

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

До захисту допущено

В.о. завідувача кафедри ІСТ

Олексій КОЛЕСНИКОВ
(підпис) (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

“ _____ ” _____ 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»
освітньої програми «Програмні технології інтернет речей»

на тему: «Адаптивна ІоТ система енергоефективного освітлення будівлі
Боярського академічного ліцею «Гармонія»»

Виконала: студентка 4 курсу, групи ІР-41
(шифр групи)

Катерина НЕМЧЕНКО _____ (підпис)
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник к.т.н., доцент Сергій ПАЛІЙ _____ (підпис)
(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Консультант нормо контроль к.т.н., доцент Ростислав ЛІСНЕВСЬКИЙ _____ (підпис)
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент _____ (підпис)
(посада, вчене звання, науковий ступінь, ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що кваліфікаційна робота не має
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Здобувач освіти _____ (підпис)

Київ – 2021 року

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Факультет інформаційних технологій

Кафедра Інформаційні системи та технології

Освітній рівень Бакалавр

Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології

Освітня програма Програмні технології інтернет речей

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри,

д.т.н., доцент

Олексій КОЛЕСНИКОВ

_____ 2021 року
«__» _____

ЗАВДАННЯ

НА ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

Здобувач освіти: Катерина НЕМЧЕНКО

Група: IP-41

1. **Тема кваліфікаційної роботи бакалавра:** «Адаптивна IoT система енергоефективного освітлення будівлі Боярського академічного ліцею «Гармонія»».

Затверджена протоколом засідання кафедри ICT №18/20 від 01.12.2021 року

2. **Строк подання студентом готової роботи** – «26» червня 2021 р.

3. **Вихідні дані до роботи:** Дослідження в області IoT рішень енергоефективних smart систем освітлення закладів освіти. Дослідження впливу освітлення на організм людини при навчальному процесі, дослідження впливу використання систем IoT для освітлення на енергоефективність. Нормативні документи та санітарні регламенти до організації освітлення приміщень навчальних закладів. Системи та технології керування освітленням. Дані про стан навколишнього середовища, отримані з датчиків, способи їх обробки та передачі за допомогою засобів IoT.

4. **Зміст роботи:** РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВИМОГ ДО СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ В НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ (вимоги нормативних документів та санітарних регламентів до організації освітлення приміщень навчальних закладів, вимоги й особливості освітлення приміщень в освітніх закладах, загальна характеристика навчального закладу); РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЙ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У СИСТЕМАХ IoT (огляд систем управління освітленням, огляд технологій керування освітленням, огляд протоколів керування IoT, вибір технологій та протоколів керування); РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ (визначення режимів роботи системи, розробка архітектури системи управління освітленням, розробка алгоритму функціонування системи, вибір елементної бази та реалізація апаратної частини, створення програмного забезпечення адаптивної системи, інструкція користувача).

5. Перелік графічного матеріалу: схематичні плани поверхів та навчальних класів Боярського академічного ліцею «Гармонія»; архітектура IoT системи освітлення; модель взаємодії сервера та контролера; алгоритми роботи системи в цілому та кожного її компонента (контролера та сервера): алгоритми керування освітленням, поточним типом періоду, визначення наявності руху та встановлення колірної температури; діаграма класів рівня моделей застосунку; логічна схема бази даних, згенерованої застосунком; схема з'єднання елементів апаратної частини; таблиця підключення датчиків та димерів до мікроконтролера; фото зібраної апаратної частини системи; знімки екрану з використаними середовищами розробки, графічний інтерфейс веб-застосунку.

6. Календарний план виконання роботи:

Етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання	Результат виконання
1. Вибір тематики кваліфікаційної роботи бакалавра	до 01.12.2020	виконано
2. Наказ про затвердження тем кваліфікаційної роботи бакалавра та призначення керівників	01.12.2020	виконано
3. Розробка плану кваліфікаційної роботи бакалавра і його погодження з керівником	25.12.2020	виконано
4. Написання I розділу кваліфікаційної роботи	20.01.2021	виконано
5. Написання II розділу кваліфікаційної роботи	19.02.2021	виконано
6. Написання III розділу кваліфікаційної роботи	05.03.2021	виконано
7. Підготовка висновків і пропозицій	05.04.2021	виконано
8. Попередній захист кваліфікаційної роботи	20.04.2021	виконано
9. Перевірка на плагіат	до 15.06.2021	виконано
10. Нормоконтроль	до 17.06.21	виконано
11. Рецензування кваліфікаційної роботи бакалавра і представлення роботи на кафедрі в друкованому вигляді	до 21.06.2021	виконано
12. Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	24.06.2021	

Дата видачі завдання « 01 » грудня 2020 р.

Керівник роботи: к.т.н., доц. Сергій ПАЛІЙ _____
(підпис)

Завдання прийняла до виконання:

Здобувач освіти на освітньому рівні «бакалавр» 4-го курсу групи ІР-41

Катерина НЕМЧЕНКО

(Власне Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

_____ (підпис)

АНОТАЦІЯ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА
ШЕВЧЕНКА

Факультет інформаційних технологій

Кафедра Інформаційних систем та технологій

Освітня програма «Програмні технології інтернет речей»

Кваліфікаційна робота бакалавра Катерини НЕМЧЕНКО

Тема роботи: «Адаптивна IoT система енергоефективного освітлення будівлі Боярського академічного ліцею «Гармонія»».

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра – створення адаптивної IoT системи енергоефективного освітлення, що дозволяє регулювати рівень освітленості, колірну температуру та роботу світильників у будівлі Боярського академічного ліцею «Гармонія» залежно від налаштувань, даних датчиків, розкладу, часу доби, пори року та з можливістю керування з використанням веб-інтерфейсу.

Об'єкт дослідження – система енергоефективного освітлення навчального закладу.

Предмет дослідження – адаптивна IoT система керування освітленням.

Апробація результатів. Участь в VII Міжнародній науково-технічній Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», що відбулася 26 листопада 2020, та в VII міжнародну конференцію "Information Technology and Interactions (Satellite)", що відбулася 2-4 грудня 2020 року.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається зі змісту, вступу, основної частини, яка включає три розділи, висновків та списку використаних джерел. Всього 106 сторінок.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Інтернет речей, система освітлення, навчальний заклад, MQTT, веб-застосунок, NodeMCU, Spring Boot.

Власні публікації:

- 1) Немченко К.Ю., Палій С.В. Постановка задачі побудови адаптивної системи енергоефективного освітлення адміністративних будівель на базі Інтернету речей. «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами» : матеріали VII Міжн. наук.-тех. конф., 26 лист. 2020 р. Київ : НУХТ. С. 258–259.
- 2) K. Nemchenko, S. Paliy. Statement of the Task of Building an Adaptive System of Energy-Efficient Lighting for Administrative Buildings Based on the Internet of Things. Information Technology and Interactions (Satellite): Conference Proceedings, December 04, 2020, Kyiv, TSNUK. P. 365 – 366.

ABSTRACT

TARAS SHEVCHENKO NATIONAL UNIVERSITY OF KYIV

Faculty of Information Technologies

Department of Information Systems and Technologies

Educational Program "Software Technologies of the Internet of Things"

Qualification work of master Kateryna NEMCHENKO.

Work topic: "Adaptive IoT system of energy-efficient lighting for the Boyarka Academic Lyceum "Harmony" building".

The purpose of the bachelor's qualification work is to develop an adaptive IoT system of energy-efficient lighting for the Boyarka Academic Lyceum "Harmony" building that provides lamps control, adjustment of the lighting illumination level and colour temperature and depends on sensors data, system settings, school classes schedule, time of the day and can be controlled with web-interface.

The object of research is the energy-efficient lighting system of the educational institution.

The subject of research is an adaptive lighting system.

Approbation of results. Abstracts were submitted to the VII International Scientific and Technical Internet Conference "Modern Methods, Information, Software and Technical Support of Management Systems of Organizational, Technical and Technological Complexes" (November 26, 2020) and the VII International Conference "Information Technology and Interactions (Satellite)" (December 2-4, 2020).

The bachelor's qualification work consists of the content, introduction, main part, which includes four sections, conclusions and a list of sources used. Total 106 pages.

KEY WORDS: Internet of Things, lighting system, educational institution, MQTT, web application, NodeMCU, Spring Boot.

Own publications:

1) Немченко К.Ю., Палій С.В. Постановка задачі побудови адаптивної системи енергоефективного освітлення адміністративних будівель на базі Інтернету речей. «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне

забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами» : матеріали VII Міжн. наук.-тех. конф., 26 лист. 2020 р. Київ : НУХТ. С. 258–259.

2) К. Nemchenko, S. Paliy. Statement of the Task of Building an Adaptive System of Energy-Efficient Lighting for Administrative Buildings Based on the Internet of Things. Information Technology and Interactions (Satellite): Conference Proceedings, December 04, 2020, Kyiv, TSNUK. P. 365 – 366.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВИМОГ ДО СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ В НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ	13
1.1 Вимоги нормативних документів та санітарних регламентів до організації освітлення приміщень навчальних закладів	13
1.2 Вимоги й особливості освітлення приміщень в освітніх закладах.....	14
1.3 Загальна характеристика навчального закладу.....	21
Висновки до розділу	23
РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЙ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У СИСТЕМАХ ІОТ.....	24
2.1 Огляд систем управління освітленням	24
2.2 Огляд технологій керування освітленням	31
2.3 Огляд протоколів керування ІоТ	34
2.4 Вибір технологій та протоколів керування	38
Висновки до розділу	39
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ.....	40
3.1 Визначення режимів роботи системи	40
3.2 Розробка архітектури системи управління освітленням.....	48
3.3 Розробка алгоритму функціонування системи	50
3.4 Вибір елементної бази та реалізація апаратної частини	54
3.5 Створення програмного забезпечення адаптивної системи	57
3.6 Інструкція користувача.....	76
Висновки до розділу	82
ВИСНОВКИ.....	84
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ	87
ДОДАТКИ.....	93

ВСТУП

Актуальність теми. Технологія інтернет речей (IoT) сьогодні стрімко розвивається та набирає популярності у світі. Квартири, будинки, промислові об'єкти та цілі міста все активніше використовують цю концепцію, а смарт-технології знаходять своє застосування у різноманітних галузях, таких як транспорт, виробництво, медицина, безпека, домашні системи автоматизації тощо.

