезпечує зональне регулювання);
- сервоприводи теплої підлоги (Salus T30NC actuator — керує контурами теплої підлоги).

Основними засобами керування та інтерфейсами користувача є сучасні смартфони, планшети та спеціалізовані графічні дисплеї. Користувач взаємодіє із системою через зручні інтерфейси, а саме:

- панелі керування (KNX touch control panel Gira G1 — настінний сенсорний інтерфейс);
- мобільні додатки (Home Assistant — універсальна платформа керування “розумним будинком”, Google Home — популярний додаток для інтеграції IoT-пристроїв);
- хмарні сервіси (віддалений доступ, аналітика, сценарії автоматизації).

Принцип роботи системи на практиці організований таким чином, що сенсори (наприклад, Bosch BME280 environmental sensor) фіксують температуру в кімнаті, в подальшому дані передаються до ПЛК (наприклад, Siemens LOGO! 8 PLC). Контролер порівнює значення із заданим (наприклад, 22 °C) і якщо температура нижча — формується команда:

- відкрити клапан (Danfoss AMV actuator);
- увімкнути насос (Grundfos Alpha2 circulation pump);
- активувати котел (Vaillant ecoTEC plus boiler).

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після нагріву приміщення сенсори знову передають значення — система коригує роботу. Інтеграція в “розумний будинок” це означає, що система опалення взаємодіє з іншими підсистемами, а саме:

- при відкритті вікна (Fibaro Door/Window Sensor 2) — опалення зменшується;
- при відсутності людей (Aqara Motion Sensor) — активується економ-режим;
- через Home Assistant користувач змінює сценарії.

Представлена функціональна схема є типовою для сучасних автоматизованих систем обігріву. Використання реальних сенсорів, ПЛК і виконавчих механізмів дозволяє створити гнучку, масштабовану та енергоефективну систему, яка забезпечує комфортний мікроклімат і оптимальне використання ресурсів у заміському будинку.

2.3 Обґрунтування вибору програмовано-логічного контролера для автоматизованої системи обігріву заміського будинку

Із розвитком сучасних програмно-апаратних засобів можливості віддаленого управління засобами обігріву заміських будинків стає доступним широким масам. Технічний прогрес вирішив проблему завдяки широкій доступності мережі Інтернет та сучасних інформаційних та комп'ютерних технологій сьогодні управління інженерним обладнанням стало можливим із будь-якої точки земної кулі. При потребі комфортного мікроклімату у котеджі чи теплої води в басейні або інформація про роботу опалювальної системи, все це забезпечують на сьогодні інтелектуальні системи.

Наразі спостерігається різке зростання індивідуального будівництва. Забудовники встановлюють власні котельні, свердловини, тому вони вкрай зацікавлені у створенні ефективних енергоекономічних комфортних систем управління. Сучасне керування мікрокліматом здійснюється системами штучного інтелекту. Ці системи ще називають «розумним будинком»,

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оскільки вони дозволяють контролювати та регулювати роботу будь-якого інженерного обладнання. Керувати ними можна як із пульта, встановленого в будинку, так і з мобільного телефону.

Обґрунтування вибору програмованого логічного контролера (ПЛК) для автоматизованої системи керування обігрівом заміського будинку в складі архітектури “розумний дім” є ключовим етапом проектування, оскільки саме цей компонент визначає надійність, гнучкість і функціональність усієї системи. Вибір ПЛК повинен базуватися на технічних вимогах до системи, умовах експлуатації, рівні інтеграції з іншими підсистемами та економічній доцільності.

У сучасних умовах до систем опалення заміського будинку висуваються підвищені вимоги щодо енергоефективності, автономності та можливості дистанційного керування. Відповідно, ПЛК має забезпечувати підтримку алгоритмів регулювання (зокрема PID), роботу з різними типами сенсорів і виконавчих механізмів, а також інтеграцію з мережевими протоколами “розумного будинку”.

Одним із базових критеріїв вибору є продуктивність і функціональні можливості контролера. Для систем середньої складності доцільно використовувати компактні ПЛК, такі як Siemens LOGO 8 PLC. Цей контролер має достатню кількість входів/виходів для підключення сенсорів температури, реле керування насосами та клапанами, а також підтримує Ethernet-з'єднання для інтеграції в мережу. Його перевагою є простота програмування та наявність вбудованих функціональних блоків, що значно спрощує реалізацію алгоритмів керування опаленням.

Для більш складних або масштабованих систем доцільно застосовувати модульні контролери, наприклад WAGO 750 PLC controller. Такі пристрої дозволяють гнучко нарощувати кількість модулів введення/виведення, що особливо важливо для заміських будинків із великою площею, кількома контурами опалення, системами “теплої підлоги” та окремими господарськими будівлями. Контролери WAGO підтримують промислові

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

протоколи (Modbus, BACnet, KNX), що забезпечує легку інтеграцію з іншими інженерними системами [15].

Ще одним прикладом ефективного рішення є Schneider Electric Modicon M221 PLC, який поєднує високу надійність із широкими можливостями комунікації. Він підтримує віддалений доступ через веб-інтерфейс, що дозволяє реалізувати дистанційне керування системою опалення та моніторинг її стану. Це особливо актуально для заміських будинків, які не завжди використовуються постійно.

Важливим аспектом є сумісність ПЛК із сенсорами та виконавчими механізмами. Наприклад, сенсори температури типу DS18B20 digital temperature sensor або промислові аналоги можуть підключатися через відповідні модулі вводу. Виконавчі пристрої, такі як електроприводи клапанів Danfoss AMV actuator або циркуляційні насоси Grundfos Alpha2 circulation pump, керуються через релейні або аналогові виходи ПЛК. Таким чином, контролер виступає центральною ланкою, що забезпечує узгоджену роботу всіх елементів системи.

Не менш важливим є питання надійності. На відміну від побутових контролерів або IoT-хабів, промислові ПЛК розраховані на безперервну роботу в широкому діапазоні температур і мають підвищену стійкість до електромагнітних завад. Це критично для систем опалення, оскільки їх відмова може призвести до серйозних наслідків, особливо в зимовий період. З точки зору архітектури “розумного дому”, ПЛК може виконувати як роль центрального контролера, так і локального вузла в децентралізованій системі. Наприклад, у великому будинку доцільно використовувати кілька контролерів: один для котельні, інші — для окремих зон або будівель. У цьому випадку обмін даними між ними здійснюється через мережеві протоколи, що підвищує надійність і масштабованість системи.

Щодо інтеграції з користувацькими інтерфейсами, ПЛК може взаємодіяти з платформами “розумного дому”, такими як Home Assistant або SCADA-системами. Це дозволяє реалізувати зручний моніторинг,

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

налаштування сценаріїв і аналітику енергоспоживання. Наприклад, користувач може задавати різні режими роботи (день/ніч, відпустка), а система автоматично адаптуватиме роботу опалення.

Економічний аспект також відіграє важливу роль. Хоча промислові ПЛК мають вищу початкову вартість порівняно з побутовими рішеннями, їх використання виправдане за рахунок довговічності, надійності та можливості масштабування. Крім того, оптимізація енергоспоживання дозволяє швидко окупити витрати на впровадження системи.

Окремо слід відзначити можливість реалізації інтелектуальних алгоритмів керування. Сучасні ПЛК підтримують програмування мовами стандарту IEC 61131-3, що дозволяє впроваджувати складні алгоритми, включаючи адаптивне керування та елементи прогнозування [16]. Наприклад, система може враховувати погодні умови та історичні дані для оптимізації роботи котла.

У підсумку, вибір ПЛК для автоматизованої системи обігріву заміського будинку повинен ґрунтуватися на комплексному аналізі вимог до системи. Найбільш доцільними є рішення, які поєднують:

- достатню обчислювальну потужність;
- гнучкість масштабування;
- підтримку сучасних протоколів зв'язку;
- високу надійність;
- можливість інтеграції з системами “розумного дому”.

Серед вище описаних ПЛК, такий контролер, як Siemens LOGO 8 PLC, повністю відповідає поставленим вимогам і може ефективно використовуватися як основа для побудови сучасної, енергоефективної та надійної системи обігріву заміського будинку (рисунк 2.3).

Представлений на рисунку 2.3 контролер Siemens LOGO 8 — це компактний програмований логічний контролер (часто класифікується як “розумне реле”), призначений для вирішення простих та середньої складності завдань автоматизації. Він поєднує функції керування, логічної обробки

					ДП.АКТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сигналів та базової візуалізації. Контролер працює за принципом прийому сигналів із сенсорів (вхідні сигнали), їх логічної та математичної обробки та формування керуючих команд для виконавчих механізмів.



