

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Кіберфізична система "Розумні вікна"

Назва теми

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Шифр КвРКІ 220074.22.02.06 ПЗ

Виконала здобувач IV курсу, група KI2-22-2

Підпис

Анастасія ПРОКОПЧУК

Ініціали, прізвище

Керівник

д-р філософії

Науковий ступінь, учене звання

Підпис

Юрій ВОЙЧУР

Ініціали, прізвище

Нормоконтролер канд. фіз.-мат. наук, доцент

Науковий ступінь, учене звання

Підпис

Тетяна КИСІЛЬ

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
завідувач кафедри КІС

Підпис

Ольга ПАВЛОВА

Ініціали, прізвище

«01» червня 2026 р.

дата

Хмельницький 2026

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти ПЕРШИЙ (БАКАЛАВРСЬКИЙ)

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри КІІС



Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Прокопчук Анастасії Олегівні

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система “Розумні вікна”

Керівник проекту (роботи) Войчур Юрій Олексійович, доктор філософії

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 20.01.2026 р. № 7

2. Термін подання здобувачем роботи на кафедру 01.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Аналіз предметної області та постановка задачі розробки кіберфізичної системи «Розумні вікна»

Проектування системи збору, обробки та аналізу даних у кіберфізичній системі керування мікрокліматом приміщення

Програмна реалізація системи адаптивного керування параметрами «розумних вікон»

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

Блок-схема алгоритму обробки параметрів середовища

Блок-схема алгоритму адаптивного керування прозорістю вікон

Блок-схема алгоритму моделювання змін параметрів мікроклімату

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

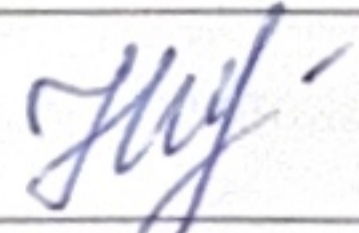
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2026	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2026	виконано
3	Робота над розділом 1, а саме дослідження предметної області, аналіз підходів до збору та обробки параметрів	01.03.2026	виконано
4	Робота над розділом 2, вибір методів проектування системи і обґрунтування рішень	01.04.2026	виконано
5	Робота над розділом 3, проєктування та реалізація програмної складової системи	29.04.2026	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2026	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2026 року	

Здобувач


Підпис

Анастасія ПРОКОПЧУК

Імя, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Юрій ВОЙЧУР

Імя, ПРІЗВИЩЕ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична система «Розумні вікна» для адаптивного керування мікрокліматом приміщення».

Автор роботи: Прокопчук Анастасія Олегівна.

Керівник роботи: Войчур Юрій Олексійович.

Пояснювальна записка: 71 с., 8 рис., 4 табл., 4 дод., 33 джерел.


Графічна частина: 3 креслення.

КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, РОЗУМНІ ВІКНА, МІКРОКЛІМАТ,
АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, СЕНСОРНІ ДАНІ,
ВІЗУАЛІЗАЦІЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ВЕБ-ІНТЕРФЕЙС

Метою дипломної роботи є розробка кіберфізичної системи «Розумні вікна», призначеної для аналізу параметрів навколишнього середовища та внутрішнього мікроклімату з подальшим адаптивним керуванням прозорістю вікон з урахуванням показників енергоефективності та комфорту користувача.

Процес функціонування системи керування мікрокліматом приміщення та взаємодія її компонентів у межах кіберфізичної системи. Методи збору, обробки та аналізу параметрів освітленості, температури та вологості, а також алгоритми адаптивного керування прозорістю вікон і регулювання теплопередачі.

Під час виконання роботи було використано методи аналізу науково-технічних джерел та сучасних підходів до побудови кіберфізичних систем, а також методи розробки програмних засобів для обробки, аналізу та візуалізації даних. Реалізацію системи здійснено з використанням сучасних веб-технологій та середовища Electron для створення настільного застосунку.



Підпис здобувача

30.05.2026

Дата

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Дослідження предметної області та постановка задачі.....	6
1.1 Аналіз предметної області і виявлення завдань.....	6
1.2 Аналіз існуючих рішень.....	7
1.3 Головні проблеми апаратної реалізації.....	9
1.4 План реалізації.....	11
1.5 Висновки до першого розділу.....	13
2 ПРОЄКТУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ “РОЗУМНІ ВІКНА”	15
2.1 Структура кіберфізичної системи	15
2.3 Основні параметри оцінки системи	21
2.4 Блок-схеми алгоритмів роботи	27
2.5 Висновки до другого розділу	33
3. РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ.....	35
3.1 Загальна характеристика застосунку	35
3.2 Реалізація кіберфізичної системи.....	37
3.2.1 Основний модуль кіберфізичної системи.....	40
3.2.2 Модуль запуску і ініціалізації системи.....	43
3.2.3 Рівень основної логіки системи	44
3.3 Приклад роботи системи	47
3.4 Таблиці із результатами.....	51
3.5 Висновок до третього розділу.....	57
ВИСНОВКИ.....	61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	64
ДОДАТОК А Блок схеми алгоритмів	68
ДОДАТОК Б Тестування застосунку.....	69
ДОДАТОК В Електричні схеми	71

				КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ			
Зм. / Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	«Кіберфізична система “Ро- зумні вікна”	Літера	Аркуші	Аркушів
Виконав Перевір.	А. Прокопчук Юрій Войчур				у	2	71
Н.контр. Затвер.	Тетяна Кисіль Ольга ПАВЛОВА		01.06	ХНУ КІ2-22-2			

ВСТУП

Актуальність дослідження визначається зростанням вимог до енергоефективності сучасних будівель, підвищенням рівня автоматизації інженерних систем та необхідністю забезпечення стабільного комфортного мікроклімату в житлових і комерційних приміщеннях. У сучасних умовах усе більшого поширення набуває впровадження інтелектуальних технологій у сфері управління будівлями, що охоплюють автоматизоване регулювання освітлення, температурних режимів і вентиляційних процесів. Значна увага приділяється також оптимізації енергоспоживання, оскільки витрати на підтримання мікроклімату становлять суттєву частину загального енергетичного балансу будівель. У цьому контексті важливу роль відіграють рішення, пов'язані з керуванням світлопропусканням віконних конструкцій, що безпосередньо впливає на тепловий баланс приміщення, рівень природного освітлення та потребу в додатковому енергоспоживанні для опалення або охолодження. Відповідно, підвищується значущість кіберфізичних систем, які поєднують обробку сенсорних даних із механізмами адаптивного керування фізичними процесами в режимі, наближеному до реального часу.

З огляду на це, особливого значення набуває розробка програмних засобів для моделювання та дослідження подібних систем, оскільки фізичне тестування реальних інтелектуальних будівельних рішень є складним, дорогим і не завжди доцільним на етапі проєктування. Симуляційні моделі дозволяють відтворювати поведінку складних систем у контрольованому середовищі, що дає можливість аналізувати різні сценарії функціонування, перевіряти ефективність алгоритмів керування та оцінювати вплив окремих параметрів на загальну динаміку системи. Саме тому створення кіберфізичних симуляторів є актуальним завданням у контексті розвитку сучасних інформаційних технологій.

Метою дипломної роботи визначається розробка та дослідження кіберфізичної системи «Розумні вікна», яка забезпечує аналіз параметрів зовнішнього

					КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ	Арк. 3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

середовища та внутрішнього мікроклімату з подальшим адаптивним регулюванням прозорості віконних елементів. Реалізація такої системи передбачає створення програмного рішення, яке виконує збір і обробку даних сенсорного типу, формування керуючих впливів на основі математичних залежностей між параметрами середовища, а також візуалізацію отриманих результатів у межах єдиного програмного середовища. Додатково враховується можливість масштабування системи для подальшої інтеграції з фізичними сенсорами та виконавчими пристроями, що дозволяє розглядати її як основу для реальних IoT-рішень.

Об'єктом дослідження є процес функціонування систем керування мікрокліматом приміщень та взаємодія їх складових у структурі кіберфізичних систем. Предмет дослідження охоплює методи збору, обробки та аналізу параметрів освітленості, температури та вологості, а також алгоритмічні підходи до адаптивного регулювання прозорості вікон і управління теплопередачею через огорожувальні конструкції.

У процесі аналізу предметної області розглянуто сучасні підходи до побудови систем автоматизації будівель та інтелектуального керування мікрокліматом. Встановлено, що значна частина існуючих рішень базується на централізованих або хмарних архітектурах, які передбачають передачу даних на віддалені сервери для подальшої обробки. Такий підхід може обмежувати автономність роботи системи, підвищувати залежність від мережевої інфраструктури та створювати додаткові вимоги до безпеки і стабільності обміну даними. Інші програмні рішення здебільшого реалізують базові функції керування без комплексного врахування взаємозв'язку параметрів навколишнього середовища або без достатнього рівня адаптивності до змін умов експлуатації. Окремо слід відзначити недостатній розвиток засобів візуалізації та аналітики, що ускладнює оцінювання ефективності роботи таких систем і прийняття рішень щодо їх оптимізації.

Результати проведеного аналізу дозволили сформулювати основні завдання розробки системи, що передбачає обробку параметрів середовища, оцінювання стану мікроклімату та формування керуючих впливів для регулювання

прозорості віконних конструкцій. Система повинна забезпечувати накопичення та структуровану обробку даних, що створює можливість аналізу динаміки змін параметрів, оцінювання ефективності адаптивного керування та формування обґрунтованих рішень щодо оптимізації режимів роботи в різних умовах експлуатації.

Окрему увагу приділено реалізації алгоритмів адаптивного керування, які враховують взаємозв'язок між освітленістю, температурою та вологістю як взаємозалежними факторами мікроклімату. Передбачається використання моделей, що дозволяють визначати оптимальний рівень затемнення вікон для досягнення балансу між енергоефективністю та комфортними умовами перебування людини в приміщенні. Важливим елементом системи є інтерфейс взаємодії, який забезпечує наочне представлення параметрів у вигляді графіків, таблиць та інтерактивних компонентів, що дає можливість здійснювати моніторинг стану системи та аналіз її поведінки в режимі, наближеному до реального часу, а також оцінювати ефективність прийнятих керуючих рішень.

Додатково слід відзначити, що сучасні підходи до моделювання кіберфізичних систем активно використовують концепцію цифрових двійників, яка передбачає створення програмних моделей фізичних об'єктів із можливістю їхньої взаємодії з віртуальним середовищем у режимі, наближеному до реального часу. Це дозволяє не лише імітувати поведінку системи, але й прогнозувати її реакцію на зміну зовнішніх умов без необхідності проведення дорогих або ризикованих експериментів у реальних умовах. У межах даної роботи розроблена система частково реалізує подібний підхід, оскільки відтворює динаміку фізичних процесів та дозволяє аналізувати ефективність алгоритмів керування на основі отриманих симуляційних даних.

					КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Аналіз предметної області і виявлення завдань

Дослідження предметної області передбачає аналіз сучасних підходів до організації кіберфізичних систем керування мікрокліматом та автоматизації будівельних середовищ. У процесі вивчення наявних програмних рішень встановлено, що значна частина систем інтелектуального керування орієнтована на централізовану або хмарну обробку даних, що передбачає передачу інформації до віддалених сервісів для подальшого аналізу. Такий підхід не завжди забезпечує повну автономність роботи та може створювати залежність від зовнішньої інфраструктури, що впливає на стабільність функціонування системи. Окрему групу рішень становлять спрощені моделі керування, які обмежуються базовою реакцією на окремі параметри середовища без комплексного врахування їх взаємодії, що знижує точність адаптивного регулювання та ефективність використання енергетичних ресурсів.

Поглиблений аналіз предметної області дозволив сформулювати сукупність функціональних вимог до розроблюваної кіберфізичної системи. Передбачається реалізація механізмів збору та обробки параметрів освітленості, температури та вологості з подальшим формуванням керуючих впливів на прозорість віконних конструкцій. Отримані дані повинні зберігатися у структурованому вигляді, що забезпечує можливість аналізу динаміки змін середовища та оцінювання ефективності адаптивного керування. Такий підхід створює основу для підвищення енергоефективності будівлі та забезпечення стабільних умов мікроклімату.

Окрема увага приділяється реалізації алгоритмів обробки сенсорної інформації та адаптивного керування, які забезпечують визначення оптимального рівня затемнення вікон залежно від сукупності зовнішніх і внутрішніх параметрів. Передбачається врахування взаємозв'язку між освітленістю, температурними показниками та вологістю, що дозволяє формувати більш точні керуючі рішення.

					КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливим компонентом системи є інтерфейс взаємодії, який забезпечує наочне відображення стану параметрів у вигляді графічних і табличних елементів, що спрощує аналіз поведінки системи та підвищує зручність її використання.

Модель розроблюваної системи базується на принципах автономності та модульної побудови. Передбачається можливість функціонування у локальному режимі без обов'язкової залежності від зовнішніх сервісів, що підвищує рівень стабільності та незалежності роботи. Модульна архітектура забезпечує можливість подальшого розширення функціоналу та інтеграції додаткових компонентів без необхідності суттєвого перероблення основної логіки системи.

Узагальнення результатів проведеного аналізу підтверджує доцільність створення кіберфізичної системи «Розумні вікна» як сучасного інструменту адаптивного керування мікрокліматом та підвищення енергоефективності приміщень.

1.2 Аналіз існуючих рішень

У сучасному середовищі програмних та кіберфізичних рішень існує значна кількість систем, призначених для моніторингу параметрів навколишнього середовища, керування інженерними процесами та автоматизації роботи будівельних об'єктів. Незважаючи на широкий спектр таких рішень, більшість із них реалізує окремі функції і не забезпечує комплексного підходу до одночасного аналізу параметрів мікроклімату та адаптивного керування фізичними характеристиками об'єктів у межах єдиної системи.

Одним із поширених підходів є використання централізованих систем керування розумним будинком, які здійснюють збір даних із сенсорів температури, вологості та освітленості з подальшою обробкою на серверній частині або в хмарному середовищі. Перевагами таких рішень є розширений функціонал та можливість віддаленого доступу до даних. Разом із тим залежність від зовнішньої

					КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інфраструктури та мережевого підключення може обмежувати автономність роботи та впливати на стабільність функціонування системи в реальному часі.

Подібний підхід реалізується також у комерційних екосистемах автоматизації, де інтегруються різні пристрої керування кліматом та освітленням. Такі системи забезпечують базову автоматичну реакцію на зміни зовнішніх умов, однак часто не враховують складну взаємодію між параметрами середовища або не надають достатньо гнучких механізмів адаптивного регулювання. У результаті ефективність керування може бути обмеженою через спрощені алгоритми прийняття рішень.

Окрему категорію становлять дослідницькі або локальні рішення, які орієнтовані на автономну обробку даних без використання хмарних сервісів. У таких системах дані обробляються безпосередньо на пристрої або в локальному середовищі, що підвищує рівень конфіденційності та зменшує залежність від зовнішніх сервісів. Водночас подібні рішення часто потребують більш складної реалізації алгоритмів обробки даних та обмежені у можливостях масштабування і розширення функціоналу.

Аналіз існуючих підходів свідчить про те, що більшість систем або орієнтована на централізовану архітектуру з зовнішньою обробкою даних, або реалізує обмежений набір функцій без повноцінної адаптивної логіки керування. Також недостатньо розвиненими залишаються механізми комплексного аналізу параметрів середовища у взаємозв'язку між собою та засоби наочної візуалізації змін стану системи.

У зв'язку з цим розроблення кіберфізичної системи «Розумні вікна» розглядається як актуальний напрям удосконалення підходів до автоматизації мікроклімату приміщень. Концепція такої системи передбачає створення програмного рішення, яке забезпечує локальну обробку параметрів освітленості, температури та вологості з подальшим формуванням керуючих впливів на прозорість віконних конструкцій.

Передбачається реалізація алгоритмів збору та аналізу сенсорних даних,

					КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механізмів адаптивного керування та засобів візуалізації стану системи. Особливу увагу приділено забезпеченню автономності функціонування, що дозволяє виконувати обробку даних у межах локального середовища без необхідності постійного звернення до зовнішніх сервісів. Важливою складовою є інтерфейс взаємодії, який забезпечує наочне відображення параметрів мікроклімату та результатів роботи алгоритмів керування у зручній для аналізу формі.

Отже, створення кіберфізичної системи «Розумні вікна» відповідає сучасним тенденціям розвитку інтелектуальних систем автоматизації та дозволяє поєднати автономність роботи, адаптивне керування та зручну візуалізацію даних у межах єдиної програмної моделі.