Використання недорогих датчиків, мікроконтролерів та мережної інфраструктури для створення IoT-систем ще більше спонукає замислитися над можливістю потенційного впровадження таких систем, а їх реалізація сприятиме підвищенню якості та комфорту життя, оптимізує щоденні процеси, відкриває перспективні можливості в бізнесі та різних галузях діяльності людини.

Враховуючи переваги, які можна отримати в результаті їх запровадження, IoT-системи починають реалізовувати і в державних установах, зокрема й у навчальних закладах, надаючи їм унікальні переваги та зручності та позитивно впливаючи на навчальний процес. Системи інтернету речей можуть застосовуватися до багатьох компонентів навчального середовища, наприклад - систем клімат-контролю, безпеки, моніторингу, інтерактивного та сучасного навчання. Окремим прикладом застосування IoT в освіті є система для керування освітленням навчального закладу.

Освітлення є надзвичайно важливим для освітнього процесу, адже близько 80% інформації про навколишній світ ми отримуємо візуально [9]. Воно має безпосередній вплив на учнів, їх стан, настрій та здатність навчатися. Тому впровадження системи освітлення на базі IoT у навчальному закладі є чудовим рішенням, адже вона дозволить створити зручне та комфортне середовище для відвідувачів навчального закладу.

Енергоефективність наразі є одним з найбільш пріоритетних напрямків, тому важливо розробляти нові або оновлені системи, що дозволяють заощаджувати енергію.

При впровадженні IoT-систем для керування освітленням зазвичай використовується LED освітлення, яке є більш ефективним, ніж інші види [38, 28] – його використання замість альтернативних видів освітлення дозволяє заощадити до 40% коштів, що витрачаються на електроенергію. Такі джерела світла є значно довговічнішими, не містять шкідливих речовин, випромінюють світло кращої якості та надають можливість гнучкого керування системою освітлення. Також використання рівномірного світлодіодного освітлення допомагає створювати безпечне середовище, адже не створює тіней та покращує видимість.

Впровадження світлодіодного освітлення разом зі системою керування на базі технологій IoT дозволить заощадити додатково ще близько 20-25% коштів завдяки адаптивному керуванню, що враховує поточні умови середовища.

Смарт-система здатна визначати активність у кожній частині навчального закладу, отримуючи дані з різноманітних датчиків руху, шуму та інших типів, встановлених у приміщенні. Аналізуючи отримані дані, система керує, зокрема, освітленням, яке вмикається лише тоді, коли воно необхідне, що, в свою чергу, дозволяє значно скоротити споживання електроенергії.

Також аналіз рівнів наявного природнього освітлення дає можливість здійснювати регулювання потужності роботи світильників та зменшувати їх яскравість до мінімально достатнього рівня, за якого можна комфортно працювати, або взагалі вимикати, якщо наявного рівня природньої освітленості достатньо.

Важливою перевагою таких систем освітлення є їх гнучкість, яка дозволяє створити середовище з комфортними умовами для навчання та роботи.

Використання в системі освітлення світлодіодних світильників, які здатні змінювати яскравість випромінюваного світла та його колірну температуру, налаштування їх роботи відповідно до часу доби, пори року, погоди та типів активностей допомагає учням та вчителям підтримувати гарне самопочуття, продуктивність та біоритми організму протягом навчального дня.

Сітківка ока зміну колірної температури сприймає як зміну часу – ритм день-ніч, і відповідно до неї виробляє гормони. Тому, якщо штучне освітлення ввечері не відповідає за кольором природному вечірньому освітленню, людині складніше заснути, а якщо вдень температура освітлення не відповідає денній, то зосередитися на навчанні складніше.

Також згідно з результатами досліджень [5, 28] колірна температура освітлення може позитивно впливати на успішність учнів у школі, здатність навчатися, уважність, зменшення кількості помилок при виконанні завдань. Використання блакитного та холодного світла сприяє бадьорості та підвищенню продуктивності, а тепле – створює розслаблюючу обстановку, що сприяє відпочинку. Тому для різних навчальних сценаріїв можна створювати окремі налаштування освітлення, що допоможе у конкретній ситуації.

Наприклад, для більшості звичайних ситуацій варто використовувати світло нейтрального колірного спектру, що збігається з природнім, для тестів, контрольних та самостійних робіт та завдань, що вимагають концентрації уваги – холодне освітлення, що робить нас бадьорішими, а для перерв, відпочинку, виконання індивідуальних завдань – тепле.

Впровадження можливості створювати індивідуальні налаштування освітлення для кожного навчального класу, зробить використання системи ще зручнішим, а навчання комфортнішим. Залежно від задач та потреб, вчитель матиме змогу налаштувати середовище так, щоб воно було оптимальним саме для певної ситуації .

Однією з переваг використання IoT-технологій у системі освітлення є зручне керування як звичними для всіх засобами – вимикачами, так і за допомогою веб-системи з можливістю більш детальної конфігурації освітлення

з будь-якого зручного пристрою. Впровадження автоматичного налаштування яскравості освітлення та роботи світильників дозволить більше часу приділяти навчальному процесу, а не увімкненню та вимкненню вимикачів за умов різних змін рівнів природньої освітленості. У такій системі можна реалізувати одночасно декілька способів керування – за розкладом та з автоматичним саморегулюванням, за налаштуванням адміністратора та за індивідуальним налаштуванням. Адміністратори отримують можливість швидко змінювати налаштування контролерів для усіх класів одночасно або для класів певного типу. Віддалене керування дозволить швидко перевіряти стан системи та виявляти потенційні проблеми, а також підключати й оновлювати пристрої у системі.

Додатковою перевагою використання такої системи є можливість моніторингу використання будівлі завдяки датчикам руху, а також моніторинг використання освітлення, потужності, на якій воно працювало у кожному приміщенні протягом доби або певного періоду, тобто здійснити аналіз даних та формувати звіти у вигляді графіків [31, 51]. Наочність графіків дозволить, на основі аналізу використання приміщень, оптимізувати процеси, краще розподілити уроки між навчальними класами або покращити алгоритми, за якими функціонує система.

Отже, зважаючи на актуальність проблеми, була сформульована **мета роботи**: створення адаптивної IoT системи енергоефективного освітлення, що дозволяє регулювати рівень освітленості, колірну температуру та роботу світильників у будівлі Боярського академічного ліцею «Гармонія» залежно від налаштувань, даних датчиків, розкладу, часу доби, пори року та з можливістю керування з використанням веб-інтерфейсу.

Об'єкт дослідження: система енергоефективного освітлення навчального закладу.

Предмет дослідження: адаптивна IoT система керування освітленням.

Для досягнення мети роботи необхідно:

- провести аналіз особливостей роботи Боярського академічного ліцею «Гармонія» (розклад роботи, кількість класів та їх типове планування);
- дослідити та проаналізувати існуючі системи освітлення для навчальних закладів;
- розробити архітектуру та алгоритм роботи системи керування освітленням;
- обрати елементну базу для реалізації апаратної частини;
- створити програмне забезпечення для компонентів системи.

Апробація результатів роботи

Було подано тези доповідей на конференції:

- VII Міжнародна науково-технічна Internet-конференція «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 26 листопада 2020. – К: НУХТ [4];
- VII International conference "Information Technology and Interactions (Satellite)": December 02-04, 2020, Taras Shevchenko National University of Kyiv [8].

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВИМОГ ДО СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ В НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

1.1 Вимоги нормативних документів та санітарних регламентів до організації освітлення приміщень навчальних закладів

При проектуванні системи освітлення необхідно враховувати вимоги ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» [1] та Санітарного регламенту для закладів загальної середньої освіти [2]. Нижче описано поточні вимоги для систем освітлення навчальних закладів.

У школах використовуються як природне світло, так і штучне, при чому штучне освітлення забезпечується системою загального освітлення і, разом з природнім, повинно бути рівномірним та не створювати блиску.

При суміщеному освітленні приміщень (використання як природного, так і штучного освітлення) для освітлення найбільш віддалених від вікон рядів слід реалізувати роздільне увімкнення рядів світильників, що розташовані паралельно до стіни з вікнами. Якщо в приміщенні є зони з різними умовами природнього освітлення, що мають різні режими роботи, то управління цими зонами має бути відокремленим.

Для загального освітлення доцільно використовувати світлодіодні або розрядні джерела світла, оскільки вони ефективніші – мають більші світлову віддачу та термін експлуатації. Світлодіодні джерела світла для загального та місцевого освітлення повинні мати колірну температуру в діапазоні 2400-6800 К (згідно з санітарним регламентом для загального світла – 3500-4000 К). В одному приміщенні слід використовувати лампи з однаковою колірною температурою.

Інтенсивність ультрафіолетового опромінення спектрального діапазону 320-400 нм не повинна перевищувати 0,03 Вт/м². Індекс кольоропередачі має бути не менший за 80%, а коефіцієнт пульсації – не більший за 10% (не більше

5% для комп'ютерних класів та для приміщень, де учні працюють з рухомими об'єктами).

Для визначення рівня природної освітленості під час проектування використовуються люксометри, що розміщуються в точці, яка знаходиться за 1 м від стіни, протилежної вікнам, та на висоті 0,8 м від підлоги для навчальних класів, кабінетів вчителів, господарських приміщень або на рівні підлоги для спортивних та актових залів, коридорів, вестибюлю, сходів тощо. Розрахунки дозволяють визначити, чи задовольняє рівень освітленості мінімальні вимоги КПО (коефіцієнта природної освітленості), визначені нормами. В міжнародній системі СІ освітленість вимірюється в одиницях Люкс (лк): 1 люкс – це освітленість світловим потоком 1 люмен, рівномірно розподілена на поверхні площею 1 м². Норми освітленості для приміщень навчальних закладів містяться у додатку Б. Для вибору зони комфортного освітлення використовується номограма Крюїтгофа (додаток А).

Коефіцієнт природного освітлення (КПО) в навчальних приміщеннях повинен бути не меншим 2,5 % на робочих місцях 3-го ряду робочих столів учнів (1 м від внутрішньої стіни). При двобічному освітленні мінімальне значення КПО визначається на другому ряді робочих столів учнів. Рівномірність освітлення на робочому місці (відношення мінімального рівня освітлення до максимального) повинна складати не більше 0,3.