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд Siemens LOGO 8

Алгоритм роботи задається програмою, створеною у вигляді функціональних блоків чи релейно-контактних схем. Контролер Siemens LOGO 8 в процесі експлуатації орієнтований на завдання так званої “повсякденної автоматизації” (Everyday Automation). Типові області застосування це: системи опалення та клімат-контролю; управління насосами, казанами, вентиляторами; автоматизація освітлення (внутрішнього та зовнішнього); системи "розумного будинку"; управління воротами, жалюзі, теплицями; невеликі технологічні установки.

У контексті автоматизованої системи обігріву заміського будинку цей контролер використовується для:

- підтримання температури;
- керування насосами та клапанами;
- реалізації сценаріїв (день/ніч, відпустка);
- інтеграції з іншими підсистемами будинку.

До основних технічних характеристик ПЛК Siemens LOGO 8 відносять:

- апаратні можливості:

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- компактний модульний корпус (монтаж на DIN-рейку);
- вбудовані цифрові та аналогові входи/виходи;
- можливість розширення через додаткові модулі.
- кількість сигналів:
 - до ~24 цифрових входів;
 - до ~20 цифрових виходів;
 - до ~8 аналогових входів/виходів (в залежності від конфігурації).
- комунікації:
 - Ethernet (у версіях RCE);
 - підтримка мережевої інтеграції;
 - можливість підключення до SCADA та IoT-систем.
- програмні можливості:
 - понад 40 вбудованих функціональних блоків;
 - таймери;
 - лічильники;
 - тригери;
 - логічні операції;
 - до ~400 функціональних блоків у програмі.
- інші параметри:
 - робочий температурний діапазон приблизно від -20 до +55 ° C;
 - живлення різні варіанти (12/24 В DC, 115–240 В AC);
 - вбудований дисплей (у деяких версіях).

Принципи функціонування запропонованого ПЛК визначаються його циклічною роботою, а саме зчитуванням сигналів з входів (сенсори температури, тиску тощо). ПЛК виконує логічну обробку згідно з програмою. Формує сигнали на виході (реле, приводи, насоси). Повторює цикл у реальному часі.

Програмування LOGO 8 виконується за допомогою програмного забезпечення LOGO! Soft Comfort або безпосередньо з панелі контролера. До особливостей можна віднести: графічне програмування (FBD – Function

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Block Diagram); мінімальні вимоги до знань програмування; можливість моделювання та тестування. Контролер має інтегрований веб-інтерфейс, тобто віддалений моніторинг, зміна параметрів налаштування та діагностика системи [17]. Це важливо для “розумного будинку”, де потрібне дистанційне керування. Масштабованість дає можливість легко розширюватися, а саме додаванням модулів вводу/виводу, об'єднання кількох контролерів через Ethernet, або інтеграція з іншими системами автоматизації.

Водночас LOGO 8 має певні обмеження, а саме:

- обмежена обчислювальна потужність;
- відсутність складних алгоритмів (порівняно з PLC типу S7-1200);
- обмежена пам'ять;
- не підходить для великих промислових систем.

Тому ПЛК такого типу необхідно використовувати саме в малих і середніх проектах. У системі опалення замиського будинку Siemens LOGO 8 виконує наступні функції:

- регулювання температури (включення/вимкнення котла);
- керування циркуляційними насосами;
- зональне управління (кілька кімнат);
- контроль аварій (перегрів, відсутність води);
- інтеграція з сенсорами та “розумним будинком”.

Контролер Siemens LOGO 8 PLC є оптимальним рішенням для автоматизованих систем обігріву замиських будинків завдяки: достатній функціональності задач HVAC; простоті впровадження; можливості інтеграції у “розумний дім”; високої надійності за невеликої вартості. Він займає проміжне положення між простими релейними схемами та повноцінними промисловими ПЛК, що робить його особливо ефективним для побутових та малих комерційних систем автоматизації.

2.4 Вибір сенсорів та виконавчих механізмів для ефективного керування автоматизованою системою

Під час проектування автоматизованої системи обігріву заміського будинку одним із ключових етапів є правильний вибір сенсорів і виконавчих механізмів. Саме ці компоненти забезпечують збір достовірної інформації про стан системи, її обробку контролером та подальший вплив на роботу опалювального обладнання. Від правильності їх підбору залежать точність підтримання температурного режиму, енергоефективність, надійність і загальна ефективність функціонування системи.

Для даної автоматизованої системи, побудованої на базі контролера Siemens LOGO 8 PLC, вибір сенсорів і виконавчих пристроїв здійснюється з урахуванням наступних критеріїв:

- сумісність із ПЛК;
- надійність роботи в побутових умовах;
- простота монтажу;
- достатня точність вимірювання;
- економічна доцільність;
- можливість інтеграції в архітектуру “розумного будинку”.

Основним параметром, що контролюється в системі обігріву, є температура. Для її вимірювання оптимальним вибором є цифровий сенсор DS18B20 (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд температурного сенсора DS18B20

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Вибір температурного сенсора DS18B20 обумовлений по-перше, даний сенсор забезпечує високу точність вимірювання (до $\pm 0,5$ °C), що є достатнім для побутових систем опалення. По-друге, він працює за цифровим інтерфейсом 1-Wire, що дозволяє підключати декілька сенсорів до однієї лінії зв'язку. Це особливо актуально для заміського будинку, де необхідно контролювати температуру в кількох зонах [18]:

- житлові кімнати;
- котельня;
- система теплої підлоги;
- зовнішній контур.

По-третє, сенсор має високу надійність і стійкість до впливу вологи (у герметичному виконанні). Для більш відповідальних вузлів, зокрема контролю температури теплоносія в котлі, доцільно використовувати промислові сенсори типу Pt100/Pt1000 із перетворювачами сигналу в стандарт 4–20 мА (рисунок 2.5). Перевагами Pt100/Pt1000 є: висока стабільність показань; промислова точність; стійкість до електромагнітних завад.



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд промислового сенсора температури Pt100/Pt1000

Для реалізації енергозберігаючих алгоритмів необхідний контроль присутності людей у приміщенні. Оптимальним рішенням є Aqara Motion Sensor (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд сенсора присутності є Aqara Motion Sensor

Основними передумовами вибору є: низьке енергоспоживання; висока швидкодія; сумісність із системами “розумного дому”; компактність. Використання такого сенсора дозволяє автоматично переводити систему в економічний режим при відсутності мешканців будинку

Для запобігання втратам тепла система повинна реагувати на провітрювання. Доцільно застосувати Fibaro Door/Window Sensor 2 (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Загальний вигляд сенсора відкривання дверей/вікон Fibaro Door/Window Sensor 2

Використання сенсора відкривання дверей/вікон Fibaro Door/Window Sensor 2 дозволяє:

- автоматично вимикати або зменшувати потужність обігріву;
- знижувати енергоспоживання;
- підвищувати ефективність роботи системи.

Контроль вологості важливий для підтримки комфортного мікроклімату. Оптимальний варіант — Bosch BME280 (рисунок 2.7).

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд сенсора контролю вологості Bosch BME280

Основними перевагами сенсора контролю вологості Bosch BME280 є:

- одночасне вимірювання температури, вологості та атмосферного тиску;
- висока точність;
- компактність;
- можливість прогнозування змін мікроклімату.

Виконавчі механізми повинні забезпечувати точне регулювання теплових потоків і бути сумісними з контролером. Керування циркуляцією теплоносія відбувається за допомогою одного і більше циркуляційних насосів. Для цього доцільно застосувати Grundfos Alpha2 (рисунок 2.8) [19].



Рисунок 2.8 – Загальний вигляд циркуляційного насоса Grundfos Alpha2

Причиною вибору циркуляційного насоса Grundfos Alpha2 є:

- автоматичне регулювання продуктивності;
- низьке енергоспоживання;
- підтримка кількох режимів роботи;

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- висока надійність.

Для замиського будинку це особливо важливо через змінне теплове навантаження. Для керування подачею теплоносія оптимальним рішенням є використання електроприводів клапанів Danfoss AMV actuator (рисунок 2.9). Головними перевагами електроприводів клапанів Danfoss AMV є: точне позиційне регулювання; швидка реакція; тривалий ресурс; сумісність із PLC-системами. Такі приводи дозволяють плавно змінювати подачу теплоносія в залежності від потреб.



Рисунок 2.9 – Загальний вигляд електропривода клапанів Danfoss AMV

Для регулювання температури в окремих кімнатах рекомендовано використання термостата для радіаторів Tado Smart Radiator Thermostat (рисунок 2.10).



