

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Кіберфізична система керування освітленням прибудинкової території на базі

Ардвіно

Назва теми

КВРКІ 210254.21.02.78 ПЗ

Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Виконав: студент IV курсу, група KI2-22-1


Підпис

Анна ШЕВЦОВА

Ініціали, прізвище


Керівник


Підпис, дата

Олег ВОЙЧУР

Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

Тетяна КИСІЛЬ

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
зав. кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних
систем


Підпис

Ольга ПАВЛОВА

Ініціали, прізвище

«9» червня 2025 р.

Хмельницький 2025

Хмельницький 2025
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Анні ШЕВЦОВІЙ

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система керування освітленням прибудинкової території на базі Ардуіно

Керівник проекту (роботи) Олег ВОЙЧУР, асистент викладача

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

Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

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

Кіберфізична система керування освітленням прибудинкової території на базі Ардуіно та постановка задачі щодо її удосконалення

Проектування системи обробки інформації у кіберфізичній системі керування освітленням прибудинкової території на базі Ардуіно

Програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи керування освітленням прибудинкової території на базі Ардуіно

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

Архітектура ПЗ проекту

Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи

Апаратне забезпечення проекту

КвРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ

Арк.

2

Зм. Арк. № докум. Підпис Дата

№ р я д к а	Ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л ь н о с т і в	№ е к з	П р и м і т к а
			<u>Текстові документи</u>			
1		КвРКІ 210254.21.02.78 ПЗ	Пояснювальна записка	55		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2		КвРКІ 210254.21.02.78 Е8	СХЕМА ПРИНЦИПОВА	1		
3		КвРКІ 210254.21.02.78 Е8	Схема підключення кіберфізичної системи	1		
4		КвРКІ 210254.21.02.78 Е8	СИМУЛЯЦІЯ РОБОТИ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ	1		

КвРКІ 210254.21.02.78 ВП

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата
Розробив		Шевцова		08.06.25
Перевір		Войчур		08.06.25
Н. копир		Кисель		08.06.25
Злітв		Павлова		08.06.25

Відомість проєкту

Літера	Аркуш	Аркушів
У	1	1

ХНУ, КІ2-21-2

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична система керування освітленням прибудинкової території на базі Ардуіно».

Автор роботи: Анна ШЕВЦОВА.

Керівник роботи: Олег ВОЙЧУР.

Пояснювальна записка: 55 с., 11 рис., 6 табл., 3 дод., 48 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

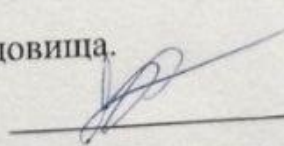
КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, ОСВІТЛЕННЯ, АРХІТЕКТУРА,
МОНІТОРИНГ, АВТОМАТИЗАЦІЯ.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та аналіз умов ефективного застосування апаратно-програмних засобів на базі Arduino для побудови кіберфізичної системи керування освітленням прибудинкової території. Основна увага приділяється оцінці механізмів зчитування та обробки даних із сенсорних елементів, що забезпечують адаптивну роботу системи відповідно до змін навколишнього середовища.

Об'єктом дослідження є функціонування сенсорних та виконавчих елементів системи автоматизованого освітлення.

Предметом дослідження є алгоритми прийняття рішень у реальному часі, які реалізуються мікроконтролером Arduino для ефективного керування освітленням залежно від рівня освітленості та виявлення руху в контрольованій зоні.

У процесі дослідження було застосовано метод систематичного огляду науково-технічних джерел, що дозволило вивчити існуючі підходи до реалізації розумних систем освітлення та сформувати власну архітектуру кіберфізичної системи для забезпечення енергоефективної й надійної роботи в умовах змінного середовища.


Підпис студента

30.05.2025

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП 4

1 КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ ПРИБУДИНКОВОЇ ТЕРИТОРІЇ НА БАЗІ АРДУІНО 6

1.1 Аналіз структурних і функціональних особливостей кіберфізичних систем керування освітленням прибудинкової території на базі Ардуіно 6

1.2 Аналіз програмно-апаратного забезпечення обробки інформації в кіберфізичних системах керування освітленням прибудинкової території на базі Ардуіно 11

1.3 Постановка задачі та методологія вирішення за темою кіберфізичних систем керування освітленням прибудинкової території на базі Ардуіно 14

1.4 Висновки до першого розділу 16

2 ПРОЄКТУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ ПРИБУДИНКОВОЇ ТЕРИТОРІЇ НА БАЗІ АРДУІНО 18

2.1 Етапи проєктування кіберфізичної системи керування освітлення на базі Ардуіно 18

2.2 Визначення апаратних і програмних підсистем програмно-технічного засобу 22

2.3 Інтеграція та експлуатація кіберфізичної системи керування освітлення на базі Ардуіно 28

2.4 Перспективи вдосконалення системи 32

2.5 Висновки до другого розділу 34

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРИБУДИНКОВОГО ОСВІТЛЕННЯ НА БАЗІ АРДУІНО 37

3.1 Принцип роботи кіберфізичної системи керування освітленням на базі Ардуіно 37

3.2 Алгоритм розробки кіберфізичної системи керування освітленням на базі Ардуіно 38

КвРКІ.210254.21.02.78 ПЗ

Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Анна ШЕВЦОВА		9.06.23	Кіберфізична система керування освітленням прибудинкової території на базі Ардуіно. Пояснювальна записка	2	72
Перевідр.		Олег ВОЙЧУР		9.06.23			
Н.контр.		Тетяна КИСЛЬ		9.06.23			
Затвер.		Ольга ПАВЛОВА		9.06.23			
					ХНУ КІ2-22-1		

ВСТУП

Актуальність дослідження. Кіберфізичні системи (КС) сьогодні є важливою складовою технологічного прогресу й інтегруються практично в усі сфери людської діяльності: від промисловості до побуту. Їхня суть полягає в об'єднанні фізичних об'єктів із цифровими алгоритмами управління, що дозволяє здійснювати аналіз, прийняття рішень і зворотний зв'язок у режимі реального часу. Застосування таких систем у межах концепції «розумних» середовищ, таких як: розумного дому, міста, освітлення, інфраструктури - забезпечує підвищення енергоефективності, безпеки, комфорту та автономності. Особливу актуальність кіберфізичні системи мають у сфері автоматизованого керування освітленням, де, завдяки інтеграції сенсорів, мікроконтролерів та мережевих технологій, вдається зменшити споживання енергії, подовжити термін служби обладнання та підвищити рівень безпеки навколишнього середовища.

Станом на сьогодні чимало прибудинкових територій, приватних будинків або громадських зон залишаються оснащеними традиційними системами освітлення, які працюють у фіксованому режимі, часто неефективному з точки зору енергоспоживання. Розробка інтелектуальних систем, які здатні автоматично реагувати на зміни умов середовища таких, як: рівень освітленості або наявність руху; дозволяє суттєво оптимізувати споживання ресурсів. Це важливо в умовах сучасного світу, де питання енергоощадності, автоматизації та цифровізації стоять на перших позиціях глобального технічного порядку денного.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка та реалізація кіберфізичної системи керування освітленням прибудинкової території на основі мікроконтролера Ардуіно з використанням сенсорних елементів, що дозволяють здійснювати адаптивне та енергоефективне керування світловими приладами у залежності від умов навколишнього середовища.

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єктом дослідження є система освітлення прибудинкової території, інтегрована в цифрову платформу керування на базі кіберфізичної взаємодії.

Предметом дослідження є логіка обробки сенсорної інформації та алгоритми ухвалення рішень у системі автоматичного освітлення, побудованій із використанням апаратно-програмної платформи Ардуіно.

У роботі розглянуто підходи до моделювання та реалізації такої системи, її архітектурні особливості, програмне забезпечення, алгоритмічне керування, а також порівняння з наявними реалізаціями у наукових джерелах. Дослідження спрямоване на демонстрацію ефективності створеної системи в контексті практичного застосування в умовах реального середовища.

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ ПРИБУДИНКОВОЇ ТЕРИТОРІЇ НА БАЗІ АРДУІНО

1.1 Аналіз структурних і функціональних особливостей кіберфізичних систем керування освітленням прибудинкової території на базі Ардуіно

Щоб почати вичерпний аналіз кіберфізичних систем керування освітленням прибудинкової території на базі Ардуіно потрібно дати визначення, що взагалі таке кіберфізична система, розглянути в яких сферах життєдіяльності вона присутня та, хоча б, поверхнево ознайомитися з історією виникнення цього терміну.

Кіберфізична система (КС) - це система, що інтегрує обчислення з фізичними процесами, поведінка яких визначається як обчислювальною (цифровою та іншими формами), так і фізичною частинами системи.

Ми навіть можемо неусвідомлювати що КС застосовується у багатьох сферах нашого життя: автомобільні системи, виробництво, медицина (зокрема медичні прилади та системи життєзабезпечення), військові системи, контроль і безпеку дорожнього руху, виробництво та розподіл електроенергії та енергозбереження, системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, авіацію, системи водопостачання, залізницю, фізичну безпеку (контроль доступу та моніторинг), управління активами та робототехніку.

Насперед КС не є об'єднанням фізичних та кіберфізичних систем, а їх перетином. Вона поєднує інженерні моделі та методи з механічної, екологічної, цивільної, електротехнічної, біомедичної, хімічної, авіаційної та промислової інженерії з моделями та методами комп'ютерних наук.

Термін «кіберфізичні системи» з'явився приблизно у 2006 році, коли його запровадила Гелен Гілл з Національного наукового фонду (NSF). Пов'язаний термін «кіберпростір» приписують Вільяму Гібсону, який використав його в романі «Нейромант» 1984 року, але коріння терміну КС є глибшим і старішим. Основоположною можна назвати книгу Норберта Вінера «Кібернетика: або

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

управління та комунікація у тварини та машини», 1948 року, що стала початком самого слова «кібер» .

Під час Другої світової війни Вінер працював над технологіями автоматичного наведення та стрільби зенітних гармат. Проте, хоча його механізми не використовували цифрові комп'ютери, принципи, які він застосовував, подібні до сучасних систем з комп'ютерним зворотним зв'язком. Його логіка керування по суті була обчисленням, хоч і реалізованим за допомогою аналогових схем і механічних елементів. Отже, кібернетика - це поєднання фізичних процесів, обчислень і комунікацій.

Підсумовуючи, кіберфізичні системи (КС) є новітнім етапом розвитку автоматизованих систем керування, в яких фізичні процеси тісно інтегровані з цифровим середовищем, зазвичай через сенсори, мікроконтролери, виконавчі механізми і програмне забезпечення, яке забезпечує реагування на зміну навколишнього середовища в режимі реального часу. Одним із практичних застосувань КС є автоматизоване освітлення прибудинкової території, яке може працювати на основі вхідних даних (наприклад, рівень освітленості, наявність руху, час доби) для автоматизації увімкнення або вимкнення світла.

Освітлення прибудинкових територій традиційно реалізується за допомогою стаціонарних систем із ручним керуванням або примітивними таймерами. Основними недоліками таких систем є:

- 1) неефективне використання електроенергії;
- 2) відсутність адаптивності;
- 3) висока вартість обслуговування;
- 4) відсутність можливості віддаленого моніторингу та керування.

Завдяки розвитку недорогих платформ мікроконтролерів, таких як Arduino, з'явилася можливість створення доступних і ефективних рішень для автоматизації освітлення. У статті [10], зазначається, що системи автоматизації на базі Arduino набувають все більшої популярності завдяки низькій вартості, простоті у реалізації та сумісності з різними датчиками й модулями. Схожа теза є у статті

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[26]: використання Arduino забезпечує економічно ефективне рішення для автоматизованих систем, дозволяючи взаємодіяти з фізичними компонентами в режимі реального часу за допомогою датчиків і виконавчих механізмів.

Типовими для системи освітлення є такі елементи:

- 1) обчислювальний модуль (мікроконтролер Ардуіно);
- 2) сенсорні пристрої (датчики руху, звуку тощо);
- 3) виконавчі пристрої (лампи, прожектори);
- 4) джерело живлення.

У контексті розробки кіберфізичної системи керування освітленням прибудинкової території на базі Arduino важливим є вибір сенсорів для виявлення присутності людини чи активності в зоні контролю. Серед популярних підходів виділяють використання звукових сенсорів та сенсорів руху (зокрема, пасивних інфрачервоних - PIR). Обидва типи мають свої переваги та обмеження, що впливають на якість і ефективність функціонування системи. Розглянемо різні підходи більш детально:

1. Сенсори руху (PIR/IR).

Першими розглянемо сенсори руху. Згідно з дослідженнями, зокрема у статті [35], PIR-сенсори є одними з найпоширеніших рішень у системах виявлення присутності. Вони реагують на зміну інфрачервоного випромінювання, яке випромінює людське тіло. Основними перевагами PIR-сенсорів є низьке енергоспоживання, висока точність при наявності руху, а також відсутність залежності від зовнішнього звукового фону. Крім того, такі сенсори не вимагають складного калібрування й добре працюють на відкритих територіях у нічний час. У статті [40], також визнають ефективність датчиків у виявленні руху, зазначаючи їх корисність для систем зовнішнього освітлення.

Однак їхньою слабкою стороною є нездатність виявити нерухому людину, що може призвести до вимкнення світла за наявності людини, яка тимчасово не рухається. Також PIR-сенсори можуть бути чутливими до погодних умов - зокрема сильного вітру або нагріву поверхні.

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Звукові сенсори.

Згідно з дослідженням [22], звукові сенсори здатні фіксувати клацання, голос, кроки або інші шуми, що потенційно свідчать про присутність людини. Їх перевага - реагування навіть на статичну присутність, якщо супроводжується звуковими проявами. Такі сенсори мають просту апаратну реалізацію і легко інтегруються в системи Arduino. Як зазначено в дослідженні [14], вони ефективні в закритих приміщеннях або середовищах із контрольованим шумовим фоном.

Однак звукові сенсори є менш надійними на відкритих просторах, особливо в міських умовах. Вони можуть реагувати на сторонні шуми - транспорт, вітер, розмови з вулиці, що призводить до помилкових спрацювань. Крім того, вони менш ефективні в умовах низької акустичної активності, тобто коли людина пересувається безшумно або мовчки.

3. Системний підхід і комбінування.

Підсумовуючи всі переваги та недоліки сенсорів руху та звуку, доцільним рішенням здається комбінування сенсорів. У [8], рекомендується комбіноване використання декількох сенсорів, зокрема PIR і звукових, для підвищення точності виявлення присутності; гібридна система, що поєднує PIR- і звукові датчики, забезпечує підвищену точність виявлення присутності в різних умовах навколишнього середовища. Такий підхід дозволяє мінімізувати хибні спрацювання, забезпечити більш надійну реакцію системи на різні умови експлуатації та адаптуватися до сценаріїв зі змінною активністю.

Сенсори руху є ефективним і надійним рішенням для відкритих територій, де переважає фізична активність користувачів, але вони мають обмеження у випадках статичної присутності. Звукові сенсори дають змогу компенсувати цю слабкість, проте вимагають ретельної фільтрації зовнішніх шумів. Найбільш доцільним для системи керування освітленням на базі Arduino є використання PIR-сенсора як основного і, за потреби, доповнення його звуковим модулем для підвищення адаптивності системи в умовах змінної активності та середовища.