Для захисту від прямих променів Сонця, запобігання перегріву навчальних приміщень потрібно встановлювати для вікон сонцезахисні засоби, які легко миються та очищаються від пилу та бруду – підйомно-поворотні жалюзі, козирки, ролети тощо.

1.2 Вимоги й особливості освітлення приміщень в освітніх закладах

Обсяг зорових задач в учнів близький до навантаження найбільш зайнятих працівників офісу, тому важливо, щоби розроблена система освітлення була зручною для користування та забезпечувала комфортне

перебування в навчальному закладі, а також позитивно впливала на продуктивність та не мала негативного впливу на здоров'я.

Особливістю освітлення в навчальних закладах є присутність великої кількості природного світла. Більша частина навчального періоду припадає на світлий час доби, що дозволяє легко забезпечити дітей природнім освітленням необхідного рівня. Але часто, особливо в зимовий період року, світильники загального освітлення повинні також працювати для того, щоб не утворювалися тіні, які заважатимуть дітям, та для компенсації недостатнього рівня природньої освітленості.

Наразі при проектуванні нових систем або оновленні старих чи не найбільшій увазі приділяють фактору енергозбереження. Світильники повинні бути сучасними та енергоефективними, оскільки навчальний процес часто передбачає режим багатогодинної щоденної роботи системи освітлення.

Обираючи обладнання для системи освітлення, не можна нехтувати іншими важливими параметрами світлового обладнання та враховувати при виборі та розробці системи лише світлову ефективність. Для захисту очей від прямого потрапляння променів світла на сітківку ока дітей важливо враховувати у розрахунках такі параметри, як рівномірність світлових потоків, їх спрямування, спектральний склад світла, рівень пульсацій тощо [3].

Переважає більшість сучасних світильників в якості джерела світла використовують світлодіоди. Вони є значно ефективнішими за інші типи освітлювальних приладів, їм не властиві значні рівні випромінювання в ультрафіолетовому та інфрачервоному спектрах, які можуть наносити шкоду здоров'ю та забирають частину енергії, яка могла би бути витраченою більш ефективно. Якісне LED-освітлення не містить шкідливих речовин, які можуть заподіяти шкоду дітям у випадку пошкодження обладнання, їх спектр є доволі рівномірним, а також їм не властиві сильні світлові пульсації, мерехтіння, вони працюють безшумно.

Основним показником, на основі якого проектують та налаштовують систему, є рівень освітленості, що вимірюється у Люксах [12]. Необхідно

забезпечити правильний рівень освітленості, який не буде зовеликим або замалим, адже він може впливати на процеси нашого мозку і на роботу організму. За недостатнього рівня освітленості можливе зниження концентрації уваги та порушення працездатності, тоді як надмірні рівні освітленості можуть бути сильним подразником [3, 13]. При розрахунках варто враховувати ймовірний спад освітленості, спричинений зниженням ефективності випромінювання світлодіодів, запиленістю, забрудненістю або псуванням матеріалів корпусу. Заміри рівнів освітленості необхідно здійснювати у певних базових точках та враховувати наявні перепади рівнів освітленості, спричинені розташуванням вікон, особливостями приміщень. Рівень достатньої освітленості визначається тим, що усі учасники навчального процесу можуть безперешкодно читати друковані матеріали та писати від руки. Освітленість на всіх навчальних поверхнях – партах, столах вчителів, дошках – повинна бути рівномірною.

Для комфортного перебування у приміщенні важливим є *показник яскравості джерела світла* (одиниця виміру – ніт). Навіть за встановленого в комфортних межах рівня освітленості світильника, він може засліплювати, якщо в полі зору є точки з підвищеною яскравістю або прямі та відбиті відблиски від світильників або природнього світла. Під час перебування в приміщеннях з надто яскравими джерелами світла та відблисками зіниці очей звужуються, напружуючись, для обмеження надмірного потоку світла. У результаті виникає підвищена втомлюваність, знижується концентрація уваги, стає складніше сприймати інформацію. Варто уникати ситуацій, коли використовується яскраве переднє освітлення у притіненому класі – ці умови можуть створювати ефекти засліплення. Довготривалий вплив таких умов може спровокувати розвиток хвороб очей.

Зазвичай причиною дискомфорту є неправильно підібрані освітлювальні прилади та/або їх неправильне розташування при проектуванні та створенні системи. Ключова заборона накладається на освітлення, яке падає на сидячу

людину зі спини або спереду – це непрактично та формує тіні, що є причиною дискомфорту [11].

У сучасних LED-світильниках використовуються світлодіоди, точкова яскравість яких перевищує встановлені норми при забезпеченні нормального рівня освітленості. Щоб компенсувати цей недолік, при виборі світлодіодних світильників варто звертати увагу на наявність розсіювача та його вид. Необхідно обирати світильники з матовим розсіювачем, який забезпечує відсутність засліплення при прямому погляді на джерело світла та більш ефективно розсіює та рівномірно розподіляє світло. Можна застосовувати рифлені розсіювачі, однак при встановленні варто звертати увагу на правильність їх встановлення – використання неправильного боку розсіювача може лише погіршити ситуацію, ще більше сконцентрувавши промені точкових світлодіодів. Неприпустимо використовувати світильники без розсіювачів у відкритому вигляді або з розсіювачами, що виготовлені з прозорих матеріалів.

На дискомфорт також може впливати кут розсіювання світла світильника. Внаслідок неправильного розташування світильників відносно парт разом у поєднанні зі завеликим кутом розсіювання, світлові потоки можуть бути спрямовані так, що промені світла потрапляють прямо в очі, засліплюючи учнів. Тому, при виборі світильників та їх розташування, необхідно обирати правильний кут розсіювання залежно від форми приміщення – він повинен бути достатнім для освітлення всієї площі приміщення мінімальною кількістю світильників та не завеликим, щоб потік світла не був спрямований в очі. Приклад правильного та неправильного розташування світильників відображено на рис. 1.1.

Неправильно спрямовані світлові потоки також можуть мати місце при плануванні зони зі шкільною дошкою – згідно з нормами для дошок необхідно встановлювати додаткове джерело світла. Часто для цього встановлюють додаткові джерела світла, які також освітлюють перші ряди парт, наслідком чого є надмірний рівень освітленості та підвищений показник дискомфорту. Найоптимальнішими світильниками для цього є невеликі спеціалізовані

освітлювальні прилади на ніжках з концентрованим світловим потоком або цілісна довгаста лампа, витягнута уздовж верхньої частини дошки.

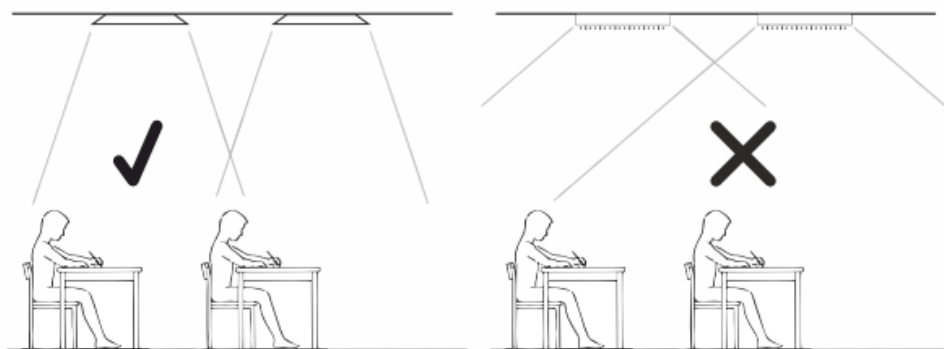


Рисунок 1.1. Правильні та неправильні підбір та встановлення світильників [3].

Ще одним фактором, який може негативно вплинути на зір та здоров'я, є *пульсація світла*, невізуальна дія якої може впливати на біологічні ритми людини, в тому числі циркадні [3, 11, 20]. Як наслідок, виникає ймовірність розвитку депресій, безсоння, захворювань серцево-судинної системи. Особливо небезпечними є ці впливи для дітей, їх організму та зору.

Наступним параметром, що може впливати на стан людини є *колірна температура* – вона характеризує якість, відтінок світла, частково визначає рівень яскравості джерела світла, вимірюється у Кельвінах (К). На відміну від ламп розжарювання та люмінесцентних ламп, які використовувалися раніше, світлодіодні світильники залежно від типу можуть випромінювати світло будь-якої колірної температури.

Загалом можна виділити 3 діапазони колірних температур (рис. 1.2) [30]:

- теплий: до 3000 К;
- нейтральний: від 3300 К до 4600 К;
- холодний: від 4600 К.

Світильники, які випромінюють світло холодного колірного спектру, є більш енергоефективними, тому їх доцільно використовувати у приміщеннях з великою площею, або на вулиці.

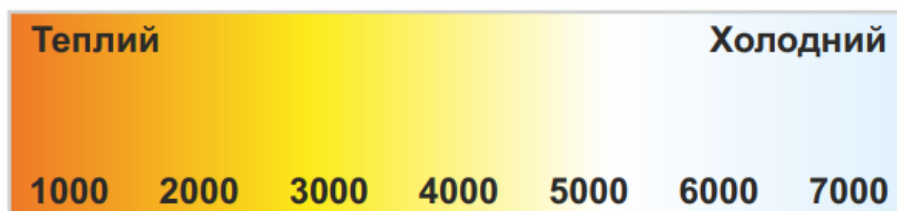


Рисунок 1.2. Колірні температури світла та їх розподіл між діапазонами

Обираючи обладнання перевагу надають світлодіодним лампам з нейтральним кольором світла, адже воно є максимально подібним до природнього світла. В межах одного навчального класу не можна використовувати джерела світла, що мають різну колірну температуру – не можна поєднувати на одній площі, наприклад, світильники з теплою та холодною колірною температурою [2, 3].

Колірна температура може впливати як на комфорт людини в певному середовищі, так і на її фізичний стан. Зміна колірних температур, що подібна до зміни природнього світла протягом дня, дозволяє організму відчувати зміну часу доби. Також різні температури стимулюють різні види діяльності та стани. Наприклад, чим вища колірна температура (більш холодний спектр світла), тим вища продуктивність людини і тим легше їй зосередитися. Для теплого колірного спектру світла характерні розслабленість, більш сонний стан та нижча працездатність [14, 30].