Рисунок 2.10 – Загальний вигляд термостата для радіаторів Tado Smart Radiator Thermostat

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Обґрунтування вибору термостата для радіаторів Tado Smart Radiator Thermostat є:

- незалежне регулювання по кімнатах;
- можливість інтеграції в “розумний дім”;
- дистанційне керування;
- = адаптивне навчання.

Це особливо актуально для замських будинків, де частина приміщень може використовуватися нерегулярно. Для контурів теплої підлоги доцільно використовувати Salus T30NC actuator. Перевагами є: сумісність із колекторними вузлами; надійність; простота монтажу; точне зональне регулювання.

Обрані сенсори та виконавчі механізми забезпечують:

- точність керування (система здатна підтримувати температуру з похибкою не більше $\pm 0,5$ °C);
- енергоефективність (завдяки зональному регулюванню знижується перевитрата теплової енергії);
- масштабованість (усі компоненти можуть бути легко розширені при модернізації будинку);
- надійність (використання перевірених промислових і побутових рішень гарантує довготривалу експлуатацію);
- інтеграцію в “розумний дім” (усі пристрої можуть працювати в єдиній екосистемі).

Для даної автоматизованої системи обігріву замського будинку оптимальним є використання комплексу сенсорів:

- DS18B20 digital temperature sensor;
- Bosch BME280 environmental sensor;
- Aqara Motion Sensor;
- Fibaro Door/Window Sensor 2.

Як виконавчі механізми доцільно застосувати:

- Grundfos Alpha2 circulation pump;

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

- Danfoss AMV actuator;
- Tado Smart Radiator Thermostat;
- Salus T30NC actuator.

Саме така конфігурація забезпечує оптимальне співвідношення між функціональністю, вартістю, енергоефективністю та надійністю для автоматизованої системи обігріву замиського будинку в структурі “розумного дому”.

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

3.1 Розробка алгоритму та математичного апарату проектування автоматизованих систем керування обігрівом будинку

На сьогодні відомо багато методів синтезу систем автоматичного керування, однак більшість із них мають ітераційний характер. У зв'язку з цим розробка систем із заданими показниками якості супроводжується значними часовими витратами. Метою даного розділу є представлення методу аналітичного синтезу систем із керуванням за вихідними сигналами та збуреннями, який дозволяє усунути зазначену проблему.

Синтезована система характеризується частково заданою структурою, наперед визначеними показниками якості, зменшеною розмірністю та підвищеною робастністю. Параметри керуючого пристрою визначаються шляхом розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь.

Для забезпечення необхідних показників якості, таких як порядок астатизму відносно задаючого впливу та збурень, рівень перерегулювання, тривалість перехідного процесу та низька коливальність, використовуються стандартні передавальні функції. Наводяться також умови розв'язності задачі аналітичного синтезу систем автоматичного керування із заданими передавальними функціями, які формуються відповідно до вимог якості синтезованої системи.

Підвищення робастності досягається за рахунок включення частини полюсів і нулів об'єкта керування до складу коренів характеристичного полінома замкненої системи. Запропонований метод аналітичного синтезу може бути застосований і для багатовимірних систем керування технічними об'єктами, зокрема рухомими (виконавчими механізмами) [19, 20].

Ефективність методу підтверджується прикладами. Він може використовуватися для створення менш складних, але більш робастних

					ДП.АКТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

систем у «розумному будинку», САУ опаленням та обігріву виробничих площадок, а також при розробці систем спеціального призначення.

Сфера застосування систем автоматичного управління на сьогодні є надзвичайно широкою. У зв'язку з цим їх розробка повинна здійснюватися з мінімальними витратами ручної праці, оскільки вона є найменш ефективною. Саме тому системи автоматизованого проектування виступають найбільш раціональним інструментом для створення якісних САУ. Розробка таких систем потребує застосування аналітичних методів синтезу, особливо для систем із заданими прямими показниками якості як у перехідному, так і в усталеному режимах, які найточніше відображають інженерні вимоги до САУ.

На практиці найчастіше використовуються прості закони керування, такі як П, ПІ, ПІД. Як правило, їх обирають апріорно, однак якість отриманих систем не завжди відповідає необхідним вимогам через обмежені можливості цих підходів. Крім того, такі базові закони керування не дозволяють повною мірою реалізувати потенціал сучасних комп'ютерних технологій.

Методи оптимального керування із застосуванням фільтра Калмана–Б'юсі (LQG) передбачають формування квадратичного функціонала, коефіцієнти якого мають досить опосередкований зв'язок із прямими показниками якості. Це пояснюється тим, що оптимальні методи спочатку орієнтовані на непрямі критерії оцінювання якості систем керування.

Метод модального керування також належить до аналітичних підходів. Його параметри можуть визначатися за формулою Аккермана або шляхом приведення моделі системи до канонічних форм. Однак цей метод дозволяє змінювати лише полюси об'єкта, залишаючи його нулі передавальної функції незмінними. Тому досягнення необхідних прямих показників якості як у випадку оптимального, так і модального керування можливе переважно ітераційним шляхом. При цьому кількість ітерацій часто є значною, що призводить до суттєвих витрат часу на створення ефективних систем керування [20].

					ДП.АКТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

У даному розділі представлено відносно новий підхід до аналітичного синтезу систем керування з частково визначеною структурою. Даний метод орієнтований на використання контролерів, що реалізують принцип «керування за виходом і впливами». На відміну від традиційного принципу «керування за відхиленням», у цьому випадку задаючий сигнал і вихідна керована змінна обробляються в контролері різними математичними операторами. Унаслідок цього навіть для одновимірного та повністю визначеного об'єкта керування відповідний контролер, як правило, має кілька входів, а замкнена система автоматичного керування є неповною.

Контролери такого типу є складнішими порівняно з класичними регуляторами за відхиленням, проте вони забезпечують більш незалежне керування полюсами та нулями замкненої системи. Це дозволяє досягати заданих показників якості як у перехідному, так і в усталеному режимах. Крім того, підхід керування за виходом і впливами дає можливість враховувати обмеження фізичної реалізованості контролера ще на етапі синтезу. Також він сприяє більш ефективному використанню сучасних комп'ютерних технологій при розв'язанні задач керування. Параметри такого контролера визначаються аналітично — шляхом розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь.

Розглянутий метод аналітичного синтезу систем керування за виходом і впливами (АССКВВ) дозволяє забезпечити необхідні показники якості, зокрема: порядок астатизму відносно задавального сигналу та зовнішніх збурень, рівень перерегулювання, тривалість перехідного процесу та низьку коливальність.

У реальних умовах параметри моделі об'єкта керування, як правило, відомі з певною похибкою. Тому системи керування повинні мати властивість робастної стійкості, яка зазвичай зменшується зі зростанням порядку системи. З метою підвищення робастності замкнених систем доцільно використовувати редуковані моделі керування. Одним зі способів

					ДП.АКТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

редукції є включення частини полюсів і нулів об'єкта до складу коренів характеристичного полінома замкненої системи.

У поєднанні з методом динамічної декомпозиції підхід АССКВВ може застосовуватися також для керування багатовимірними об'єктами та автономними робототехнічними системами [21]. Ефективність запропонованого методу аналітичного синтезу підтверджується прикладами.

Для кращого розуміння припускаємо, що на об'єкт керування (рисунок 3.1) впливають одне вимірювальне та одне не вимірювальне збурення, а його рівняння у векторно-матричній формі мають наступний вигляд:

$$\dot{x} = Ax + b_0 u + b_1 f_1 + b_2 f_2, \quad (1)$$

$$y = c^T x + \beta_0 u + \beta_1 f_1 + \beta_2 f_2. \quad (2)$$

В даному випадку: $x = [x_1 \dots x_n]^T$ - n -вимірний вектор стану; $f_1 = f_1(t)$ і $f_2 = f_2(t)$ - відповідно вимірювальне і не вимірювальне збурення; A , b_0 , b_1 , b_2 , c , - сталі числові матриці та вектори відповідних розмірностей; β_0 , β_1 , β_2 - числові коефіцієнти; T — знак транспонування.