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основними функціями та завданнями кіберфізичної системи прибудинкової території слід вважати: автоматичне вмикання/вимикання освітлення; виявлення руху; ручне керування; енергозбереження, віддалений моніторинг та керування; логування подій; аварійне керування; адаптація до пори року (табл.1.1).

Таблиця 1.1 — Функції та завдання кіберфізичної системи керування освітленням прибудинкової території

1.	Автоматичне вмикання/вимикання освітлення	Увімкнення світла при настанні сутінків та вимикання на світанку за допомогою датчика освітленості (фоторезистора або датчика ВН1750).
2.	Виявлення руху	Вмикання додаткового підсвічування при виявленні руху на території з використанням PIR-датчика.
3.	Ручне керування	Надання можливості користувачеві вмикати/вимикати світло вручну через кнопку, веб-інтерфейс або мобільний додаток.
4.	Енергозбереження	Оптимізація споживання енергії шляхом використання LED-ламп та логіки керування тільки за потреби.
5.	Віддалений моніторинг та керування	Передача даних та керування системою через інтернет або Bluetooth за допомогою модулів ESP8266 / HC-05.
6.	Логування подій	Фіксація часу увімкнення/вимкнення освітлення, фіксація виявлення руху для подальшого аналізу.

Кінець таблиці 1.1

7.	Аварійне керування	Забезпечення роботи системи при збої зв'язку або живлення - перехід у автономний режим з мінімальною функціональністю.
8.	Адаптація до пори року	Зміна часу активації освітлення залежно від тривалості світлового дня (через реальний годинник або інтернет-час).

У підсумку можна зазначити, що кіберфізичні системи, зокрема ті, що базуються на платформі Arduino, є ефективним засобом автоматизації керування освітленням прибудинкової території. Вони поєднують цифрову обробку даних із фізичними процесами завдяки сенсорам, мікроконтролерам та виконавчим пристроям. У результаті аналізу функціональних компонентів таких систем встановлено, що оптимальне рішення передбачає використання PIR-сенсорів для виявлення руху з можливим доповненням звуковими сенсорами для підвищення точності в умовах змінної активності. Це забезпечує адаптивність, енергоефективність і зручність у керуванні, що робить систему доцільною альтернативою традиційним методам освітлення.

1.2 Аналіз програмно-апаратного забезпечення обробки інформації в кіберфізичних системах керування освітленням прибудинкової території на базі Ардуіно

Програмно-апаратне забезпечення обробки інформації в кіберфізичних системах керування освітленням прибудинкової території на базі Arduino є ключовим елементом, що забезпечує взаємодію між фізичними датчиками, виконавчими пристроями та алгоритмами прийняття рішень. У цій системі Arduino виступає центральним обчислювальним вузлом, який отримує дані від сенсорів, аналізує їх та керує освітлювальними приладами. До апаратної частини

входять датчики освітленості, руху, мікроконтролер Arduino, джерело живлення, реле або транзистори для комутації навантаження, а також виконавчі пристрої у вигляді світлодіодних світильників або ламп.

Програмне забезпечення розробляється у середовищі Arduino IDE із використанням мови програмування C/C++. У програмі реалізується логіка обробки даних з датчиків, приймаються рішення про вмикання чи вимикання освітлення відповідно до наперед визначених умов, наприклад, рівня зовнішньої освітленості або наявності руху. Крім базової логіки керування, програмна частина може включати додаткові модулі для роботи з годинником реального часу або бездротового передавання даних. Комунікаційні модулі, такі як ESP8266 або Bluetooth-модулі, дозволяють віддалено керувати системою чи моніторити її стан у режимі реального часу.

Таким чином, обробка інформації в кіберфізичній системі керування освітленням на базі Arduino відбувається завдяки тісній інтеграції апаратних компонентів з програмними алгоритмами, що забезпечують автоматизоване та адаптивне керування в залежності від змін середовища. Такий підхід сприяє ефективному використанню енергії, підвищенню рівня безпеки та зручності для користувача.

Основними компонентами апаратної частини кіберфізичної системи керування освітлення є: мікроконтролер ардуіно; датчик освітленості; датчик руху; світлодіодні лампи; реле або модуль; Wi-Fi або Bluetooth(табл.1.2).

Таблиця 1.2 — основні компоненти апаратної частини кіберфізичної системи керування освітлення

1.	Мікроконтролер Arduino	Основний мікроконтролер, що виконує збір та обробку даних, реалізує логіку керування.
2.	Датчик освітленості	Визначає рівень зовнішнього освітлення для автоматичного ввімкнення світла при сутінках.

Кінець таблиці 1.2

3.	Датчик руху	Виявляє присутність об'єктів на території для тимчасового увімкнення підсвічування.
4.	Світлодіодні лампи	Джерело освітлення, що вмикається відповідно до сигналів з мікроконтролера.
5.	Реле або модуль	Проміжна ланка між контролером і освітленням, забезпечує комутацію потужного навантаження.
6.	Wi-Fi / Bluetooth модуль	Забезпечує можливість дистанційного керування і моніторингу.

Для наглядної візуалізації було розроблено алгоритмічну схему обробки даних.

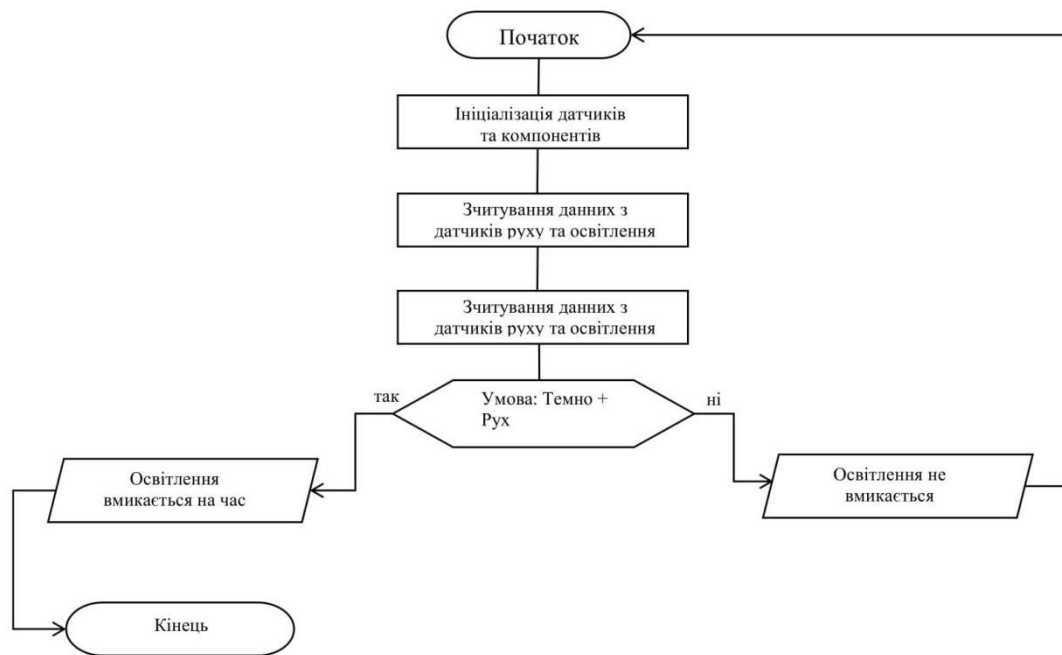


Рисунок 1.1 — Алгоритмічна схема обробки даних

Підсумовуючи програмно-апаратне забезпечення кіберфізичних систем на базі Arduino забезпечує ефективну взаємодію між сенсорами, мікроконтролером

та виконавчими пристроями, що дозволяє автоматизувати керування освітленням залежно від змін у навколишньому середовищі.

1.3 Постановка задачі та методологія вирішення за темою кіберфізичних систем керування освітленням прибудинкової території на базі Ардуіно

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка кіберфізичної системи керування освітленням прибудинкової території на базі Arduino, яка має забезпечити такі параметри, як:

- автоматичне вмикання/вимикання освітлення;
- можливість ручного/дистанційного керування;
- енергоефективність шляхом мінімізації тривалості роботи освітлення без необхідності;
- надійність, простота у налаштуванні та масштабованість рішення.

Таким чином, основним завданням є створення прототипу функціональної, економічно обґрунтованої та адаптивної системи, яка може бути застосована як у приватних домогосподарствах, так і в малих житлових комплексах.

У контексті керування освітленням прибудинкової території сенсори руху демонструють вищу ефективність завдяки точнішому розпізнаванню об'єктів, що переміщуються у визначеній зоні. Вони забезпечують кращу енергоефективність і зменшують кількість помилкових вмикань світла. Звукові сенсори, натомість, можуть використовуватися як допоміжні елементи, або в умовах обмеженого руху, але мають меншу надійність через вплив зовнішніх шумів.

Як вже раніше зазначалося, для розробки на Arduino оптимальним буде використання PIR-сенсора як основного засобу виявлення присутності з потенційною підтримкою від інших типів сенсорів у спеціалізованих сценаріях.

Поставлена задача полягає у створенні доступної, ефективною та адаптивною кіберфізичної системи керування освітленням на базі Arduino, яка поєднує автоматичне та ручне керування з високою енергоефективністю. Методологія

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передбачає використання PIR-сенсора як основного елемента виявлення присутності, що забезпечує надійність і точність роботи системи. Такий підхід дозволяє реалізувати функціональне рішення, придатне для застосування в умовах приватного та багатоквартирного житлового сектору.

У контексті розробки кіберфізичних систем керування освітленням, особливо на базі Arduino, важливо враховувати досвід реального впровадження подібних рішень у сфері «розумного дому» (Smart Home). Ці системи стали популярними завдяки зростанню доступності мікроконтролерних платформ, а також потребі користувачів у комфорті, безпеці й енергоефективності. У статті [41] зазначається, що керування освітленням на основі Інтернету речей є однією з найбільш впроваджуваних функцій розумного будинку завдяки своїй практичності та впливу на економію енергії.

Одним із поширених сценаріїв є автоматичне керування зовнішнім або внутрішнім освітленням на базі комбінації сенсорів і мікроконтролера. У багатьох житлових будинках поєднуються датчики руху (PIR), датчики освітленості та годинник реального часу, які дозволяють точно вмикати світло лише за необхідності - наприклад, коли людина входить у темну зону подвір'я в нічний час. Такі рішення ефективно застосовуються для освітлення ганку, вхідної групи, подвір'я, під'їзних доріжок або гаражів.

На практиці система може бути інтегрована з іншими модулями розумного дому: зокрема, контролерами безпеки або камерами відеоспостереження. Наприклад, при активації освітлення за рухом в зоні контролю може одночасно запускатися відеофіксація або надсилатися сповіщення на смартфон користувача через Wi-Fi-модуль.

Крім того, багато виробників систем домашньої автоматизації пропонують комерційні рішення з подібною функціональністю, однак системи на базі Arduino виграють завдяки відкритості, гнучкості та низькій вартості. У рамках DIY-проектів користувачі активно впроваджують подібні рішення у своїх будинках, адаптуючи їх під індивідуальні сценарії: наприклад, створення нічного режиму

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

освітлення, коли яскравість знижується після 23:00, або режиму присутності, який імітує перебування людини в будинку задля стримування потенційних зловмисників.

Таким чином, реальні приклади з практики розумних будинків демонструють доцільність і ефективність впровадження кіберфізичних систем керування освітленням. Це підтверджує, що обрана архітектура на базі Arduino не лише відповідає сучасним технічним вимогам, але й має високий потенціал для подальшого масштабування та інтеграції в більш комплексні Smart Home-рішення.

1.4 Висновки до першого розділу

Пілсумовуючи усі пункти цього розділу було розкрито сутність кіберфізичних систем (КС) як інтегрованих систем, що поєднують фізичні процеси з цифровим середовищем за допомогою сенсорів, виконавчих механізмів і програмного забезпечення. Проаналізовано, як КС впроваджуються у різних сферах (транспорт, медицина, енергетика, безпека тощо), і підкреслено, що управління освітленням є одним із практичних прикладів їх застосування.

Особлива увага приділена можливостям Arduino як обчислювального ядра КС, а також огляду типових компонентів системи керування освітленням: мікроконтролери, датчики руху (PIR), звукові сенсори, виконавчі пристрої, джерело живлення. Зроблено акцент на перевагах Arduino - простота, доступність, енергоефективність і можливість адаптації до умов зовнішнього середовища.

Також було проаналізовано технічну сторону побудови системи: зокрема програмно-апаратну реалізацію на платформі Arduino. Розглянуто мікроконтролери (Arduino Uno, Nano, Mega) та їх характеристики, що визначають вибір відповідно до складності проєкту.

Також розглянуто доцільність використання комбінованих сенсорних систем для досягнення кращої адаптивності та зниження кількості хибних спрацювань.

Було сформульовано основну мету дослідження - створення ефективної кіберфізичної системи керування освітленням, яка забезпечує такі базові вимоги як:

- 1) автоматичне керування освітленням;
- 2) енергоефективність;
- 3) можливість ручного чи дистанційного керування;
- 4) масштабованість і простоту впровадження.

Обґрунтовано вибір компонентів системи: сенсори руху є основним елементом виявлення присутності, оскільки мають високі показники точності й надійності в реальних умовах. Звукові сенсори розглядаються як допоміжний елемент, що може доповнити функціональність у спеціалізованих випадках.

Розробка базується на модульному підході та відкритій архітектурі Arduino, що дозволяє легко адаптувати систему під різні сценарії використання: від приватного будинку до невеликих житлових комплексів.

У результаті цього розділу було обґрунтовано актуальність та доцільність використання кіберфізичних систем на базі Arduino для автоматизації освітлення прибудинкової території. Проведено глибокий аналіз функціональних, структурних та апаратно-програмних компонентів, визначено оптимальні рішення для побудови ефективної, адаптивної та енергоощадної системи. Запропонована методологія базується на поєднанні перевірених сенсорів, відкритих технологій і практичного підходу до задач автоматизації побутових процесів.

2 ПРОЄКТУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ ПРИБУДИНКОВОЇ ТЕРИТОРІЇ НА БАЗІ АРДУІНО

2.1 Етапи проєктування кіберфізичної системи керування освітлення на базі Ардуіно

Процес проєктування кіберфізичної системи керування освітленням прибудинкової території на базі Arduino передбачає поетапне виконання комплексу дій, спрямованих на досягнення надійної, адаптивної та енергоефективної роботи системи. На початковому етапі здійснюється аналіз потреб користувача, визначаються умови експлуатації, такі як розміри території, характер активності на об'єкті, наявність джерел природного освітлення та вимоги до рівня автоматизації. Інтелектуальні функції, такі як автоматичне виявлення несправностей і оперативна звітність, значно підвищують надійність системи і спрощують технічне обслуговування [19]. Формулюється мета системи, яка зазвичай охоплює автоматичне увімкнення освітлення при виявленні руху або з настанням сутінків, з можливістю ручного чи дистанційного керування, а також забезпечення мінімального енергоспоживання.