Для дошкільних закладів та для молодших класів рекомендується використовувати тепле світло, колірна температура якого лежить в межах від 2900 К до 3600 К. Для класів, де навчаються діти середнього та старшого шкільного віку, бібліотек рекомендується світло, що належить до нейтрального колірного спектру – від 3400 К до 4000 К. Для освітлення приміщень для занять спортом та стадіонів бажано використовувати світло більш холодного колірного спектру [3]. Для навчальних закладів краще не використовувати світильники з колірною температурою вище 4100 К, адже такий тип освітлення ще більше стимулює активність та сплески продуктивності й так непосидючих дітей. В свою чергу, це може підсилювати гіперактивність, підвищувати

травматизм, заважати концентрації уваги на поточних задачах. Наслідок цього – зниження успішності та перевтомлюваність.

Для розвитку дітей важливе природне й об'єктивне сприйняття кольорів предметів, що їх оточують, тому необхідно використовувати лампи, що мають високий рівень передачі кольору та не спотворюють кольори предметів. Для оцінки повноти передачі кольору при використанні певного джерела світла було введено індекс передачі кольору (CRI/R), що характеризує рівень відповідності кольору при штучному освітленні світильником до справжнього кольору. Визначається відносною величиною від 0 до 100 [3, 11]. Чим вищий показник CRI у світильника – тим краще. Загалом, для освітлення школи показник має становити від 80, а для класних кімнат молодших класів – від 90, адже у цьому віці надзвичайно важливо розвивати правильне сприйняття кольорів.

Більшість з описаних показників та характеристик враховуються при плануванні розташування освітлювальних пристроїв та виборі обладнання, адже вони залежать від особливостей світлодіодів, що використовуються, та конструкції світильників. Серед характеристик, якими можна керувати за наявності такої можливості – рівень освітленості (зміна світлового потоку) та колірна температура.

Також існують окремі рекомендації щодо встановлення освітлення у приміщеннях з великою площею, наприклад – в актових залах та їдальнях. У таких приміщеннях рекомендується реалізовувати декілька незалежних контурів освітлення. Для економії енергії при незначному наповненні приміщення та налаштування світла для заходів. Для актової зали доречно використовувати димери для плавного регулювання яскравості. На сцені має бути незалежне освітлення, організоване із застосуванням прожекторів та світильників спрямованого світла.

1.3 Загальна характеристика навчального закладу

Боярський академічний ліцей «Гармонія» знаходиться в місті Боярка Київської області. В ліцеї навчаються учні початкової школи (1-4 клас) та старшої школи (5-11 клас). Навчальний корпус загальною площею 2700 м² має 4 поверхи та умовно поділений на 2 крила: праве для початкової школи та ліве для старшої школи, у яких різні графіки навчання. Корпус ліцею має великий хол на першому поверсі, актову, спортивну, тренажерну, хореографічну зали та їдальню, роздягальня знаходиться на цокольному поверсі.

Час активного використання будівлі – з 8:00 до 16:30. У вечірні години (з 16:30 до 21:00) проводяться заняття гуртків, студій та спортивних секцій. Початкова школа має 5-денний навчальний тиждень, старші класи навчаються і в суботу. Тривалість уроків початкової школи – 40 хв, у старшій школі – 45 хв. Тривалість перерв – 15 хв.

Місто Боярка знаходиться в помірному кліматичному поясі та належить до II архітектурно-будівельного кліматичного району [1].

Приміщення у навчальному закладі за призначенням можна поділити на такі типи: навчальні класи; коридори; адміністративні приміщення й кабінети для вчителів; сходи; вбиральні; технічні приміщення; актова зала, їдальня, спортзал (нестандартні приміщення). За розташуванням приміщення можна поділити на такі, які мають природне освітлення (мають вікна) та не мають природнього освітлення (приміщення, які розташовані посередині будівлі відносно коридорів). Прикладом внутрішніх приміщень є студія звукозапису, а прикладом зовнішніх – будь-який з кабінетів 102-116 (рис. 1.3). Схематичні плани усіх 4 поверхів БАЛ «Гармонія» містяться у додатку В.

За плануванням приміщення діляться на такі, що мають одну зону (рис. 1.4) або декілька (наприклад, кабінет інформатики ділиться на 3 зони – теоретичну, практичну та вчительську – рис. 1.5).

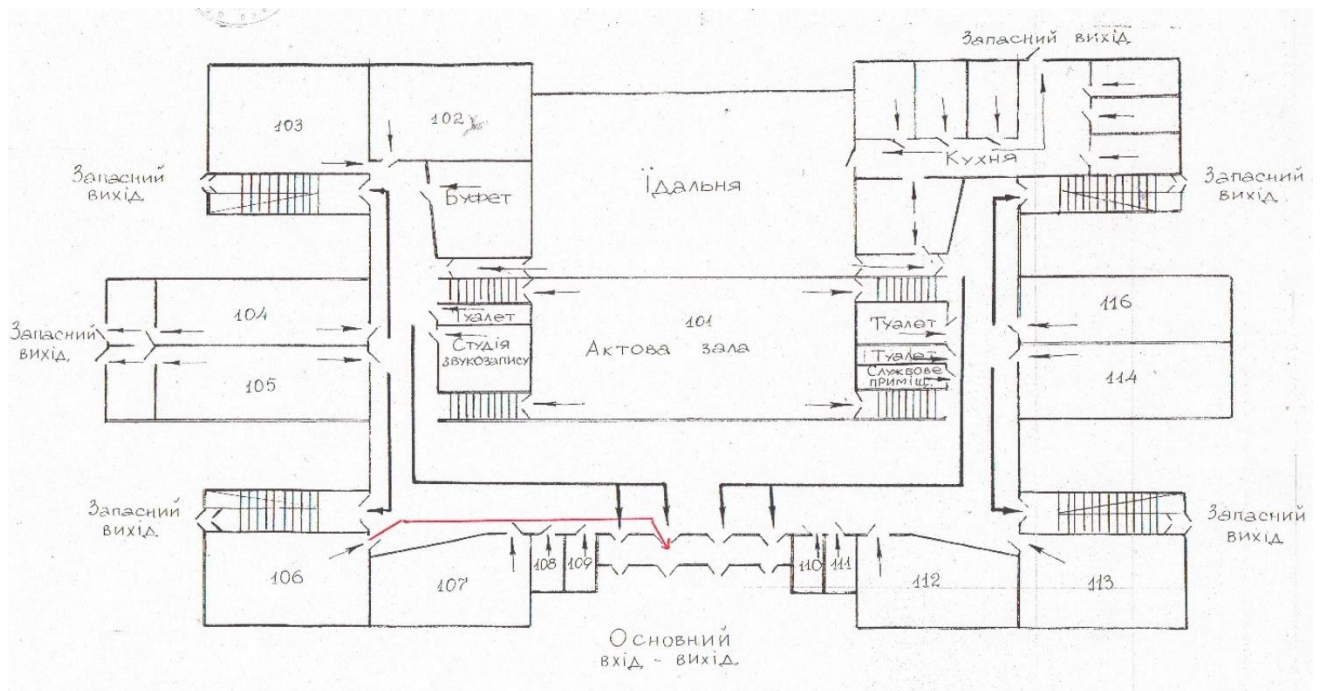


Рисунок 1.3. Схематичний план 1 поверху БАЛ «Гармонія» з різними типами приміщень

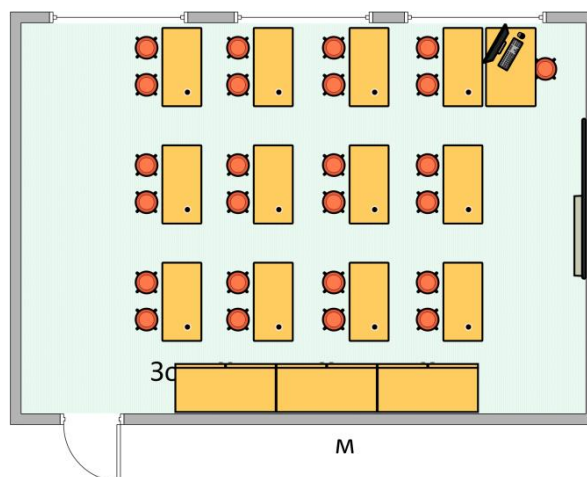


Рисунок 1.4. Кабінет з 1 зоною

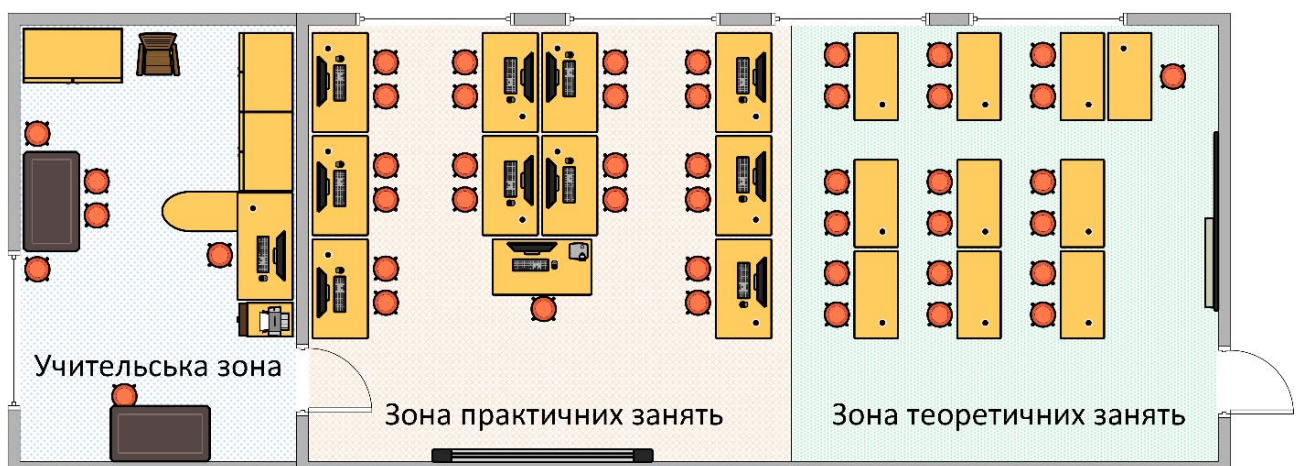


Рисунок 1.5. Кабінет інформатики та його окремі зон.