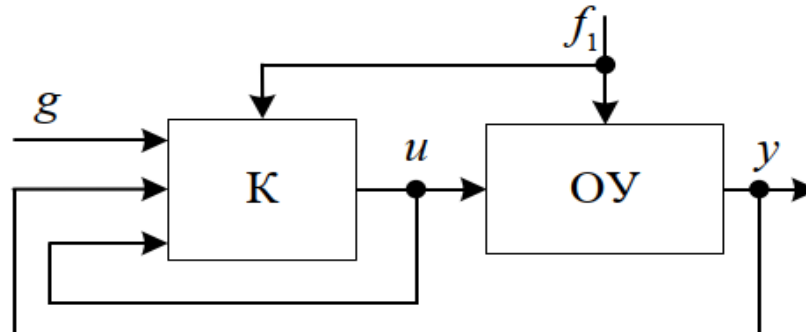


Рисунок 3.1 – Структурна схема з керуванням по виходу і збуренню

Рівняння контролера (К) (рисунок 3.1), який реалізує керування за виходом і впливами (збуреннями), записуються у такому вигляді:

$$\dot{z} = Rz + q_0 g - d u - l y + q_1 f_1, \quad (3)$$

$$u = k^T z + \vartheta_0 g - \theta u - \lambda y + \vartheta_1 f_1. \quad (4)$$

Тут: z – r - вимірювальний вектор стану; g — задаючий вплив; f_1 — вимірювальне збурення; R , q_0 , d , l , q_1 , k — сталі матриці та вектори, а ϑ_0 , θ , λ , і ϑ_1 — коефіцієнти.

Рівняння замкнутої системи за умови $\gamma_0^{-1} = 1 + \theta + \lambda\beta_0 \neq 0$ мають наступний вигляд:

$$\dot{w} = Dw + h_0 g + h_1 f_1 + h_2 f_2, \quad (5)$$

$$y = a^T w + \eta_0 g + \eta_1 f_1 + \eta_2 f_2, \quad (6)$$

де w – вектор стану розмірності $n_{\text{сис}}$. Матриця D , вектори h_0, h_1, h_2 , a і числа η_0, η_1, η_2 – визначаються рівностями:

$$D = \begin{bmatrix} A - b_0 \gamma_0 \lambda c^T & b_0 \gamma_0 k^T \\ [d \gamma_0 \lambda - l(1 - \beta_0 \gamma_0 \lambda)] c^T & R - (d + l \beta_0) \vartheta_0 \gamma_0 \end{bmatrix}; \quad h_0 = \begin{bmatrix} b_0 \vartheta_0 \gamma_0 \\ q_0 - (d + l \beta_0) \vartheta_0 \gamma_0 \end{bmatrix},$$

$$h_1 = \begin{bmatrix} b_1 + b_0 \gamma_0 (\vartheta_1 - \lambda \beta_1) \\ q_1 - l \beta_1 - (d + l \beta_0) \gamma_0 (\vartheta_1 - \lambda \beta_1) \end{bmatrix}, \quad h_2 = \begin{bmatrix} b_2 + b_0 \gamma_0 \lambda \beta_2 \\ [(d + l \beta_0) \gamma_0 \lambda - l] \beta_2 \end{bmatrix},$$

$$a^T = \begin{bmatrix} (1 - \beta_0 \gamma_0 \lambda) c^T & \beta_0 \gamma_0 k^T \end{bmatrix}, \quad \eta_0 = \beta_0 \gamma_0 \vartheta_0,$$

$$\eta_1 = \beta_1 + \beta_0 \gamma_0 (\vartheta_1 - \lambda \beta_1), \quad \eta_2 = \beta_2 (1 - \beta_0 \gamma_0 \lambda), \quad (7)$$

$$n_{\text{сис}} = n + r. \quad (8)$$

Параметри замкненої системи керування (5), (6), а також об'єкта і контролера входять до виразів (7), тому ці співвідношення можуть бути використані для визначення структури та параметрів контролера. У такому випадку при розв'язанні задачі синтезу необхідно формувати матриці та вектори з рівнянь (5), (6). Однак обґрунтувати бажаний вигляд цих матриць і векторів досить складно. Крім того, розв'язок задачі синтезу у вигляді рівнянь (3), (4) не є єдиним, оскільки ці рівняння можуть описувати багато еквівалентних систем [22].

З метою звуження множини можливих розв'язків доцільно перейти до опису у формі рівнянь «вхід–вихід». Такі рівняння для об'єкта керування, контролера та замкненої системи в операторній формі мають відповідний вигляд:

$$A(p)y = B_0(p)u + B_1(p)f_1 + B_2(p)f_2, \quad (9)$$

$$\bar{R}(p)u = Q_0(p)g - L(p)y + Q_1(p)f_1, \quad (10)$$

$$D(p)y = H_0(p)g + H_1(p)f_1 + H_2(p)f_2, \quad (11)$$

де $p = d/dt$ — оператор диференціювання. Поліноми в рівняннях (9)–(11) визначаються з рівнянь (1)–(6) за відомими співвідношеннями. Із рівнянь (9)–(11) випливають такі рівності як:

$$D(p) = A(p)\bar{R}(p) + B_0(p)L(p), \quad (12)$$

$$H_0(p) = B_0(p)Q_0(p), \quad (13)$$

$$H_1(p) = B_0(p)Q_1(p) + B_1(p)\bar{R}(p), \quad (14)$$

$$H_2(p) = B_2(p)\bar{R}(p). \quad (15)$$

Ці вирази, з одного боку, містять поліноми $D(p)$, $H_j(p)$ замкненої системи, а з іншого — поліноми $A(p)$, $B(p)$ і $B_i(p)$ об'єкта керування, а також поліноми $\bar{R}(p)$, $N(p)$, $L(p)$ і $Q_j(p)$, що належать контролеру. Після заміни в рівняннях (12) – (15) поліномів $D(p)$, $H_j(p)$ на бажані поліноми $D^*(p)$, $H_j^*(p)$, ці співвідношення набувають вигляду розв'язувальних рівнянь задачі аналітичного синтезу лінійної системи автоматичного керування з частково заданою структурою. У цих рівняннях відомими є поліноми $A(p)$ і $B_j(p)$, оскільки об'єкт керування заданий, а також поліноми $D^*(p)$, $H_j^*(p)$, адже вони визначають знаменники та чисельники бажаних передавальних функцій,

$$W_{yg}^*(p) = \frac{H_0^*(p)}{D^*(p)}, \quad W_{y f_j}^*(p) = \frac{H_j^*(p)}{D^*(p)}, \quad j = 1, 2, \quad (16)$$

які можуть бути обрані відповідно до вимог якості замкненої системи керування.

Інакше кажучи, співвідношення (11) – (14) є рівняннями відносно поліномів $R(p)$, $N(p)$, $L(p)$ і $Q_j(p)$, які визначають шукане рівняння типу «вхід–вихід» для контролера. Отримане рівняння контролера (10) реалізується у вигляді динамічного блоку з одним виходом і кількома входами (рисунок 3.1). Це має принципове значення, оскільки в іншому випадку порядок синтезованого контролера становив би не r , а $3r$, тобто був би значно вищим. Співвідношення (12) – (15) є еквівалентними системам лінійних алгебраїчних рівнянь, що і визначає аналітичний характер розглянутого методу синтезу систем керування. Зокрема, рівнянням (12) і (13) відповідають певні системи лінійних алгебраїчних рівнянь [23]:

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

$$\begin{bmatrix} \beta_0 & 0 & 0 & \alpha_0 & 0 & \dots & 0 \\ \beta_1 & \beta_0 & \ddots & \alpha_1 & \alpha_0 & 0 & \vdots \\ \vdots & \beta_1 & \ddots & \vdots & \alpha_1 & \ddots & 0 \\ \beta_{m_0} & \vdots & \ddots & \alpha_n & \vdots & \ddots & \alpha_0 \\ 0 & \beta_{m_0} & \ddots & 0 & \alpha_n & \ddots & \alpha_1 \\ \vdots & 0 & \ddots & \vdots & 0 & \ddots & \vdots \\ 0 & \vdots & & 0 & \vdots & \ddots & \alpha_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_0 \\ \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_{r_L} \\ \rho_0 \\ \vdots \\ \rho_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_0^* \\ \delta_1^* \\ \delta_2^* \\ \vdots \\ \delta_{n_{\text{сис}}-1}^* \\ \delta_{n_{\text{сис}}}^* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \beta_0 & 0 & 0 \\ \beta_1 & \beta_0 & 0 \\ \vdots & \beta_1 & \ddots \\ \beta_{m_0} & \vdots & \ddots \\ 0 & \beta_{m_0} & \ddots \\ \vdots & \vdots & \beta_{m_0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vartheta_{00} \\ \vartheta_{01} \\ \vdots \\ \vartheta_{0r_0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta_{00}^* \\ \eta_{01}^* \\ \vdots \\ \eta_{0m_{\text{сис}0}}^* \end{bmatrix}.$$

Лінійність цих алгебраїчних систем, еквівалентних співвідношенням (12) – (15), є ключовою особливістю даного підходу. Умови, за яких ці системи мають розв'язки відносно поліномів контролера (9), визначають розв'язаність задачі аналітичного синтезу системи керування. При цьому враховуються вимоги фізичної реалізованості контролера (9), які мають відповідний вигляд:

$$\mu_{yy} \geq \mu_{yy}^*, \quad (17)$$

де μ_{yy} – відносний порядок контролера, який визначається рівністю

$$\mu_{yy} = \min \{ r - r_L, r - r_N, r - r_j \mid j = 0, 1 \}, \quad (18)$$

де μ_{yy}^* – допустиме за умовами реалізації значення відносного порядку контролера,

$$r = \deg R(p), \quad r_L = \deg L(p), \quad r_N = \deg N(p), \quad r_j = \deg Q_j(p).$$

На практиці найчастіше приймають $\mu_{yy}^* = 0$ або $\mu_{yy}^* \geq 1$. У першому випадку контролер може містити прямі безінерційні канали «вхід–вихід». У другому випадку такі канали не допускаються. Постійна величина

$$\mu_{\text{сис}} = n_{\text{сис}} - \deg H_0^*(p) \quad (19)$$

називається відносним порядком системи (11).