Наступним кроком є вибір апаратного забезпечення, що включає визначення моделі мікроконтролера Arduino відповідно до складності функціоналу, кількості сенсорів і виконавчих елементів. Зазвичай обирають Arduino Uno або Nano, оскільки вони забезпечують достатню кількість портів введення/виведення, мають низьке енергоспоживання та широко підтримуються програмними бібліотеками. Системи на базі Arduino пропонують гнучку, економічно ефективну платформу для додатків для розумного дому, що дозволяє легко інтегрувати декілька датчиків та елементів керування[1]. Одночасно відбувається підбір сенсорів, зокрема PIR для виявлення руху, фоторезисторів або цифрових датчиків освітленості для аналізу умов навколишнього середовища, а також, за потреби, звукових сенсорів як додаткових джерел інформації про присутність людини. Підбираються виконавчі елементи такі, як: реле або

транзисторні ключі, через які керується подача електроенергії до світильників або прожекторів. Паралельно вирішується питання енергозабезпечення системи, вибираються стабілізовані джерела живлення з урахуванням сумарного струмового навантаження.

Після визначення всіх компонентів розробляється структурна схема підключення, яка деталізує з'єднання між мікроконтролером, сенсорами та виконавчими пристроями. У центрі цієї схеми розташовується мікроконтролер Arduino (наприклад, Uno), до цифрових входів якого підключаються сенсори: PIR-сенсор з'єднується через один з цифрових пінів (наприклад, D2), а фоторезистор до аналогового входу (наприклад, A0) через дільник напруги. За потреби, звуковий сенсор підключається або до аналогового входу, або до цифрового - залежно від типу модуля. Виконавчий пристрій, яким є світильник або прожектор, підключається через реле або транзисторний ключ до окремого цифрового виходу (наприклад, D10), що дозволяє мікроконтролеру подавати керуючий сигнал при виконанні певної умови.

Джерело живлення (наприклад, адаптер 12 В) підключається до роз'єму живлення Arduino або безпосередньо до реле/освітлювального пристрою, а сам мікроконтролер отримує стабілізовані 5 В через вбудований регулятор. Загальна схема передбачає спільне заземлення для всіх компонентів системи з метою уникнення перешкод і забезпечення стабільної роботи.

Для правильного зчитування аналогових і цифрових сигналів між компонентами використовуються резистори підтягування, фільтруючі конденсатори та при необхідності, оптоізоляція для реле. Сенсори розміщуються на периферії системи, що забезпечує охоплення всієї контрольованої зони, тоді як освітлювальні елементи монтується з урахуванням рівномірного покриття простору світлом.

Уся система побудована за принципом централізованої обробки даних: сенсори подають інформацію до Arduino, який аналізує її відповідно до заданого алгоритму й приймає рішення про увімкнення або вимкнення освітлення. Така

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

структурна схема дозволяє реалізувати ефективний зворотний зв'язок між фізичним середовищем і цифровою логікою керування, що є характерною ознакою кіберфізичних систем.

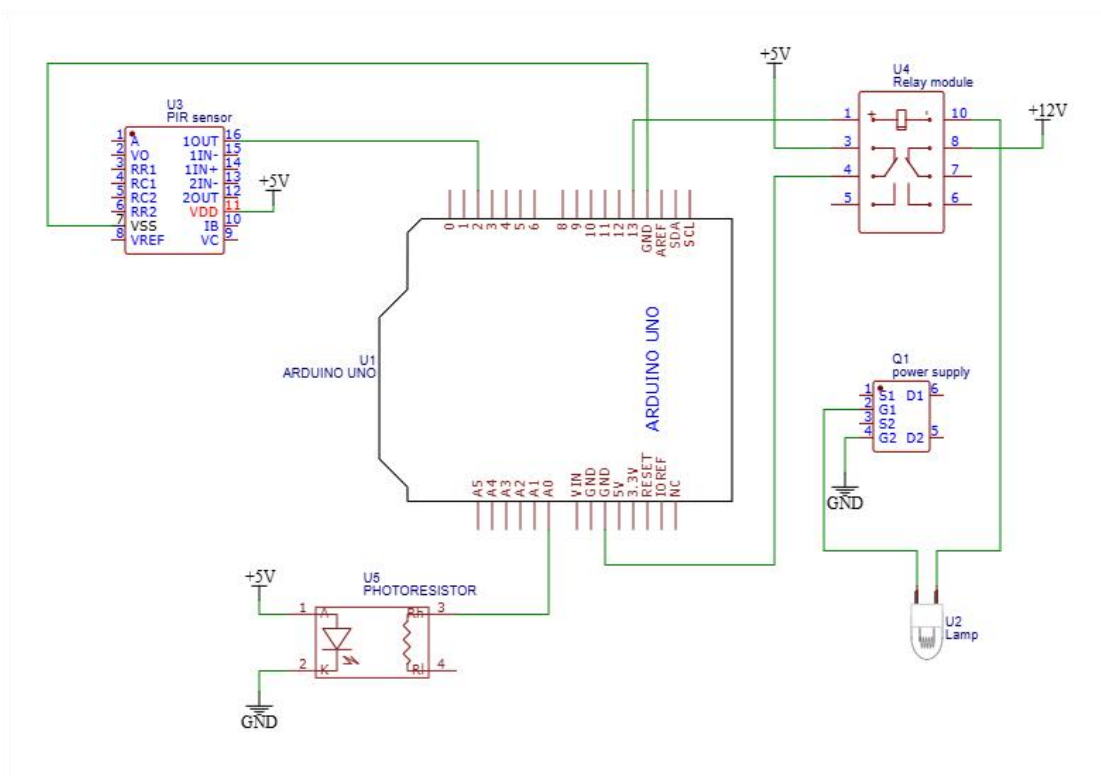


Рисунок 2.1 — Схема освітлення

Програмна частина проєкту створюється у середовищі Arduino IDE, де розробляється скетч на мові C/C++. Програма включає блоки ініціалізації сенсорів, безперервного зчитування вхідних даних, логічного аналізу вхідних сигналів, а також модулі для прийняття рішень та керування виконавчими пристроями. У випадку наявності кількох сенсорів застосовується комбінована логіка для зменшення ймовірності хибних спрацювань. Додатково реалізуються часові затримки, фільтрація імпульсів, обмеження на частоту ввімкнення та умови роботи тільки в темний час доби. Програма тестується спочатку в лабораторних умовах, а потім безпосередньо на території об'єкта.

Після успішного тестування виконується остаточне налаштування системи, проводиться остаточна збірка корпусу, забезпечується захист від вологи, пилу та

механічних пошкоджень. За необхідності до системи можуть бути додані елементи зворотного зв'язку, як-от інтерфейс для дистанційного керування через Bluetooth або Wi-Fi, годинник реального часу (RTC), а також енергонезалежна пам'ять для збереження налаштувань. Завершальним етапом є документування системи, що включає технічну документацію, опис електричних схем, програмного забезпечення та інструкції з експлуатації. Такий поетапний підхід дозволяє досягти високої надійності, стабільної роботи та можливості масштабування створеної системи в майбутньому.

Крім основних функціональних модулів системи, при проєктуванні слід враховувати вимоги до електричної та експлуатаційної безпеки. Захист системи від стрибків напруги та короткого замикання є важливим при роботі в умовах зовнішнього середовища або з підключенням до освітлювального обладнання, що працює від мережі змінного струму. Варто спланувати використання запобіжників або варисторів у ланцюзі живлення, які зможуть обмежити надмірний струм або розряд імпульсної напруги. Для запобігання коротким замиканням, особливо у вологому середовищі, компоненти повинні бути розміщені в герметичних корпусах з рівнем захисту не нижче IP65. Крім того, електричні з'єднання та вузли керування повинні бути чітко ізольовані, а провідники - захищені гнучкою термостійкою ізоляцією.

Також варто зазначити, що є можливим застосування модулів збереження даних або точного обліку часу, які підвищують функціональність системи. Наприклад, модуль EEPROM дозволяє зберігати налаштування системи (як-от порогові значення освітленості або тривалість увімкнення) навіть після відключення живлення, що робить систему більш автономною. Для задач, пов'язаних з обліком часу, особливо в автоматичних сценаріях (наприклад, активація освітлення в певний час доби), доцільно інтегрувати модуль реального часу RTC, такий як DS3231, який дозволяє точно відстежувати час незалежно від живлення плати. Ці додаткові елементи сприяють стабільній роботі системи в довготривалому режимі, зменшують потребу в ручному перезапуску налаштувань

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

після кожного перезавантаження, а також відкривають можливості для розширення функціональності у майбутньому, зокрема інтеграції із хмарними сервісами або календарними сценаріями.

2.2 Визначення апаратних і програмних підсистем програмно-технічного засобу

Процес проектування кіберфізичної системи керування освітленням прибудинкової території на базі Arduino передбачає поетапне виконання комплексу завдань, що охоплюють як технічну реалізацію, так і логічну побудову функціонування системи. Кожен з етапів має важливе значення для забезпечення ефективності, надійності та гнучкості розробленого рішення.

Першим кроком є аналіз вимог та визначення цілей системи. На цьому етапі формуються основні очікування щодо функціональності: автоматичне вмикання освітлення у темну пору доби, реакція на присутність людини, зниження енергоспоживання, а також можливість ручного чи дистанційного керування. Також враховуються умови експлуатації - відкритий простір, рівень освітлення, наявність перешкод, погодні фактори.

Другим етапом є вибір компонентів апаратного забезпечення. З урахуванням поставлених вимог підбирається оптимальний мікроконтролер (зазвичай Arduino Uno або Nano), сенсори (PIR - для виявлення руху, фоторезистор - для визначення освітленості), а також виконавчі елементи: реле або транзистори, через які здійснюється комутація освітлювальних пристроїв. На цьому ж етапі визначаються параметри живлення, тип освітлення (наприклад, LED-прожектори) і способи монтажу системи.

Третій етап включає створення схеми з'єднання компонентів та монтажу. На цьому етапі розробляється принципова електрична схема, у якій визначається взаємозв'язок між усіма модулями: мікроконтролером, сенсорами, виконавчими елементами та джерелом живлення. Після побудови схеми здійснюється її

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реалізація на макетній платі (breadboard) або на пайці, залежно від мети (тестування чи фінальна інсталяція).

Четвертим етапом є розробка програмного забезпечення, тобто написання коду для мікроконтролера. Логіка алгоритму полягає у зчитуванні вхідних сигналів з сенсорів, аналізі поточних умов (рівень освітленості, наявність руху), прийнятті рішення відповідно до заданих умов та активації відповідного виходу (увімкнення/вимкнення освітлення). Програмний код також може включати затримки, фільтрацію помилкових спрацювань, умови блокування вдень тощо.

П'ятим етапом виступає тестування та налагодження системи. Готову систему перевіряють в умовах, максимально наближених до реальних. Здійснюється перевірка чутливості сенсорів, адекватність реакції на події, стабільність живлення, правильність спрацювання виконавчих пристроїв. У разі виявлення недоліків - система доопрацьовується як на рівні схеми, так і на рівні програмного коду.

Заключним етапом є встановлення системи у визначеному середовищі експлуатації та оцінка її ефективності. Після монтажу перевіряється тривалість автономної роботи, витрати енергії, частота помилкових спрацювань, зручність використання. За потреби здійснюється розширення системи додатковими модулями, наприклад: годинником реального часу (RTC), Wi-Fi-модулем для віддаленого керування або модулем пам'яті для запису подій.

Таким чином, розробка кіберфізичної системи керування освітленням - поетапний процес, який поєднує технічні знання з програмною реалізацією, логічним аналізом та практичним випробуванням. Дотримання такої послідовності дозволяє створити надійну, гнучку та ефективну систему, придатну до масштабування й адаптації під конкретні умови використання.

Проектування кіберфізичної системи керування освітленням прибудинкової території передбачає інтеграцію як апаратних, так і програмних компонентів, які у взаємодії забезпечують автоматичну, адаптивну й енергоефективну роботу системи.

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Апаратна підсистема включає основний обчислювальний модуль - мікроконтролер Arduino, який виконує роль центрального елемента управління. Саме він відповідає за обробку сигналів від сенсорів та передачу команд виконавчим пристроям. Вибір конкретної моделі (Arduino Uno, Nano або Mega) залежить від складності функціональних вимог та кількості використовуваних периферійних елементів. Для виявлення присутності людини в зоні контролю використовуються датчики руху, зокрема PIR-сенсори, що мають оптимальне співвідношення точності, енергоспоживання та надійності. У деяких випадках доцільним є використання додаткових сенсорів, таких як звукові мікрофонні модулі, які доповнюють систему в умовах обмеженого руху.

До виконавчих пристроїв належать елементи освітлення, як-от світлодіодні лампи або прожектори, які активуються або деактивуються в залежності від зчитаних даних. Їх підключення реалізується через реле або транзистори, які дозволяють контролювати високовольтне навантаження безпосередньо від мікроконтролера. Апаратна частина також включає джерело живлення, яке забезпечує стабільну роботу як сенсорів, так і контролера.

Таблиця 2.1 - апаратна частина системи

1.	Мікроконтролер Arduino Uno (або Nano)	Центральний керуючий елемент, що обробляє сигнали з датчиків і керує виконавчими пристроями.
2.	PIR-сенсор руху	Виявляє присутність або рух людини у визначеній зоні.
3.	Звуковий сенсор (опціонально)	Додатковий модуль, який виявляє акустичну активність (наприклад, кроки, голос).
4.	Фоторезистор (датчик освітленості)	Визначає рівень природного освітлення для прийняття рішення про доцільність увімкнення штучного світла.

Кінець таблиці 2.1

5.	Виконавчий пристрій (реле або MOSFET)	Керує увімкненням/вимкненням освітлювальних приладів.
6.	Світильник/прожектор	Основний елемент освітлення території.
7.	Джерело живлення (адаптер 5V/12V)	Забезпечує енергією всі електронні компоненти системи.
8.	Провідники/монтажна плата або breadboard	Для з'єднання компонентів між собою.

Програмна підсистема базується на прошивці для Arduino, написаній на мові програмування C/C++ з використанням середовища розробки Arduino IDE. Логіка роботи скетчу полягає в безперервному зчитуванні вхідних сигналів від сенсорів, аналізі їх значень та реалізації відповідного алгоритму реагування. Програмне забезпечення також може включати часові обмеження (наприклад, робота лише в темну пору доби), використання порогових значень для фільтрації хибних спрацювань та, за необхідності, реалізацію зворотного зв'язку для дистанційного керування або моніторингу.

Ці компоненти забезпечують функціональність системи в режимі реального часу, що є ключовим критерієм кіберфізичних систем(2.2).

Таблиця 2.2 — Основні складові програмної частини

1.	Скетч (програма на мові Arduino C++)	Основний алгоритм, який визначає поведінку системи: перевірка стану датчиків, умови вмикання світла, затримки, логіка переходу між режимами.
2.	Бібліотеки Arduino	Використовуються для зручного підключення сенсорів, таймерів або для збереження налаштувань.