Усі класи є типовими і мають подібну структуру. Для проектування та відображення результату використано клас інформатики, оскільки він є найбільш комплексним, поєднує в собі декілька навчальних зон, що дозволить спроектувати 1 приміщення для одного типу класу, охопивши особливості різних типів класних приміщень.

Висновки до розділу

Під час дослідження нормативних вимог освітленості навчальних приміщень встановлено параметри, які необхідно враховувати під час планування системи освітлення навчальних приміщень. Більшість з них враховуються під час вибору освітлення та розрахунку розташування світильників у приміщеннях для максимально можливої яскравості світильників. Для системи, що здійснюватиме керування освітленням актуальними є лише деякі з цих параметрів:

- *освітленість приміщення* – може регулюватися зміною потужності роботи світильника;
- *колірна температура освітлення* – підбирається для кожного приміщення для постійного використання або змінюється, якщо світильники підтримують таку функцію;
- *пульсація світла* – можлива пульсація за умови неправильного підбору або використання драйверів та димерів світлодіодних світильників.

Було здійснено базовий аналіз будівлі БАЛ «Гармонія» та особливостей його роботи.

РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЙ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У СИСТЕМАХ ІОТ

2.1 Огляд систем управління освітленням

Для правильного та оптимального проектування системи необхідно враховувати існуючий досвід проектування подібних систем. Для цього розглянемо основні особливості та характеристики освітлювальних систем, які було спроектовано та використовуються в навчальних приміщеннях. Нами досліджені системи, які описані доповідачами під час наукових конференцій, у науково-технічних журналах і на сайтах виробників та оглядачів.

2.1.1 Розумна система освітлення для навчальних закладів з використанням відкритого апаратного забезпечення (Колумбія)

Дослідниками було спроектовано систему керування освітлювальними установками в аудиторіях навчального закладу, що залежить від поточної освітленості природнім світлом аудиторії та кількості осіб, що перебувають в приміщенні [7]. Система функціонує на основі відкритого апаратного забезпечення, що дозволяє впровадити розробку за невеликий бюджет.

Передбачається, що освітлення може змінювати режим на основі даних, отриманих від датчиків освітленості, що вказують на наявний рівень природнього освітлення та дозволяють обрахувати достатній додатковий рівень штучного освітлення, що забезпечить необхідну норму. Також стан системи залежить від показів датчиків присутності – інфрачервоних датчиків, встановлених на стільцях аудиторії. Залежно від показів кожного з датчиків для кожного робочого місця або групи місць змінюється рівень освітленості – якщо місце зайняте, то рівень освітленості вищий, якщо воно вільне – то нижчий.

Для керування системою передбачено 4 режими роботи.

Режим презентації (Video-beam mode). У цьому режимі всі світильники працюють, забезпечуючи нижчий рівень освітлення, ніж звичайний, щоб світло

не заважало переглядати зображення проектора. У разі необхідності кожним світильником або групою світильників можна керувати індивідуально, змінюючи рівень яскравості освітлення.

Режим відстеження присутності людей (Presence and absence of people mode). подача живлення на світильники, а відповідно і рівень освітленості, залежать від кількості осіб, що знаходяться у приміщенні та їх розподілу. Присутність визначається за допомогою датчиків, встановлених на стільцях. Якщо в межах зони, що освітлюється світильником, немає нікого, то рівень освітленості там мінімальний. При збільшенні кількості осіб рівень освітленості збільшується.

Режим регулювання на основі датчика освітленості (Environment mode). Робота світильників та освітленість приміщення залежать від яскравості природнього світла поза класом, що потрапляє всередину через вікна та двері – якщо природнього світла не вистачає, то світильники вмикаються на таку мінімально достатню потужність, щоб підняти рівень освітленості на мінімально достатній рівень.

Ручне керування (Regulation or reference change mode). Якщо поточний режим не задовольняє викладача або студентів, що знаходяться в аудиторії, наприклад яскравість світла недостатня для нормальної роботи, то, увійшовши у систему за допомогою облікового запису, можна змінити поточні налаштування світильників.

Для аналізу ефективності роботи системи також передбачено моніторинг споживання електроенергії. Ці та інші показники можна переглянути у користувацькому інтерфейсі, за допомогою якого також здійснюється керування системою.

В якості контролера використовується мікроконтролер Arduino MEGA з чипом ESP8266. Яскравість світла LED-світильників змінюється з використанням технології широко-імпульсної модуляції (ШИМ, PWM) (рис. 2.1). Для створення інтерфейсу було використано такі технології: база даних

MySQL (серверна частина), Node.js (JavaScript, серверна частина), HTML5, CSS3, JavaScript (сторона користувача, інтерфейс) (рис. 2.2).

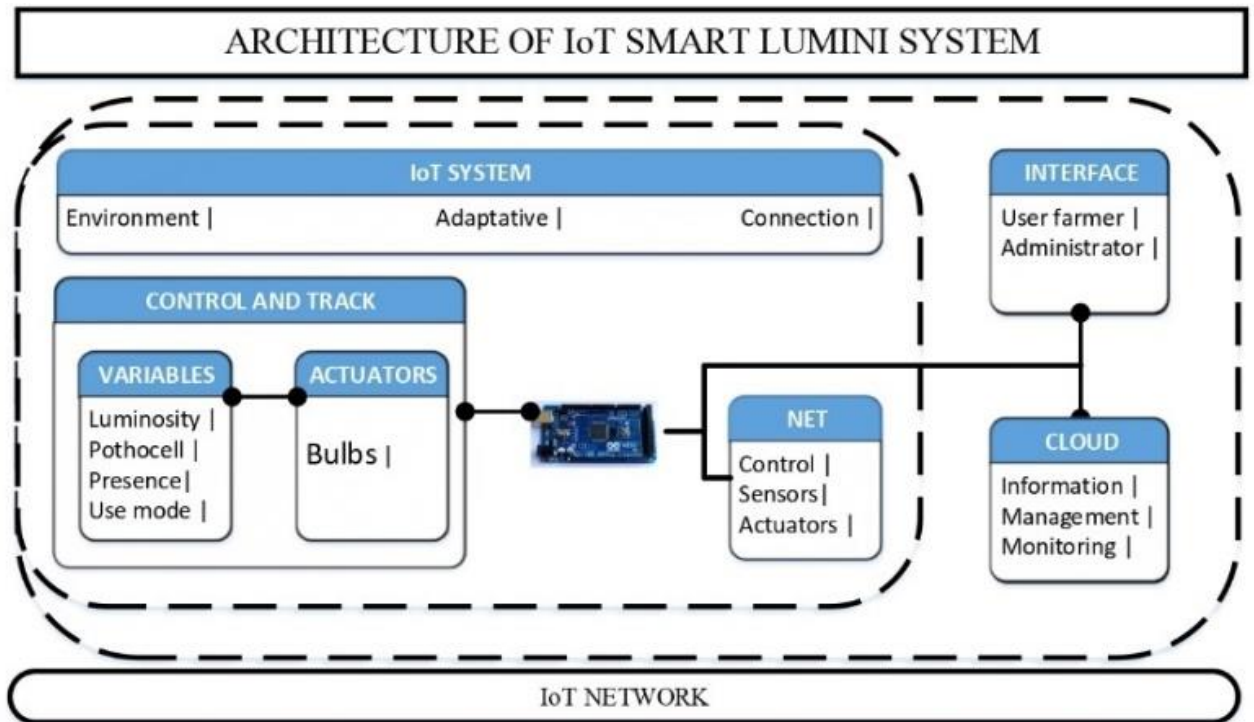


Рисунок 2.1. Архітектура системи [7]

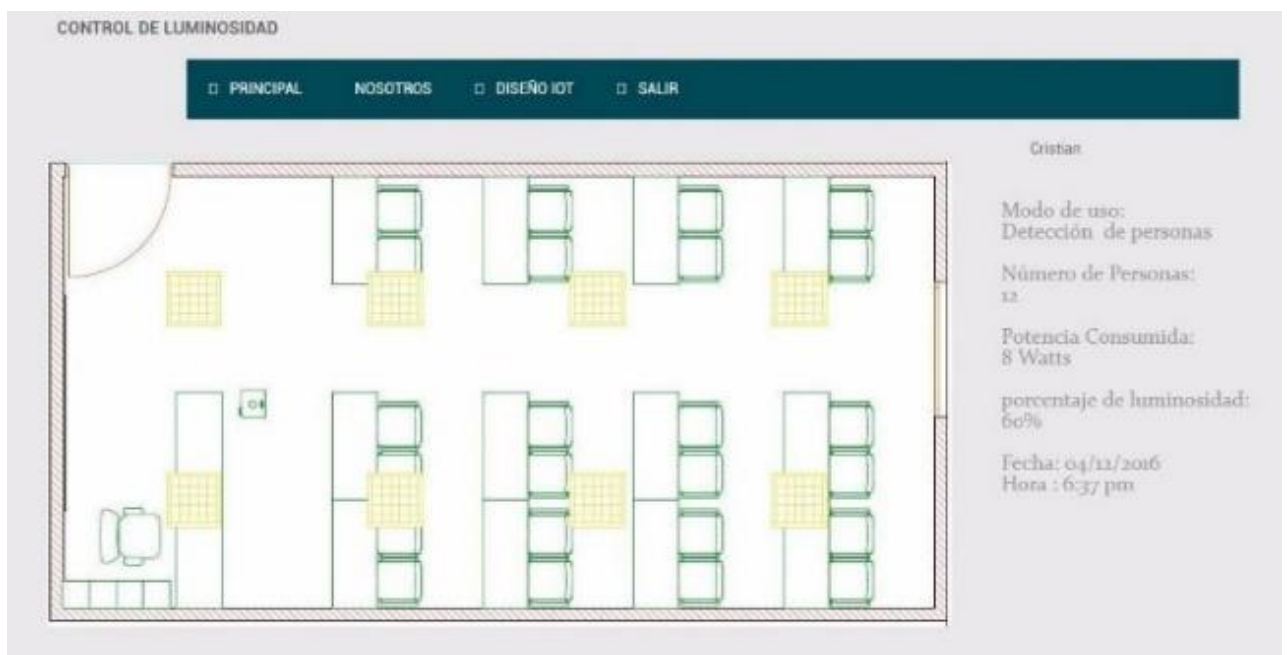


Рисунок 2.2. Інтерфейс веб-системи [7]

Після впровадження системи в одній з аудиторій було порівняно показники споживання електроенергії, рівня ШІМ та кількості людей. Було виявлено, що запровадження та використання такої системи може заощадити

більш ніж 60% електроенергії, порівняно з освітленням без адаптивного керування (рис. 2.3).