Отже, для розв'язання задачі аналітичного синтезу системи керування насамперед необхідно сформулювати поліноми $D^*(p)$ та $H_j^*(p)$, за яких замкнена система з частково заданою структурою забезпечує задані показники якості, а рівняння відповідного контролера задовольняє умови реалізованості. Така задача має розв'язок, якщо виконуються наступні умови:

- i) усі коефіцієнти (корені) полінома $D^*(p)$ і частина коефіцієнтів поліномів $H_j^*(p)$, $j=0,1,2$ можуть бути задані відповідно до бажаних показників якості синтезованої системи з передавальними функціями (15);
- ii) система керування (9), (10) або (11) має задані показники якості, якщо $D(p) = D^*(p)$ і $H_j(p) = H_j^*(p)$, $j = 0,1,2$;
- iii) системи рівнянь (12) – (15) мають розв'язок відносно поліномів $\bar{R}(p)$, $L(p)$, $Q_0(p)$, $Q_1(p)$;
- iv) поліноми $\bar{R}(p)$, $L(p)$, $Q_0(p)$, $Q_1(p)$ задовольняють умови (17).

3.2 Розробка методу аналітичного синтезу систем із керуванням за вихідними сигналами та збуреннями для технологій «розумного будинку»

Розглянутий алгоритм синтезу істотно залежить від способу задання коренів характеристичного полінома замкненої системи (надалі їх називають полюсами). Якщо полюси системи визначаються без урахування властивостей об'єкта керування, така система називається «системою з незалежними полюсами». Якщо ж полюси обираються таким чином, що частина з них збігається (узгоджується) з нулями передавальної функції об'єкта за керуванням або з коренями його характеристичного полінома, то така система називається «системою з узгодженими полюсами» [24].

У даному випадку обмежимося розглядом саме систем з узгодженими полюсами, оскільки для них умови реалізованості передавальних функцій є менш жорсткими. Оскільки для забезпечення стійкості та необхідної якості замкненої системи (8), (9) або (10) потрібно, щоб усі корені полінома (11) знаходилися в певній області Ω_{Π} лівої півплощини комплексної площини, зазвичай виконують факторизацію поліномів $A(p)$ і $B_0(p)$ з рівняння (8) наступним чином:

$$A(p) = A_{\Omega}(p)A_{\bar{\Omega}}(p), \quad B_0(p) = \beta_{m_0} B_{\Omega}(p)B_{\bar{\Omega}}(p), \quad (20)$$

де $A_{\Omega}(p)$, $A_{\bar{\Omega}}(p)$ і $B_{\Omega}(p)$, $B_{\bar{\Omega}}(p)$ — поліноми, нормовані за старшим коефіцієнтом, β_{m_0} — коефіцієнт полінома $B_0(p)$ при найвищому степені

					ДП.АКТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

змінної (p) . Тут $A_\Omega(p)$ і $B_\Omega(p)$ — це поліноми, корені яких рівні розміщеним в області Ω_n кореням поліномів $A(p)$ і $B_0(p)$. Усі ці корені поліномів $A_\Omega(p)$ і $B_\Omega(p)$ включаються до складу коренів характеристичного полінома замкнutoї системи.

У випадку систем з узгодженими полюсами поліноми, що входять до рівняння контролера (9), задаються відповідним чином:

$$\begin{aligned}\bar{R}(p) &= B_\Omega(p)\tilde{R}(p), \quad L(p) = A_\Omega(p)\tilde{L}(p), \\ Q_0(p) &= A_\Omega(p)M_\Omega(p)\tilde{Q}_0(p),\end{aligned}\quad (21)$$

де $\tilde{R}(p), \tilde{L}(p), \tilde{Q}(p), \tilde{M}_\Omega(p)$ - допоміжні поліноми, що визначаються в процесі розв'язання задачі синтезу.

З виразів (10) – (13) та (21) випливає, що поліноми $H_0(p)$ та $D(p)$ системи (10) із узгодженими полюсами та с заданою передавальною функцією $W_{yg}^*(p) = H_0^*(p)/D^*(p)$, мають наступний вигляд:

$$D(p) = A_\Omega(p)B_\Omega(p)D^*(p)M_\Omega(p), \quad (22)$$

$$H_j(p) = A_\Omega(p)B_\Omega(p)H_j^*(p)M_\Omega(p), \quad j = 0, 1, 2. \quad (23)$$

Поліноми $\tilde{R}(p), \tilde{L}(p), \tilde{Q}(p)$ у рівностях (21) визначаються результатом систем алгебраїчних рівнянь, відповідних поліноміальних рівнянь, що впливає з рівнянь (11) – (14) з урахуванням рівностей (21) – (23).

У даному розділі було показано, що умови i) - iv) можуть бути виконані, якщо поліноми бажаної передавальної функції $W_{yg}^*(p) = H_0^*(p)/D^*(p)$, (15) задовольняють умовам:

$$\mu_{yg}^* = \deg D^*(p) - \deg H_0^*(p) \geq \mu_{об} + \mu_{yy}^*, \quad H_0^*(p) = B_\Omega(p)\bar{H}_0^*(p), \quad (24)$$

$$n_{сис} = \deg D^*(p) \geq 2n + \mu_{yy}^* - 1, \quad (25)$$

а степінь полінома $M_\Omega(p)$ в рівняннях (22), (23) визначається виразом:

$$\deg M_\Omega(p) = \max \{0; 2n - 1 + \mu_{yy}^* - \deg[A_\Omega(p)B_\Omega(p)D^*(p)]\}. \quad (26)$$

З метою забезпечення астатизму деякого порядку або селективної інваріантності по відношенню до заданого впливу і зовнішнім збуренням полінома $\tilde{R}(p)$ у виразі(21) можна взяти у вигляді $\tilde{R}(p) = \Phi(p)\vec{R}(p)$, а поліноми $\tilde{L}(p)$ і $\tilde{Q}(p)$ – так, щоб $\tilde{L}(p) - \tilde{Q}_0(p) = G(p)\vec{L}(p)$, де $\vec{R}(p)$ і $\vec{L}(p)$ –

					ДП.АКТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

деякі поліноми і $Q_1(p) = F_1(p)\overleftarrow{Q}_1(p)$. При цьому $\Phi(p) = \text{НОК}\{G(p), F_1(p), F_2(p)\}$, а поліноми $G(p)$ і $F_1(p), F_2(p)$ – суть $K(p)$ – зображення впливу $g(t)$ і збурень $f_1(t), f_2(t)$. За умов вибору полінома $\tilde{R}(p)$, умова (25) замінюється нерівністю $\deg D(p) \geq 2n + \deg \Phi(p) + \mu_{yy}^* - 1$. Однак, якщо $f_1(t) \equiv 0$ і $f_2(t) \equiv 0$, то $\Phi_0(p) = G^{-1}(p)\Phi(p)$ або $\Phi_1(p) = F_1^{-1}(p)\Phi(p)$.

За таких умов з виразів (12), (13), (15) і (20) – (23) випливає, що передавальна функція помилково від впливу, що реалізується системою (8), (9), має вигляд:

$$W_{\text{eg}}(p) = \frac{\vec{H}_0(p)G(p)}{D^*(p)}, \quad (27)$$

де поліном $\vec{H}_0(p) = A_{\vec{D}}(p)\Phi_0(p)\vec{R}(p) + \beta_{m_0}\beta_{\vec{D}}(p)\vec{L}(p)$ – поліном, частина коефіцієнтів якого може бути призначена з метою надання бажаних властивостей замкнутої системи по каналу $g \rightarrow y$; поліном $\Phi_0(p) = G^{-1}(p)\Phi(p)$.