Кінець таблиці 2.2

3.	Середовище розробки Arduino IDE	Середовище для написання, компіляції, завантаження та тестування програмного коду.
4.	Логічні умови керування (алгоритм реагування на події)	Визначають, за яких умов відбувається увімкнення/вимкнення освітлення (наприклад, якщо виявлено рух + низький рівень освітленості).

Програмна логіка включає такі модулі як: ініціалізації системи; зчитування даних із сенсорів; обробки подій і прийняття рішень; керування виконавчими елементами.

Кіберфізична система побудована на принципі зворотного зв'язку. Сенсори зчитують параметри навколишнього середовища (рух, звук, освітленість). Мікроконтролер обробляє отримані дані згідно з алгоритмом. Виконавчі пристрої реалізують керування (вмикають або вимикають світло).

Такий підхід забезпечує автоматичну адаптацію системи до змін у середовищі та дозволяє досягнути основної мети: енергоефективного, надійного та розумного освітлення.

Таким чином, апаратна і програмна частини системи працюють як єдиний механізм, у якому мікроконтролер слугує інтерфейсом між сенсорами, фізичними пристроями та алгоритмічною логікою керування. Такий підхід дозволяє створити надійну, автономну й економічну систему автоматичного освітлення з можливістю гнучкого розширення функціоналу.

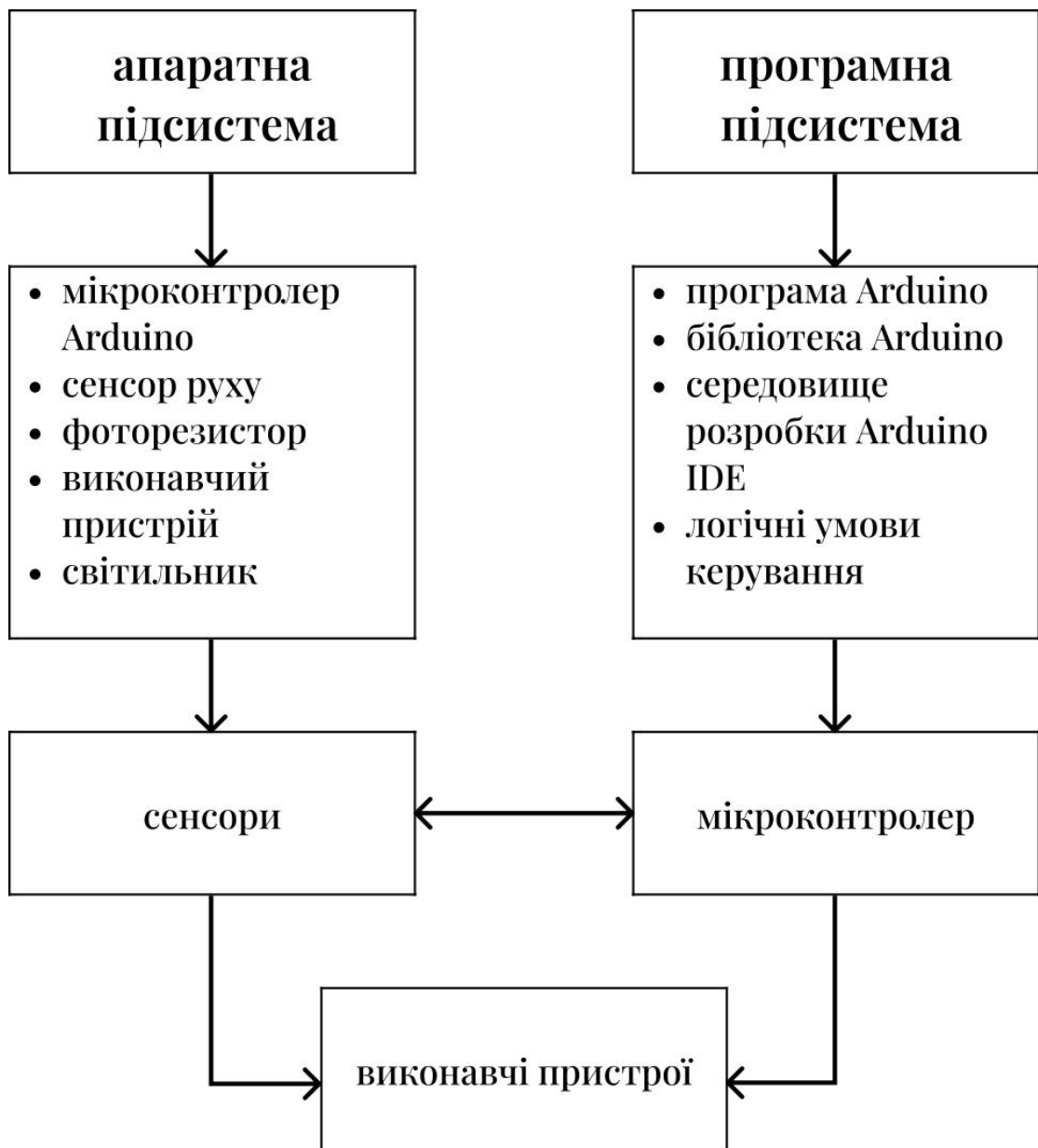


Рисунок 2.2 — Блок-схема взаємодії підсистем

Для наглядного розуміння роботи, апаратної та програмної частини підсистем, була сконструйовано блок-схему взаємодії підсистем.

2.3 Інтеграція та експлуатація кіберфізичної системи керування освітлення на базі Ардуіно

Після завершення етапів проектування, ретельного підбору апаратних компонентів і розробки програмного забезпечення настає етап інтеграції всіх складових кіберфізичної системи в єдиний, повноцінний функціональний комплекс. Ця стадія передбачає механічне поєднання сенсорів, мікроконтролера Arduino, виконавчих пристроїв (наприклад, світильників) та джерела живлення відповідно до розробленої електричної схеми та перевірку їх злагодженої взаємодії, що забезпечує автономну роботу системи та її здатність адекватно реагувати на зміну зовнішніх умов в режимі реального часу. Цей перехід від тестування окремих модулів до перевірки працездатності всієї системи в комплексі є ключовим для виявлення потенційних проблем сумісності чи логічних помилок. У статті [41] зазначено, що системи освітлення з підтримкою Інтернету речей забезпечують покращену оптимізацію енергоспоживання, дистанційне керування та збір даних у реальному часі для інтелектуальних середовищ; а також у новішій статі [22] було розглянуто інтеграції Wi-Fi модулів, таких як ESP8266, з Arduino, та було встановлено, що перетворює локальну автоматизацію на повноцінні системи з підтримкою Інтернету речей для віддаленого моніторингу та керування

Монтаж апаратної частини повинен бути виконаний з високою точністю та увагою до деталей: необхідно забезпечити якісний та надійний контакт електричних з'єднань, наприклад, шляхом ретельної пайки або використання відповідних клемників, а також надійну механічну фіксацію всіх компонентів для запобігання їх зміщенню чи пошкодженню від вібрацій. При цьому неухильно слід дотримуватися вимог електробезпеки, особливо при роботі з компонентами, що підключаються до мережі 220В, використовуючи відповідні запобіжники та забезпечуючи належне заземлення металевих частин конструкції. Особливо це важливо для зовнішніх установок, де система піддається агресивному впливу

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вологи, пилю, значним перепадам температури та потенційним механічним навантаженням. Для захисту чутливого електронного обладнання від цих факторів використовують герметичні корпуси відповідного класу захисту (наприклад, IP65 або вище)[13], захисні кожухи, а також можуть застосовуватися фільтри для захисту від пилю та стабілізатори напруги для забезпечення стабільного живлення навіть у складних кліматичних умовах та при нестабільній електромережі.

Розміщення сенсорів виконується з урахуванням максимального та ефективного охоплення контрольованих зон, де необхідно виявляти рух чи зміну рівня освітленості. Наприклад, сенсори руху (PIR-модулі), які реагують на зміни інфрачервоного випромінювання, встановлюють у таких місцях, щоб уникнути впливу прямих сонячних променів, потоків теплого повітря від систем кондиціонування чи опалення, а також інших джерел тепла, які можуть спотворювати показники та викликати хибні спрацювання. Також слід враховувати можливу присутність тварин, якщо їх детекція не є бажаною. Світильники монтують таким чином, щоб забезпечити рівномірне освітлення контрольованої території без створення темних плям або зон надмірного осліплення, що підвищує комфорт і безпеку використання системи. При зовнішньому освітленні також варто враховувати аспекти мінімізації світлового забруднення, спрямовуючи світло лише на ті ділянки, де це необхідно.

Після завершення монтажу проводиться комплексне та всебічне тестування функціональності системи у реальних умовах експлуатації. Цей процес включає перевірку правильності роботи кожного сенсора, адекватність та своєчасність реакції системи на зміни навколишнього середовища (детекція руху в різних точках зони контролю, реакція на зміну природного рівня освітленості), а також стабільність керування виконавчими пристроями (увімкнення/вимкнення світильників). На цьому етапі здійснюється тонке налаштування системи: встановлюються оптимальні порогові значення спрацювання датчиків (наприклад, рівень освітленості, при якому система переходить в активний режим),

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

регулюються часи затримки вимкнення світла після того, як об'єкт покинув зону детекції, а також налаштовується чутливість сенсорів для досягнення найкращого балансу між швидкістю реакції та мінімізацією хибних спрацювань. Якщо під час тестування виявляються недоліки в роботі, наприклад, занадто часті або, навпаки, рідкісні спрацювання, проводиться коригування програмної логіки, параметрів у скетчі або, в окремих випадках, змінюються електричні підключення чи розташування компонентів для досягнення оптимальної роботи. Цей процес налаштування часто є ітераційним і вимагає кількох циклів тестування та коригувань.

Однією з переваг систем, побудованих на базі платформи Arduino, є їхня виняткова масштабованість і гнучкість. Розроблену систему можна відносно легко розширити, додавши нові сенсори (наприклад, датчики температури, вологості, якості повітря) або виконавчі пристрої (додаткові світильники, сигнальні пристрої), а також змінити алгоритми управління шляхом модифікації програмного коду без необхідності повної перебудови апаратної частини. Це дозволяє легко адаптувати систему під нові умови експлуатації, змінювати її функціональність у міру виникнення нових потреб або інтегрувати з іншими системами. Відкритість апаратної та програмної частини Arduino, а також величезна підтримка з боку спільноти розробників значно спрощують такі модифікації.

Наукові дослідження та практичний досвід підтверджують високу ефективність використання таких автоматизованих систем у побутовому та напівпромисловому освітленні. Зокрема, у роботі [2] наведено дані, що впровадження автоматичного керування освітленням із використанням комбінації сенсорів руху та освітленості дозволяє скоротити енергоспоживання на 30–50% у порівнянні з традиційними схемами ручного вмикання, що є значним внеском в енергозбереження. Аналогічно, у дослідженні [19] довели, що впровадження додаткових інтелектуальних функцій, таких, як: автоматичне виявлення несправностей компонентів системи та формування звітів про її роботу - значно

підвищує загальну надійність системи та суттєво спрощує її технічне обслуговування. Звісно, конкретні показники економії енергії можуть варіюватися залежно від специфіки об'єкта, інтенсивності його використання та точності налаштування алгоритмів системи.

Для підвищення комфорту користувача та розширення можливостей керування в систему можна інтегрувати модулі бездротового зв'язку, такі як Wi-Fi (наприклад, на базі мікроконтролерів ESP8266 або ESP32, які іноді можуть навіть виконувати роль основного керуючого пристрою) або GSM-модулі (наприклад, SIM800L для роботи в мережах мобільного зв'язку там, де Wi-Fi недоступний). Це дозволяє здійснювати дистанційний моніторинг стану системи, отримувати сповіщення про події (наприклад, спрацювання датчика руху) та керування освітленням через інтернет за допомогою мобільного додатку або веб-інтерфейсу. Такий підхід дає змогу створювати повноцінні IoT-інтерфейси (Інтернет речей), що є дуже актуальним для сучасних концепцій «розумних» будинків і об'єктів, та відкриває можливості для інтеграції з хмарними платформами для збору даних, їх аналізу та взаємодії з іншими інтелектуальними пристроями.

Експлуатація системи, хоча й розробленої для автономної роботи, вимагає регулярного профілактичного обслуговування, але завдяки простоті та доступності платформи Arduino цей процес зазвичай не викликає значних труднощів. Типові задачі з обслуговування можуть включати очищення сенсорів від пилу, бруду чи павутиння, перевірку надійності електричних з'єднань та кріплень компонентів, контроль стану герметичності корпусів. Також можна легко перепрограмувати пристрій для оновлення програмного забезпечення, виправлення виявлених помилок, адаптувати його під нові завдання, змінити конфігурацію сенсорів або тип освітлення. Системи, які застосовують комбіновану логіку (наприклад, реагують одночасно на рух і низький рівень освітленості, або враховують час доби), працюють значно стабільніше і рідше

викликають хибні спрацювання, запобігаючи, наприклад, увімкненню світла вдень навіть при виявленні руху.

Важливо також відзначити, що у довгостроковій перспективі подібні системи, за умови якісного проектування та монтажу, демонструють високу надійність. Застосування в програмному коді алгоритмів фільтрації хибних сигналів від сенсорів (наприклад, ігнорування короточасних поодиноких імпульсів) та механізмів автоматичного відновлення роботи після можливих перебоїв із живленням (наприклад, шляхом збереження критичних налаштувань в енергонезалежній пам'яті) суттєво підвищує стабільність функціонування системи навіть у складних умовах експлуатації. Якість використовуваних компонентів та належний тепловий режим роботи електронних елементів також відіграють важливу роль у забезпеченні довготривалої безвідмовної роботи.

Отже, інтеграція кіберфізичної системи керування освітленням на базі Arduino - комплексний та багатогранний процес, що включає не лише технічну реалізацію та збірку, але й ретельне налаштування під конкретні реальні умови експлуатації, а також забезпечення необхідної гнучкості для подальшого розвитку та модернізації. Результатом такого підходу є створення автономної, енергоефективної і надійної системи, яка здатна ефективно виконувати свої функції протягом тривалого часу та є придатною для широкого використання в побутових і напівпромислових сферах. Належне документування всіх етапів проектування, монтажу та налаштування забезпечує простоту її обслуговування та модифікації протягом усього життєвого циклу.

2.4 Перспективи вдосконалення системи

Кіберфізичні системи керування, зокрема ті, що реалізуються на базі відкритих апаратно-програмних платформ, мають природну здатність до адаптації та технологічного зростання. У контексті системи автоматизованого освітлення прибудинкової території перспективи її вдосконалення пов'язані із:

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

впровадженням нових комунікаційних, обчислювальних і адаптивних технологій, що дозволяють вивести її функціональність на вищий рівень.