1.3 Головні проблеми апаратної реалізації

Апаратна складова кіберфізичної системи «Розумні вікна» формується комплексом взаємопов'язаних технічних компонентів, від узгодженої роботи яких залежить точність збору даних, швидкість обробки інформації та стабільність адаптивного керування фізичними параметрами об'єкта. До базових елементів такої системи належать обчислювальний модуль, сенсорна підсистема для вимірювання освітленості, температури та вологості, виконавчі механізми регулювання прозорості вікон, а також програмне середовище, що забезпечує обробку даних і формування керуючих впливів. Взаємодія цих складових визначає ефективність функціонування системи, рівень точності реакції на зміни зовнішнього середовища та можливість подальшого розвитку функціональних можливостей.

Обчислювальний модуль виконує роль центрального елемента системи, який забезпечує виконання алгоритмів обробки сенсорних даних, розрахунок параметрів мікроклімату та формування керуючих сигналів для зміни прозорості вікон. На цьому рівні здійснюється аналіз поточних значень освітленості, темпе-

ратури та вологості, а також виконання логіки адаптивного регулювання. Продуктивність обчислювального модуля безпосередньо впливає на швидкість реакції системи на зміни умов навколишнього середовища та загальну стабільність її роботи.

Оперативна пам'ять забезпечує тимчасове зберігання даних, які використовуються під час виконання алгоритмів обробки та візуалізації. У ній розміщуються поточні значення сенсорних вимірювань, проміжні результати розрахунків та службова інформація, необхідна для коректного функціонування програмної частини системи. Обсяг і швидкодія оперативної пам'яті впливають на плавність оновлення даних у режимі реального часу та на відсутність затримок під час виконання обчислень.

Підсистема збору даних включає набір сенсорів, які фіксують параметри навколишнього середовища, зокрема рівень освітленості, температуру внутрішнього та зовнішнього середовища, а також показники вологості. Отримані дані передаються до обчислювального модуля для подальшої обробки та аналізу. Точність і стабільність роботи сенсорів є ключовим фактором, що визначає достовірність усіх розрахунків та якість прийняття рішень системою.

Виконавча підсистема реалізує фізичну зміну стану віконних конструкцій шляхом регулювання їх прозорості. Вона отримує керуючі сигнали від програмної частини та перетворює їх у відповідні дії, що забезпечують зміну рівня затемнення. Ефективність роботи виконавчих механізмів впливає на швидкість адаптації системи до змін інтенсивності сонячного випромінювання та теплового навантаження.

Важливу роль відіграє система живлення, яка забезпечує стабільну роботу всіх апаратних компонентів. Нестабільність енергопостачання або недостатня потужність можуть призводити до збоїв у зборі даних, некоректного виконання алгоритмів та порушення процесу керування. Надійна організація живлення є необхідною умовою безперервного функціонування системи в різних режимах роботи.

Сенсорна та виконавча частини взаємодіють із програмним середовищем через обчислювальний модуль, що забезпечує обробку даних та формування керуючих впливів. Програмна складова реалізує алгоритми аналізу мікроклімату, адаптивного регулювання прозорості та візуалізації поточного стану системи, що дозволяє здійснювати контроль за поведінкою системи в режимі, наближеному до реального часу.

Таким чином, аналіз апаратної структури кіберфізичної системи «Розумні вікна» дозволяє визначити основні компоненти, що забезпечують її функціонування та взаємодію. Узгоджена робота обчислювального модуля, сенсорної підсистеми, виконавчих механізмів та системи живлення формує основу для стабільного збору даних, точного аналізу параметрів середовища та ефективного адаптивного керування прозорістю віконних конструкцій у межах єдиної програмно-апаратної архітектури.

1.4 План реалізації

Кіберфізична система “Розумні вікна” проектується як кіберфізична система для комплексного аналізу параметрів навколишнього середовища та внутрішнього мікроклімату приміщення з подальшим формуванням керуючих впливів для адаптивної зміни прозорості вікон. Концепція системи базується на поєднанні веборієнтованого інтерфейсу із локальним виконанням обчислювальної логіки, що забезпечує автономність роботи, високу швидкість реакції та можливість демонстрації поведінки системи без залежності від серверної інфраструктури. Реалізація передбачається із використанням HTML, CSS і JavaScript, що дозволяє організувати інтерактивну візуалізацію процесів та обробку даних безпосередньо на стороні клієнта, а також із застосуванням середовища Electron для запуску настільної версії застосунку з розширеними можливостями доступу до локальних ресурсів системи.

Архітектурна модель системи побудована на розподілі логічних рівнів із

метою забезпечення стабільності та ізоляції процесів обробки даних. Окремий модуль відповідає за збір і первинну обробку сенсорної інформації, інший рівень реалізує обчислювальні алгоритми аналізу мікроклімату, а інтерфейсна складова забезпечує відображення результатів у зручному візуальному форматі. Така структура дозволяє розділити процеси збору даних, їх аналізу та відображення, що підвищує надійність системи та спрощує подальше розширення функціоналу.

Користувацький інтерфейс орієнтований на наочне представлення параметрів мікроклімату та стану системи. Після запуску симуляції здійснюється безперервний збір даних щодо освітленості, температури внутрішнього та зовнішнього середовища, а також вологості. Отримані значення відображаються у вигляді числових індикаторів, графічних елементів та інтерактивної сцени, яка моделює зміну часу доби та поведінку сонця і місяця. Додатково реалізується механізм накопичення історії вимірювань, що дозволяє будувати графіки змін параметрів у динаміці та аналізувати поведінку системи протягом часу.

Аналітична складова функціонує на основі безперервного перерахунку параметрів мікроклімату з урахуванням взаємозв'язків між освітленістю, тепловими процесами та рівнем вологості. У процесі обробки даних визначається вплив сонячного випромінювання на температуру всередині приміщення, а також залежність рівня затемнення вікон від поточних умов середовища. Алгоритми моделюють інерційність фізичних процесів, що забезпечує наближення поведінки системи до реальних умов функціонування.

Важливою складовою є механізм адаптивного керування прозорістю вікон, який формує значення затемнення на основі сукупності вхідних параметрів. Такий підхід дозволяє досягати балансу між рівнем освітлення, тепловим навантаженням і комфортом у приміщенні. Додатково передбачається накопичення даних у локальному середовищі для подальшого аналізу змін стану системи та побудови історичних графіків.

Розроблення Кіберфізичної системи “Розумні вікна” пов’язане з необхідні-

стю моделювання складних взаємодій між параметрами навколишнього середовища та відображенням цих процесів у зрозумілій інтерактивній формі. Вибір гібридної архітектури із використанням вебтехнологій та настільного середовища дозволяє забезпечити універсальність застосування системи, її автономність та простоту демонстрації функціональних можливостей без залежності від зовнішніх сервісів.

Запропонований підхід поєднує локальну обробку даних із алгоритмами фізичного моделювання, що створює основу для дослідження поведінки розумних фасадних систем у різних умовах. Інтеграція інтерактивної візуалізації, обчислювальних моделей та механізмів накопичення даних дозволяє сформувати цілісне середовище для аналізу мікроклімату та оцінювання ефективності адаптивного керування прозорістю віконних конструкцій.

1.5 Висновки до першого розділу

У межах першого розділу кваліфікаційної роботи здійснено дослідження предметної області, що охоплює кіберфізичні системи моніторингу мікроклімату, методи збору сенсорних даних та підходи до адаптивного керування фізичними параметрами будівельних конструкцій. Проведено аналіз сучасних програмних рішень і систем автоматизації розумних будівель, які забезпечують контроль освітленості, температури та вологості з подальшим регулюванням інженерних елементів. Розглянуто принципи побудови подібних систем, особливості організації інтерфейсу користувача, способи обробки даних у реальному часі та реалізації алгоритмів керування. У процесі дослідження виявлено обмеження існуючих рішень, що проявляються у значній залежності від централізованих або хмарних сервісів, недостатньому рівні автономності, а також обмежених можливостях комплексного аналізу взаємозв'язку параметрів навколишнього середовища.

На основі узагальнення отриманих результатів сформульовано концепцію

створення кіберфізичної системи «Розумні вікна», яка поєднує локальну обробку сенсорних даних із механізмами адаптивного керування прозорістю віконних конструкцій. Обґрунтовано доцільність розроблення програмного рішення, яке забезпечує збір і аналіз параметрів освітленості, температури та вологості, а також формування керуючих впливів у межах єдиного середовища. Визначено основні вимоги до системи, передбачено структуру інтерфейсу з відображенням поточних показників мікроклімату, інтерактивної сцени та графічної інтерпретації змін параметрів, а також реалізацію алгоритмів адаптивного регулювання рівня затемнення.

У межах виконання практичної частини поглиблено знання у сфері розробки інтерактивних симуляцій та веборієнтованих застосунків. Опрацьовано принципи створення інтерфейсу користувача, динамічної візуалізації даних, моделювання фізичних процесів та реалізації логіки обробки подій у режимі реального часу. Досліджено підходи до модульної організації програмного коду, використання локального зберігання даних, а також побудови настільних застосунків із застосуванням середовища Electron для поєднання вебтехнологій із локальним виконанням програмної логіки.

Таким чином, у першому розділі виконано комплексний аналіз предметної області, досліджено сучасні системи автоматизації мікроклімату та їхні функціональні обмеження, а також обґрунтовано концепцію та основні напрями розроблення кіберфізичної системи «Розумні вікна», що створює основу для подальшої реалізації програмного проєкту

					КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ПРОЄКТУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ «РОЗУМНІ ВІКНА»

2.1 Структура кіберфізичної системи

Кіберфізична система «Розумні вікна» побудована за принципом поєднання фізичних компонентів збору даних, мікроконтролерного вузла обробки та програмної частини, що забезпечує моделювання, аналіз і візуалізацію параметрів середовища. Такий підхід дозволяє реалізувати взаємодію між фізичними процесами та програмними механізмами керування, що є основною ознакою кіберфізичних систем.

Структура системи включає декілька взаємопов'язаних рівнів: підсистему збору даних, мікроконтролерний модуль, програмну частину обробки інформації, інтерфейс користувача, аналітичний блок та виконавчі механізми. Усі компоненти працюють як єдина система, у межах якої забезпечується постійний обмін інформацією між фізичним середовищем і програмними модулями.

На початковому рівні функціонування системи розташовано підсистему датчиків середовища. Вона призначена для отримання основних параметрів, необхідних для аналізу стану приміщення та визначення режиму роботи розумних вікон. До складу підсистеми входять датчики освітленості, температури та вологості. Датчик освітленості використовується для визначення інтенсивності зовнішнього світла, що впливає на ступінь затемнення скла. Датчики температури та вологості забезпечують контроль мікроклімату приміщення й дозволяють оцінювати тепловий стан середовища.

Отримані дані передаються до мікроконтролера Arduino UNO, який виконує роль центрального вузла фізичної частини системи. Мікроконтролер забезпечує періодичне зчитування показників із датчиків, первинну обробку інформації та передачу сформованих даних до програмної частини системи. Обмін інформацією може виконуватися через бездротове мережеве з'єднання з використан-

ням Wi-Fi. Таким чином Arduino UNO забезпечує зв'язок між фізичними компонентами та програмним середовищем.

Програмна частина кіберфізичної системи реалізована у вигляді настільного застосунку на основі Electron. Вона виконує функції приймання даних, моделювання параметрів середовища, розрахунку стану розумних вікон та формування візуального представлення результатів. У межах програмної частини реалізовано алгоритми аналізу освітленості, температури, вологості, коефіцієнта теплопередачі та рівня затемнення скла.

Основна логіка роботи системи зосереджена у модулі main.js, де виконуються розрахунки параметрів середовища, оновлення стану моделі та формування поточних значень для інтерфейсу. Модуль index.js відповідає за запуск Electron-застосунку, створення головного вікна та ініціалізацію програмного середовища. Інтерфейс користувача формується засобами HTML та CSS і забезпечує відображення поточних параметрів системи, елементів керування, графіків та таблиць вимірювань.

Для забезпечення зручної взаємодії користувача із системою реалізовано окремий інтерфейсний рівень. Через нього користувач може спостерігати за зміною параметрів у режимі реального часу, запускати або призупиняти моделювання, виконувати збереження вимірювань, очищення таблиць та активувати прискорений цикл зміни дня і ночі. Інтерфейс забезпечує одночасне відображення як числових показників, так і візуальної моделі середовища.

Окремий блок системи відповідає за аналітичне представлення даних. У межах цього блоку формуються графіки зміни температури, вологості та освітленості, а також таблиці вимірювань, що містять історію змін параметрів середовища. Це дозволяє оцінювати динаміку процесів, аналізувати поведінку системи та досліджувати взаємозв'язок між параметрами мікроклімату й станом розумних вікон.

Після обробки даних система може формувати керуючі сигнали для виконавчих механізмів. До них належать розумне електрохромне скло або механізми

					КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

керування жалюзі. На основі розрахованого рівня освітленості та температури система визначає необхідний ступінь затемнення, після чого відповідна команда передається виконавчому механізму. Завдяки цьому забезпечується адаптивне регулювання світлопропускання та теплопередачі.

Структурну схему кіберфізичної системи «Розумні вікна» наведено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Схема структури кіберфізичної системи

Представлена структура демонструє повний цикл функціонування кіберфізичної системи: від збирання параметрів навколишнього середовища до аналізу отриманих даних, формування візуального представлення та керування фізичними виконавчими елементами. Такий підхід забезпечує інтеграцію фізичних і програмних компонентів у межах єдиного програмно-технічного комплексу та дозволяє реалізувати адаптивне керування мікрокліматом приміщення.

2.2 Електричні схеми

На рисунках 2.2 – 2.3 наведено електричну схему фізичної частини кіберфізичної системи «Розумні вікна», реалізованої на базі мікроконтролера Arduino UNO. Представлена схема відображає взаємозв'язок між датчиками збору інформації, мікроконтролерним вузлом обробки даних та виконавчими елементами системи автоматичного керування.