Передавальні функції $W_{y f_j}^*(p), j = 1, 2$ по вимірювальному та не вимірювальному збуренню, що реалізуються системою (8), (9), мають наступний вигляд:

$$W_{y f_1}^*(p) = \frac{\vec{H}_1^*(p)F_1(p)}{A(p)D^*(p)M_{\Omega}(p)}, \quad W_{y f_2}^*(p) = \frac{\vec{R}_2(p)B_2(p)F_2(p)}{A(p)D^*(p)M_{\Omega}(p)}. \quad (28)$$

В даному випадку $\vec{H}_1(p) = \beta_{m_0}\beta_{\vec{D}}(p)\overleftarrow{Q}_1(p) + B_1(p)\Phi_1(p)\vec{R}(p)$ – поліном; частина його коефіцієнтів також може бути призначена з метою надання бажаних властивостей замкнутій системі по каналі $f_1 \rightarrow y$; $\Phi_1(p) = F_1^{-1}(p)\Phi(p)$, а $\vec{R}_2(p) = F_2^{-1}(p)\vec{R}(p)$.

По каналу $f_2 \rightarrow y$, тобто для не вимірювального збурення, шляхом відповідного вибору полінома $F_2(p)$ можна забезпечити або астатизм певного порядку, або селективну інваріантність. Важливо зазначити, що труднощі, які зазвичай виникають при забезпеченні стійкості систем із високим порядком астатизму, у цьому випадку відсутні завдяки використанню принципу керування за виходом і впливами.

Співвідношення (24), а також (25) і (26) визначають умови реалізованості передавальної функції $W_{yg}^*(p)$ системою з частково заданою структурою. Слід підкреслити, що умови (24) є добре відомими і наведені у ряді праць відомих вітчизняних і міжнародних дослідників. Водночас умови (25) і (26) були отримані в процесі обчислень і раніше в науковій літературі не розглядалися.

Додаткові умови (25), (26), по суті, забезпечують, по-перше, розв'язаність поліноміального рівняння (11) відносно поліномів $\bar{R}(p)$, $L(p)$ за умови виконання (17), а по-друге — можливість задавати всі коефіцієнти полінома $D^*(p)$ довільним чином відповідно до бажаних показників якості процесу керування.

Поліном $M_\Omega(p)$ вводиться у співвідношення (21) – (23) з метою підвищення порядку системи до необхідного рівня, що реалізує задану передавальну функцію $W_{yg}^*(p)$, яка задовольняє умові (24), у тих випадках, коли степінь її знаменника відповідає умовам [25]:

$$n - \deg B_\Omega(p) + \mu_{yy}^* \leq \deg D^*(p) < \mu_{об} + \mu_{yy}^* + \deg[B_{\bar{\Omega}}(p)A_{\bar{\Omega}}(p)] - 1.$$

Можна показати, що якщо умові (24) виконані та $D^*(p) > \mu_{об} + \mu_{yy}^* + \deg[B_{\bar{\Omega}}(p)A_{\bar{\Omega}}(p)] - 1$, то згідно (26) $\deg M_\Omega(p) = 0$ тобто в таких випадках можна припустити $M_\Omega(p) = 1$.

Співвідношення (11) – (28) формують алгоритмічну основу методу аналітичного синтезу робастних систем автоматичного керування. У поєднанні з методом динамічної декомпозиції підхід АССКВВ може застосовуватися також для синтезу багатовимірних систем автоматичного керування.

3.3 Синтез автоматизованої системи керування обігрівом будинку на основі запропонованого методу

Для представлення можливостей запропонованого методу синтезу систем автоматичного керування розглянуто і наведено наглядний приклад. Необхідно синтезувати абсолютно інваріантну систему керування багатовимірною силовою установкою циркуляційного насоса, яка в робочому режимі на малій швидкості описується [20] такими рівняннями у зображеннях за Лапласом:

$$\begin{aligned} A(p)y_1(p) &= (0,62p+1,34)u_1(p) - (0,31p+0,48)u_2(p); \\ A(p)y_2(p) &= (0,14p^2+0,41p+0,29)u_1(p) - B_{22}(0,18p^2+0,51p+0,32)u_2(p), \end{aligned} \quad (30)$$

де $A(p)=0,6074p^2+1,6671p+1$; y_1 і y_2 – керуючі змінні; u_1 і u_2 – керування силовою установкою циркуляційного насоса; задаюче збурення g_i і відхилення $\varepsilon_i=g_i-y_i$, $i=1, 2$ вимірюється. Величина $\mu_{yy}^* \geq 0$.

У даному випадку для змінної y_2 виконуються умови досягнення абсолютної стійкості за критерієм Г.В. Щипанова, а для змінної y_1 — за критерієм двоканальності Б.Н. Петрова. У результаті застосування розглянутого методу аналітичного синтезу відповідно до співвідношень (11) – (28) отримано рівняння шуканого багатовимірного керуючого пристрою:

$$\begin{aligned} \dot{\tilde{x}}_1 &= 17,2223\varepsilon_1; \quad \dot{\tilde{x}}_2 = \tilde{x}_1 - 2,1613\tilde{x}_2 - 7,5508y_1 - 0,30646u_2; \\ u_1 &= \tilde{x}_2 - 4,9525y_1 + 0,5u_2; \quad u_2 = 5\varepsilon_2 + 0,25w; \quad w = 4u_2. \end{aligned} \quad (31)$$

Структурна схема, що відповідає рівнянням (31), наведена на рисунку 3.2. Моделювання системи (30), (31) виконувалося в середовищі MATLAB, на рисунках 3.3, 3.4, 3.5 наведені перехідні процеси, отримані при нульових початкових умовах і задаючих впливах $g_1 = 1 + 0,2t$ та $g_2 = 2\sin t$.

Як видно з графіків, керована змінна y_2 повністю збігається із задаючим впливом g_2 , тобто канал $g_2 \rightarrow y_2$ дійсно є абсолютно інваріантним до не вимірювального збурення. Відхилення ε_2 , що подається на вхід багатовимірного керуючого пристрою (рисунок 3.2), практично дорівнює

нулю для всіх значень часу t (рисунок 3.4-б). Водночас на виході цього пристрою спостерігається обмежене коливальне керування u_2 , протилежне по знаку до задаючого впливу g_2 (рисунок 3.5-б). З аналізу графіків, наведених на рисунках 3.4-а та рисунка 3.5-а, випливає, що канал $g_1 \rightarrow y_1$ має перший порядок астатизму відносно задаючого впливу, а відхилення ε_1 є повністю інваріантним до керуючого сигналу u_2 , який вводиться в регулятор цього каналу (рисунок 3.2).