Одним із напрямів розвитку є інтеграція бездротових модулів, таких як Wi-Fi (наприклад, на базі мікроконтролерів ESP8266 або ESP32) або GSM-модулі (наприклад, SIM800L для роботи в мережах мобільного зв'язку там, де Wi-Fi недоступний). Це відкриває можливість для створення розширених віддалених інтерфейсів керування, дозволяючи користувачеві отримувати сповіщення про події (наприклад, спрацювання датчика руху), стежити за станом системи в режимі реального часу та керувати освітленням зі смартфона через мобільний застосунок або вебінтерфейс. Ця функція актуальна для приватних будинків, дачних ділянок чи невеликих житлових комплексів, де необхідний зручний доступ до системи без фізичної присутності на об'єкті. Крім того, використання бездротових технологій значно спрощує монтаж, зменшуючи потребу у прокладанні великої кількості кабелів, що знижує загальні витрати на встановлення системи.

Ще одним вектором модернізації є підключення системи до хмарних сервісів. У цьому разі дані з сенсорів можуть не лише використовуватися для прийняття рішень у реальному часі, але й накопичуватись, аналізуватись та візуалізуватись у динаміці. Це дає змогу вести детальний журнал подій, будувати графіки активності, прогнозувати навантаження та оптимізувати параметри освітлення на основі зібраних реальних даних. Такий підхід поступово наближає систему до повноцінної концепції «розумного будинку» в межах Інтернету речей (IoT), де всі пристрої взаємодіють між собою.

Ще одним варіантом є застосування алгоритмів машинного навчання (Machine Learning). Ці алгоритми здатні адаптувати поведінку системи до індивідуальних особливостей користувача або типових сценаріїв експлуатації. Наприклад, система може самостійно аналізувати часові закономірності появи людей на ділянці, завчасно активувати освітлення або динамічно змінювати чутливість сенсорів залежно від погодних умов, пори року чи характеру руху.

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Такий рівень адаптивності дозволяє не лише значно підвищити енергоефективність, автоматично оптимізуючи споживання, а й зробити систему більш комфортною та інтуїтивно зрозумілою у використанні.

Також є варіант підключення до загальномережевих платформ автоматизації, таких як Home Assistant, OpenHAB або TuYa. Це дозволить системі освітлення працювати у тісній взаємодії з іншими системами керування в рамках єдиної екосистеми: сигналізацією, клімат-контролем, контролем доступу або відеоспостереженням. У результаті реалізується ефект синергії, коли окремі підсистеми обмінюються даними та забезпечують більш гнучке та інтелектуальне керування всім середовищем проживання або роботи.

Таким чином, розвиток системи керування освітленням на базі Arduino не обмежується її початковим функціоналом. Завдяки відкритій архітектурі, широкій підтримці спільноти розробників і зростаючому числу доступних технологій, її потенціал може бути розширений до рівня повноцінної багатофункціональної інтелектуальної системи. Ця система відповідатиме сучасним вимогам сталого розвитку, забезпечуватиме високу енергоефективність і значно підвищить комфорт користувача, перетворюючи простір на більш адаптивне та "розумне" середовище.

2.5 Висновки до другого розділу

У межах розділу 2 проведено аналіз визначено апаратні та програмні підсистеми програмно-технічного засобу; способи взаємодії між підсистемами та описано функціональне призначення основних модулів та інформаційних ресурсів програмно-технічного засобу.

Розробка кіберфізичної системи керування освітленням прибудинкової території на базі Arduino є багатоетапним процесом, що поєднує технічні знання з програмною реалізацією, логічним аналізом та практичним випробуванням. Цей

підхід забезпечує створення надійної, гнучкої та ефективної системи, яка здатна адаптуватися до конкретних умов використання та масштабуватися.

На початковому етапі відбувається ретельний аналіз потреб користувача та умов експлуатації, що дозволяє визначити функціональні вимоги до системи, такі як автоматичне увімкнення освітлення при виявленні руху або з настанням сутінків, можливість ручного/дистанційного керування та забезпечення мінімального енергоспоживання. Після цього здійснюється вибір апаратного забезпечення, що включає мікроконтролер Arduino (зазвичай Uno або Nano через їхню функціональність та підтримку бібліотек), сенсори (PIR для виявлення руху, фоторезистори для вимірювання освітленості, а також опціонально звукові сенсори), виконавчі елементи (реле або транзисторні ключі для керування світильниками) та стабілізовані джерела живлення.

Наступним кроком є розробка структурної схеми підключення, яка деталізує з'єднання між мікроконтролером Arduino, сенсорами та виконавчими пристроями, забезпечуючи спільне заземлення для стабільної роботи системи. Для забезпечення коректної роботи аналогових і цифрових сигналів застосовуються резистори підтягування, фільтруючі конденсатори та оптоізоляція для реле. Розміщення сенсорів та освітлювальних елементів відбувається з урахуванням максимального охоплення контрольованої зони та рівномірного розподілу світла. Система працює за принципом централізованої обробки даних, де Arduino аналізує інформацію від сенсорів та приймає рішення щодо увімкнення/вимкнення освітлення, що є характерною ознакою кіберфізичних систем.

Програмна частина системи розробляється у середовищі Arduino IDE на мові C/C++. Скетч включає модулі ініціалізації сенсорів, безперервного зчитування даних, логічного аналізу вхідних сигналів, а також керування виконавчими пристроями. Для зменшення хибних спрацювань передбачаються часові затримки, фільтрація імпульсів та умови роботи лише в темний час доби.

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Після розробки відбувається комплексне тестування та налагодження системи, спочатку в лабораторних умовах, а потім безпосередньо на об'єкті. Під час цього етапу перевіряється чутливість сенсорів, адекватність реакції на події, стабільність живлення та правильність спрацьовування виконавчих пристроїв. Одночасно виконується остаточне налаштування системи, включаючи встановлення оптимальних порогових значень датчиків та регулювання часу затримки вимкнення світла. Для зовнішніх установок обов'язковим є використання герметичних корпусів та захисних кожухів для запобігання впливу вологи, пилу та температурних перепадів.

Інтеграція системи передбачає не лише механічне поєднання компонентів, але й перевірку їхньої злагодженої взаємодії, що забезпечує автономну роботу та адекватну реакцію на зовнішні умови в реальному часі. Якість монтажу та дотримання електробезпеки є важливими, особливо при роботі з високовольтними компонентами.

Системи на базі Arduino є масштабованими та гнучкими, що дозволяє легко додавати нові сенсори або виконавчі пристрої, а також змінювати алгоритми управління без повної перебудови апаратної частини. Це забезпечує адаптацію системи до нових умов експлуатації та інтеграцію з іншими системами. Наукові дослідження підтверджують, що використання автоматичного керування освітленням з сенсорами руху та освітленості дозволяє скоротити енергоспоживання на 30-50% [2]. Додатково, для підвищення комфорту та розширення можливостей керування, можна інтегрувати бездротові модулі (Wi-Fi, GSM) для дистанційного моніторингу та керування через мобільні додатки, створюючи повноцінні IoT-інтерфейси.

Експлуатація системи, хоча й автономна, вимагає регулярного профілактичного обслуговування, яке включає очищення сенсорів, перевірку з'єднань та стану корпусів. Можливість легкого перепрограмування дозволяє оновлювати програмне забезпечення та адаптувати систему під нові завдання. Комбінована логіка спрацьовування сенсорів значно підвищує стабільність

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роботи та зменшує кількість хибних спрацювань. Застосування алгоритмів фільтрації хибних сигналів та механізмів автоматичного відновлення роботи після перебоїв із живленням підвищує стабільність функціонування системи. Якість компонентів та належний тепловий режим також важливі для довготривалої роботи. Таким чином, інтеграція та експлуатація кіберфізичної системи керування освітленням на базі Arduino є комплексним процесом, що призводить до створення надійної, енергоефективної та адаптивної системи, придатної для широкого використання.

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРИБУДИНКОВОГО ОСВІТЛЕННЯ НА БАЗІ АРДУІНО

3.1 Принцип роботи кіберфізичної системи керування освітленням на базі Ардуіно

Принцип роботи кіберфізичної системи керування освітленням прибудинкової території на базі Arduino ґрунтується на інтеграції цифрових обчислень з фізичними процесами, що є характерною ознакою кіберфізичних систем загалом. У такій системі сенсорні пристрої збирають дані про навколишнє середовище, обчислювальний модуль аналізує ці дані в режимі реального часу, а виконавчі елементи здійснюють відповідну дію — увімкнення або вимкнення освітлення. Як зазначено у дослідженнях [36], подібні системи базуються на принципі реагування на зміну зовнішніх умов, таких як рух об'єкта у контрольованій зоні або рівень освітленості, та демонструють високу ефективність енергозбереження при простоті реалізації.

У базовій конфігурації системи використовується мікроконтролер Arduino Uno або Nano, PIR-сенсор для фіксації руху, фоторезистор (LDR) для визначення рівня зовнішнього освітлення, а також модуль реле для управління світильником. Робота системи починається з постійного зчитування показників з сенсорів. Аналоговий сигнал з LDR дає змогу визначити, чи є зовнішнє середовище достатньо темним для активації освітлення. Якщо освітлення нижче заданого порогу, Arduino переходить у режим очікування руху. Як тільки PIR-сенсор фіксує тепловий рух, система вмикає освітлення, активуючи реле. У більшості реалізацій передбачено часову затримку вимкнення світла, що запобігає миттєвому вимиканню при короткочасному зникненні об'єкта з поля зору сенсора.

У статті [2] підкреслюється важливість багатofункціонального підходу, коли система може працювати як у повністю автоматичному режимі, так і дозволяти ручне або дистанційне керування. У такому випадку алгоритм

реагування будується на пріоритетах: ручна команда має вищий пріоритет над автоматичним реагуванням. Це дозволяє забезпечити максимальну зручність для користувача та підвищити адаптивність системи до умов експлуатації. У рамках IoT-рішень, як зазначено в [19], принцип роботи може також включати передавання даних на хмарний сервер, що дозволяє моніторинг, журналювання подій та інтеграцію з іншими розумними пристроями будинку або вулиці.

Таким чином, принцип роботи розробленої системи полягає у послідовному прийнятті рішень на основі вхідних даних: світло вмикається лише за умови недостатнього рівня освітлення та наявності руху, і залишається активним протягом визначеного часу. Такий підхід дозволяє значно зменшити споживання електроенергії, мінімізувати втручання людини у процес керування та підвищити безпеку прибудинкової території в темну пору доби.

3.2 Алгоритм розробки кіберфізичної системи керування освітленням на базі Ардуіно

Розробка алгоритму керування освітленням прибудинкової території на базі мікроконтролера Arduino ґрунтується на інтеграції даних від двох основних сенсорів: сенсора руху (PIR) та датчика рівня освітленості (LDR). Завдання алгоритму полягає у прийнятті логічного рішення про активацію або деактивацію світлового приладу залежно від комбінації вхідних умов. Для досягнення стабільної та надійної роботи системи важливо передбачити також елементи захисту від хибних спрацювань, таймер затримки вимкнення та адаптацію до різних сценаріїв експлуатації.

Алгоритм розпочинається з ініціалізації сенсорів та встановлення порогових значень. Зчитування аналогового значення з LDR дозволяє визначити рівень освітлення у зовнішньому середовищі. Якщо це значення нижче встановленого порогу, система інтерпретує поточний стан як «сутінки» або «темну пору доби».

Водночас постійно відстежується цифровий сигнал з PIR-сенсора, який подає одиничний імпульс у разі виявлення руху теплового об'єкта у полі огляду.

Основна логіка роботи побудована на комбінації двох умов: якщо одночасно зафіксовано низький рівень освітленості та виявлено рух, система подає керуючий сигнал на реле або транзистор, через який вмикається освітлювальний прилад. Щоб уникнути частого миготіння світла або повторних увімкнень при постійній присутності людини, у програмі реалізується механізм тимчасової затримки вимкнення. Цей механізм полягає у збереженні часу останнього виявлення руху та порівнянні його з поточним часом. Якщо протягом заданого інтервалу новий рух не зафіксовано, а освітлення досі ввімкнене, система автоматично вимикає світло.

Розробка алгоритму також передбачає можливість гнучкого налаштування порогів освітленості та тривалості увімкнення через змінні, доступні у код. Це дозволяє адаптувати систему до конкретних умов: різних типів ламп, чутливості сенсорів, географічного розташування або інтенсивності руху на ділянці.

Результатом реалізації такого алгоритму є забезпечення автономного та адаптивного керування освітленням, що активується лише за умов реальної потреби. Такий підхід дозволяє значно знизити енергоспоживання та продовжити строк служби освітлювальних приладів.

Для розробки кіберфізичної системи керування освітленням, було б доцільно розглянути як схожі системи були реалізовані раніше.

У статті [2] алгоритм роботи системи базується на поєднанні автоматичного і ручного керування. Спочатку мікроконтролер зчитує дані з PIR-сенсора (рух) і фоторезистора (освітленість). Якщо виявлено рух і рівень освітлення нижче заданого порогу, активується реле для вмикання світла. Водночас система дозволяє користувачу вручну втручатись у процес, через Bluetooth або кнопки, з вищим пріоритетом таких команд над автоматикою. Після активації освітлення відлік затримки запускається, і світло залишається ввімкненим визначений

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інтервал часу з можливістю повторного продовження при повторному виявленні руху.

У роботі [19] запропоновано IoT-орієнтований алгоритм, де дані з датчика руху та датчика освітленості надходять до Arduino (або ESP8266). Якщо зафіксовано рух при низькому освітленні, система активує світильник і одночасно передає інформацію на хмарний сервер для логування подій. Крім того, реалізована функція виявлення несправностей, де система автоматично аналізує стан освітлювального елемента та генерує повідомлення при збої. Завдяки підключенню до Wi-Fi користувач може переглядати статус роботи та втручатися в систему дистанційно.

У дослідженні [36] алгоритм має просту структуру: мікроконтролер Arduino постійно опитує PIR-сенсор та датчик світла. При фіксації руху в темряві вмикається реле для активації світильника. Після зникнення руху, або завершення заданої затримки, світло вимикається. Алгоритм реалізований з мінімальним набором компонентів та базується на поєднанні двох простих умов. Додатково впроваджено затримку для уникнення миготіння світла при короткочасному зникненні об'єкта.

Основними функціями алгоритму керування освітленням прибудинкової території є: умова ввімкнення світла (рух, вручну, рівень освітлення); наявність затримки вимкнення; тип реагування (автоматично, вручну); інтеграція з IoT. Для аналізу систем які описані у вищенаведених статтях створено таблицю-порівняння(3.1).

У ній включено усі базові функції алгоритму керування освітленням прибудинкової території, а наявність чи відсутність цих функцій у системи виражено простими знаками + або -. Такий структурований підхід дозволяє наочно порівняти функціональні можливості кожної системи, виявити спільні риси та відмінності в їх реалізації.

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 — Порівняння алгоритмів керування освітленням прибудинкової території

№	Функція		Сенсорна мережа та Bluetooth, сумісна з мікроконтролером Arduino	Розумне вуличне освітлення на основі IoT	використовує датчики та Arduino
1.	Умови ввімкнення світла	Рух	+	+	+
		Вручну	+	-	-
		Рівень освітлення	-	+	+
2.	Наявність затримки вимкнення		+	+	+
3.	Тип реагування	Автоматичне	+	+	+
		Вручну	+	-	-
4.	Інтеграція з IoT		+	+	-

Розглянувши вже готові рішення, описані в наукових публікаціях і практичних реалізаціях, можна не лише запозичити ефективні підходи до побудови логіки керування, але й спроектувати та оптимізувати власну систему з урахуванням конкретних умов експлуатації, спростивши кроки до простої блок-схеми.