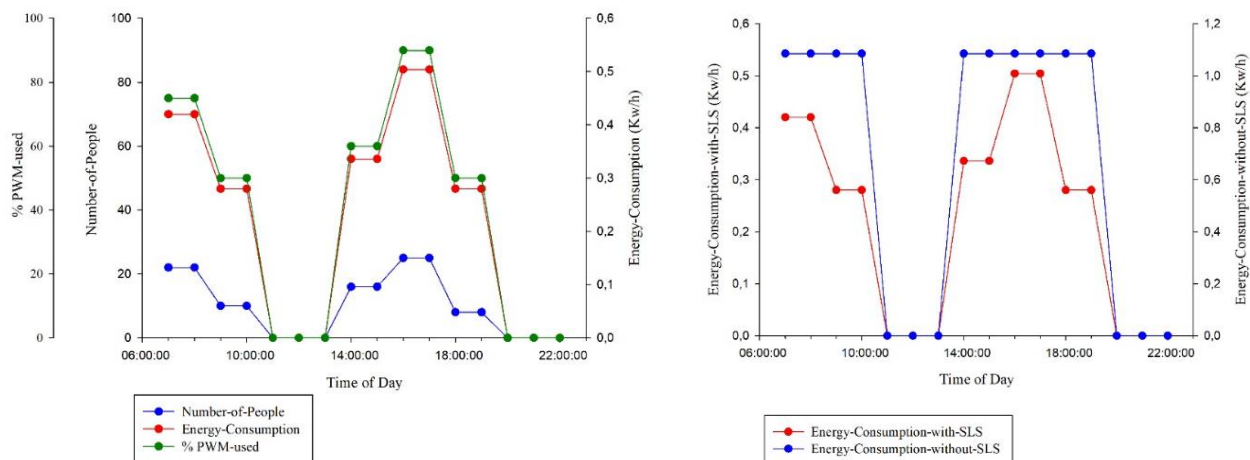


Рисунок 2.3. Графіки використання електроенергії та ШІМ залежно від часу та кількості людей в приміщенні. Порівняння використання електроенергії без системи та разом зі системою [7]

2.1.2 Система керування освітленням для університетських аудиторій

Під час дослідження було розроблено систему, що використовується для керування освітленням університетської аудиторії [6]. До складу системи входить хмарне програмне забезпечення, що дозволяє керувати, налаштовувати, відстежувати стан світильників в аудиторіях. Основним призначенням проекту є зменшення енергоспоживання завдяки використанню лише необхідного обсягу електроенергії.

Система створена на базі мікроконтролера NodeMCU V3 з чипом Wi-Fi ESP8266. Окрім контролера також використовуються інфрачервоні датчики для перевірки присутності людей у приміщенні, а також релейний вимикач для керування світильниками.

Системою можна керувати за допомогою веб-інтерфейсу, створеного з використанням технології AJAX, або мобільного додатку. Керувати системою, налаштовуючи розклад занять, згідно з яким вмикаються різні режими освітлення, при чому освітлення вмикається лише у випадку, коли у

приміщенні знаходяться люди. Також освітленням можна керувати незалежно від розкладу. Користуватися системою можна віддалено, не підключаючись до локальної мережі школи. Окрім керування, в інтерфейсі також передбачена функція моніторингу стану системи – відображається інформація про обсяги споживання електроенергії, тривалість використання світильників.

2.1.3 Середня школа Девідсона, Мобайл, штат Алабама, США.

У всій школі впроваджено систему IoT, яка також включає в себе керування освітленням [31]. Вчителі використовують систему освітлення для того, щоб навчання учнів було більш продуктивним. Використовуються різні налаштування залежно від поточного завдання. Невеликі зміни, такі як збільшення чи зменшення яскравості або налаштування більш теплого або холодного освітлення допомагають скерувати увагу учнів, що має властивість швидко розсіюватися через деякий час.

Також освітлення використовується разом з системою безпеки для сповіщення за допомогою кольорового освітлення про небезпечні ситуації.

2.1.4 Початкова школа Herstedlund, Альбертслунн, Данія

У школі встановлено освітлення, яке переключається між трьома температурними режимами, щоб покращити концентрацію учнів: тепле (3000 K), прохолодне (4000 K) та холодне освітлення (6000 K) (рис. 2.4) [49].

Освітлення налаштовується за допомогою системи керування, до якої можна отримати доступ через спеціальний застосунок або веб-систему. У системі збережено 4 попередньо налаштовані режими, які вчителі змінюють протягом дня, також, за необхідності, вони можуть створити власні налаштування.

Прохолодні температури освітлення, використовуються в період після обіду, а також під час уроків, коли необхідно підвищити концентрацію учнів, а тепло-біле освітлення створює розслабляючу атмосферу під час перерв.



Рисунок 2.4. Різні режими роботи освітлення – тепла та нейтральна колірні температури.

Було здійснено дослідження на основі даних про використання системи освітлення в класах, що збиралися протягом 3 місяців, яке доводить ефективність впливу налаштувань на якість навчання учнів цієї школи.

2.1.5 GHS SMART Campus

Система смарт-освітлення кампусу використовує сенсори руху для зміни яскравості освітлення задля зменшення енергоспоживання: 15% від максимального рівня за відсутності руху та 75% при виявленні руху, в період, коли будівля не використовується, світло вимикається повністю [48]. Також при виході з аудиторії викладач може вимикати світло за допомогою ID-картки.

2.1.6 Адаптивна система освітлення класу з урахуванням навчального контексту

Адаптивна система була розроблена так, що не лише коригує яскравість освітлення для скорочення енергоспоживання, а й надає різні режими роботи для різних навчальних контекстів, предметів, видів діяльності, змінюючи колірну температуру освітлення та розподіл освітленості [10]. Встановлено 10 стандартних режимів роботи, освітлення яких налаштовано так, що відповідає зоні комфорту кривої Круйтгофа (додаток А). Система підтримує розподіл класу на зони та керування ними, ручне та автоматичне регулювання на основі

даних з датчиків присутності та освітленості. Наявне керування через веб-систему та мобільний застосунок, в тому числі віддалено. Створена хмарна платформа, де здійснюються налаштування системи, бази даних, правил роботи системи, алгоритмів тощо. Окрім цього, система керування освітлення інтегрована до електронної системи школи, де містяться дані учнів, їх успішність. На основі показників успішності здійснюється аналіз й коригування роботи системи. На рис. 2.7 відображено структуру описаної системи.

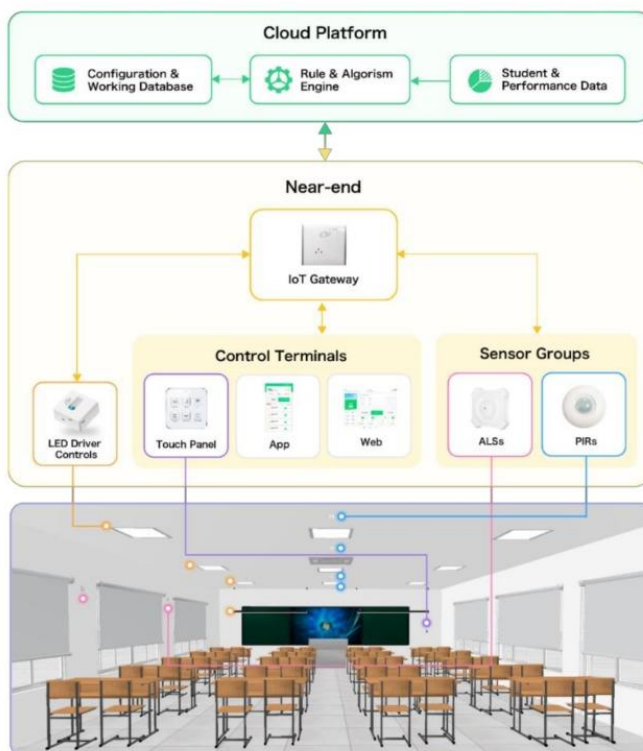


Рисунок 2.7. Структура системи освітлення

2.1.7 Citaverde College

У компанії Interact, що створює різноманітні IoT-рішення для замовників, у Нідерландах коледжем Citaverde було замовлено смарт-систему освітлення [46]. Для системи було сформульовано 2 основні вимоги: відстеження кількості учнів у кожній частині коледжу (використання будівлі) та оптимізація керування коледжем для зменшення витрат, використання електроенергії, зниження викидів CO₂ та оптимального планування використання приміщень.

Компанія розробила систему, що використовує для збору даних датчики присутності та освітленості, що встановлені практично в усіх місцях зі штучним освітленням. Функціонує система таким чином – якщо в приміщенні нікого немає або рівень природнього освітлення є достатнім, світильники залишаються вимкненими. Вмикаються вони лише коли необхідно. Дані з інтегрованих датчиків збираються та упорядковуються для аналізу керівництвом школи, візуалізуються на дашборді Interact Office, на якому в реальному часі відображаються способи оптимізації та економії (рис. 2.8).