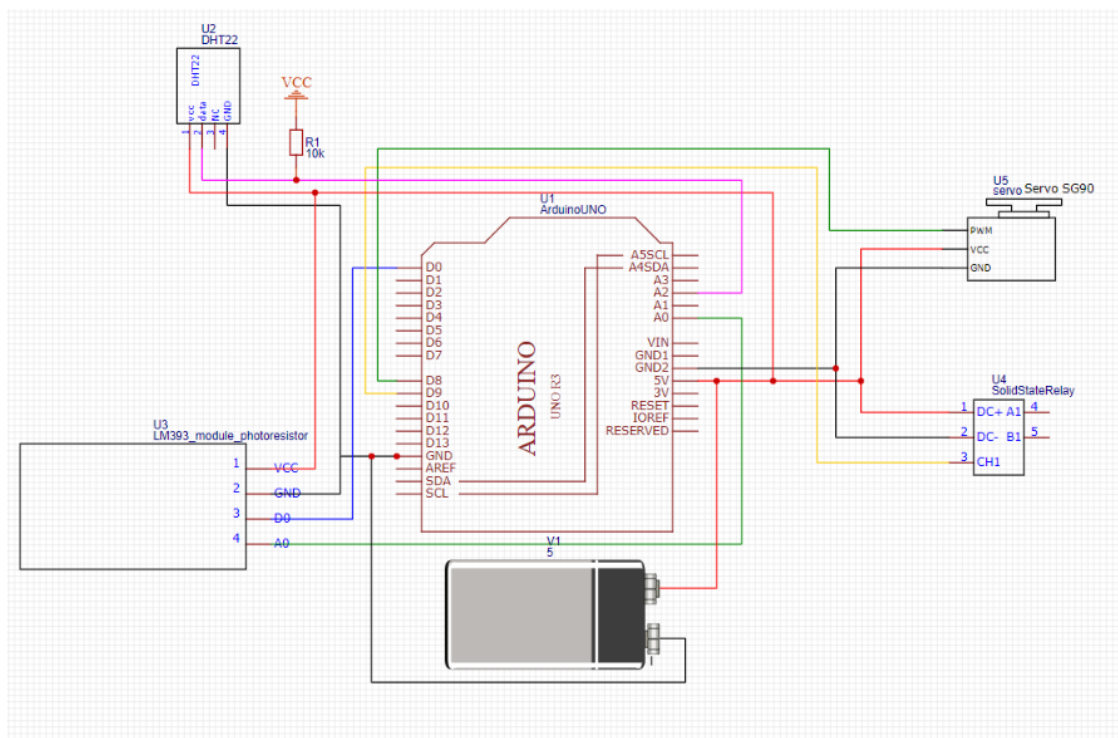


Рисунок 2.2 – Електрична схема EasyEDA

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

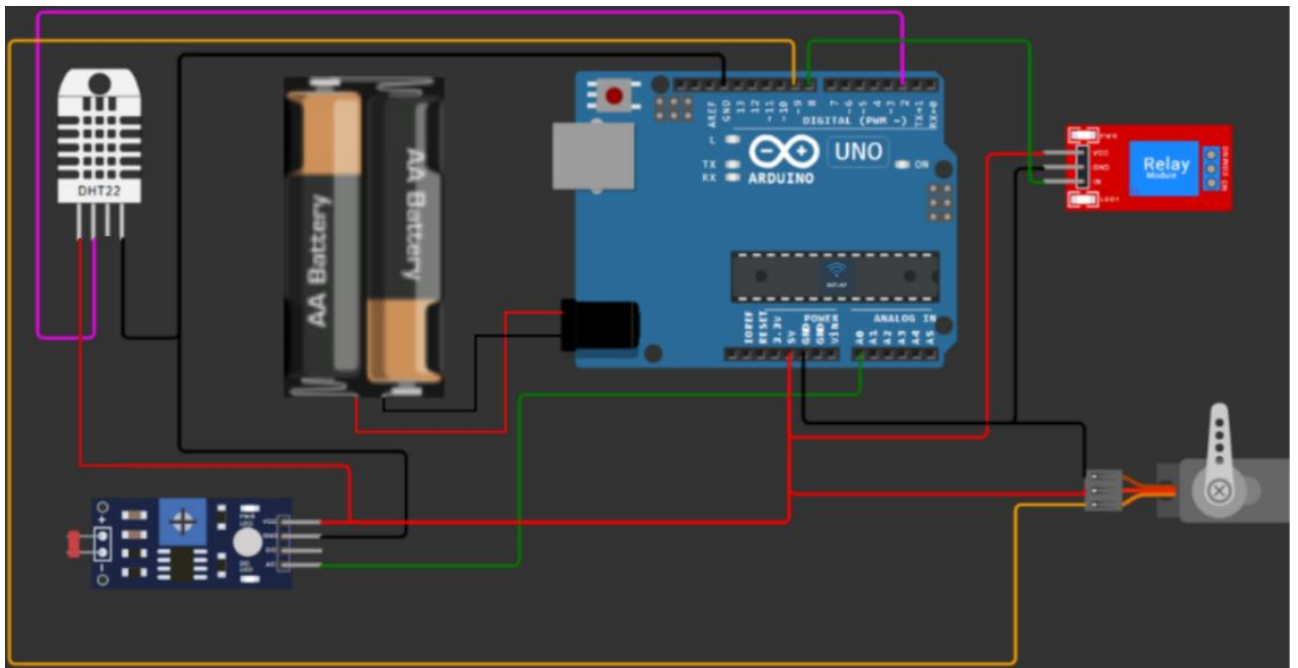


Рисунок 2.3 - Електрична схема у Wokwi

Основним елементом системи є мікроконтролер Arduino UNO, який виконує функції центрального керуючого вузла. До його входів і виходів підключені датчики контролю параметрів середовища, виконавчі механізми та комутаційні модулі. Мікроконтролер забезпечує зчитування показників із сенсорів, первинну обробку інформації, формування керуючих сигналів та передачу даних до програмної частини системи.

Для контролю температури та вологості у приміщенні використовується датчик DHT22. На схемі він позначений як U2. Даний сенсор підключений до цифрового входу Arduino UNO та забезпечує періодичне вимірювання параметрів мікроклімату. Для стабілізації передачі цифрового сигналу між лінією живлення VCC та сигнальним контактом датчика встановлено підтягувальний резистор R1 номіналом 10 кОм. Використання резистора забезпечує коректну роботу цифрового інтерфейсу датчика та зменшує ймовірність виникнення помилок під час передавання даних.

Контроль рівня освітленості реалізовано за допомогою модуля фоторезистора LM393, який на схемі позначений як U3. Даний модуль містить аналоговий

та цифровий виходи, що дозволяє виконувати як точне вимірювання інтенсивності освітлення, так і визначення перевищення встановленого порогового значення. Аналоговий вихід модуля підключений до аналогового входу Arduino UNO, тоді як цифровий вихід використовується для формування логічного сигналу залежно від рівня освітлення. Отримані дані використовуються системою для визначення необхідного ступеня затемнення вікон або положення жалюзі.

У ролі виконавчого механізму системи використовується сервопривід SG90, позначений на схемі як U5. Сервопривід підключений до мікроконтролера через PWM-вихід та використовується для імітації механізму зміни положення жалюзі або керування затемненням віконної конструкції. На основі отриманих показників освітленості та температури мікроконтролер формує PWM-сигнал відповідної тривалості, який задає необхідний кут повороту сервоприводу. Це забезпечує автоматичне регулювання положення виконавчого механізму залежно від поточних умов середовища.

Для реалізації функцій комутації у схемі використовується твердотільне реле Solid State Relay, позначене як U4. Вхідна частина реле підключена до цифрового виходу Arduino UNO, а вихідна - до зовнішнього навантаження. Реле використовується для керування елементами системи затемнення або іншими виконавчими пристроями. Застосування твердотільного реле дозволяє забезпечити електричну ізоляцію між силовою частиною та мікроконтролером, а також підвищує надійність роботи системи.

Живлення фізичної частини системи здійснюється від зовнішнього джерела постійної напруги 5 В, яке підключене до відповідних контактів Arduino UNO. Від мікроконтролера живлення розподіляється до сенсорних модулів та виконавчих пристроїв через спільні лінії VCC і GND. Такий підхід забезпечує стабільність роботи компонентів та спрощує організацію електричних з'єднань у системі.

Представлена електрична схема демонструє структуру фізичного рівня кі-

берфізичної системи «Розумні вікна» та принцип взаємодії її основних компонентів. У межах роботи системи забезпечується безперервне зчитування параметрів навколишнього середовища, їх передача до програмної частини, аналіз отриманих даних та формування керуючих сигналів для автоматичного регулювання стану розумних вікон. Це дозволяє реалізувати адаптивне керування мікрокліматом приміщення та підвищити ефективність використання енергетичних ресурсів.

2.3 Основні параметри оцінки системи

1) Перетворення кута положення джерела світла у рівень освітленості

Для визначення рівня освітленості у межах моделі використовується нормалізація кутового положення джерела світла, що дозволяє привести значення до уніфікованого діапазону та забезпечити коректне подальше використання у розрахунках

$$:L = \frac{A-A_{\min}}{A_{\max}-A_{\min}} \quad (2.1)$$

де L - рівень освітленості,

A - поточний кут положення джерела світла,

A_{\min} та A_{\max} - межі допустимого діапазону кута.

Отримане значення додатково обмежується інтервалом від 0 до 1, що відповідає переходу від мінімальної освітленості до максимальної. Такий підхід забезпечує нормалізацію вхідного параметра, завдяки чому різні положення джерела світла можуть бути представлені у вигляді уніфікованої величини, придатної для подальших розрахунків. Використання нормалізації дозволяє уникнути залежності від конкретних геометричних параметрів моделі та забезпечує універсальність алгоритму. Отриманий показник використовується як базова змінна для визначення температурних, енергетичних та інших характеристик середовища, що забезпечує узгодженість роботи всієї системи.

2) Параметричне визначення координат руху джерела світла

Для визначення координат джерела світла у межах візуальної моделі використовується параметричне задання колової траєкторії, що забезпечує плавність переміщення об'єкта:

$$x = C_x + R \cos(A), \quad y = C_y + R \sin(A) \quad (2.2)$$

де x, y - координати положення, C_x, C_y - координати центра траєкторії, R - радіус руху, A - кут положення. Використання параметричного задання кола дозволяє отримати плавну траєкторію переміщення без різких змін координат, що є важливим для візуальної складової системи. Такий підхід забезпечує безперервність руху та коректне відображення положення джерела світла у будь-який момент часу. Крім того, параметрична форма дозволяє легко масштабувати або зміщувати траєкторію без зміни базової логіки обчислень. Отримані координати використовуються не лише для відображення, а й для визначення взаємозв'язку між положенням джерела світла та рівнем освітленості.

3) Формування зовнішньої температури середовища

Для формування цільового значення зовнішньої температури використовується лінійна залежність від освітленості з додаванням випадкової складової, що імітує природні коливання:

$$T_{out}^* = T_0 + L \cdot k_1 + n \quad (2.3)$$

де T_{out}^* - цільова зовнішня температура, T_0 - базове значення температури, L - рівень освітленості, k_1 - коефіцієнт впливу світла, n - випадкова складова. Така залежність дозволяє врахувати вплив сонячної активності на температурний режим середовища. Додавання випадкової складової забезпечує імітацію природних коливань температури, що робить модель більш наближеною до реальних умов. При зростанні освітленості температура поступово підвищується, що відповідає фізичним процесам нагрівання під дією сонячного випромінювання.

4) Інерційне оновлення зовнішньої температури

Оновлення фактичного значення зовнішньої температури здійснюється за інерційним принципом, що забезпечує плавний перехід між станами:

$$T_{out} = T_{out} + \alpha(T_{out}^* - T_{out}) \quad (2.4)$$

де T_{out} - поточне значення температури, T_{out}^* - цільове значення, α - коефіцієнт швидкості наближення. Використання інерційної моделі дозволяє уникнути різких стрибків значень, що підвищує стабільність системи. Температура змінюється поступово, що відповідає реальним фізичним процесам теплообміну. Значення коефіцієнта визначає швидкість реакції системи на зміну умов середовища.

5) Розрахунок рівня затемнення вікон

Рівень затемнення вікон визначається як функція освітленості та внутрішньої температури, що дозволяє адаптувати поведінку системи до умов середовища:

$$D = D_0 + L \cdot k_2 + \max(0, T_{in} - T_{ref}) \cdot k_3 \quad (2.5)$$

де D - коефіцієнт затемнення, D_0 - базовий рівень, L - освітленість, T_{in} - внутрішня температура, T_{ref} - порогове значення температури, k_2 , k_3 - коефіцієнти впливу. Значення додатково обмежується у заданому діапазоні для запобігання некоректним результатам. Така формула враховує як зовнішні, так і внутрішні фактори, що дозволяє адаптувати стан вікон до поточних умов. Збільшення освітленості або перевищення температурного порогу призводить до посилення затемнення, що сприяє зменшенню перегріву приміщення.

б) Коефіцієнт теплопередачі через вікна

Для оцінки теплопередачі через віконні конструкції використовується обернена залежність від рівня затемнення:

$$H = 1 - D \cdot k_4 \quad (2.6)$$

де H - коефіцієнт теплопередачі, D - рівень затемнення, k_4 - коефіцієнт впливу. Залежність має обернений характер, оскільки збільшення затемнення зменшує проникнення теплової енергії. Обмеження значення коефіцієнта забезпечує фізичну коректність моделі. Такий підхід дозволяє врахувати вплив керування прозорістю вікон на тепловий баланс.

7) Сонячний тепловий вплив

Сонячний тепловий вплив визначається пропорційно рівню освітленості, що дозволяє враховувати внесок сонячної енергії у тепловий баланс:

$$S = L \cdot k_5 \quad (2.7)$$

де S - тепловий вплив, L - освітленість, k_5 - коефіцієнт масштабування. Формула відображає прямий зв'язок між рівнем освітлення та кількістю енергії, що надходить у систему. Максимальне значення досягається при максимальному освітленні, що відповідає умовам інтенсивного сонячного випромінювання.

8) Формування внутрішньої температури

Цільове значення внутрішньої температури формується з урахуванням зовнішніх умов, сонячного впливу та затемнення:

$$T_{in}^* = T_{out} + S - D \cdot k_6 \quad (2.8)$$

де T_{in}^* - цільова внутрішня температура, T_{out} - зовнішня температура, S - сонячний вплив, D - затемнення, k_6 - коефіцієнт впливу. Формула відображає баланс між нагріванням та обмеженням теплопередачі. Збільшення освітленості підвищує температуру, тоді як затемнення виконує компенсуючу функцію. Такий підхід дозволяє моделювати реальні процеси теплового обміну у приміщеннях.

9) Інерційна зміна внутрішньої температури

Оновлення внутрішньої температури здійснюється поступово з урахуванням інерційності середовища:

$$T_{in} = T_{in} + \beta(T_{in}^* - T_{in}) \quad (2.9)$$

де T_{in} - поточна внутрішня температура, T_{in}^* - цільове значення, β - коефіцієнт зміни. Використання інерційної моделі забезпечує плавність переходів та стабільність параметрів. Такий механізм дозволяє уникнути різких змін і забезпечує більш реалістичне відображення процесів.

10) Формування рівня вологості

Формування цільового значення вологості здійснюється залежно від освітленості та випадкових змін середовища:

$$H_m^* = H_0 + (1 - L) \cdot k_7 + n \quad (2.10)$$

де H_m^* - цільова вологість, H_0 - базове значення, L - освітленість, k_7 - коефіцієнт впливу, n - випадкова складова. При зменшенні освітленості значення вологості зростає, що відповідає природним умовам. Додавання випадкової складової забезпечує варіативність параметра.

11) Інерційна зміна вологості

Поточне значення вологості змінюється поступово відповідно до інерційної моделі:

$$H_m = H_m + \gamma(H_m^* - H_m) \quad (2.11)$$

де H_m - поточна вологість, H_m^* - цільове значення, γ - коефіцієнт згладжування. Поступова зміна параметра дозволяє уникнути нестабільності та забезпечує узгодженість із іншими характеристиками середовища.

Стан системи визначається на основі порівняння ключових параметрів із заданими пороговими значеннями, що дозволяє класифікувати режим функціонування. При перевищенні допустимих значень температури або вологості фіксується підвищене навантаження, при низькому рівні освітленості активується нічний режим, в інших випадках стан вважається стабільним.

2.4 Блок-схеми алгоритмів роботи

Алгоритм обробки параметрів середовища відображає повний цикл роботи з даними у межах кіберфізичної системи “Розумні вікна” і охоплює етапи отримання, перевірки, підготовки та візуалізації характеристик мікроклімату. На початковому етапі здійснюється формування поточних значень параметрів, що описують стан середовища. До них належать рівень освітленості, температурні показники внутрішнього та зовнішнього простору, вологість повітря, ступінь затемнення вікон та інтенсивність теплопередачі. У межах реалізованої моделі ці значення генеруються засобами програмної симуляції, що дозволяє відтворити поведінку реальної системи без використання фізичних сенсорів.

Після отримання даних виконується їх перевірка на коректність і відповід-

					КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ	Арк. 25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ність допустимим межах. Значення параметрів обмежуються визначеними інтервалами, що унеможлиблює появу нереалістичних або фізично некоректних результатів. Такий підхід забезпечує стабільність роботи системи та підвищує достовірність подальших розрахунків. Далі виконується підготовка інформації до відображення, що передбачає приведення числових значень до зручного формату. Температурні показники подаються з обмеженою точністю та супроводжуються одиницями вимірювання, значення вологості відображаються у відсотках, а коефіцієнти освітленості, затемнення і теплопередачі подаються у вигляді нормалізованих величин.

На наступному етапі відбувається оновлення інтерфейсної частини. Візуальне представлення параметрів формується у вигляді інформаційних блоків, числових індикаторів та графічних елементів. Паралельно змінюється вигляд моделі середовища, що відображає поточний стан системи. Освітленість впливає на загальний фон сцени, а рівень затемнення визначає ступінь прозорості віконних поверхонь. Після цього виконується збереження отриманих значень у структурованому вигляді разом із часовою позначкою, що створює основу для подальшого аналізу. Завершальним етапом є побудова графіків, які відображають зміну параметрів у часі та дозволяють оцінити динаміку процесів. Таким чином формується повний цикл обробки інформації, що забезпечує не лише відображення поточного стану, а й накопичення історії змін.

Блок схема зображена на Рис.2.4:

					КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ	Арк. 26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.4 - Блок-схема алгоритму обробки параметрів середовища

Алгоритм адаптивного керування прозорістю вікон визначає принцип прийняття рішень щодо регулювання світлопропускання залежно від умов середовища. Основою роботи виступає аналіз двох ключових параметрів, а саме освітленості та температури внутрішнього простору. Рівень освітлення визначає інтенсивність сонячного впливу, тоді як температура відображає тепловий стан приміщення. Поєднання цих факторів дозволяє оцінити доцільність зміни ступеня затемнення.

На першому етапі формується базове значення прозорості, яке безпосередньо залежить від інтенсивності освітлення. Зі збільшенням світлового потоку рівень затемнення зростає, що сприяє обмеженню проникнення надлишкової енергії. Додатково враховується температура всередині приміщення. У разі перевищення комфортного порогового значення система збільшує ступінь затемнення, що дозволяє зменшити нагрів. Такий механізм забезпечує адаптивну реакцію на зміну умов та сприяє підтриманню стабільного мікроклімату.

Отримане значення обмежується встановленими межами, що гарантує коректність функціонування та відповідає фізичним можливостям матеріалів. Після цього визначається інтенсивність теплопередачі, яка зменшується зі збільшенням затемнення. Таким чином реалізується взаємозв'язок між оптичними та тепловими характеристиками системи. Завершальним етапом є оновлення візуального стану вікон та відображення відповідних числових показників. У результаті формується замкнений контур керування, що дозволяє автоматично адаптувати поведінку системи до змін середовища.