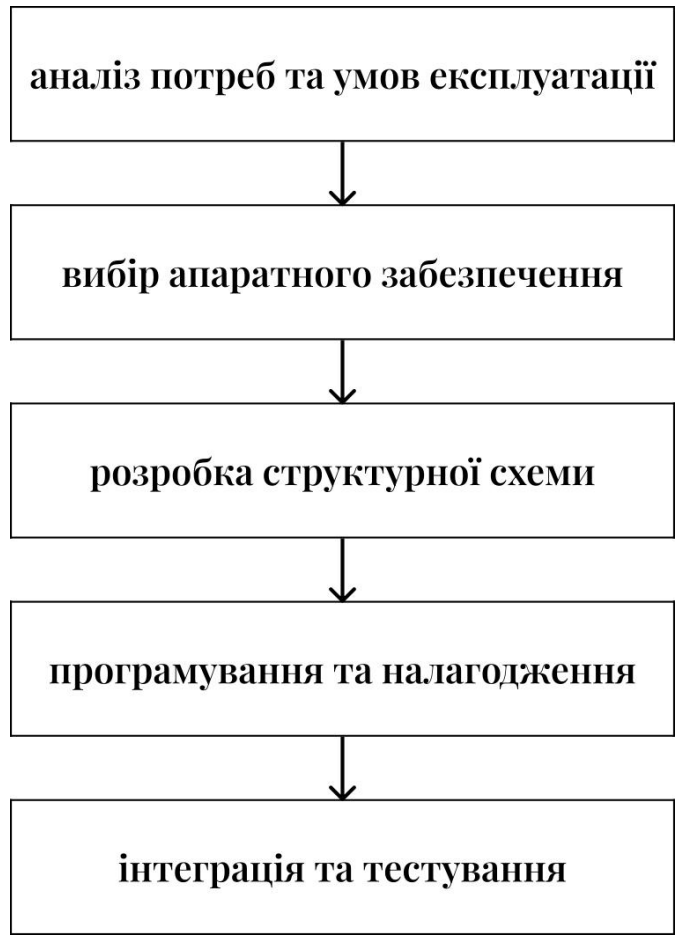


Рисунок 3.1 — Алгоритм розробки кіберфізичної системи керування освітленням

Розробка алгоритму керування освітленням прибудинкової території на базі Arduino інтегрує дані від PIR-сенсора та LDR для ухвалення логічного рішення про активацію або деактивацію світла. Алгоритм починається з ініціалізації сенсорів та встановлення порогових значень, активуючи освітлення лише за умови низького рівня освітленості та виявлення руху. Для уникнення частих спрацювань реалізовано механізм тимчасової затримки вимкнення, а гнучке налаштування порогів та тривалості увімкнення забезпечує адаптивність системи до різних умов експлуатації. Цей підхід значно знижує енергоспоживання та продовжує термін служби освітлювальних приладів.

3.3 Реалізація кіберфізичної системи керування освітленням на базі Ардуіно

Після розробки алгоритму та вибору апаратних компонентів наступним етапом є фізична реалізація системи керування освітленням прибудинкової території. В основі проекту використано мікроконтролер Arduino Uno, який виконує роль центрального керуючого блоку. До нього підключено PIR-сенсор для виявлення руху, фоторезистор (LDR) для визначення рівня освітлення, модуль реле для управління навантаженням та освітлювальний прилад (наприклад, світлодіодний прожектор). Компоненти монтуються на макетній платі або в захищеному корпусі відповідно до вимог електробезпеки, з урахуванням умов зовнішнього використання.

Підключення здійснюється відповідно до схеми: вихід PIR-сенсора з'єднується з цифровим входом Arduino, LDR підключається через дільник напруги до аналогового входу, керування модулем реле відбувається з цифрового виходу. Спільний GND поєднує всі компоненти для забезпечення стабільної роботи. До вихідних клем реле підключається освітлювальний прилад, а саме реле підживлюється з 5В Arduino або зовнішнього джерела живлення.

Програмна частина реалізується в середовищі Arduino IDE. Скетч включає ініціалізацію пінів, налаштування порогових значень освітлення, постійне зчитування аналогового сигналу з LDR, цифрового сигналу з PIR, а також логіку ухвалення рішень. У разі виконання умов активується сигнал на реле, що призводить до увімкнення світла. Світло залишається увімкненим протягом визначеного проміжку часу, після чого автоматично вимикається за відсутності подальшого руху.

Після завантаження коду в мікроконтролер виконується тестування в лабораторних умовах. Перевіряється правильність реагування на зміну освітленості та руху, аналізується час реакції, робота реле та стабільність живлення. За потреби коригуються параметри. Після цього система встановлюється у реальному середовищі з урахуванням захисту від погодних

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умов. Такий підхід, як підтверджують дослідження [9] та [2], дозволяє створити доступну, стабільну та енергоефективну систему освітлення на основі Arduino.

У статті [2] описано розробку автоматизованої системи для домашньої автоматизації на базі Arduino, де керування освітленням здійснюється за допомогою PIR-сенсора і реле. Автори підкреслюють важливість гнучкості в керуванні, система підтримує як автоматичний, так і ручний режими роботи. У проєкті реалізовано пріоритетність ручного керування над автоматичним: користувач може вручну увімкнути або вимкнути світло за допомогою Bluetooth-з'єднання, при цьому система автоматично не змінює стан світла без необхідності. Це рішення забезпечує адаптивність до різних умов експлуатації, що є важливим для зовнішнього освітлення, де потрібна можливість ручного втручання.

У дослідженні [19] розглянуто систему автоматичного вуличного освітлення з можливістю виявлення несправностей. Система побудована на платформі Arduino, з використанням PIR-сенсора та датчика освітленості, а також додатково оснащена модулем ESP8266 для передавання даних у хмару. Основний алгоритм враховує одночасну наявність руху та низький рівень освітленості для активації світла. Однією з важливих особливостей є реалізація автоматичного виявлення несправностей, система може розпізнавати непрацюючі компоненти (наприклад, несправні лампи) й передавати повідомлення через IoT-інтерфейс. Це розширює стандартні функції освітлення, перетворюючи систему на повноцінну кіберфізичну інфраструктуру з можливістю моніторингу, зворотного зв'язку та хмарної інтеграції.

У роботі [36] представлено систему вуличного освітлення, яка самостійно активується на основі даних з PIR-сенсора. Проєкт заснований на простій, але ефективній архітектурі: сенсор руху передає цифровий сигнал на Arduino, який через реле керує світильником. Особливу увагу приділено енергоефективності: освітлення вмикається лише при наявності руху в межах зони детекції, і автоматично вимикається після заданої затримки. Автори підкреслюють низьку вартість реалізації та простоту розгортання системи в різних умовах, включно з

прибудинковими територіями. Такий підхід забезпечує базовий рівень автоматизації без складної IoT-інфраструктури, але його можна масштабувати.

Основними компонентами апаратної реалізації керування освітленням прибудинкової території є: мікроконтролер Arduino(Nano або Uno); сенсор руху; фоторезистор; реле / транзистор; світильник LED; Wi-Fi / GSM модуль; джерело живлення (3.2).

Таблиця 3.2 — Порівняння компонентів апаратної реалізації керування освітленням прибудинкової території

№	Компонент		Самоактивуючі вуличні ліхтарі за допомогою датчиків та Arduino	Самоактивуючі вуличні ліхтарі за допомогою датчиків та Arduino	використовує датчики та Arduino
1.	Arduino	Nano	+	-	-
		Uno	-	+	+
2.	Сенсор руху		+	+	+
3.	Фоторезистор		+	+	+
4.	Реле / транзистор		+	+	+
5.	Світильник LED		+	+	+
6.	Wi-Fi / GSM модуль		+	+	-
7.	Джерело живлення		+	+	+

3.4 Опис процесу створення програми в Arduino IDE

Arduino IDE - це офіційне середовище розробки для написання, компіляції та завантаження програм (скетчів) до мікроконтролерів Arduino. Середовище базується на спрощеній версії мови програмування C/C++ і розроблене з метою забезпечення інтуїтивного доступу до мікроконтролерного програмування навіть для початківців. Однією з переваг Arduino IDE є її лаконічний і зрозумілий інтерфейс, що дозволяє зосередитися на логіці програми без зайвого ускладнення структури проєкту.

У вікні редактора користувач має доступ до двох основних функцій: `setup()` - для ініціалізації обладнання та початкових налаштувань, і `loop()` - для основної логіки, яка виконується безперервно. Середовище також забезпечує просту інтеграцію з апаратною частиною Arduino, достатньо лише підключити плату до комп'ютера, обрати модель пристрою та COM-порт. Далі код можна одразу компілювати та завантажувати на плату.

Крім базових можливостей, Arduino IDE підтримує серійний монітор, що дозволяє виводити діагностичну інформацію в режимі реального часу, тестувати вхідні дані з сенсорів або перевіряти роботу алгоритмів. Це особливо важливо для проєктів, де відлагодження та точна діагностика є необхідними етапами розробки.

Таким чином, Arduino IDE виступає як повноцінна платформа для розробки вбудованого ПЗ, сумісна з різними платами, модулями й бібліотеками, та забезпечує ефективне програмування кіберфізичних систем з мінімальними технічними бар'єрами.

Вибір Arduino IDE для програмування кіберфізичної системи керування освітленням ґрунтується на кількох об'єктивних перевагах, які роблять це середовище оптимальним у контексті проєктів розумного керування, зокрема освітленням.

Перш за все, Arduino IDE - це open-source середовище, що не вимагає ліцензій або платного доступу. Кожен користувач має змогу безкоштовно

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

завантажити програму та використовувати її без обмежень, що є важливою перевагою в освітніх, дослідницьких або аматорських проєктах.

Другою перевагою є простота використання. Інтерфейс не перевантажений елементами, а структура коду мінімалістична.

Крім того, Arduino IDE підтримує велику кількість бібліотек, які розширюють функціонал плат і дозволяють працювати з десятками типів сенсорів, дисплеїв, виконавчих пристроїв і модулів зв'язку (Wi-Fi, GSM, Bluetooth тощо). У контексті даного проєкту це забезпечує просте підключення PIR-сенсорів, LDR-резисторів, реле.

У сукупності, поєднання відкритості, простоти та гнучкості робить Arduino IDE гарним інструментом для створення програмного забезпечення у складі кіберфізичних систем, зокрема в задачах автоматизації освітлення. Саме тому це середовище було обрано як базове у розробці програмної логіки для даного проєкту.

Початковий етап розробки передбачав підключення мікроконтролера Arduino Uno до комп'ютера через USB-кабель, а також налаштування типу плати й порту у меню Tools. Після цього середовище було готове до створення скетчу: програми, що складається з двох основних функцій: `setup()` та `loop()`.

У функції `setup()` відбувається ініціалізація пінів, до яких підключені сенсори та виконавчі пристрої. PIR-сенсор підключено до цифрового входу, а фоторезистор LDR - до аналогового. Модуль реле керується через цифровий вихід. На цьому етапі також оголошуються змінні для зберігання поточних значень сенсорів та налаштовуються початкові параметри.

Основна логіка управління реалізована у функції `loop()`, яка виконується безперервно. У кожному циклі Arduino зчитує значення рівня освітлення з аналогового входу, після чого визначає, чи значення нижче встановленого порогу, що вказує на настання сутінок або темної пори доби. У разі темряви контролер активує очікування сигналу з PIR-сенсора. Якщо фіксується рух, активується реле, що вмикає освітлення.

Щоб уникнути короткочасного миготіння або неправильного вимкнення світла, реалізовано механізм затримки вимкнення: система очікує деякий проміжок часу після останнього виявленого руху, перш ніж вимикати світло. Значення порогу освітлення та тривалість затримки можуть бути змінені користувачем безпосередньо у скетчі.

Після завершення написання коду програма завантажується в мікроконтролер, після чого проводиться лабораторне тестування. Система перевіряється на правильність реакції на зовнішнє освітлення та рух, стабільність роботи реле, а також чутливість сенсорів. У разі потреби порогові значення та час затримки можна оперативно коригувати.



```
1 // Оголошення пінів
2 const int pirPin = 2; // PIR-сенсор підключено до цифрового входу 2
3 const int ldrPin = A0; // LDR підключено до аналогового входу A0
4 const int relayPin = 8; // Реле керується з цифрового виходу 8
5
6 // Налаштування порогів
7 int lightThreshold = 500; // Порогове значення освітлення (0-1023)
8 unsigned long lightOnDuration = 10000; // Час затримки вимкнення (мс)
9
10 unsigned long lastMotionTime = 0; // Час останнього руху
11
12 void setup() {
13   pinMode(pirPin, INPUT);
14   pinMode(relayPin, OUTPUT);
15   digitalWrite(relayPin, LOW); // Початково світло вимкнено
16 }
```

Console Done Verifying project

Sketch uses 2616 bytes (8%) of program storage space. Maximum is 32256 bytes.
Global variables use 208 bytes (10%) of dynamic memory, leaving 1840 bytes for local variables. Maximum is 2048 bytes.

Рисунок 3.2 — Приклад програми в Arduino IDE

Таким чином, створення програми в Arduino IDE для керування прибудинковим освітленням є не лише ефективним рішенням із точки зору функціональності, а й прикладом практичного застосування концепцій кіберфізичних систем у реальних умовах.

3.5 Опис процесу створення симуляції у Wokwi

Для верифікації працездатності розробленої програми без використання фізичного обладнання було створено повноцінну віртуальну симуляцію роботи

кіберфізичної системи керування освітленням у середовищі Wokwi Arduino Simulator. Це сучасна онлайн-платформа, що дозволяє емулювати роботу мікроконтролерів Arduino, а також підключених до них електронних компонентів, включаючи сенсори, виконавчі пристрої, дисплеї та модулі зв'язку.

Після реєстрації в сервісі Wokwi, користувач отримує доступ до інтерактивного редактора схеми, у якому можна перетягувати на віртуальну монтажну плату всі необхідні компоненти. У рамках даної роботи до схеми було додано такі елементи: Arduino Uno (Рис 3.3), PIR-сенсор руху (Рис 3.4), LDR (фоторезистор) (Рис 3.5), резистор 10 кОм (Рис 3.6) для створення подільника напруги, реле-модуль (Рис 3.8) та індикаторний світлодіод (Рис 3.8). Усі елементи було підключено відповідно до призначених у програмному коді пінів: PIR до цифрового входу D2, LDR до аналогового входу A0, реле до виходу D8, а світлодіод до піну D13.