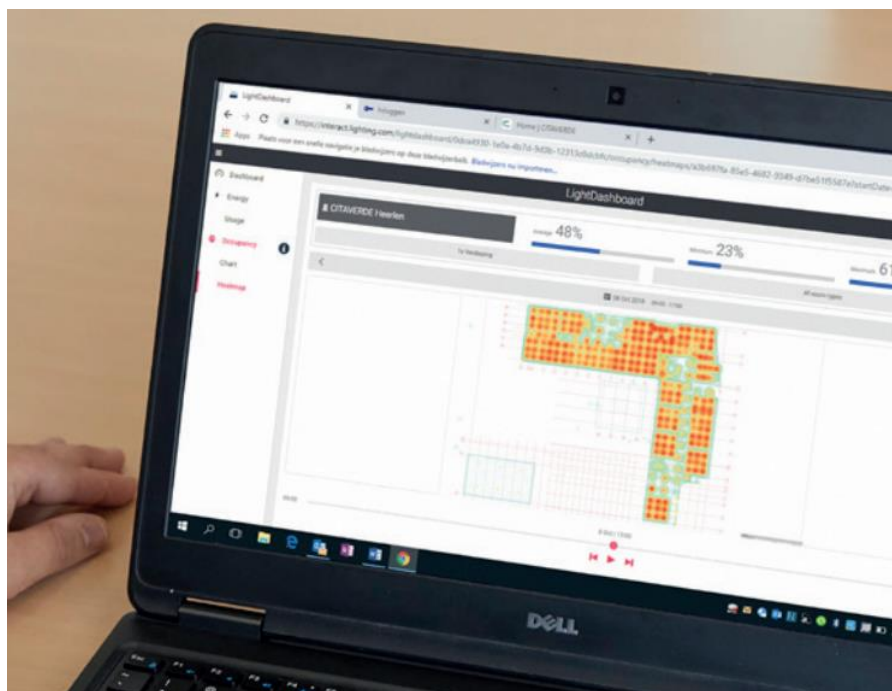


Рисунок 2.8. Інтерфейс системи Interact Office

2.2 Огляд технологій керування освітленням

Існує безліч різних способів керування системою освітлення, які є загальноприйнятими стандартами у світі [24]. Одним з перших та найбільш поширеним методом керування освітленням є спосіб **аналогового керування**. Яскравість світильника регулюється за допомогою зміни напруги від 0 до 10 В або від 1 до 10 В, тобто яскравість змінюється пропорційно до напруги. Керування є одностороннім – димер керує драйверами LED або баластами люмінесцентних ламп та не отримує від них даних. [19, 22].

Перевагою є простота реалізації, адже для керування потрібно підключити лише 2 дроти – керуючий та живлення. Однак кількість світильників, що може бути підключена до 1 контролера обмежена – близько 10 шт. Такий вид системи не варто застосовувати для систем з сотнями й тисячами світильників, адже може бути недостатньо ліній керування, а також проблематично здійснювати діагностику й ремонтувати. Окрім цього, на довгих лініях підключення можливі затухання сигналу та вплив шумів.

Керування через електромережу є ще одним можливим варіантом керування світильниками. У такому випадку світильники та лампочки підключаються безпосередньо до мережі змінного струму 220В, а для зміни їх яскравості здійснюється обрізання синусоїди струму, при чому обмеження може здійснюватися за переднім або за заднім фронтом (рис. 2.9).

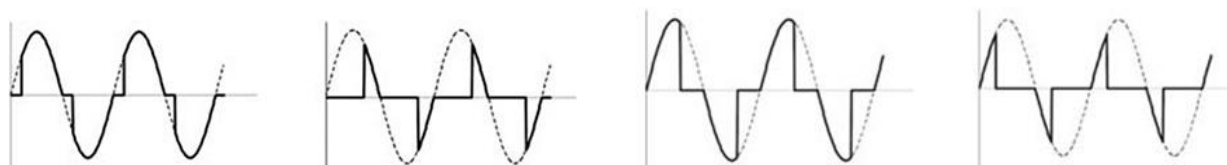


Рисунок 2.9. Обмеження синусоїди за переднім (2 графіки ліворуч) та за заднім (2 графіки праворуч) фронтом

Обмеження за переднім фронтом використовується для керування галогенними лампами та лампами розжарювання. Мінімальне навантаження для таких димерів 10-60 Вт, тому при створенні систем освітлення зі світлодіодними джерелами світла необхідно перевіряти, чи виконується така вимога. Якщо ж навантаження буде недостатнім, то не вдасться здійснювати стабільне регулювання на низькій потужності та може виникати мерехтіння.

Обмеження за заднім фронтом використовується для керування галогенними лампами, лампами розжарювання та світлодіодними лампами, якщо вони підтримують такий тип димінгу.

Такий спосіб управління рідко використовується для світлодіодних систем, оскільки, через несумісність потужностей та особливості драйверів, LED світильники можуть працювати нестабільно.

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) – це відкритий цифровий стандарт, що може використовуватися у системах для керування світлодіодними, люмінісцентними, галогенними світильниками або лампами розжарювання, є наступником стандарту 1-10 В. Дозволяє значно точніше керувати яскравістю світильників, аніж аналоговий стандарт керування. Зв'язок з підключеними пристроями є двостороннім, що дозволяє виявляти помилки, поломки, надсилати дані, що можуть бути використані для відображення стану системи в інтерфейсі.

У системі використовуються баласты – пристрої, що приймають команди від головного контролера, димера та керують підключеними до них світильниками або датчиками. До однієї мережі DALI може бути підключено до 64 баластів. До кожного баласту DALI приєднується по 4 дроти – 2 для керування баластом та 2 для живлення. Кожному баласту присвоюється власна унікальна адреса, за якою надсилаються команди, що дозволяє керувати системою за допомогою ПЗ, встановленого на ПК або на сервері.

Протокол DALI зручно використовувати у випадках, коли світильники повинні взаємодіяти з декількома пристроями, стани яких впливають на роботу системи, наприклад – датчиками руху, освітленості, вимикачами. Може використовуватися самостійно або інтегруватися до інших систем керування.

DSI (Digital Serial Interface) – пропріетарний цифровий стандарт компанії Tridonic, що є попередником протоколу DALI, але несумісний з ним. Може використовуватися для керування світлодіодними світильниками з підтримкою димінгу, люмінісцентними та галогенними світильниками, лампами розжарювання. DSI дозволяє керувати одночасно групами світильників, але, на відміну від стандарту 0-10 В, рівень потужності роботи встановлюється цифровим, а не аналоговим способом.

KNX – цифровий протокол рівня застосунків OSI, що використовується для автоматизації будівель, поєднує в собі керування не лише освітленням, а й, наприклад, клімат-контролем, безпекою тощо. Створений на основі протоколів EHS (European home systems), BatiBUS и EIB (European installation bus). Для

зв'язку можна використовувати виту пару (топології "дерево", "шина" та "зірка"), електромережу, радіоканал та мережі Ethernet. Використовуються пристрої 3 категорій – з автоматичним налаштуванням (кат. А, обладнання користувача), з простим налаштуванням (кат. Е, певні параметри задаються вручну), системні (кат. S, програмуються при встановленні спеціалістом).

Використовується децентралізована мережа. Вона не потребує центру управління, тому за появи несправностей в одній з частин мережі або проблем з одним пристроєм ніяк не вплинуть на інші пристрої. Також це дозволяє швидко модифікувати конфігурації системи.

2.3 Огляд протоколів керування IoT

До популярних протоколів, що використовуються для керування системами IoT та системами освітлення належать *MODBUS*, *MQTT* та *CoAP*, які можуть взаємно доповнювати один одного [17, 44].

MODBUS – це послідовний протокол, що використовується для зв'язку між пристроями, що розташовані поруч, після появи одразу став стандартом для промислового обладнання, систем SCADA завдяки простоті та відкритості. Принцип роботи протоколу – модель «master-slave», де керуючий пристрій надсилає підпорядкованим запит, а підпорядковані пристрої надсилають відповіді (рис. 2.10). Мережа може містити лише 1 керуючий пристрій та до 247 підпорядкованих.

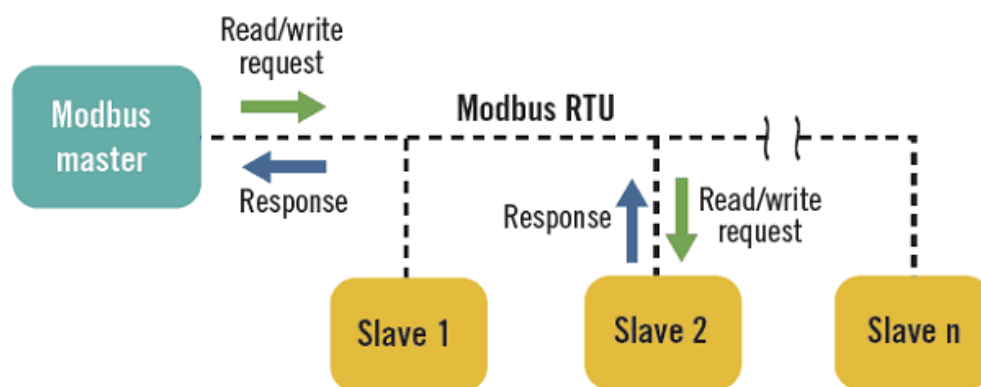


Рисунок 2.10. Принцип роботи MODBUS

Для підключення можуть використовуватися такі інтерфейси як RS-485, RS-232, RS-422, Ethernet. Дані між керуючим та підпорядкованими пристроями надсилаються пакетами, які містять код функції (вказує на дію, яку необхідно виконати) та дані. Виконавши отриману команду, підлеглий пристрій надсилає у відповідь пакет з необхідними даними.

Протокол може використовуватися як звичайними датчиками, так і контролерами, оскільки обсяг даних, що передаються, невеликий. Протокол є відкритим, широко використовується у промисловому інтернеті речей. У зв'язку з тим, що обладнання, яке використовується для промисловості у більшості випадків має бути високоточним, пристрої з підтримкою MODBUS є дорогими.

Протокол **MQTT** (*Message Queuing Telemetry Transport*) – простий та відкритий протокол, що дозволяє організувати обмін даними між пристроями як у локальних, так і в глобальних мережах, має значно ширші можливості, аніж MODBUS. Цей протокол був розроблений спеціально для мереж IoT – для роботи з протоколом достатньо мінімальних обчислювальних потужностей. Він є ефективним способом передачі даних, адже передається досить мало службової інформації, тому використання цього протоколу майже не навантажує мережу та може відбуватися навіть за низької пропускну здатності.