Блок схема зображена на Рис.2.5:

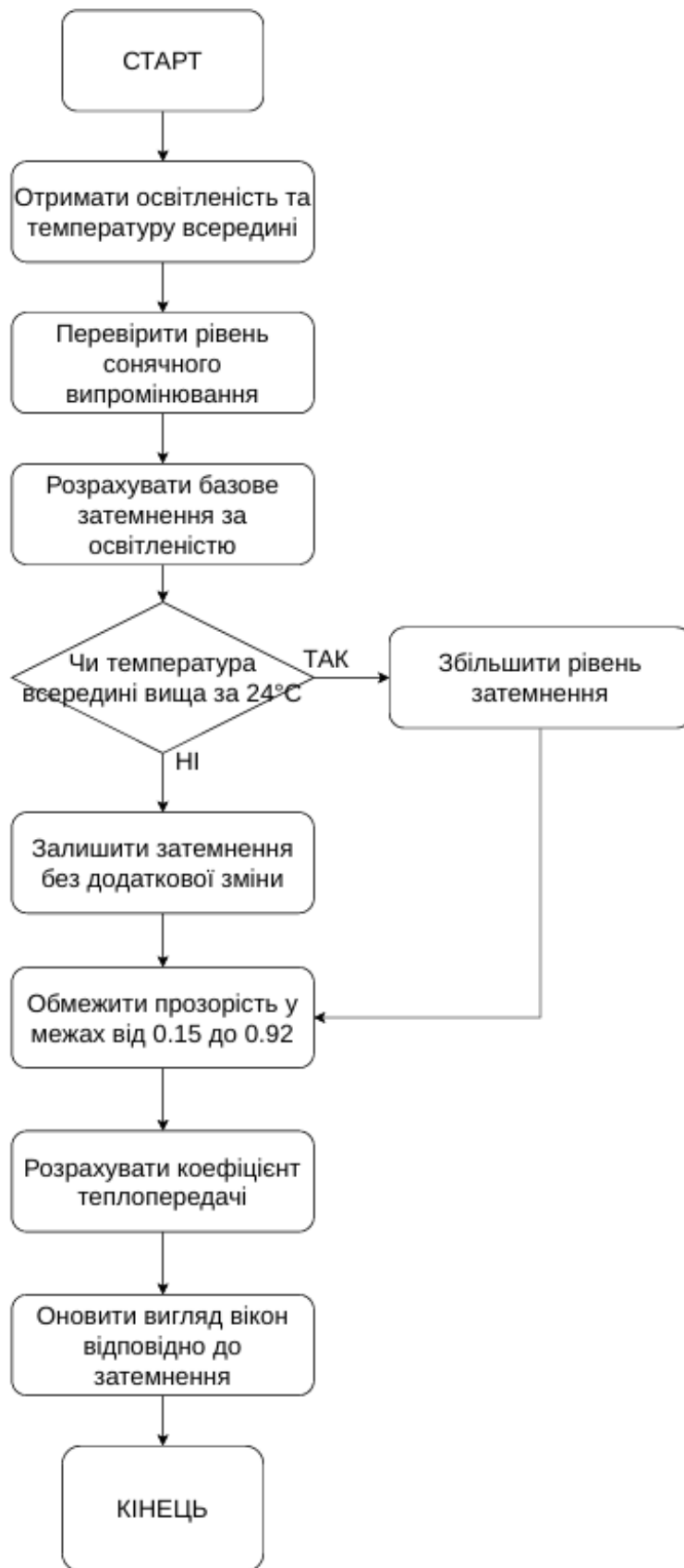


Рисунок 2.5 - Блок-схема алгоритму адаптивного керування прозорістю вікон

Алгоритм моделювання змін параметрів мікроклімату відображає динаміку процесів, які відбуваються у системі з плином часу. Основою виступає використання освітленості як базового фактору, що впливає на більшість інших характеристик. Зміна положення джерела світла призводить до варіації рівня освітлення, що ініціює подальші перетворення параметрів.

На початковому етапі визначається зовнішній температурний режим, який формується залежно від інтенсивності освітлення з урахуванням випадкових коливань. Це дозволяє відтворити змінність природних умов. Далі виконується поступове наближення фактичного значення до розрахованого, що імітує інерційність теплових процесів. Паралельно визначається ступінь затемнення, який впливає на обсяг теплової енергії, що проникає у приміщення.

Наступним кроком є оцінювання внутрішнього температурного режиму, який формується під впливом зовнішніх умов, сонячного нагріву та обмеження теплопередачі. Зміна цього параметра також відбувається поступово, що забезпечує реалістичність моделювання. Додатково визначається рівень вологості, який змінюється у протилежній залежності від освітленості та доповнюється випадковими відхиленнями. Такий підхід дозволяє врахувати комплексний вплив факторів середовища.

На завершальному етапі результати розрахунків передаються до інтерфейсу, де відображаються у вигляді числових показників, таблиць та графіків. Це забезпечує можливість спостереження за змінами параметрів у реальному часі та аналізу їх динаміки. Таким чином алгоритм моделювання формує причинно-наслідковий зв'язок між освітленістю, температурними характеристиками, вологістю та станом вікон, що дозволяє відтворити поведінку системи у різних умовах.

Блок-схема зображена на Рис.2.6:

					КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ	Арк. 30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.6 - Блок-схема алгоритму моделювання змін параметрів мікроклімату

Узагальнення розглянутих алгоритмів дозволяє сформувавши цілісне уявлення про функціонування системи. Обробка даних забезпечує відображення та накопичення інформації, адаптивне керування визначає поведінку віконних конструкцій, а моделювання параметрів відтворює зміну мікроклімату з часом. Поєднання зазначених підходів створює узгоджену систему, здатну аналізувати стан середовища, реагувати на його зміни та демонструвати результати у наочній формі.

2.5 Висновки до другого розділу

У другому розділі кваліфікаційної роботи детально розглянуто принципи побудови та функціонування кіберфізично системи “Розумні вікна”, орієнтованого на моделювання та аналіз параметрів мікроклімату приміщення із застосуванням адаптивного керування властивостями вікон. Основну увагу зосереджено на архітектурній організації системи, алгоритмах обробки даних та підходах до інтеграції візуальної моделі з обчислювальним ядром.

Архітектура системи базується на розподілі функціональних компонентів, що забезпечує стабільність роботи та зручність подальшого розширення. Виділено окремі рівні: модуль збору та генерації параметрів середовища, обчислювальний модуль, який виконує розрахунок характеристик мікроклімату, та інтерфейсний рівень, що відповідає за відображення результатів. Такий підхід дозволяє чітко розмежувати логіку обробки даних і візуалізацію, зменшити кількість помилок та підвищити керованість системи.

Значну увагу приділено алгоритмам моделювання, які формують основу функціонування системи. Реалізовано механізми обчислення освітленості на основі положення джерела світла, визначення зовнішніх і внутрішніх температур із урахуванням інерційності середовища, а також розрахунок вологості та теплопередачі. Важливою складовою є алгоритм адаптивного керування затемненням вікон, який враховує рівень освітленості та температуру всередині приміщення.

Це дозволяє автоматично регулювати проникнення світла і тепла, забезпечуючи більш стабільні умови мікроклімату.

Окремо розглянуто механізми обробки та нормалізації даних. Усі параметри, що використовуються в системі, приводяться до допустимих діапазонів значень, що запобігає виникненню некоректних результатів моделювання. Додатково застосовуються підходи до згладжування змін параметрів, що дозволяє імітувати реальні фізичні процеси, де зміни температури або вологості відбуваються поступово, а не миттєво.

У межах реалізації інтерфейсу користувача розглянуто принципи відображення інформації у зручному та наочному вигляді. Параметри середовища подаються у вигляді числових індикаторів, таблиць і графіків, що дозволяє користувачу не лише спостерігати поточний стан, але й аналізувати динаміку змін у часі. Візуальна модель доповнюється анімацією руху джерела світла та зміною вигляду вікон, що підвищує інтуїтивність сприйняття роботи системи.

Також у розділі описано механізми збереження даних, які забезпечують накопичення результатів моделювання у вигляді історії вимірювань. Це створює можливість подальшого аналізу, побудови графічних залежностей і оцінки впливу різних факторів на стан мікроклімату. Реалізація локального збереження даних дозволяє системі працювати автономно без необхідності підключення до зовнішніх сервісів.

Таким чином, у другому розділі сформовано цілісне уявлення про принципи функціонування кіберфізично системи “Розумні вікна”, у якій поєднуються алгоритмічні методи моделювання, механізми обробки та візуалізації даних, а також підходи до адаптивного керування параметрами середовища. Запропоноване рішення забезпечує наочне відображення процесів, що відбуваються у приміщенні, та створює основу для подальшого вдосконалення системи й розширення її функціональних можливостей.

3. РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ

3.1 Загальна характеристика застосунку

Розроблена кіберфізична система “Розумні вікна” являє собою настільний застосунок, орієнтований на моделювання, аналіз та візуалізацію параметрів мікроклімату приміщення із використанням концепції адаптивного керування властивостями вікон. Основне призначення системи полягає у створенні інтерактивного середовища, у межах якого користувач може спостерігати взаємозв’язок між освітленістю, температурою, вологістю та теплопередачею, а також оцінювати вплив змін зовнішніх умов на внутрішній стан приміщення. Концепція побудови передбачає поєднання математичного моделювання, візуальної симуляції та інтерактивного керування, що дозволяє не лише відображати параметри, але й досліджувати їхню поведінку у динаміці.

Актуальність розроблення такого застосунку обумовлена необхідністю підвищення енергоефективності та оптимізації умов перебування у приміщеннях. У сучасних умовах значна увага приділяється автоматизації кліматичних систем, проте більшість існуючих рішень або є вузькоспеціалізованими, або потребують складного апаратного забезпечення. Запропонований підхід дозволяє реалізувати спрощену модель “розумного середовища”, яка може використовуватися як для навчальних цілей, так і для попереднього аналізу ефективності керування світлопропусканням і тепловими процесами. Локальна реалізація забезпечує автономність роботи та незалежність від зовнішніх сервісів, що спрощує використання системи.

Функціонально застосунок охоплює декілька взаємопов’язаних напрямів. Основним є моделювання параметрів середовища, що включає розрахунок рівня освітленості на основі положення джерела світла, формування зовнішньої температури з урахуванням сонячного впливу та випадкових коливань, а також визначення внутрішньої температури і вологості з урахуванням інерційності процесів. Окремий модуль відповідає за адаптивне керування затемненням вікон,

яке автоматично змінюється залежно від освітленості та температури, зменшуючи надлишковий тепловий вплив і стабілізуючи мікроклімат.

Важливою складовою системи є підсистема візуалізації, яка забезпечує наочне представлення результатів моделювання. Інформація відображається у вигляді числових показників, таблиць вимірювань та графіків зміни параметрів у часі. Додатково реалізовано візуальну сцену, у межах якої відображається рух джерела світла, зміна яскравості неба та рівень затемнення вікон. Такий підхід підвищує інтуїтивність сприйняття та дозволяє користувачу краще розуміти взаємозв'язки між параметрами.

Архітектурно система побудована за модульним принципом із розподілом на логічні рівні. Інтерфейсний рівень реалізований із використанням вебтехнологій, що забезпечує гнучкість і можливість швидкої модифікації зовнішнього вигляду. Обчислювальний рівень відповідає за виконання алгоритмів моделювання, обробку даних і підтримку поточного стану системи. Окремо виділяється рівень керування застосунком, який забезпечує взаємодію з операційною системою, обробку подій і організацію життєвого циклу програми. Обмін даними між компонентами здійснюється через контрольовані механізми, що забезпечує узгодженість роботи системи.

Особливу увагу приділено обробці та збереженню даних. Система реалізує механізми накопичення історії вимірювань, що дозволяє аналізувати зміни параметрів у часі. Дані зберігаються у локальному середовищі, що забезпечує швидкий доступ і автономність роботи. Додатково застосовуються методи нормалізації та обмеження значень параметрів, що гарантує коректність результатів і запобігає виникненню нереалістичних сценаріїв.

Обробка інформації у застосунку здійснюється за послідовною схемою, яка включає генерацію або отримання початкових даних, їх перевірку, обчислення похідних параметрів і подальше відображення результатів. Значна увага приділяється плавності змін, що досягається використанням інерційних моделей оновлення параметрів. Це дозволяє наблизити поведінку системи до реальних

фізичних процесів і підвищити достовірність симуляції.

Практичне застосування розробленого засобу охоплює навчальні та дослідницькі сценарії. Система може використовуватися для демонстрації принципів роботи “розумних” вікон, аналізу впливу освітленості на температурний режим, а також оцінювання ефективності різних стратегій керування мікрокліматом. Завдяки інтерактивності користувач має можливість змінювати параметри та одразу спостерігати результат, що робить застосунок корисним інструментом для вивчення відповідних процесів.

У підсумку створено програмний засіб, який поєднує алгоритми моделювання, механізми обробки даних і засоби візуалізації в єдиній системі. Використання модульної архітектури, адаптивних алгоритмів керування та інтерактивного інтерфейсу забезпечує гнучкість, наочність і ефективність роботи застосунку. Це дозволяє розглядати кіберфізичну систему “Розумні вікна” як універсальний інструмент для дослідження та демонстрації процесів формування мікроклімату у приміщенні.

3.2 Реалізація кіберфізичної системи

Програмна реалізація розробленого застосунку, орієнтованого на моделювання адаптивної системи “розумних вікон”, побудована за принципом модульності та чіткого розподілу функціональних обов’язків між окремими логічними компонентами. Такий підхід дозволяє організувати обробку даних як послідовний і керований процес, у межах якого кожен етап відповідає за визначену частину загальної логіки функціонування системи. Основою роботи є цикл, що включає отримання або генерацію параметрів середовища, їх перевірку, обчислення похідних характеристик, оновлення внутрішнього стану моделі, відображення результатів у графічному інтерфейсі та фіксацію даних для подальшого аналізу.

Початковим етапом функціонування є ініціалізація середовища виконання,

у межах якої формується програмна оболонка застосунку, створюється графічне вікно та підключаються всі необхідні компоненти інтерфейсу і логіки. На цьому етапі також задаються початкові значення параметрів моделі, що характеризують стан мікроклімату: рівень освітленості, температурні показники, вологість, стан вікон та коефіцієнт теплопередачі. Ініціалізація забезпечує підготовку системи до подальшої інтерактивної взаємодії з користувачем і запуску процесу симуляції.

Подальша робота організована у вигляді циклічного алгоритму, що періодично виконує оновлення стану системи. У межах кожного циклу здійснюється обчислення поточного положення джерела світла, яке визначає рівень освітленості. На основі цього параметра, разом із температурними характеристиками, виконується розрахунок ступеня затемнення вікон. Даний показник безпосередньо впливає на інтенсивність теплопередачі, що, у свою чергу, визначає зміну температури всередині приміщення. Таким чином формується причинно-наслідковий ланцюг взаємопов'язаних процесів, який імітує реальну поведінку системи.

Важливим аспектом реалізації є використання інерційних механізмів зміни параметрів. Замість миттєвого переходу до нових значень, система поступово наближає поточні показники до розрахованих цільових величин. Це дозволяє уникнути різких стрибків і забезпечує більш реалістичну динаміку змін, характерну для фізичних процесів. Додатково вводиться випадкова складова, яка імітує природні коливання середовища та підвищує достовірність моделі.

Логіка керування вікнами реалізована як адаптивний механізм, що реагує на зміну зовнішніх і внутрішніх умов. Система аналізує рівень освітленості та температуру у приміщенні й на основі цього визначає оптимальний рівень затемнення. При зростанні інтенсивності сонячного випромінювання або перевищенні комфортної температури автоматично зменшується прозорість скла, що обмежує надходження теплової енергії. Такий підхід дозволяє підтримувати стабільний мікроклімат без прямого втручання користувача.

Окрему роль відіграє підсистема представлення даних, яка забезпечує відображення поточного стану системи у зручному для сприйняття вигляді. Усі основні параметри подаються у вигляді числових значень із відповідним форматуванням, що включає округлення та додавання одиниць вимірювання. Паралельно реалізовано візуалізацію у вигляді графічної сцени, де зміни освітленості впливають на вигляд неба, положення світила та ступінь затемнення вікон. Така інтеграція числових і візуальних даних забезпечує інтуїтивне розуміння процесів, що відбуваються у системі.

Для аналізу динаміки змін реалізовано механізм накопичення історичних даних. У процесі роботи система періодично фіксує поточні значення параметрів і зберігає їх у внутрішній структурі. На основі цих даних формується табличне представлення, яке дозволяє переглядати попередні стани системи, а також графіки, що відображають зміну параметрів у часі. Такий підхід забезпечує можливість оцінки тенденцій, виявлення залежностей і аналізу ефективності роботи алгоритмів керування.