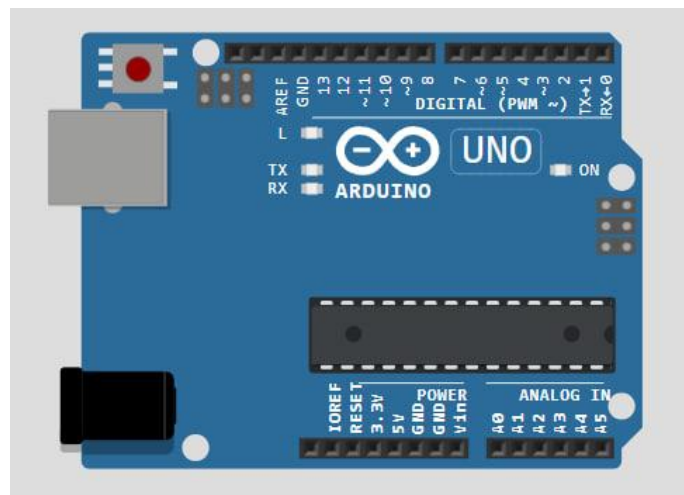


Рисунок 3.3 — Arduino Uno [47]

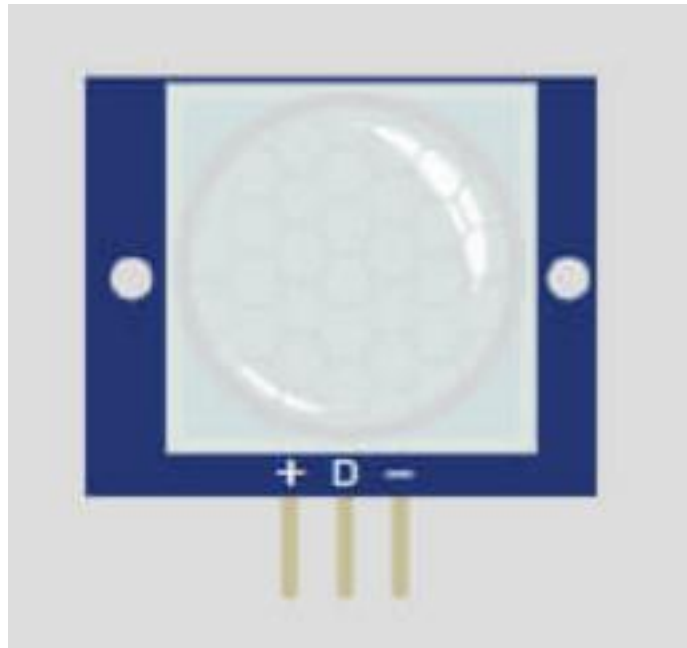


Рисунок 3.4 — PIR-сенсор руху [47]



Рисунок 3.5 — LDR (фоторезистор) [47]



Рисунок 3.6 — Резистор 10 кОм [47]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 3.7 — Реле-модуль [47]



Рисунок 3.8 — Індикаторний світлодіод [47]

Код було розміщено у відповідному полі редактора Wokwi. Середовище підтримує стандартну мову програмування Arduino (C/C++), а також дозволяє використовувати серійний монітор для виводу діагностичної інформації. Для перевірки логіки роботи системи можна змінювати віртуальну освітленість (рухати повзунок LDR), а також вручну активувати або деактивувати PIR-сенсор, натискаючи на нього мишкою.

Симуляція дозволила протестувати основні функції проєкту: виявлення темряви, фіксацію руху, вмикання та вимикання реле із затримкою, а також вивід повідомлень у консоль, що імітує реальний серійний монітор. Такий підхід підтвердив коректність алгоритму без потреби фізичного складання схеми, що значно спростило процес налагодження та покращило точність програмної реалізації.

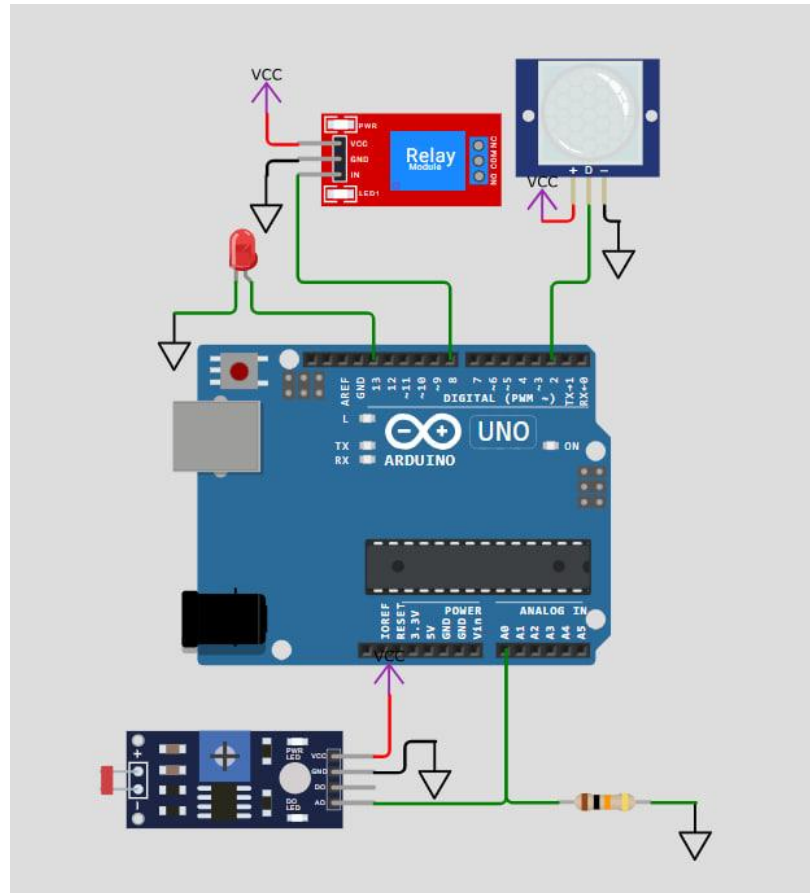


Рисунок 3.9 — Схема симуляції у Wokwi

У результаті створення віртуальної симуляції в Wokwi було підтверджено, що кіберфізична система керування освітленням працює згідно з заданими умовами, демонструючи логіку адаптивного освітлення в залежності від зовнішнього освітлення та наявності руху. Отриманий результат цілком відповідає цілям, поставленим у межах даного дослідження.

3.6 Висновки до третього розділу

Підсумовуючи розділ можна зробити висновки, що розробка кіберфізичної системи керування прибудинковим освітленням на базі Arduino є ефективним та практичним рішенням, що ґрунтується на інтеграції цифрових обчислень із фізичними процесами для оптимізації енергоспоживання та підвищення безпеки. Принцип роботи системи полягає у безперервному зчитуванні даних із сенсорів

(PIR-сенсора руху та фоторезистора LDR) для визначення рівня освітленості та наявності руху в контрольованій зоні. Освітлення активується лише за умови недостатнього рівня освітлення та виявлення руху, а також передбачає часову затримку вимкнення для запобігання миттєвого згасання світла. Такий підхід дозволяє суттєво зменшити споживання електроенергії та мінімізувати втручання людини.

Алгоритм розробки системи починається з ініціалізації сенсорів та встановлення порогових значень, а основна логіка базується на одночасній фіксації низького рівня освітленості та виявленні руху, що призводить до активації освітлювального приладу. Важливою складовою є механізм тимчасової затримки вимкнення, що забезпечує стабільну роботу та запобігає частому миготінню світла. Алгоритм також передбачає гнучке налаштування порогів освітленості та тривалості увімкнення, що дозволяє адаптувати систему до різних умов експлуатації. Аналіз існуючих рішень показав, що подібні системи можуть інтегрувати ручне керування (з вищим пріоритетом), а також функції IoT для моніторингу та діагностики несправностей, що розширює функціональність та адаптивність системи.

Фізична реалізація системи включає використання мікроконтролера Arduino Uno як центрального керуючого блоку, до якого підключаються PIR-сенсор, LDR, модуль реле та освітлювальний прилад. Компоненти монтуються з урахуванням електробезпеки та умов зовнішнього використання. Програмна частина розробляється в Arduino IDE, яка є open-source середовищем, що забезпечує простоту використання, лаконічний інтерфейс та підтримку великої кількості бібліотек, що робить її оптимальним вибором для таких проєктів. Процес створення програми включає ініціалізацію пінів, налаштування порогових значень, безперервне зчитування сигналів сенсорів та реалізацію логіки ухвалення рішень з механізмом затримки.

Для верифікації працездатності програми без фізичного обладнання була створена симуляція у Wokwi Arduino Simulator. Ця онлайн-платформа дозволила

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

емулювати роботу Arduino та всіх підключених компонентів, таких як PIR-сенсор, LDR, резистор, реле-модуль та світлодіод. Симуляція дала можливість протестувати основні функції системи, змінюючи віртуальні умови освітлення та руху, що підтвердило коректність алгоритму та значно спростило процес налагодження. Отже, розроблена кіберфізична система є функціональною, енергоефективною та адаптивною до зовнішніх умов, що повністю відповідає поставленим цілям дослідження.

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень було розроблено та реалізовано кіберфізичну систему керування прибудинковим освітленням на базі мікроконтролера Arduino, що забезпечує автоматичне увімкнення та вимкнення освітлення в залежності від рівня освітленості та наявності руху, тим самим сприяючи енергозбереженню та підвищенню безпеки.

У першому розділі проведено аналіз кіберфізичних систем (КС), їхніх ключових характеристик та принципів функціонування, а також розглянуто архітектуру та сучасні тенденції розвитку, зокрема застосування у сфері розумного освітлення. Визначено, що основними компонентами КС є сенсори, обчислювальні пристрої, виконавчі механізми та мережева інфраструктура, що забезпечує взаємодію фізичного та віртуального просторів. Особливу увагу приділено перевагам та викликам впровадження КФС у міське середовище та домашню автоматизацію, підкреслюючи їхній потенціал для оптимізації ресурсів та покращення якості життя.

У другому розділі проведено огляд існуючих систем керування освітленням, починаючи від традиційних рішень до сучасних інтелектуальних систем, що використовують технології IoT та штучного інтелекту. Розглянуто різні підходи до автоматизації освітлення, такі як використання датчиків руху, освітленості, а також можливості дистанційного керування. Проаналізовано апаратні платформи, зокрема мікроконтролер Arduino, який є основою для побудови таких систем, оцінено їхні переваги та недоліки для конкретних застосувань. Визначено критерії вибору компонентів для розроблюваної системи, зважаючи на вимоги до надійності, енергоефективності та вартості.

У третьому розділі висвітлено принципи роботи, алгоритм розробки та безпосередню реалізацію кіберфізичної системи керування освітленням на базі Arduino. Детально описано інтеграцію PIR-сенсора та фоторезистора (LDR) для виявлення руху та визначення рівня освітленості, а також використання реле для

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

управління освітлювальним приладом. Розглянуто логіку роботи системи, що базується на комбінації цих умов та включає механізм часової затримки вимкнення світла. Обґрунтовано вибір Arduino IDE як основного середовища для розробки програмного забезпечення, враховуючи його простоту, відкритість та підтримку бібліотек. Також представлено процес створення віртуальної симуляції системи у Wokwi Arduino Simulator, що дозволило верифікувати працездатність алгоритму та функціональність системи без потреби у фізичному обладнанні.

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. A Smart Home Automation System Based on Internet of Things (IoT) Using Arduino / M.Darji et al. *Futuristic Trends in Networks and Computing Technologies* / P. . K. Singh et al. 936th ed. Springer, Singapore : Lecture Notes in Electrical Engineering, 2022. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-19-5037-7_19.

2. Abdulabbas T. E., Mahmoud S. M., Abdulsattar A. Z. Automated Smart Home Based on Arduino Applications. *2022 2nd International Conference on Advances in Engineering Science and Technology (AEST)*, Babil, Iraq, 24–25 Oct. 2022. IEEE, 2024. P. 657–662.

3. Abdulraheem Ahmad Sinali, et al. Home automation system based on IoT. *Technology Reports of Kansai University*. 2020. Vol.62.5. ISSN 04532198.

4. Alsbou N., Naveen M. T., Imad A. Smart home automation iot system for disabled and elderly. *2022 IEEE International IOT, Electronics and Mechatronics Conference (IEMTRONICS)*, Toronto, Canada, 1–4 June 2022. IEEE, 2022.

5. Arduino Based Light Intensity Auto Curtain / M. Mursidah et al. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*. 2022. Vol. 2. P. 1–6.

6. Arduino Based Visible Light Communications Between Two Devices Using Li-Fi Technology / J. N. Begam et al. *2021 International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation (ICAECA)*, Coimbatore, India, 8–9 Oct. 2021. IEEE, 2022. P. 1–4.

7. Asegunloluwa B., Olarinde A. J. Arduino-Based Motion Light Controller for Energy Consumption Optimization. *Anchor University Journal of Science and Technology*. 2024. Vol. 15. P. 171–180. ISSN 2736-0059.

8. Atmaja J. F. T., Sari M. W., Ciptadi P. W. Developing application of automatic lamp control and monitoring system using internet of things. *Journal of Physics: Conference Series*, Yogyakarta, Indonesia, 3–4 Nov. 2020. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021. URL: <https://doi.org/https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1823/1/012002>.

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Auto streetlight control with detecting vehicle movement / D. Kumar Saini et al. *In Advances in Energy Technology* / R. C. Bansal, A. Agarwal, V. K. Jadoun. Singapore : Springer, 2020. P. 279–288.

10. Balaji B., Priya R., Revathy R. Domestic automation system using internet of things and arduino. *2020 International Conference on System, Computation, Automation and Networking (ICSCAN)*, Pondicherry, India, 3–4 Jul. 2020. IEEE, 2020. P. 1–4.

11. Beyaz A., Gül V. Determination of low-cost arduino based light intensity sensors effectiveness for agricultural applications. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 2022. Vol. 65. URL: <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022220172>.

12. Design and Construction of an Automatic Motion Tracking Security Light with Embedded Backup Power Control System / F. Omotoso et al. *2024 IEEE 5th International Conference on Electro-Computing Technologies for Humanity (NIGERCON)*, Ado Ekiti, Nigeria, 26–28 Nov. 2024. IEEE, 2025. P. 1–11.

13. Energy efficient smart street light system based on pulse width modulation and Arduino / V. P. Matta et al. *2023 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI)*, Coimbatore, India, 23–25 Jan. 2023. IEEE, 2023. P. 1–5.

14. Gazis A., Katsiri E. Smart home IoT sensors: Principles and applications a review of low-cost and low-power solutions. *International Journal on Engineering Technologies and Informatics*. 2021. Vol. 2. P. 19–23.

15. Home Automation System / A. U. Jadhav et al. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*. 2024. Vol. 4. P. 386–389. ISSN 2581-9429.

16. Home automation system / M. Islam et al. *ADB U Journal of Engineering Technology*. 2023. Vol. 12.

17. Home automation using Arduino / S. S. Sudhir et al. *Open Access International Journal of Science & Engineering*. 2021. Vol. 6. ISSN 2456-3293.