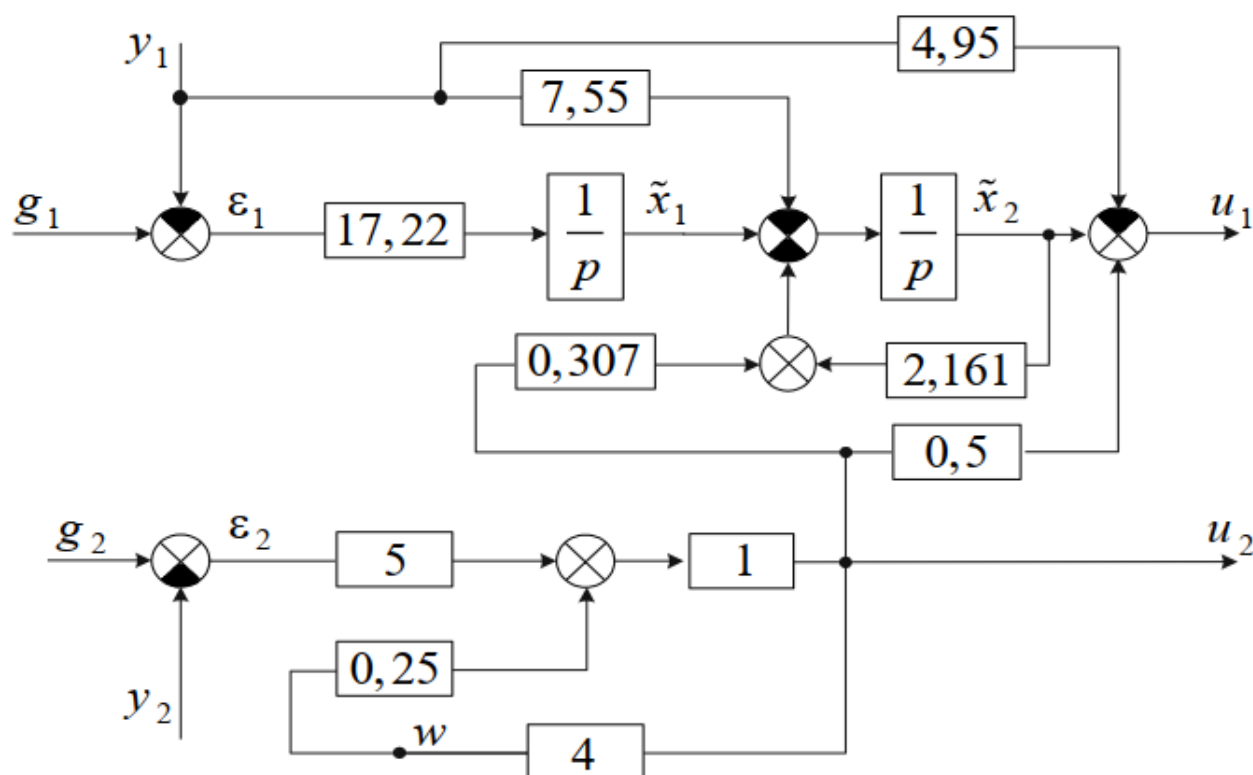
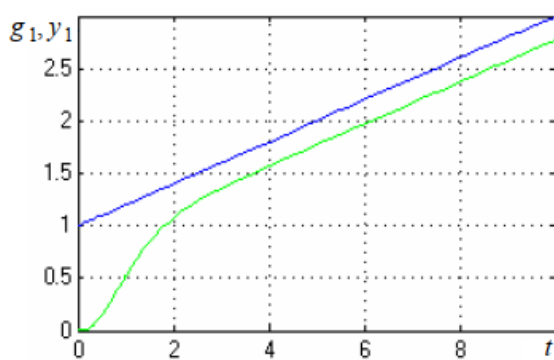
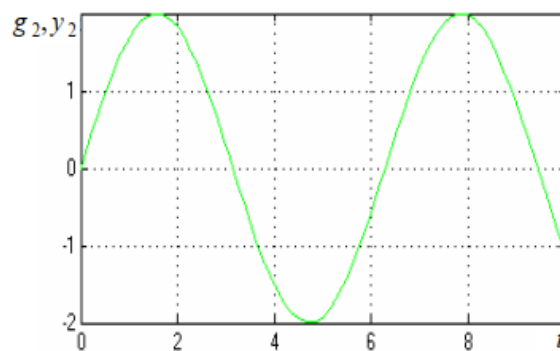


Рисунок 3.2 – Структурна схема контролера інваріантної системи



а



б

Рисунок 3.3 – Задаючий вплив і керуючі змінні, t в секундах

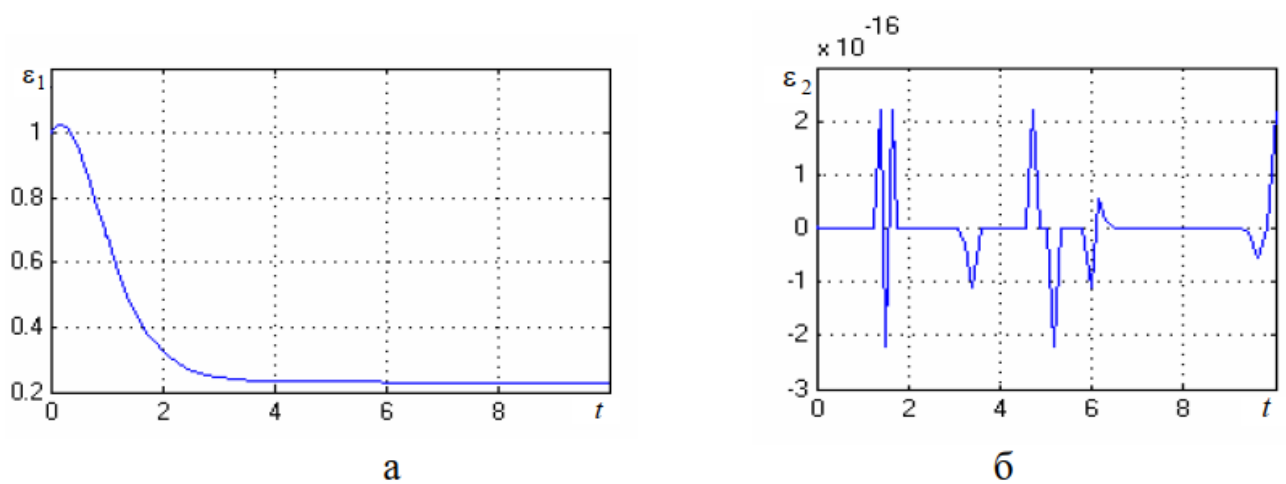


Рисунок 3.4 – Відхилення першого та другого каналів, t в секундах

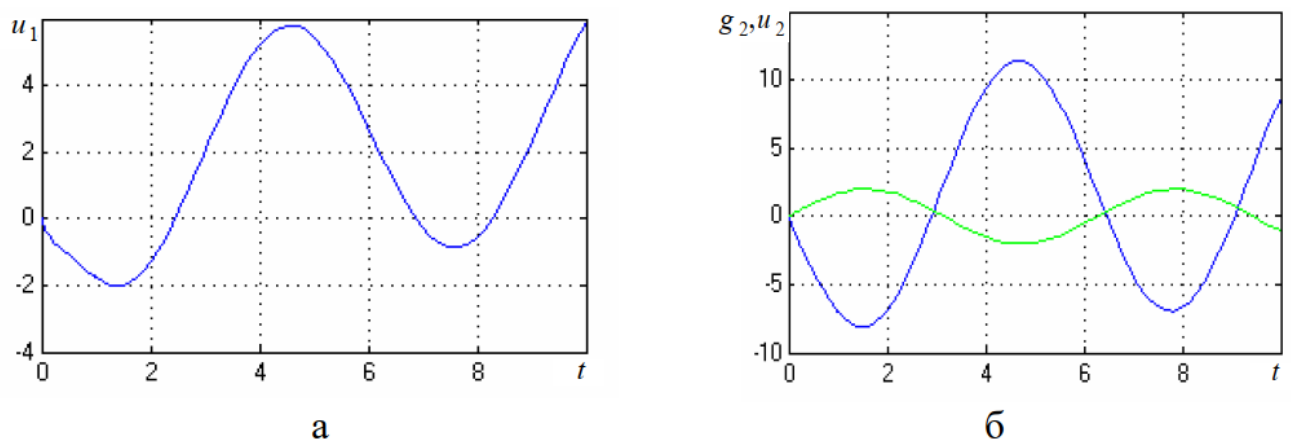


Рисунок 3.5 – Керування u_1 , u_2 і задаючий вплив g_2 , t в секундах

Отримані результати підтверджують, що розглянутий метод аналітичного синтезу дозволяє формувати системи керування із заданими показниками якості як у перехідному, так і в усталеному режимах.

Метод аналітичного синтезу систем керування по виходам і впливам може застосовуватися для створення робастних систем автоматичного керування із заданими показниками якості як у перехідному, так і в усталеному режимах. Системи з узгодженими полюсами відзначаються меншою складністю та підвищеною робастністю. Запропонований підхід до синтезу може використовуватися при розробці систем керування «розумний дім» та технічними в різних галузях промисловості, а також для створення систем спеціального призначення, зокрема систем керування рухомими

об'єктами. У поєднанні з методом динамічної декомпозиції метод АССКВВ може бути ефективно застосований і для багатовимірних об'єктів керування. Результативність даного методу аналітичного синтезу підтверджується прикладами представленими у третьому розділі даної кваліфікаційної роботи.

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

ВИСНОВКИ

У запропонованій кваліфікаційній роботі було розглянуто питання розробки автоматизованої системи керування обігрівом приватного будинку у складі комплексу «розумний дім». Актуальність даної тематики обумовлена постійним зростанням вимог до енергоефективності житлових будівель, необхідністю зниження витрат на опалення, підвищенням рівня комфорту користувачів та активним впровадженням інтелектуальних технологій у побутову сферу. Проведене дослідження підтвердило доцільність застосування автоматизованих систем керування для оптимізації роботи систем обігріву та забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів.

У першому розділі роботи було проведено аналіз технологічного процесу обігріву як об'єкта автоматичного керування. Розглянуто особливості функціонування автоматизованих систем опалення на базі концепції Smart Home, їх структуру, принципи взаємодії основних підсистем та можливості інтеграції у загальну архітектуру інтелектуального будинку. Встановлено, що сучасні системи опалення дедалі частіше використовують алгоритми адаптивного керування, дистанційний моніторинг та сценарне регулювання температурних режимів залежно від зовнішніх умов і потреб користувача.