Взаємодія користувача із застосунком організована через систему подій, що забезпечує інтерактивне керування процесом симуляції. Користувач може змінювати положення джерела світла, запускати або зупиняти моделювання, керувати швидкістю перебігу процесів, а також ініціювати збереження або очищення даних. Усі дії користувача обробляються відповідними механізмами, які забезпечують узгодженість стану системи та коректне оновлення інтерфейсу.

Архітектурно реалізація поділяється на кілька логічних рівнів. Один рівень відповідає за формування та відображення інтерфейсу, інший за обробку даних і виконання розрахунків, а також окремо виділяється рівень керування станом системи. Обмін інформацією між цими рівнями здійснюється через визначені механізми взаємодії, що забезпечують ізоляцію компонентів і підвищують загальну надійність системи. Така організація дозволяє спростити розробку, тестування та подальше розширення функціональності.

Таким чином, програмна реалізація застосунку являє собою цілісну інтерактивну систему, яка поєднує математичне моделювання, адаптивні алгоритми керування та сучасні засоби візуалізації. Використання модульного підходу, ітерційних моделей зміни параметрів і механізмів накопичення даних забезпечує достовірність симуляції та зручність роботи користувача. Розроблена система може використовуватися як для демонстрації принципів функціонування “розумних вікон”, так і як основа для подальших досліджень у сфері енергоефективних технологій та керування мікрокліматом приміщень.

3.2.1 Основний модуль кіберфізичної системи

Основна логіка функціонування системи зосереджена у центральному модулі програмної частини застосунку, який забезпечує координацію всіх процесів моделювання та взаємодії між підсистемами. Після запуску програми створюється головне вікно застосунку, у межах якого ініціалізується графічний інтерфейс, підключаються необхідні модулі обробки даних та запускається механізм симуляції мікроклімату. На цьому етапі також виконується первинне формування внутрішнього стану системи, що включає початкові значення освітленості, температури, вологості та параметрів прозорості вікон.

Архітектура системи передбачає чіткий поділ на логічні компоненти, де окремо виділяється рівень керування станом моделі, рівень обчислювальної логіки та рівень візуалізації. Такий підхід дозволяє забезпечити незалежність обробки даних від їх відображення, що підвищує гнучкість і масштабованість системи. Передача інформації між компонентами здійснюється через спільний об’єкт стану, який містить усі ключові параметри середовища та оновлюється в режимі реального часу.

Формування початкових умов моделювання включає ініціалізацію параметрів зовнішнього середовища та внутрішнього мікроклімату. Зовнішні умови ви-

значаються рівнем освітленості, який змінюється відповідно до положення джерела світла, а також базовими температурними характеристиками. Внутрішні параметри задаються як початкові значення температури та вологості у приміщенні. Окремо ініціалізується стан вікон, що визначає їх початкову прозорість та коефіцієнт теплопередачі.

Обчислювальна підсистема реалізує послідовну модель оновлення параметрів середовища. У кожному циклі симуляції визначається нове положення джерела світла, на основі якого розраховується рівень освітленості. Далі формується ступінь затемнення вікон, що залежить як від зовнішніх умов, так і від внутрішньої температури. Отримані значення впливають на інтенсивність теплопередачі, яка, у свою чергу, визначає зміну температурного балансу всередині приміщення.

Важливим елементом реалізації є використання інерційної моделі оновлення параметрів. Замість миттєвої зміни значень застосовується поступове наближення поточних показників до цільових, що дозволяє відтворити більш реалістичну поведінку фізичних процесів. Додатково у модель вводиться випадкова складова, яка імітує природні коливання середовища та забезпечує відсутність детермінованої повторюваності результатів.

Логіка адаптивного керування вікнами побудована на аналізі взаємозв'язку між освітленістю та температурою. У разі підвищення інтенсивності сонячного випромінювання система автоматично збільшує рівень затемнення, зменшуючи проникнення теплової енергії всередину приміщення. При зниженні освітленості прозорість вікон поступово відновлюється, що дозволяє збільшити природне освітлення. Таким чином реалізується механізм динамічного балансування енергетичних потоків.

Підсистема відображення даних відповідає за візуалізацію поточного стану моделі. Усі параметри середовища представлені у вигляді числових значень, які регулярно оновлюються відповідно до змін у системі. Паралельно здій-

					КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

снюється графічне відображення сцени, де змінюється положення джерела світла, колір неба та рівень затемнення вікон. Це дозволяє користувачу інтуїтивно спостерігати вплив фізичних параметрів на загальний стан середовища.

Окремий функціональний блок відповідає за накопичення та збереження історичних даних моделювання. У процесі роботи системи періодично фіксуються значення ключових параметрів, які зберігаються у внутрішній структурі даних. На основі цих записів формується табличне представлення, що дозволяє аналізувати зміну стану системи у часі. Додатково реалізовано побудову графіків, які відображають динаміку температури, освітленості та вологості.

Інтерактивна складова системи забезпечує можливість користувацького керування процесом симуляції. Користувач може змінювати положення джерела світла, запускати або зупиняти автоматичне моделювання, а також ініціювати збереження поточного стану системи. Усі дії користувача безпосередньо впливають на стан моделі та миттєво відображаються в інтерфейсі.

Підсистема керування станом реалізує єдину точку контролю всіх параметрів системи. Вона забезпечує узгодженість даних між різними модулями та запобігає виникненню конфліктів при одночасному оновленні параметрів. Завдяки цьому підтримується стабільність роботи та коректність усіх розрахунків.

Візуалізаційний рівень відповідає за формування інтерфейсу користувача та його динамічне оновлення. Усі зміни стану системи миттєво відображаються у вигляді оновлення текстових показників, графічних елементів та сценічних об'єктів. Це забезпечує тісний зв'язок між математичною моделлю та її візуальним представленням.

Таким чином, програмна реалізація системи “розумних вікон” являє собою комплексну інтерактивну модель, що поєднує фізичне моделювання мікроклімату, адаптивні алгоритми керування прозорістю та засоби візуалізації даних. Використання модульної архітектури, інерційних методів обчислення та єдиного стану системи забезпечує високу стабільність роботи, гнучкість розширення функціоналу та наочність результатів симуляції.

3.2.2 Модуль запуску і ініціалізації системи

Рівень запуску та первинної ініціалізації настільного застосунку реалізовано у головному системному модулі, який відповідає за створення та керування графічним середовищем роботи системи “розумних вікон”. Його основною функцією є формування ізольованого desktop-вікна, у межах якого надалі виконується весь інтерфейс користувача, включаючи симуляцію мікроклімату, відображення параметрів середовища, побудову графіків та взаємодію з візуальною сценою.

На етапі запуску застосунку ініціалізується базова конфігурація графічного вікна, у якій визначаються його розміри, поведінка та режим виконання. Це дозволяє забезпечити стабільне відображення інтерфейсу незалежно від операційної системи та створює єдину уніфіковану оболонку для роботи всієї системи. Окремо задається режим ізоляції середовища виконання, який обмежує взаємодію візуальної частини із внутрішніми механізмами платформи, що підвищує загальний рівень безпеки та стабільності застосунку.

Після створення графічного контейнера виконується завантаження основного інтерфейсу системи, який містить усі функціональні елементи користувацької взаємодії. Саме тут розміщується візуальна модель “розумного” середовища, включаючи сцену з будинком, вікнами, джерелами освітлення та панелями відображення параметрів. Через цей інтерфейс користувач отримує доступ до керування симуляцією та спостереження за змінами мікроклімату в реальному часі.

Організація процесу запуску побудована таким чином, що вся система ініціалізується лише після повної готовності середовища виконання. Це гарантує коректне підключення всіх компонентів інтерфейсу та запобігає виникненню помилок, пов'язаних із неповним завантаженням ресурсів. Такий підхід забезпечує стабільну роботу застосунку з моменту його відкриття і до завершення сесії користувача.

					КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ	Арк. 42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатково реалізовано механізм контролю життєвого циклу застосунку, який відповідає за коректне завершення роботи системи. У випадку закриття всіх активних вікон виконується автоматичне завершення процесу, що дозволяє звільнити системні ресурси та уникнути фонові роботи застосунку. При цьому враховуються особливості різних операційних середовищ, що забезпечує однакову логіку поведінки на різних платформах.

Таким чином, даний модуль виконує критично важливу роль у структурі системи, оскільки забезпечує запуск, ініціалізацію та завершення роботи всього застосунку. Він формує базове середовище, на якому будується вся подальша взаємодія користувача з системою моделювання “розумних вікон”, забезпечуючи стабільність, ізоляцію та керованість процесу виконання.

3.2.3 Рівень основної логіки системи

Рівень реалізації основної логіки системи “розумних вікон” зосереджено у головному клієнтському модулі, який виконує функції керування всією симуляцією, обчислення параметрів мікроклімату, оновлення інтерфейсу та обробки взаємодії користувача. Саме цей модуль формує поведінку всієї системи в реальному часі та забезпечує зв'язок між візуальною частиною і математичною моделлю середовища.

На початковому етапі виконання здійснюється підключення елементів інтерфейсу сторінки, які відповідають за відображення ключових параметрів системи. Через ці елементи відбувається динамічне оновлення значень освітленості, температури, вологості, стану вікон та інших характеристик середовища. Таким чином формується двосторонній зв'язок між логікою обчислень і користувацьким інтерфейсом, що дозволяє відображати зміни системи в режимі реального часу.

Центральним елементом модуля є структура стану системи, у якій зберіга-

ються всі поточні параметри моделі. Вона включає положення джерела освітлення, рівень освітленості, внутрішню та зовнішню температуру, вологість повітря, рівень затемнення вікон, коефіцієнт теплопередачі, а також службові дані для керування симуляцією та збереження історії вимірювань. Такий підхід дозволяє централізовано керувати всіма змінними системи та забезпечує узгодженість їх зміни.

У межах модуля реалізовано набір допоміжних функцій, які забезпечують коректну роботу математичних та візуальних операцій. Вони відповідають за обмеження значень у допустимих межах, плавні переходи між станами, перетворення числових даних у зручний для відображення вигляд, а також за формування кольорових змін у інтерфейсі. Завдяки цьому забезпечується стабільність розрахунків і плавність візуальних змін у системі.

Окремий функціональний блок відповідає за моделювання руху джерела освітлення. У межах цього блоку визначається траєкторія руху сонця та місяця, яка представлена у вигляді дуги. Положення світила на цій траєкторії безпосередньо впливає на рівень освітленості, що є одним із ключових факторів усієї системи. Додатково реалізовано механізм інтерактивного керування, який дозволяє користувачу змінювати положення джерела освітлення вручну, що одразу відображається на стані всієї моделі.

Найбільш складною частиною модуля є блок симуляції мікроклімату, у межах якого виконується розрахунок усіх основних фізичних параметрів системи. Тут моделюється зміна зовнішньої та внутрішньої температури, рівень сонячного нагріву, вплив затемнення вікон на тепловий баланс, а також динаміка вологості повітря. Усі зміни відбуваються поступово, що дозволяє імітувати природну інерційність фізичних процесів у реальному середовищі.

На основі поточних параметрів системи визначається рівень затемнення вікон, який змінюється залежно від інтенсивності освітлення та температурних умов у приміщенні. Це дозволяє реалізувати адаптивну поведінку “розумного”

скла, яке автоматично реагує на зміну зовнішніх факторів. Паралельно розраховується коефіцієнт теплопередачі, що визначає кількість теплової енергії, яка може проникати через віконну систему.

Окремий функціональний рівень відповідає за оновлення інтерфейсу користувача. У межах цього блоку відбувається відображення актуальних значень параметрів, зміна візуального стану сцени, включаючи фон неба, положення джерел освітлення та зовнішній вигляд вікон. Також формується поточний стан системи, який відображає загальну оцінку умов середовища залежно від параметрів температури, вологості та освітленості.

Важливим компонентом є підсистема збору та збереження даних. Вона фіксує поточні значення параметрів у вигляді окремих вимірювань, які накопичуються у внутрішній структурі даних. Це дозволяє формувати історію змін стану системи та забезпечує подальший аналіз динаміки мікроклімату. Для обмеження навантаження реалізовано контроль обсягу збережених даних, що запобігає надмірному накопиченню інформації.

На основі збережених даних реалізовано побудову графічного представлення змін параметрів. Графіки відображають динаміку температури, освітленості та вологості, що дозволяє користувачу аналізувати поведінку системи у часі та оцінювати ефективність адаптивного керування вікнами.

Окрему увагу приділено обробці подій користувача. Модуль підтримує інтерактивне керування симуляцією, включаючи запуск, паузу, прискорений режим зміни дня і ночі, ручне збереження вимірювань та очищення історії даних. Усі ці дії безпосередньо впливають на стан системи та миттєво відображаються в інтерфейсі.

Додатково реалізовано механізм автоматичного оновлення симуляції через часові інтервали. Завдяки цьому система постійно виконує перерахунок параметрів і підтримує безперервний процес моделювання середовища без втручання користувача. Окремий режим прискореної симуляції дозволяє швидко демонструвати зміну дня і ночі та відповідну реакцію системи.

Таким чином, даний модуль є ключовим елементом програмної реалізації, оскільки саме він забезпечує повний цикл роботи системи: від моделювання фізичних процесів і керування станом середовища до оновлення інтерфейсу, збереження даних та побудови аналітичних графіків. Він поєднує математичну модель, логіку керування та візуалізацію в єдину інтерактивну систему “розумних вікон”.

3.3 Приклад роботи системи

Кіберфізична система “Розумні вікна” призначена для інтерактивного моделювання роботи системи розумних вікон, які автоматично змінюють ступінь затемнення залежно від параметрів навколишнього середовища. Основною метою програмного засобу є демонстрація принципів адаптивного керування світлопропусканням та дослідження впливу зовнішніх факторів на мікроклімат приміщення.

Реалізована система дозволяє у режимі реального часу спостерігати взаємозв'язок між такими фізичними параметрами, як освітленість, температура зовнішнього та внутрішнього середовища, вологість повітря, а також рівень прозорості скла. Завдяки цьому користувач отримує можливість не лише спостерігати за зміною стану системи, а й аналізувати причини цих змін та їх наслідки.

Після запуску застосунку користувач потрапляє до головного вікна системи, яке об'єднує кілька функціональних зон. Інтерфейс побудований таким чином, щоб одночасно відображати візуальну модель середовища, числові показники стану системи, елементи керування симуляцією та аналітичні інструменти у вигляді графіків. Така структура забезпечує комплексне сприйняття процесів, що відбуваються в системі.

Основною візуальною складовою є інтерактивна сцена, що моделює небо-схил із рухомими об'єктами сонця та місяця. Користувач може змінювати їх по-

ложення вручну, тим самим імітуючи зміну часу доби та рівня сонячної активності. Зміна положення світил безпосередньо впливає на рівень освітленості, який є одним із ключових параметрів системи. На основі цього параметра автоматично перераховуються всі залежні величини, включаючи температуру, ступінь затемнення вікон та інші характеристики мікроклімату.

Для керування процесом моделювання у системі передбачено набір інтерактивних елементів управління. Вони дозволяють користувачу змінювати режим роботи застосунку, зокрема запускати або зупиняти симуляцію, активувати прискорену зміну дня і ночі, вручну фіксувати поточний стан системи у вигляді вимірювання, а також очищати накопичені дані.

Наявність таких інструментів забезпечує гнучкість у дослідженні поведінки моделі, оскільки користувач може як спостерігати автоматичну роботу системи, так і цілеспрямовано змінювати умови для аналізу окремих сценаріїв. Це робить систему більш дослідницькою та придатною для навчальних цілей.

У цій же сцені відображається будівля з розумними вікнами, які динамічно змінюють свою прозорість відповідно до поточного стану системи. Це дозволяє візуально спостерігати роботу алгоритмів адаптивного затемнення, коли скло стає темнішим або світлішим залежно від умов навколишнього середовища. Таким чином реалізується наочна модель енергоефективної поведінки сучасних “розумних вікон”. Загальний вигляд інтерфейсу системи представлено на рисунку 3.1.