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

18. Industrial internet of things: Recent advances, enabling technologies and open challenges. / W. Z. Khan et al. *Computers & Electrical Engineering*. 2020. Vol. 81.
19. IoT Based Automated Street Light Control with Fault Detection and Reporting System. / J. V. Anchitaalagammai et al. *2023 5th International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)*., Coimbatore, India, 3–5 Aug. 2023. IEEE, 2023
20. IOT based automatic street light control and fault detection / P. Kumar et al. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*. 2021. Vol. 12.
21. IoT Based Fire and Motion Detection System / R. Bolimera et al. *2025 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS)*, Bhopal, India, 18–19 Jan. 2025. IEEE, 2025. P. 1–5.
22. IoT Smart Door System with Motion Sensing and Facial Recognition / M. K. Hamzah et al. *2024 20th IEEE International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA)*, Langkawi, Malaysia, 1–2 Mar. 2024. IEEE, 2024. P. 178–183.
23. Irawan Y., Wahyuni R. Electronic Equipment Control System for Households by using Android Based on IoT (Internet of Things). *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1783.
24. Jayakody Arachchige M. D., Nafea M., Nugroho H. A hybrid EEG and head motion system for smart home control for disabled people. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 2023. Vol. 14. P. 4023–4038.
25. Kaya S., Gorucu O., Kirci P. Smart home automation system. *2021 IEEE 4th International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT)*, Lviv, Ukraine, 21–25 Sep. 2021. IEEE. P. 71–74.
26. Kumar V., Sharma P., Kamaldeep K. Smart lighting system using arduino. *2021 IEEE 8th Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON)*, Dehradun, India, 11–13 Nov. 2021. IEEE, 2021. P. 1–5.
27. Kuru K., Khan W. A framework for the synergistic integration of fully autonomous ground vehicles with smart city. *IEEE Access*. 2020. Vol. 9. P. 923 – 948.

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

28. Light intensity distribution in the room using light dependent resistor: Through the engineering design process / A. Susilawati et al. *Indonesian Journal of Science and Technology*. 2024. Vol. 9.

29. Low Cost House Automation system based on arduino microcontroller / F. Chekired et al. *2021 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS)*, Vancouver, Canada, 10–14 Oct. 2021. IEEE, 2022. P. 1–6.

30. Ishouiliy K., Agrawal D. P. Confluence of 4G LTE, 5G, Fog, and Cloud Computing and Understanding Security Issues. *Fog/Edge Computing For Security, Privacy, and Applications* / K. Alshouiliy, D. P. Agrawal. Vol. 83. *Advances in Information Security (ADIS)*, 2021. P. 3–32.

31. Lumbantobing O. Microcontroller Based Automatic Light Monitoring Implementation Using Sound Sensor. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*. 2022. Vol. 2. P. 49–52.

32. Maheshwari P., Agrawal M., Goyal V. Design and analysis of smart automatic street light system. *Proceedings of International Conference on Big Data, Machine Learning and their Applications* / S. Tiwari et al. Singapore : Springer, 2021. P. 151–159.

33. Nasir J. Web-Based Scheduling Application and Motion Sensor Using Arduino Mega. *JISA (Jurnal Informatika dan Sains)*. 2021. Vol. 4. P. 28–32.

34. Novani N. P., Hersyah M. H., Hamdanu R. Electrical Household Appliances Control using Voice Command Based on Microcontroller. *2020 International Conference on Information Technology Systems and Innovation (ICITSI)*, Bandung, Indonesia, 19–23 Oct. 2020. IEEE, 2020. P. 288–293.

35. Romadhon S., Widyaningrum V. T. Application of Sensors in Arduino as a control in Smart Home. *2022 IEEE 8th Information Technology International Seminar (ITIS)*, Surabaya, Indonesia, 19–21 Oct. 2022. IEEE, 2022. P. 130–133.

36. Self-Activating Street Lights Using Sensors and Arduino / N. Gopinath et al. *2021 4th International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCT)*, Chennai, India, 16–17 Dec. 2021. IEEE, 2022. P. 469–472.

					КВПКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

37. Smart Home Controlling System / M. Jenal et al. *Journal of Electronic Voltage and Application*. 2022. Vol. 3. P. 92–104.
38. Smart Home with Voice Control Lights Using Arduino Uno R3 / C. Mamahit et al. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*. 2023. Vol. 3. P. 97–104.
39. Smart street light system using raspberry pi / S. Kadam et al. *Proceedings of the 4th International Conference on Advances in Science & Technology (ICAST2021)*.
40. Sravanthi I., Ch V. R. Arduino based smart street light system. *2021 3rd International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICAC3N)*, Greater Noida, India, 17–18 Dec. 2021. IEEE, 2021. P. 657–660.
41. Tayef S. H., Rahman M. M., Sakib M. A. B. Design and Implementation of IoT based Smart Home Automation System. *2021 24th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT)*, Dhaka, Bangladesh, 18–20 Dec. 2021. IEEE, 2021. P. 1–5.
42. Tippannavar S. S., Shivaprasad N., Kumar P. Smart home automation implemented using labview and arduino. *2022 International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS)*, Tuticorin, India, 16–18 Mar. 2022. IEEE, 2022. P. 644–649.
43. Training on Arduino-based Automation Basics for Students of MA Al Madinah Boyolali / B. Prayoga et al. *Dinamisia: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 2024. Vol. 8. P. 229–238.
44. Valiente F. L., Barnuevo P. A. L., Orani P. A. S. Developing Automated System with Motion Sensor for Electrical Charged Equipment using Arduino Uno. *2024 16th International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)*, Melbourne, Australia, 14–16 Mar. 2024. IEEE, 2024. P. 681–686.
45. Venu D. N. IoT based Real Time Street Lights controlling on Motion Detection. *European Chemical Bulletin*. 2023. Vol. 12. P. 270–287.
46. Voice Command Automation System (VCAS) for controlling electrical devices using arduino / M. Rahman et al. *Soft Computing: Theories and Application* / R. Kumar et al. Singapore : Springer, 2022. P. 231–242.

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

47. Wokwi. <https://wokwi.com/arduino>. URL: <https://wokwi.com/>. (дата звернення: 04.05.2025)

48. Younis M. F., Salim S. S. Cloud based automatic street lighting control system. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1973.

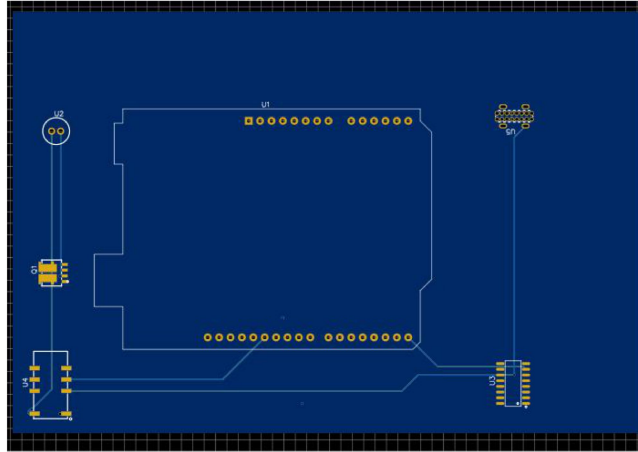
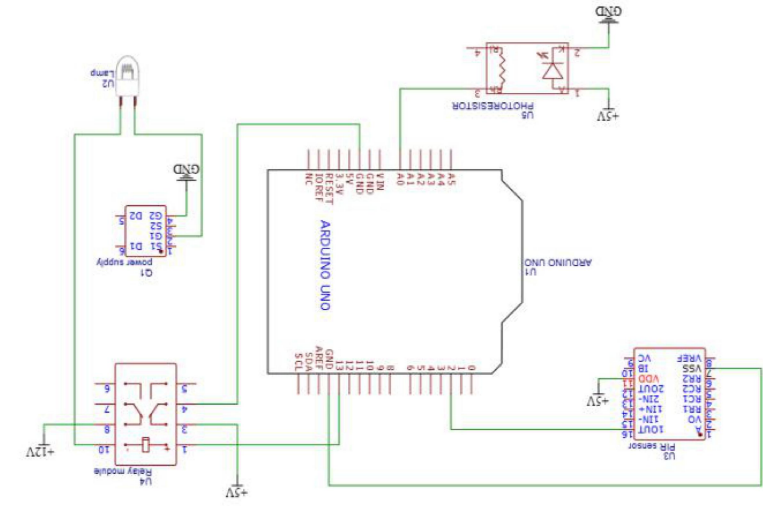
49. Zaro F., Tamimi A., Barakat A. Smart Home Automation System. *International Journal of Engineering and Innovative Research*. 2021. Vol. 3. P. 66–88.

					КВРКІ. 210254.21.02.78 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А (обов'язковий)

КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «СХЕМА ПРИНЦИПОВА»

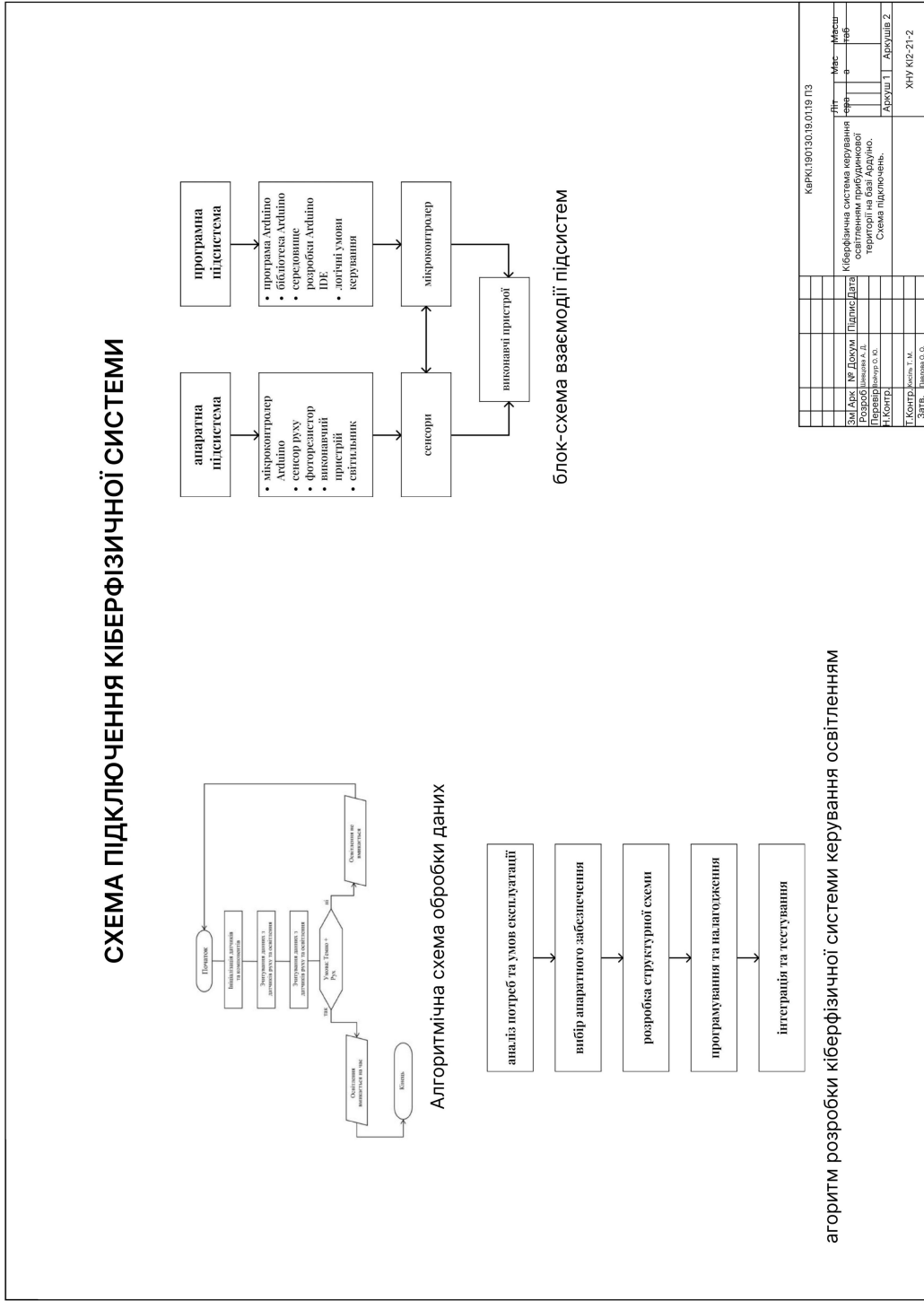
СХЕМА ПРИНЦИПОВА



КВРК19073019.01.19 ПЗ		Літ.	Мас.	Меш-
Зм. Арх.	№ Докум.	Підпис	Дата	Формат
Розроб	Лавина А.В.			pdf
Проєкт	Волоніс О.О.			
І.Контр.				
Т.Контр.	Лавина Т.М.			Архив 1 Архив 2
Затв.	Лавина О.О.			ХНУ КІЗ-21-2

Додаток Б
(обов'язковий)

КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «СХЕМА ПІДКЛЮЧЕННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ»



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: Анна ШЕВЦОВА

Співавтор:

Назва: Шевцова_Кіберфізична система керування освітленням прибудинкової території на базі Ардуіно

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 6.8%

Коефіцієнт подібності 2: 1.5%

Мікропробіли: 11

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-09 07:06:38.0

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:

2025-06-09

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 6.0%

Dictionary check: en_US, ru_RU, ua_UA. **Errors in the documents: 11%**

ID: 244138 Title: БКР Кіберфізична система керування освітленням прибудинкової території на базі Ардуіно Added in a DB: 2025-06-09 Authors: Анна ШЕВЦОВА Heads: Олег ВОЙЧУР Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	87870	592	6876 (8%)	71 (12%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Шевцова Анна Дмитрівна

Тема: Кіберфізична система керування освітленням прибудинкової території на базі Ардуіно

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 55

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є кіберфізична система керування освітленням прибудинкової території на базі Ардуіно
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено дослідження предметної області (проаналізовано функціональні та архітектурні особливості кіберфізичних систем, що базуються на мікроконтролерах Arduino). В другому розділі кваліфікаційної роботи проведено повний цикл проектування: визначено вимоги, вибрано апаратні й програмні засоби, розроблено структурні та принципові схеми, створено модульну архітектуру системи. Показано адаптивний підхід до вибору датчиків з урахуванням умов експлуатації. В третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано апаратну реалізацію проекту, розроблено алгоритми керування, реалізовано програмну логіку в середовищі Arduino IDE, змодельовано роботу в емуляторі Wokwi. Усі ключові функції (виявлення руху, автоматичне й ручне керування, робота за освітленістю) реалізовані повністю.
4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.
5. Негативні сторони роботи: недостатня увага аналізу схеми системи у середовищі Wokwi.

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

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

Аврамська Наталія Іванівна, доцент кафедри МЗ
п. мед. наук

“09” *верне* 2025 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри КПС
д-р. філософії, доц. Ользі ПАВЛОВІЙ

Анни ШЕВЦОВОЇ

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-21-2

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Strike-Plagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

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

09.06 2025 року



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

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Кіберфізична система керування освітленням прибудинкової території на базі Ардуіно

Автор: Анна ШЕВЦОВА

Спеціальність: 123– Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Олег ВОЙЧУР, д.т.н, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

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

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 6.83% і адресується до 45 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 6%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи



Олег ВОЙЧУР

Гарант ОП



Андрій НІЧЕПОРУК

Завідувач кафедри КІС



Ольга ПАВЛОВА