У ході аналізу ринку інтелектуальних рішень обігріву досліджено основні напрями розвитку галузі та визначено ключових виробників обладнання для автоматизації опалення. Було встановлено, що найбільш затребуваними є рішення, які поєднують модульність, масштабованість, простоту інтеграції та підтримку сучасних протоколів передачі даних. Проведений аналіз підтвердив високу актуальність застосування інтелектуальних систем обігріву для житлових будинків різного призначення.

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У другому розділі виконано розробку структури автоматизованої системи керування обігрівом будинку у складі комплексу «розумний дім». Сформовано функціональну схему системи, визначено склад основних вузлів та принципи їх взаємодії. Запропонована структура передбачає використання центрального програмовано-логічного контролера, системи сенсорів для збору інформації про параметри мікроклімату, а також виконавчих механізмів для безпосереднього регулювання подачі теплової енергії.

У роботі обґрунтовано вибір програмовано-логічного контролера для реалізації автоматизованої системи. За результатами технічного аналізу як базовий елемент керування було рекомендовано використання PLC-контролера, який забезпечує достатню кількість входів і виходів, підтримку аналогових та цифрових сигналів, мережеву взаємодію, а також можливість реалізації складних алгоритмів керування. Це дозволяє створити гнучку та масштабовану систему, придатну до модернізації.

Також виконано вибір сенсорів і виконавчих механізмів для ефективного функціонування системи. До складу запропонованої системи включено сенсори температури внутрішнього та зовнішнього середовища, сенсори вологості, сенсори присутності, а також електроприводи клапанів, реле керування котлом, циркуляційними насосами та системами зонального регулювання. Обґрунтовано, що саме такий набір технічних засобів дозволяє забезпечити високу точність контролю параметрів обігріву та оперативне реагування на зміну умов експлуатації.

У третьому розділі розроблено алгоритм функціонування автоматизованої системи обігріву та математичний апарат її проектування. Особливу увагу приділено побудові моделі системи автоматичного регулювання температури, визначенню основні параметри об'єкта керування та сформульовано критерії якості роботи системи.

У рамках дослідження було розглянуто метод аналітичного синтезу систем керування за вихідними сигналами та збуреннями для технологій «розумного будинку». Встановлено, що застосування даного підходу

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє отримати системи з покращеними характеристиками робастності, зниженим рівнем коливальності, необхідною швидкодією та заданими показниками якості як у перехідному, так і в усталеному режимах роботи.

На основі запропонованого методу здійснено синтез автоматизованої системи керування обігрівом будинку. Отримані результати показали, що використання аналітичного підходу до синтезу систем керування дозволяє забезпечити ефективну компенсацію зовнішніх збурень, стабільне підтримання заданого температурного режиму та оптимізацію енергоспоживання. Розроблена система характеризується достатньою надійністю, гнучкістю налаштування та можливістю інтеграції з іншими підсистемами Smart Home.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання розроблених структурних, функціональних та алгоритмічних рішень під час проектування автоматизованих систем опалення для приватних і заміських будинків. Запропоновані технічні рішення можуть бути адаптовані до різних типів об'єктів та масштабів систем, що розширює сферу їх практичного застосування.

Отже, у ході виконання кваліфікаційної роботи поставлені завдання було виконано у повному обсязі. Проведено аналіз предметної області, розроблено структуру автоматизованої системи керування обігрівом, обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації, сформовано математичний апарат проектування та виконано синтез системи на основі сучасних методів аналітичного керування. Отримані результати підтверджують перспективність використання інтелектуальних систем автоматизації для підвищення енергоефективності, комфорту та надійності експлуатації житлових будівель.

					ДП.АКТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Остапчук М.В., Сердюк Л.В., Овсянникова Л.К. Система технологій. Підручник. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 368 с.
2. Іваненко, О. Системи безпеки для розумного дому: сучасні тенденції та виклики / О. Іваненко. – Київ : Наукова думка, 2020. – 280 с.
3. Петренко, В., Коваль, Я. Автоматизація безпеки у розумних будинках: рішення для українського ринку / В. Петренко, Я. Коваль // Технології майбутнього. – 2021. – № 14(3). – С. 25–40.
4. Семенюк, Л. Інформаційна безпека в інтернеті речей: розумний дім / Л. Семенюк // Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2019. – № 7(1). – С. 15–28.
5. Нимич, Г.В. Общие положения автоматического управления системами кондиционирования и вентиляции / Г.В. Нимич // С.О.К. – 2005. – № 7.
6. Дорошенко Ю.І. Огляд сучасних систем опалення та методик дослідження впливу температурних режимів на ефективність їх експлуатації в умовах сільського населеного пункту. Івано-Франківськ: Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ, 2014. – С. 107-118.
7. Дешко В.І., Білоус І.Ю. Моделювання режимів опалення приміщень. Київ: Енергетика: економіка, технології, екологія. 2016. – №3. – С. 97- 104.
8. Кравченко, В. Впровадження штучного інтелекту в системи безпеки розумного дому / В. Кравченко // Інноваційні технології. – 2023. – № 2(4). – С. 58–72.
9. Buyya, R., Dastjerdi, A. V. Internet of Things: Security and Privacy Issues / R. Buyya, A. V. Dastjerdi. – New York : Springer, 2016. – 350 p.
10. Smith, J., Brown, T. Data Security and Privacy in Smart Home Environments / J. Smith, T. Brown. – Oxford : Academic Press, 2020. – 400 p.
11. Gonzalez, R., Perez, M. User-Centered Design in Smart Home Security Systems / R. Gonzalez, M. Perez // Design and Technology. – 2022. – Vol. 41, No. 1. – P. 15–30.

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

12. Martinez, A., Lopez, J. Integrating Voice Assistants into Smart Home Security Architecture / A. Martinez, J. Lopez // Smart Technologies Today. – 2021. – Vol. 10, No. 2. – P. 50–65.
13. Anderson, K., Thompson, L. Cybersecurity Threats and Countermeasures for Smart Home Environments / K. Anderson, L. Thompson // Cyber Defense Magazine. – 2021. – Vol. 8, No. 2. – P. 77–90.
14. Боженко М. Ф. Джерела теплопостачання та споживачі теплоти: навч. посіб. / М.Ф. Боженко, В.П. Сало – К.; ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2003. – 192 с.
15. Прикладная теория цифровых автоматов / К.Г. Самофалов, А.М. Романкевич., В.Н. Валуйский., Ю.С. Каневский., М.М. Пиневич. К. : Вища шк. Головное изд-во, 1987. -375с.
16. Кравченко В.С. Інженерне обладнання будівель / В.С. Кравченко, Л.А. Саблій, В.І. Давидчук, Н.В. Кравченко. - Київ: Професіонал, 2008. - 480 с.
17. Любарец О.П. Проектування систем водяного опалення / О.П.Любарец, О.М. Зайцев, В.О. Любарец. - Відень - Київ - Сімферополь, 2010. - 201 с.
18. Ісаєнко О.М., Кіндрацька Л.В., Гончаренко В.А. Автоматизація виробничих процесів та систем. К.: Техніка, 2005. 616 с.
19. Ковальов Ю.Ю., Луценко В.В., Турчак М.В. Проектування систем автоматичного управління. К.: Вища школа, 2001. 536 с.
20. Потапенко В.І. Методичні рекомендації з проектування автоматизованих систем управління технологічними процесами виробництва / за заг. ред. В.І. Потапенка. К.: ВПІ, 2010. 112 с.
21. Ничипоренко Ю.Ю. Функціонування сучасної системи централізованого теплопостачання із використанням автоматизованого робочого місця персоналу. Виробництво & Мехатронні системи : матеріали V Міжнародної конференції. Харків, 2021. С. 14-15
22. Одарущенко О.Б. Верифікація програмного забезпечення програмованих логічних контролерів із використанням математичних блоків дискретного

					ДП.АКТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перетворення інформації. Збірник наукових праць науковопрактичної конференції професорсько-викладацького складу Полтавської державної аграрної академії за підсумками науково-дослідної роботи в 2018 році (м. Полтава, 16-17 травня 2019 року). Полтава : РВВ ПДАА, 2019. С. 52.

23. Боженко М.Ф., Сало В.П. Джерела теплопостачання та споживачі теплоти: навч. посіб. Київ : ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2004. 192 с.

24. Потапенко В.І., Бураковський В.Г., Губаренко О.В. Автоматизація 66 технологічних процесів та виробництв. К.: Центр учбової літератури, 2010. 768 с.

25. Скоренький В.В. Курс «Технології і програмне забезпечення комп'ютерної техніки»: Навчальний посібник. К.: Логос, 2007. 320 с.

					ДП.АКІТ.10994375.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		