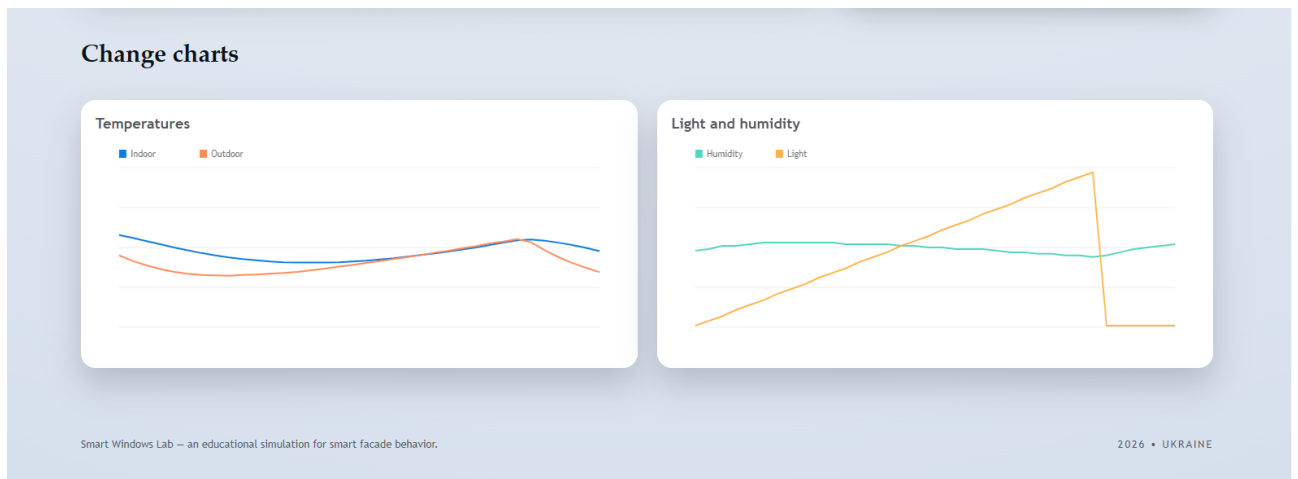


Рисунок 3.3 - Візуалізація змін параметрів середовища

У процесі роботи додаток може перебувати у кількох функціональних режимах, які відображають поточний стан середовища. У стандартних умовах система функціонує у стабільному режимі, який характеризується збалансованими значеннями основних параметрів.

При зниженні рівня освітленості система автоматично переходить у режим низької освітленості. У цьому стані змінюється візуальне оформлення сцени, зменшується яскравість сонця, активується місячне світло, а рівень затемнення вікон поступово зменшується відповідно до умов середовища.

У випадку перевищення допустимих значень температури або вологості активується режим підвищеного навантаження. У цьому режимі система реагує посиленням затемненням вікон, що дозволяє зменшити теплопередачу та стабілізувати внутрішній мікроклімат. Таким чином реалізується адаптивна реакція системи на критичні умови середовища.

3.4 Таблиці із результатами

Метою експериментальної перевірки є підтвердження працездатності програмної моделі кіберфізичної системи “Розумні вікна”, зокрема алгоритмів автоматичного регулювання ступеня затемнення розумних вікон, модуля моделю-

вання змін освітленості, температури та вологості, а також підсистеми візуалізації мікрокліматичних параметрів у режимі реального часу.

Окрему увагу приділено перевірці коректності функціонування механізмів, що забезпечують взаємозв'язок між параметрами зовнішнього середовища та внутрішнім станом приміщення. До таких механізмів належать алгоритми визначення рівня освітленості, автоматичний розрахунок ступеня затемнення вікон, обчислення коефіцієнта теплопередачі, а також логіка адаптивної зміни стану системи залежно від поточних умов експлуатації.

Для забезпечення об'єктивності дослідження тестування проводилося за різних сценаріїв моделювання навколишнього середовища. У процесі перевірки змінювалися положення сонця та місяця на небосхилі, рівень освітленості, температура зовнішнього середовища, а також вологість повітря. Це дозволило оцінити поведінку системи як у стабільних умовах, так і при різких коливаннях параметрів, що моделюють реальні добові цикли та зміну погодних умов.

Додатково перевірялася робота системи в різних режимах функціонування, включаючи стабільний режим, режим низької освітленості та режим підвищеного навантаження. Такий підхід дозволяє оцінити правильність роботи алгоритмів автоматичного керування та визначити ефективність адаптивної реакції системи на зміну параметрів середовища.

У межах експериментального дослідження було сформовано набір таблиць, які відображають результати роботи кіберфізичної системи та дозволяють виконувати подальший аналіз її функціонування. Дані таблиці використовуються як для моніторингу поточного стану моделі, так і для аналізу динаміки змін параметрів у часі.

1) Таблиця поточних параметрів системи

Таблиця поточних параметрів є одним із ключових елементів моніторингу кіберфізичної системи "Розумні вікна". Вона призначена для відображення актуальних значень фізичних параметрів середовища, які безперервно оновлюються під час роботи симуляції. Фактично дана таблиця виконує роль інформаційної

панелі стану системи, що дозволяє користувачу в режимі реального часу спостерігати за зміною характеристик мікроклімату приміщення.

Основним призначенням таблиці є забезпечення швидкого доступу до поточних параметрів середовища без необхідності аналізу історичних записів або графічних залежностей. Завдяки цьому користувач може миттєво оцінити реакцію системи на зміну умов навколишнього середовища та визначити, як саме система адаптує прозорість вікон для підтримання комфортного мікроклімату.

Таблиця 3.1 Результати автоматичного сканування конфігурації ПК

Час	Освітленість	Т внутр (°C)	Т зовн (°C)	Вологість (%)	Затемнення	Теплопередача
10:00	0.82	24.1	17.5	45	0.40	0.52
10:01	0.79	24.3	17.6	46	0.41	0.51
10:02	0.76	24.5	17.7	46	0.43	0.49

Аналіз наведених результатів показує, що при поступовому зростанні внутрішньої температури система автоматично збільшує рівень затемнення вікон. У результаті цього коефіцієнт теплопередачі зменшується, що демонструє роботу механізму адаптивного регулювання мікроклімату.

Таким чином, дана таблиця дозволяє оцінити швидкість реакції системи на зміну умов середовища та підтверджує коректність роботи алгоритмів автоматичного керування прозорістю вікон.

2) Таблиця історії вимірювань

Таблиця історії вимірювань використовується для довготривалого накопичення результатів симуляції та є основним інструментом аналізу поведінки системи в динаміці. На відміну від таблиці поточних параметрів, яка показує лише актуальний стан, дана таблиця дозволяє відстежувати зміну характеристик системи протягом певного проміжку часу.

Основним призначенням таблиці є формування повної історії змін параметрів середовища. Це дозволяє досліджувати процес адаптації системи до змін освітленості, температури та вологості, а також аналізувати стабільність роботи алгоритмів автоматичного регулювання.

Таблиця 3.2 Результати історії вимірювань

ID	Час	Освітленість	Т внутр	Вологість	Режим
1	09:00	0.65	22.9	48	Stable
2	09:10	0.72	23.4	47	Stable
3	09:20	0.18	21.5	52	Night mode
4	09:30	0.91	25.8	44	Elevated load

Результати таблиці демонструють, що при низькому рівні освітленості система автоматично переходить у режим нічного функціонування, що характеризується мінімальною активністю регулюючих механізмів та підтриманням базових параметрів роботи. У таких умовах основний акцент роботи алгоритму зміщується на енергозбереження та стабілізацію внутрішнього середовища без активного затемнення скла. Навпаки, при підвищенні рівня освітленості та зростанні температури навколишнього середовища система переходить у режим підвищеного навантаження, що передбачає більш інтенсивне регулювання ступеня затемнення розумних вікон.

Даний перехід між режимами відбувається автоматично на основі закладених порогових значень сенсорних даних, що підтверджує коректність реалізації логіки визначення станів системи. Також спостерігається стабільна реакція системи на зміну вхідних параметрів без затримок або некоректних переходів між режимами, що свідчить про правильну роботу алгоритмів обробки даних з датчиків.

Окрім цього, представлена таблиця дозволяє здійснювати детальний порівняльний аналіз різних часових інтервалів роботи системи, виявляти закономірності зміни параметрів освітленості та температури, а також оцінювати ефективність застосованих алгоритмів керування розумними вікнами в різних умовах експлуатації.

3) Таблиця станів системи

Таблиця станів системи використовується для формалізованого опису логіки функціонування кіберфізичної системи “Розумні вікна” у різних умовах навколишнього середовища. Вона демонструє, яким чином система реагує на зміну параметрів та які дії виконує автоматично для підтримання оптимального мікроклімату.

Основним призначенням таблиці є демонстрація поведінкової моделі системи. Вона дозволяє наочно показати, як зміна освітленості, температури та вологості впливає на вибір режиму роботи та рівень затемнення вікон.

Таблиця 3.3. Результати температурних станів

Умова	Освітленість	Температура	Вологість	Стан	Реакція
Норма	0.6	23°C	45%	Stable	Без змін
Ніч	0.1	21°C	50%	Night mode	Мінімальне затемнення
Спека	0.9	28°C	40%	Elevated load	Максимальне затемнення

Результати таблиці демонструють, що при низькому рівні освітленості система автоматично переходить у режим нічного функціонування, що характеризується мінімальною активністю регулюючих механізмів та підтриманням базових параметрів роботи. У таких умовах основний акцент роботи алгоритму зміщується на енергозбереження та стабілізацію внутрішнього середовища без активного затемнення скла. Навпаки, при підвищенні рівня освітленості та зростанні температури навколишнього середовища система переходить у режим підвищеного навантаження, що передбачає більш інтенсивне регулювання ступеня затемнення розумних вікон.

Даний перехід між режимами відбувається автоматично на основі закладених порогових значень сенсорних даних, що підтверджує коректність реалізації логіки визначення станів системи. Також спостерігається стабільна реакція системи на зміну вхідних параметрів без затримок або некоректних переходів між

режимами, що свідчить про правильну роботу алгоритмів обробки даних з датчиків.

Окрім цього, представлена таблиця дозволяє здійснювати детальний порівняльний аналіз різних часових інтервалів роботи системи, виявляти закономірності зміни параметрів освітленості та температури, а також оцінювати ефективність застосованих алгоритмів керування розумними вікнами в різних умовах експлуатації.

4) Таблиця порівняння зовнішніх і внутрішніх умов

Таблиця порівняння зовнішніх і внутрішніх умов використовується для аналізу впливу навколишнього середовища на мікроклімат приміщення. Її головним призначенням є оцінка ефективності роботи розумних вікон з точки зору підтримання комфортних температурних умов та зменшення теплових втрат.

Таблиця дозволяє визначити ступінь впливу зовнішніх факторів на внутрішній стан приміщення та оцінити ефективність автоматичного регулювання прозорості скла.

Таблиця 3.3 Результати порівняння зовнішніх і внутрішніх умов

Час	Освітленість	Т зовн	Т внутр	ΔТ	Вплив вікон
Ранок	0.55	16°C	21°C	5°C	Середній
День	0.90	20°C	26°C	6°C	Високий
Вечір	0.40	18°C	22°C	4°C	Низький

Отримані результати демонструють, що найбільший вплив системи розумних вікон спостерігається у денний період при високих значеннях освітленості та підвищеній температурі навколишнього середовища. Саме в цей часовий інтервал система проявляє максимальну активність у зміні ступеня затемнення скла, оперативно реагуючи на зовнішні умови з метою оптимізації мікроклімату приміщення.

Регулювання прозорості скла дозволяє суттєво зменшити надходження

надлишкової сонячної енергії, що, у свою чергу, сприяє зниженню ризику перегріву внутрішнього простору. Одночасно система забезпечує більш стабільний температурний режим, зменшуючи коливання температури протягом дня та підвищуючи комфорт перебування у приміщенні.

Таким чином, наведена таблиця підтверджує ефективність роботи розроблених алгоритмів автоматичного керування, а також їх здатність адаптуватися до змін зовнішніх умов у реальному часі. Це свідчить про доцільність використання подібних систем у задачах енергоефективного управління будівлями та створення комфортного внутрішнього середовища.

3.5 Висновок до третього розділу

У третьому розділі дипломної роботи було детально розглянуто практичну реалізацію кіберфізичної системи “Розумні вікна”, призначеної для моделювання процесів адаптивного керування світлопропусканням вікон залежно від параметрів зовнішнього та внутрішнього середовища. Основною метою даного етапу роботи було створення програмно-апаратного прототипу системи, який дозволяє імітувати зміну параметрів мікроклімату приміщення, аналізувати вплив освітленості на теплові процеси та демонструвати принцип роботи інтелектуальних віконних систем у реальному часі.

На початковому етапі було сформовано загальну структуру кіберфізичної системи та визначено взаємозв'язок між її основними компонентами. Було встановлено, що система складається з фізичного рівня, до якого належать датчики освітленості, температури та вологості, рівня обробки даних на базі мікроконтролера Arduino UNO, програмного рівня моделювання та користувацького інтерфейсу. Такий підхід дозволив реалізувати комплексну структуру, у межах якої фізичні параметри середовища перетворюються у цифрові дані, обробляються програмною частиною та використовуються для керування станом розумних вікон.

У межах розділу було детально описано архітектуру програмної частини системи. Встановлено, що програмне забезпечення реалізовано у вигляді настільного застосунку на базі Electron, що забезпечує поєднання вебтехнологій із можливістю локального виконання програмного коду. Було розглянуто структуру проєкту, функціональне призначення основних модулів та особливості їх взаємодії. Зокрема, файл `index.js` забезпечує запуск застосунку та створення головного вікна системи, HTML-структура відповідає за формування інтерфейсу користувача, CSS-файли реалізують стилізацію та візуальне оформлення, а основний файл `main.js` виконує функції моделювання параметрів середовища, обробки даних та оновлення інтерфейсу.

Особливу увагу було приділено реалізації алгоритмів моделювання мікроклімату приміщення. Було встановлено, що система здійснює динамічний розрахунок рівня освітленості залежно від положення сонця або місяця на умовній траєкторії небосхилу. На основі отриманих значень виконується автоматичне визначення ступеня затемнення вікон, коефіцієнта теплопередачі та прогнозованої температури всередині приміщення. Реалізований підхід дозволяє моделювати адаптивну поведінку системи, за якої зміна зовнішніх умов автоматично впливає на внутрішній стан приміщення.

У процесі дослідження було розглянуто механізм інтерактивної сцени, яка є ключовим елементом візуальної частини системи. Сцена моделює небосхил із рухом сонця та місяця, а також відображає будинок із розумними вікнами. Було визначено, що користувач може безпосередньо взаємодіяти із моделлю, змінюючи положення світила та спостерігаючи за зміною освітленості, температури та прозорості скла. Така реалізація забезпечує наочність роботи системи та дозволяє демонструвати принцип функціонування розумних вікон у різних умовах експлуатації.

Додатково було проаналізовано механізми візуалізації параметрів середовища. У системі реалізовано набір інформаційних карток, які в режимі реального

часу відображають поточний рівень освітленості, температуру всередині приміщення, температуру зовнішнього середовища, рівень вологості, коефіцієнт прозорості скла та коефіцієнт теплопередачі. Було встановлено, що постійне оновлення цих показників дозволяє користувачу контролювати стан системи та оцінювати вплив зовнішніх факторів на мікроклімат приміщення.

У межах третього розділу також було досліджено механізм інтерактивного керування системою. Реалізовані елементи керування дозволяють запускати та призупиняти симуляцію, активувати прискорений режим зміни дня і ночі, виконувати ручне збереження поточних вимірювань та очищати накопичені дані. Було встановлено, що така організація керування забезпечує гнучкість проведення експериментів та дозволяє моделювати різні сценарії функціонування кіберфізичної системи.

Окрему увагу приділено реалізації підсистеми накопичення та збереження результатів моделювання. Було визначено, що система автоматично формує таблицю вимірювань, у якій зберігаються часові мітки та значення основних параметрів середовища. Такий підхід дозволяє накопичувати історію змін стану системи, виконувати порівняння результатів у різні проміжки часу та проводити подальший аналіз поведінки моделі.

Крім того, у межах розділу було реалізовано механізм графічного аналізу даних. Система будує графіки зміни температури, вологості та освітленості, що дозволяє наочно відображати динаміку процесів та виявляти взаємозв'язки між окремими параметрами. Було встановлено, що графічне представлення інформації значно спрощує аналіз роботи системи та підвищує наочність результатів моделювання.

Також було розглянуто механізм автоматичного визначення режимів роботи системи. Встановлено, що програмний засіб може функціонувати у режимі стабільної роботи, режимі низької освітленості та режимі підвищеного навантаження. Перехід між цими режимами здійснюється автоматично залежно від поточних значень температури, вологості та освітленості. Це демонструє здатність

системи адаптуватися до змін зовнішніх умов та автоматично змінювати поведінку розумних вікон.

У ході виконання третього розділу також було сформовано набір структурних схем, таблиць та ілюстративних матеріалів, що демонструють будову кіберфізичної системи, логіку обробки даних та принцип взаємодії між її компонентами. Було підготовлено структурну схему системи, схему підключення апаратних компонентів, приклади таблиць вимірювань, а також графіки зміни параметрів середовища.

У результаті виконання третього розділу було створено та досліджено повноцінний програмно-апаратний прототип кіберфізичної системи “Розумні вікна”, який поєднує механізми збору даних, моделювання фізичних процесів, адаптивного керування, аналітичної обробки та візуалізації результатів. Отримані результати підтвердили працездатність розробленої системи, коректність реалізованих алгоритмів та можливість подальшого розвитку проєкту у напрямку інтеграції з реальними сенсорними модулями, системами автоматизації будівель та технологіями енергоефективного керування мікрокліматом приміщень.

					КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ	Арк. 59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи було розроблено та реалізовано кіберфізичну систему “Розумні вікна”, яка призначена для інтерактивного моделювання роботи системи розумних вікон та дослідження впливу параметрів навколишнього середовища на мікроклімат приміщення. Основною метою проєкту було створення симуляційної системи, яка дозволяє візуально та аналітично відображати взаємозв’язок між освітленістю, температурою, вологістю та ступенем затемнення скла, а також демонструвати принципи адаптивного керування енергетичними процесами в будівельних системах.

На першому етапі роботи було проведено аналіз предметної області, зокрема розглянуто принципи функціонування сучасних систем “розумного будинку” та технологій енергоефективного скління. Було визначено основні фізичні параметри, які впливають на формування мікроклімату приміщення, а також сформовано вимоги до програмної моделі, яка повинна забезпечувати їх коректну симуляцію в режимі реального часу з урахуванням динаміки зовнішніх умов.

Далі було розроблено архітектуру програмного засобу, що складається з трьох основних рівнів: середовища запуску desktop-додатка, інтерфейсної частини та модуля симуляції фізичних процесів. Було реалізовано запуск застосунку на основі Electron, що дозволило створити кросплатформену desktop-систему з веб-інтерфейсом, який функціонує у ізольованому середовищі з обмеженим доступом до системних ресурсів, що підвищує стабільність та безпеку застосунку.

Інтерфейсна частина системи була розроблена таким чином, щоб забезпечити одночасне відображення візуальної моделі середовища та числових параметрів стану системи. Було створено інтерактивну сцену, яка імітує небосхил із рухом сонця та місяця, що безпосередньо впливає на рівень освітленості в моделі. Також реалізовано візуалізацію будівлі з розумними вікнами, які змінюють ступінь затемнення відповідно до розрахованих значень, що дозволяє наочно спостерігати реакцію системи на зміну зовнішніх умов.

					КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У процесі розробки було створено основний модуль симуляції, який виконує математичне моделювання зміни параметрів середовища. Він відповідає за розрахунок освітленості залежно від положення джерела світла, моделювання внутрішньої та зовнішньої температури, рівня вологості, а також коефіцієнта теплопередачі через скління. Окремо реалізовано алгоритм адаптивної зміни прозорості вікон, який реагує на зміну зовнішніх умов та забезпечує баланс між рівнем природного освітлення і тепловими втратами приміщення.

Також було розроблено систему збору та збереження даних, яка фіксує результати симуляції у вигляді структурованих таблиць вимірювань. Це дозволяє відстежувати історію зміни параметрів, виконувати їх порівняльний аналіз та досліджувати поведінку системи в різних часових інтервалах. Додатково реалізовано побудову графіків, що візуалізують динаміку основних показників, зокрема температури, освітленості та вологості, що підвищує наочність отриманих результатів.

Важливою частиною роботи стала реалізація механізмів керування симуляцією. Користувач отримав можливість запускати та призупиняти процес моделювання, активувати прискорений цикл зміни дня і ночі, зберігати поточні вимірювання та очищати накопичені дані. Це забезпечує гнучкість у проведенні експериментів та дозволяє досліджувати різні сценарії роботи системи в контрольованих умовах.

Окремо було реалізовано систему режимів роботи, яка автоматично змінює стан системи залежно від умов середовища. У нормальних умовах система перебуває у стабільному режимі, при зниженні рівня освітленості переходить у нічний режим, а при перевищенні допустимих значень температури або вологості активується режим підвищеного навантаження, що забезпечує більш інтенсивну реакцію алгоритмів керування.

У межах проєкту також було розроблено систему журналювання та збереження подій симуляції, що дозволяє контролювати процеси роботи системи та

аналізувати її поведінку на різних етапах функціонування. Це підвищує прозорість роботи алгоритмів і створює основу для подальшого вдосконалення моделі та розширення функціональності.

Додатково в процесі виконання роботи було проведено тестування розробленої системи в різних сценаріях зовнішніх умов, що дозволило оцінити її поведінку при зміні ключових параметрів середовища. Зокрема, моделювалися умови з різким підвищенням освітленості, добові цикли зміни дня і ночі, а також варіації температурних показників. Отримані результати показали стабільну роботу алгоритмів без збоїв та коректне реагування системи на всі задані діапазони вхідних даних.

Також було проведено оцінювання точності та адекватності математичної моделі, яка використовується для симуляції фізичних процесів. Порівняння результатів моделювання з очікуваними поведінковими залежностями показало, що система коректно відтворює основні закономірності зміни освітленості, температури та впливу цих факторів на ступінь затемнення скла. Це свідчить про достатній рівень достовірності моделі для навчальних та дослідницьких цілей.

У результаті виконання дипломної роботи було створено повнофункціональний програмний засіб, який поєднує в собі елементи фізичного моделювання, візуалізації даних та інтерактивного керування. Отримані результати підтверджують правильність обраних архітектурних рішень та ефективність реалізованих алгоритмів керування. Розроблений програмний засіб може бути використаний як навчальна модель для вивчення принципів енергоефективних систем, а також як базова платформа для подальшого розвитку більш складних інтелектуальних систем керування будівлями.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. W3C. HTML5 Specification. URL: <https://html.spec.whatwg.org/> (дата звернення: 25.02.2026)
2. W3C. CSS Specification. URL: <https://www.w3.org/Style/CSS/> (дата звернення: 27.02.2026)
3. Gubbi J., Buyya R., Marusic S., Palaniswami M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions / Future Generation Computer Systems, 2013. URL: <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010> (дата звернення: 01.03.2026)
4. Zanella A., Bui N., Castellani A., Vangelista L., Zorzi M. Internet of Things for Smart Cities. *IEEE Internet of Things Journal*, 2014. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6740844> (дата звернення: 03.03.2026)
5. Al-Fuqaha A., Guizani M., Mohammadi M., Aledhari M., Auyash M. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies. *IEEE Communications Surveys*, 2015. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7113786> (дата звернення: 05.03.2026)
6. Rajkumar R., Lee I., Sha L., Stankovic J. Cyber-Physical Systems: The Next Computing Revolution / ACM, 2010. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1837274.1837461> (дата звернення: 06.03.2026)
7. Arduino Documentation. Sensors and Actuators / Arduino, 2024. URL: <https://docs.arduino.cc/> (дата звернення: 06.03.2026)
8. Raspberry Pi Foundation. Raspberry Pi Documentation / 2024. URL: <https://www.raspberrypi.com/documentation/> (дата звернення: 08.03.2026)
9. DHT11/DHT22 Temperature and Humidity Sensor Datasheet / Aosong Electronics. URL: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/DHT22.pdf> (дата звернення: 10.03.2026)
10. Bosch Sensortec. BME280 Environmental Sensor Datasheet / 2023. URL: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/> (дата звернення: 11.03.2026)

					КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. OpenWeatherMap API Documentation / 2025. URL: <https://openweathermap.org/api> (дата звернення: 13.03.2026)
12. Open Systems Interconnection Model (OSI) / ISO. URL: <https://www.iso.org/standard/20269.html> (дата звернення: 14.03.2026)
13. NIST. Cyber-Physical Systems Framework / National Institute of Standards and Technology, 2018. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.1500-201.pdf> (дата звернення: 16.03.2026)
14. NIST. IoT Device Cybersecurity Guidance / 2020. URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2020/NIST.IR.8259.pdf> (дата звернення: 18.03.2026)
15. ESP8266 Documentation / Espressif Systems. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp8266-rtos-sdk/en/latest/> (дата звернення: 19.03.2026)
16. ESP32 Documentation / Espressif Systems. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/> (дата звернення: 20.03.2026)
17. JSON Format Specification / ECMA. URL: <https://www.json.org/json-en.html> (дата звернення: 22.03.2026)
18. Беценко Н. О. Інтеграція інтернету речей (IoT) в розумний будинок за допомогою C++ : матеріали конференції / НУХТ, 2024. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/45400> (дата звернення: 23.03.2026)
19. Хижняк О. П. Удосконалення архітектури системи «розумний будинок», побудованої на основі IoT : бакалаврська робота / КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42161> (дата звернення: 26.03.2026)
20. Крачковський Р. А. Система моніторингу енерговитрат у кіберфізичній системі «Розумний будинок» : кваліфікаційна робота / Хмельницький національний університет, 2025. URL: <https://elar.khmnpu.edu.ua/handle/123456789/18652> (дата звернення: 29.03.2026)
21. Розводюк М. П. «Розумний будинок» на основі платформи Arduino :

					КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ	Арк. 64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наукова робота / ВНТУ, 2020. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/28827> (дата звернення: 01.04.2026)

22. Сбітнєв О. Ю. Проектування і розробка мережі IoT теплозабезпечення об'єкта «Розумний будинок» : дипломна робота / ОНУ ім. Мечникова, 2020. URL: <https://dspace.onu.edu.ua/handle/123456789/28918> (дата звернення: 03.04.2026)

23. Мельник Є. С. Розробка серверного модулю системи «розумний дім» : дипломна робота / ВНТУ, 2017. URL: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/24353> (дата звернення: 05.04.2026)

24. Карнаух І. О. Розробка мікроконтролерної IoT системи «Розумний будинок» : кваліфікаційна робота / ДБТУ, 2023. URL: <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/36172> (дата звернення: 06.04.2026)

25. Додон Д. Ю. Розумний будинок – ефективна технологія безпечного життя : наукова робота / ВНТУ, 2024. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/42273> (дата звернення: 09.04.2026)

26. Іванов В. С. Побудова елементів системи «Розумний будинок» : кваліфікаційна робота бакалавра / Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова, 2024. URL: <https://dspace.onu.edu.ua/handle/123456789/40076> (дата звернення: 11.04.2026)

27. Ємельянов Г. С. Інтелектуальний контролер системи управління «Розумний будинок» : дипломна робота магістра / Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова, 2018. URL: <https://dspace.onu.edu.ua/handle/123456789/27838> (дата звернення: 13.04.2026)

28. Робакідзе К. І. Розробка комунікаційної складової системи «Розумний будинок» : дипломна робота бакалавра / Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова, 2020. URL: <https://dspace.onu.edu.ua/handle/123456789/28734> (дата звернення: 16.04.2026)

29. Кисюк Д. В., Завацький Я. О. Особливості побудови системи «Smart Home» з використанням технологій IoT / Вінницький національний технічний

					КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ	Арк. 65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

університет, 2024. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/47116> (дата звернення: 17.04.2026)

30. Дідківський О. О. Підвищення енергоефективності приміщень цивільних будівель шляхом розробки інтелектуальної системи керування «розумний будинок» : кваліфікаційна робота магістра / НУХТ, 2021. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/35737> (дата звернення: 19.04.2026)

31. Пальонний О. О. Дослідження та програмна реалізація системи управління розумним будинком з впровадженням системи захисту від кібератак : кваліфікаційна робота / Центральноукраїнський національний технічний університет, 2025. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/19192> (дата звернення: 24.04.2026)

32. Мірута М. Ю. Алгоритм нечіткого управління «розумним» будинком : кваліфікаційна робота / ЗУНУ, 2024. URL: <http://dspace.wunu.edu.ua/handle/316497/53373> (дата звернення: 26.04.2026)

33. WHATWG. HTML Standard / 2025. URL: <https://html.spec.whatwg.org/> (дата звернення: 28.04.2026)

34. U.S. Department of Energy. Energy Efficient Window Attachments. URL: <https://www.energy.gov/energysaver/energy-efficient-window-attachments> (дата звернення: 29.04.2026)

35. Siemens. Smart Buildings and Building Automation Systems. URL: <https://www.siemens.com/global/en/products/buildings.html> (дата звернення: 30.04.2026)

36. Electron Documentation. Electron Architecture and Security Guidelines. URL: <https://www.electronjs.org/docs/latest> (дата звернення: 01.05.2026)

37. Мельник А. О. Багаторівнева базова платформа кіберфізичних систем / Наукові праці Національного університету «Львівська політехніка», 2015. URL: <https://ena.lpnu.ua/items/037d3c70-b02c-4925-8b90-f8a223bbf448> (дата звернення: 03.05.2026)

					КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ	Арк. 66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

38. Мінін І. Б. Розробка технології для оптимізації енергоспоживання в розумних будинках методами Data Science : кваліфікаційна робота магістра / Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2025. URL: <https://ir.library.knu.ua/handle/15071834/6658> (дата звернення: 04.05.2026)

39. Ширшова К. С. Методи проектування системи «розумний будинок» з підтримкою енергоефективності : кваліфікаційна робота магістра / Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2022. URL: <https://ir.library.knu.ua/handle/123456789/3744> (дата звернення: 06.05.2026)

40. MDN Web Docs. CSS: Cascading Style Sheets. URL: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/CSS> (дата звернення: 07.05.2026)

41. W3C. CSS Snapshot 2025. URL: <https://www.w3.org/TR/css/> (дата звернення: 08.05.2026)

42. MDN Web Docs. CSS Layout (Flexbox, Grid). URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/CSS/CSS_layout (дата звернення: 09.05.2026)

43. Node.js Foundation. About Node.js Architecture. URL: <https://nodejs.org/en/about> (дата звернення: 10.05.2026)

44. MDN Web Docs. Introduction to Node.js. URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/Server-side/Node_server_without_framework (дата звернення: 11.05.2026)

45. Lee J., Bagheri B., Kao H.-A. Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221384631400025X> (дата звернення: 12.05.2026)

46. U.S. Green Building Council. LEED Standards. URL: <https://www.usgbc.org/leed> (дата звернення: 14.05.2026)

47. Aosong Electronics. DHT22 (AM2302) Digital Temperature & Humidity Sensor Datasheet. URL: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/DHT22.pdf> (дата звернення: 15.05.2026)

					КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ	Арк. 67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

48. TowerPro SG90 Micro Servo Datasheet. URL:
https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/SG90%20Servo%20Motor%20Datasheet.pdf (дата звернення: 16.05.2026)

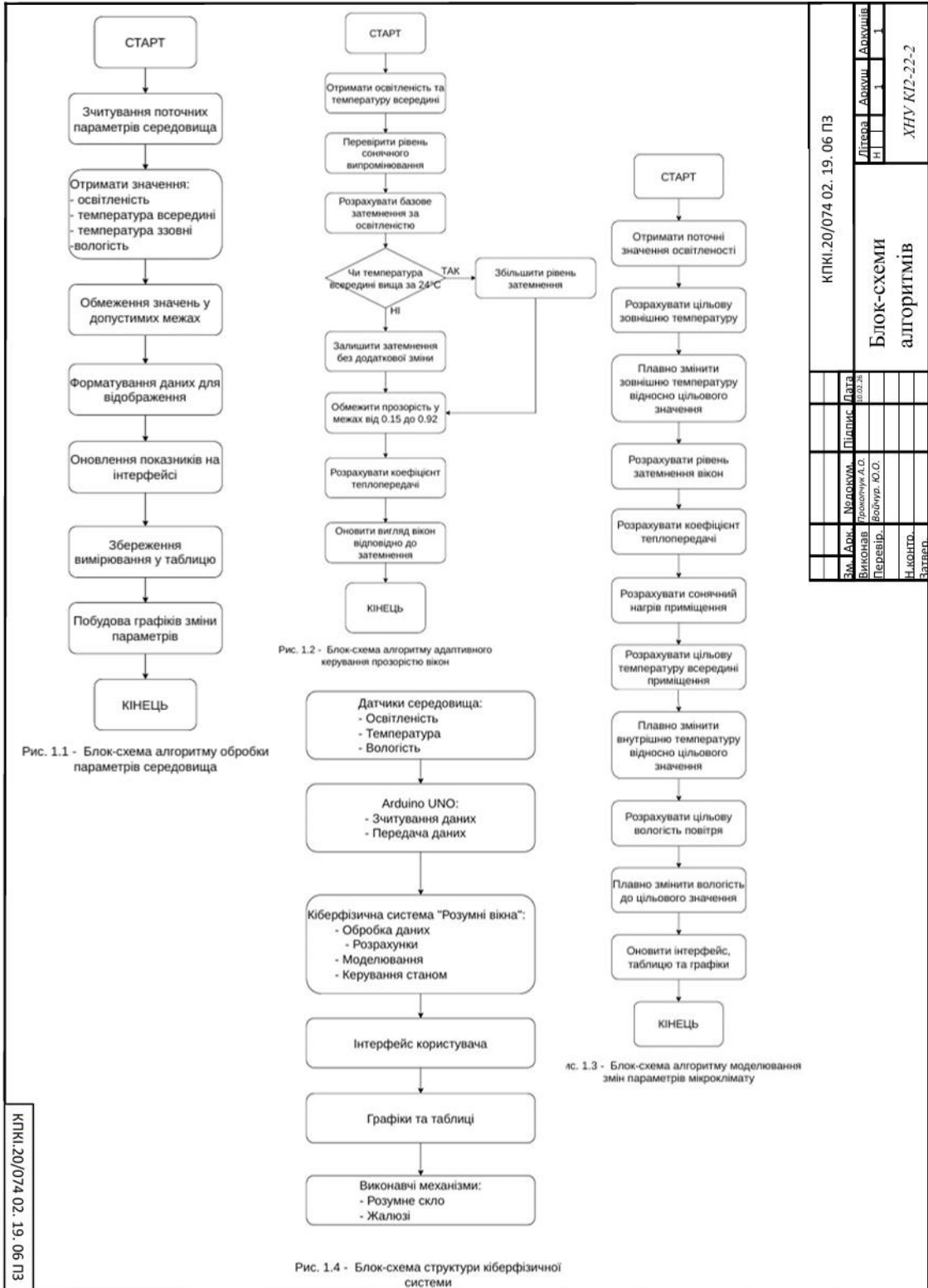
49. Arduino. Arduino Uno Rev3 Official Documentation. URL:
<https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3> (дата звернення: 17.05.2026)

					КВРКІ 220074.22.02.06 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

ДОДАТОК А

(обов'язковий)

Блок схеми алгоритмів



КПКІ.20/074.02.19.06.ПЗ		Літера	Аркуш	Архівів
		Н	1	1
		БЛОК-СХЕМИ алгоритмів		
Зм.	Лист	Місяць	Рік	Всього
Виконав	Перевір.	Володимир КОЛОДЯ	Трохимчук А.О.	
Н.контр.	Батарея			

КПКІ.20/074.02.19.06.ПЗ

ДОДАТОК Б

(обов'язковий)

Тестування застосунку

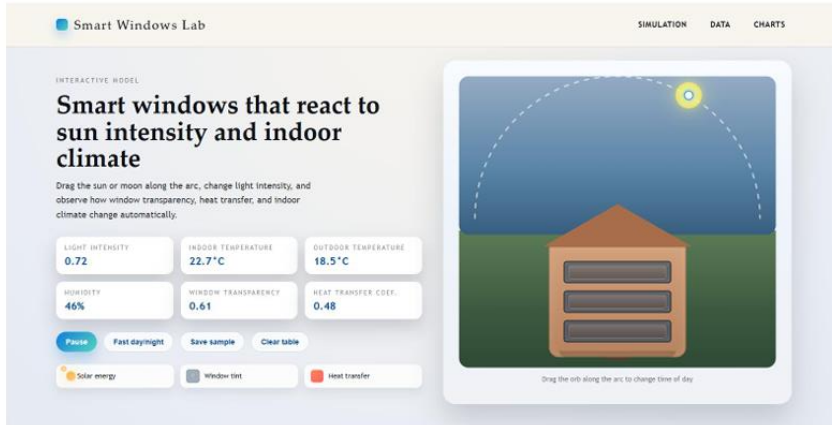


Рисунок 3.1 - Загальний вигляд програми

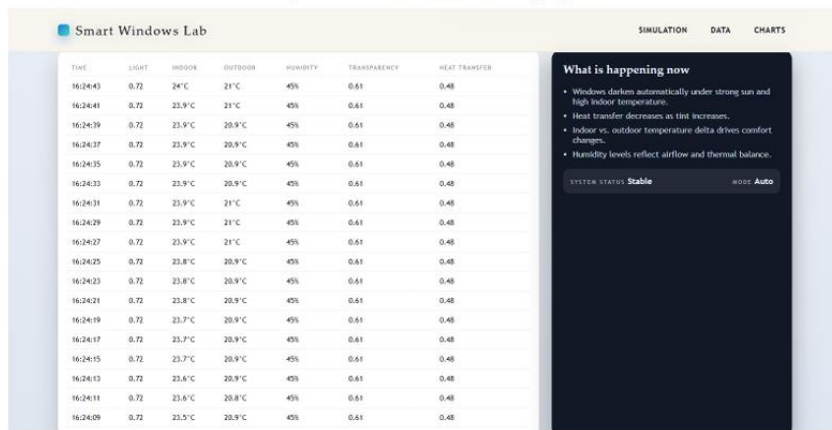


Рисунок 3.2 - Частина системи із числовими показниками

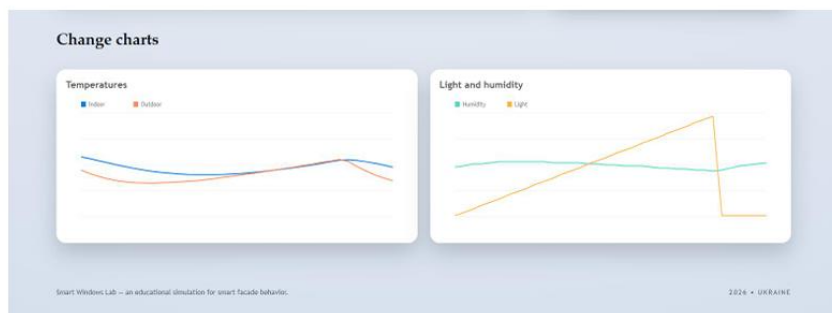


Рисунок 3.3 - Частина системи із графіками

КПКІ.20/074 02. 19. 06 ПЗ		Пітера	Адквіш	Адквіш	1
Тестування		Н	Н	Н	1
СИСТЕМИ		XHV K12-22-2			
Зм. Дарк	Недоким	Піпис	Дата	10.02.26	
Виконав	Трохимук А.О.				
Перевірд	Войчир І.О.				
Н.контр.	Батен				

КПКІ.20/074 02. 19. 06 ПЗ

ДОДАТОК Г

(обов'язковий)

Код головного файлу

Index.html :

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
  <head>
    <meta charset="UTF-8">
    <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-
scale=1.0">
    <title>Smart Windows Lab</title>
    <link rel="stylesheet" href="./CSS/style.css">
  </head>
  <body>
    <header class="topbar">
      <div class="brand">
        <span class="brand-mark"></span>
        Smart Windows Lab
      </div>
      <nav class="topnav">
        <a href="#simulation">Simulation</a>
        <a href="#data">Data</a>
        <a href="#analytics">Charts</a>
      </nav>
    </header>

    <main>
      <section class="hero" id="simulation">
        <div class="hero-left">
          <p class="eyebrow">Interactive model</p>
          <h1>Smart windows that react to sun intensity and indoor
climate</h1>
          <p class="lead">
            Drag the sun or moon along the arc, change light intensity,
and observe how
            window transparency, heat transfer, and indoor climate
change automatically.
          </p>

          <div class="stats">
            <div class="stat-card">
              <span class="stat-label">Light intensity</span>
              <strong id="lightValue">0.72</strong>
            </div>
            <div class="stat-card">
              <span class="stat-label">Indoor temperature</span>
              <strong id="insideTempValue">23.4°C</strong>
            </div>
          </div>
        </div>
      </section>
    </main>
  </body>
</html>
```

```

<div class="stat-card">
  <span class="stat-label">Outdoor temperature</span>
  <strong id="outsideTempValue">16.8°C</strong>
</div>
<div class="stat-card">
  <span class="stat-label">Humidity</span>
  <strong id="humidityValue">46%</strong>
</div>
<div class="stat-card">
  <span class="stat-label">Window transparency</span>
  <strong id="tintValue">0.38</strong>
</div>
<div class="stat-card">
  <span class="stat-label">Heat transfer coef.</span>
  <strong id="transferValue">0.52</strong>
</div>
</div>

<div class="controls">
  <button class="btn primary" id="toggleSim">Pause</button>
  <button class="btn ghost" id="toggleCycle">Fast
day/night</button>
  <button class="btn ghost" id="saveSample">Save sample</but-
ton>
  <button class="btn ghost" id="clearData">Clear table</but-
ton>
</div>

<div class="legend">
  <div class="legend-item legend-item-solar">
    <span class="legend-swatch sun"></span>
    Solar energy
  </div>
  <div class="legend-item legend-item-window">
    <span class="legend-swatch window"></span>
    Window tint
  </div>
  <div class="legend-item legend-item-heat">
    <span class="legend-swatch heat"></span>
    Heat transfer
  </div>
</div>
</div>

<div class="hero-right">
  <div class="scene" aria-label="Interactive scene">
    <div class="sky" id="sky">
      <svg class="orbit-track" aria-hidden="true">
        <path id="orbitPath" d="" />
      </svg>
      <div class="orb-handle" id="orbHandle" aria-label="Or-
bit"></div>

```

```

        <div class="sun" id="sun"></div>
        <div class="moon" id="moon"></div>
    </div>
    <div class="horizon">
        <div class="house">
            <div class="roof"></div>
            <div class="wall">
                <div class="window" data-window="1"></div>
                <div class="window" data-window="2"></div>
                <div class="window" data-window="3"></div>
            </div>
        </div>
    </div>
    <p class="drag-help">Drag the orb along the arc to change
time of day</p>
    </div>
</div>
</section>

<section class="data-section" id="data">
    <h2>Measurement table</h2>
    <div class="data-grid">
        <div class="table-card">
            <table>
                <thead>
                    <tr>
                        <th>Time</th>
                        <th>Light</th>
                        <th>Indoor</th>
                        <th>Outdoor</th>
                        <th>Humidity</th>
                        <th>Transparency</th>
                        <th>Heat transfer</th>
                    </tr>
                </thead>
                <tbody id="dataTableBody">
                    <tr>
                        <td colspan="7" class="empty-row">No data saved
yet</td>
                    </tr>
                </tbody>
            </table>
        </div>
        <div class="summary-card">
            <h3>What is happening now</h3>
            <ul>
                <li>Windows darken automatically under strong sun and
high indoor temperature.</li>
                <li>Heat transfer decreases as tint increases.</li>
                <li>Indoor vs. outdoor temperature delta drives comfort
changes.</li>
            </ul>
        </div>
    </div>
</section>

```

```

        <li>Humidity levels reflect airflow and thermal bal-
ance.</li>
    </ul>
    <div class="status-block">
        <div>
            <span class="status-label">System status</span>
            <strong id="systemStatus">Stable</strong>
        </div>
        <div>
            <span class="status-label">Mode</span>
            <strong id="systemMode">Auto</strong>
        </div>
    </div>
</div>
</section>

<section class="analytics-section" id="analytics">
    <h2>Change charts</h2>
    <div class="charts">
        <div class="chart-card">
            <h3>Temperatures</h3>
            <canvas id="tempChart" width="720" height="260"></canvas>
        </div>
        <div class="chart-card">
            <h3>Light and humidity</h3>
            <canvas id="climateChart" width="720" height="260"></canvas>
        </div>
    </div>
</section>
</main>

<footer class="footer">
    <div>
        Smart Windows Lab - an educational simulation for smart facade
behavior.
    </div>
    <div class="footer-meta">2026 • UKRAINE</div>
</footer>

    <script src="./JS/main.js"></script>
</body>
</html>

```

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Анастасія ПРОКОПЧУК

Співавтор:

Назва: Кіберфізична система "Розумні вікна"

Експерт: Юрій ВОЙЧУР

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 1.77%

Коефіцієнт подібності 2: 0.31%

Мікропробіли: 3

Заміна букв: 1

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-05-21 19:29:02.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2026-05-21

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт

Anti-Plagiarism (<http://ap.km.ua>) v-15.701

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 6%

ID: 271940 Назва: БКР Кіберфізична система "Розумні вікна" Додано в БД: 2026-05-21 Автора: Анастасія ПРОКОПЧУК Керівники: Юрій ВОЙЧУР Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	101247	709	1497 (1%)	17 (2%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

Зав. кафедри КНС
д-р. філософії Ользі ПАВЛОВІЙ

Анастасія ПРОКОПЧУК

III-й здобувач вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-22-2


ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений (а). Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

1 травня 2026 року



РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Прокопчук Анастасія Олегівна

Тема: Кіберфізична система "Розумні вікна"

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 67

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є розробка кіберфізичної системи «Розумні вікна», призначеної для автоматизованого керування прозорістю вікон на основі аналізу параметрів навколишнього середовища та внутрішнього мікроклімату приміщення.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Кваліфікаційна робота повністю відповідає поставленому завданню. Усі заплановані етапи розробки виконані, а функціональні можливості системи реалізовані в повному обсязі..

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено аналіз предметної області, пов'язаної з кіберфізичними системами, технологіями розумних будівель та адаптивного керування мікрокліматом. Розглянуто сучасні підходи до збору та обробки даних сенсорів, зокрема параметрів освітленості, температури та вологості. Проаналізовано принципи функціонування систем автоматизації вікон та фасадних рішень, а також існуючі програмні засоби моніторингу та керування.

На основі проведеного аналізу сформульовано постановку задачі розроблення системи, здатної здійснювати обробку даних, моделювання стану середовища та адаптивне керування параметрами вікон.

У другому розділі здійснено проєктування архітектури програмної системи. Визначено основні функціональні модулі, зокрема модуль обробки даних, модуль моделювання середовища, модуль візуалізації та модуль керування. Розглянуто

принципи побудови застосунку з використанням сучасних веб-технологій та платформи Electron для створення настільного рішення.

Розроблено алгоритми обробки вхідних параметрів, визначення коефіцієнта теплопередачі, розрахунку прозорості вікон та оцінки стану системи. Описано логіку взаємодії між компонентами та принципи відображення результатів у вигляді таблиць і графіків.

У третьому розділі виконано програмну реалізацію розробленої системи. Створено інтерактивний користувацький інтерфейс, що дозволяє відстежувати зміну параметрів у реальному часі, а також здійснювати керування режимами роботи системи.

Реалізовано механізми обробки даних, візуалізації показників температури, вологості, інтенсивності освітлення, а також параметрів прозорості вікон і теплопередачі. Забезпечено накопичення історичних даних та їх відображення у вигляді таблиць і графіків.

Проведено тестування програмного засобу та перевірку коректності роботи алгоритмів обробки даних і адаптивного керування.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: недостатня увага щодо виконання додатку.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи:

Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

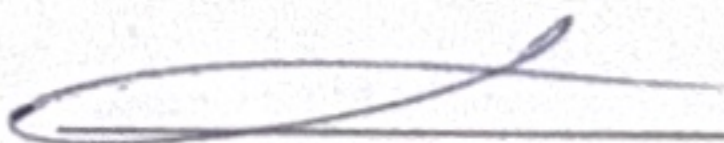
8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: добре C 75

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Тетяна Леоніда Петрівна, зав. каф ІІЗ, ХНУ

“01” 06 2026 р.

 (підпис)

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Кіберфізична система "Розумні вікна"
 Автор Анастасія ПРОКОПЧУК
 Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
 Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
 Науковий керівник: ДФ, Юрій ВОЙЧУР

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.
- 4) значна частина знайденого плагіату відноситься до списку використаних джерел

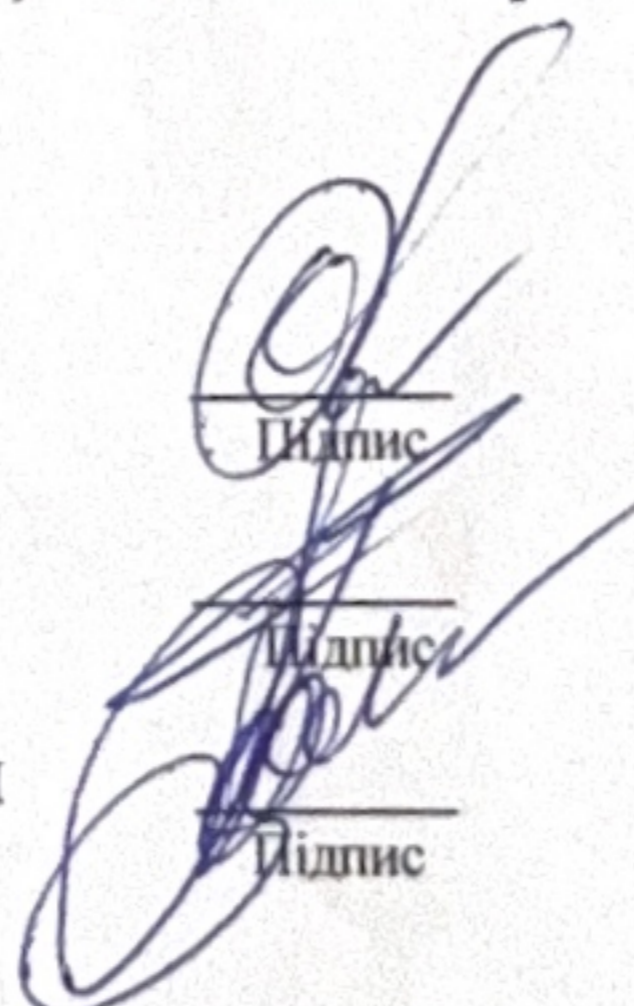
Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 1,77% і адресується до 9 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 1%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

21.05.2026

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи


 Підпис
 Підпис
 Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Андрій НІЧЕПОРУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

ЮРІЙ ВОЙЧУР
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