Принцип роботи протоколу – модель «видавець – підписник» («publisher-subscriber»). Мережа включає MQTT-брокера (Broker), що є посередником, та MQTT-агентів, які надсилають або отримують повідомлення. Агенти можуть бути видавцями (Publisher) та/або підписниками (Subscriber) – видавці публікують (надсилають) дані, які отримуються підписниками (рис. 2.11). Усі дії зводяться до взаємодії з брокером, роботи з темами та повідомленнями. Це дозволяє організувати взаємодії між пристроями типу один-до-одного, один-до-багатьох, багато-до-одного.

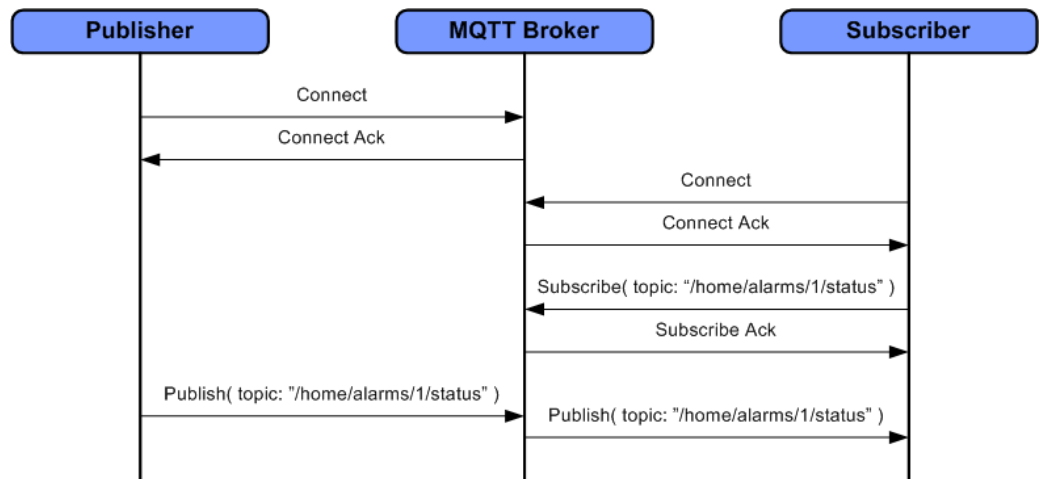


Рисунок 2.11. Принцип роботи MQTT – взаємодія брокера, видавця та підписника

Після підключення MQTT-агента до брокера він може підписатися на теми (topics) й отримувати всі повідомлення, опубліковані в цих темах видавцями, або публікувати теми й повідомлення для цих тем.

Структура тем є ієрархічною. За допомогою підстановочних символів + та # можна підписуватися на декілька тем, які задовольняють створеній умові.

Для роботи з брокером існують такі методи: Connect – встановлення з’єднання; Disconnect – зупинка з’єднання; Publish – публікація теми на брокері; Subscribe – підписка на тему; Unsubscribe – скасування підписки на тему.

Протокол MQTT дозволяє обрати 1 з 3 доступних рівнів якості обслуговування (QoS – Quality of Service):

0 – «Fire and Forget» – ненадійна доставка повідомлень – відправник надсилає повідомлення лише раз, отримувач не підтверджує отримання;

1 – «Delivered at least once» – видавець повторно надсилає повідомлення до моменту, коли отримає хоч одне підтвердження отримання;

2 – «Delivered exactly once» – найбільш надійний та найбільш повільний метод доставки повідомлень, повідомлення пересилається підписникам, поки не отримає повідомлення про підтвердження від кожного з них.

Також у MQTT є такі функції, як Persistence – збереження останніх повідомлень на брокері та надсилання їх новим підписниками при їх першому

або повторному підключенні, та Last Will And Testament – надсилання повідомлення брокером підписникам про відключення пристроїв-видавців.

Хоч протокол є легким, у нього є вбудована підтримка безпеки – з'єднання через TCP може шифруватися з використанням SSL/TLS.

Водночас у протоколу також є й недоліки – теми, якими користуються клієнти, зазвичай є довгими рядками, які використовують обсяг пам'яті, що міг бути використаний для корисного навантаження, а також необхідно підтримувати постійне з'єднання TCP.

Ще одним легким та відкритим протоколом керування, створеним для IoT, є протокол **CoAP** (*Constrained Application Protocol*). CoAP – це полегшений аналог протоколу HTTP, що підтримується пристроями з обмеженими ресурсами. Працює на основі транспортного протоколу UDP, тому повторне надсилання у разі втрати надісланих сегментів даних та послідовне впорядкування даних реалізовується на рівні застосунків (Application level).

Архітектурою мереж на основі цього протоколу є клієнт-серверна архітектура, де клієнти роблять запити до сервера, а сервер надає їм ресурси. Як і в протоколі HTTP, використовуються методи GET, POST, PUT, DELETE. CoAP частково розширює протокол HTTP, використовуючи додатковий режим роботи Observe (спостереження), що дозволяє серверу постійно продовжувати надсилати клієнту дані про зміни. На відміну від протоколу MQTT, за допомогою CoAP можна організувати взаємодії пристроїв лише типу один-до-одного. Протокол легко поєднувати з існуючими системами на основі протоколу HTTP та з веб-сервісами RESTful. При запиті до сервера можна використовувати query string, що додається до URL, через яку передаються необхідні параметри запиту.

В IoT-мережах при використанні протоколу CoAP сенсори виступають у ролі сервера, тобто вони повинні мати змогу приймати пакети, через це можуть виникати проблеми з налаштуванням та роботою, якщо використовуються IPv4 та NAT. Для вирішення проблеми та встановлення зв'язку необхідно виконати початковий запит до сервера, для створення асоціації маршрутизатором, після

чого вже здійснювати обмін повідомленнями, або використовувати протокол IPv6.

Протокол підтримує 2 рівні QoS – «confirmable» – підтвердженням від отримувача повідомлення, та «nonconfirmable» – повідомлення без підтвердження отримання (принцип «fire and forget»).

Для захисту даних, що передаються, використовується DTLS (Datagram Transport Layer Security), що є аналогом TLS для UDP.

Порівнюючи між собою протоколи MQTT та CoAP можна зробити висновки, що MQTT краще підходить для систем, що орієнтовані на реєстрацію та обробку подій, у яких існують сценарії, за яких використовується тип з'єднання один-до-багатьох. CoAP більше орієнтований на зчитування станів, відстеження ресурсів пристроїв мережі за допомогою запитів до кожного датчика, приводу або іншого кінцевого пристрою за допомогою типу зв'язку один-до-одного.

2.4 Вибір технологій та протоколів керування

Обираючи для реалізації прототипу системи керування освітлювальною установкою слід надати перевагу пропозиціям в нижчому ціновому сегменті. Опираючись на такі міркування, було відкинуто можливість використання світильників, що підтримують протоколи DALI, KNX та DSI, оскільки вони є дороговартісними, та було обрано технологію з прямим підключенням установки до електромережі. Керування LED-світильниками буде здійснюватися за допомогою контролера, який, в свою чергу керує, димером. Протоколом керування в такій моделі обрано MQTT, що дозволяє здійснювати обмін даними між контролерами та сервером як в локальній мережі, так і за її межами, та має широку підтримку різними програмними засобами.

Висновки до розділу

У розділі 2 було здійснено огляд спроектованих та реалізованих систем освітлення у школах, що використовують у своїй роботі технології IoT. У результаті аналізу виявлено, що основними причинами впровадження таких систем у навчальних закладах є прагнення покращити енергоефективність будівлі та скоротити витрати, створення комфортного середовища для перебування вчителів та учнів, зручність смарт-системи та її можливості керування освітленням.

На прикладі з пункту 2.1.1 продемонстровано, що впровадження таких систем дозволяє заощадити більше 60% електроенергії для освітлення, що автоматично змінює свою яскравість залежно від умов середовища. Усі розглянуті системи мають функцію автоматичного керування світильниками залежно від наявності людей у приміщеннях, більшість мають веб-інтерфейс та/або мобільний застосунок для керування системою, запрограмовані та попередньо встановлені режими роботи, підтримують ручне керування освітленням за допомогою застосунків або спеціально створених панелей керування. Із 7 систем 3 надають можливість змінювати колірну температуру освітлення, обравши потрібний режим, або на основі розкладу. 4 системи дозволяють здійснювати аналіз використання приміщень та освітлення на основі зібраних даних.

Також було здійснено огляд технологій керування освітленням та протоколів керування, що використовуються у системах інтернет речей. У результаті аналізу особливостей технологій та протоколів було обрано спосіб керування освітленням за допомогою підключення світильників через димер до електромережі 220 В, де обмеження потужності споживання електричного струму здійснюється завдяки обмеженню синусоїди електричного струму за переднім або заднім фронтом. Як протокол зв'язку та керування між мікроконтролерами системи та сервером було обрано MQTT.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ

3.1 Визначення режимів роботи системи

3.1.1 Аналіз способів використання приміщень для формування чіткого та узагальненого переліку режимів роботи системи освітлення

Для створення коректного алгоритму роботи системи необхідно визначити конкретний перелік режимів функціонування приміщень у будівлі Боярського академічного ліцею «Гармонія», що можуть залежати від типу та розташування приміщення, від способу його використання, періоду доби тощо.

Для початку узагальнимо види приміщень, що наявні у будівлі ліцею, та способи їх використання.

Навчальні класи. Це приміщення, у яких відбувається основна та чи не найбільша частина діяльності. Згідно з розкладом, протягом 40-45 хвилин у цьому типі приміщень відбуваються уроки, під час яких рух учнів та вчителів може бути як активним (практичні заняття, заняття, що передбачають постійну взаємодію), так і неактивним (самостійні та контрольні роботи, види навчальних діяльностей, що передбачають виконання завдань на своєму місці з невеликою кількістю рухів). Більшість навчальних класів закріплені за конкретним шкільним предметом та за декількома вчителями, що викладають цей предмет. За нестачі підходящих приміщень, клас може виділятися і для проведення уроків з інших предметів. Приміщення може використовуватися як під час уроків, так і поза цим періодом. Також можливі випадки, коли урок починається пізніше, завершується раніше, або не відбувається у виділеному приміщенні. Під час перерв відбувається підготовка до наступного заняття, відпочинок або учні й вчителі покидають приміщення, якщо за розкладом заняття вже не передбачені.

Навчальні приміщення поділяються на окремі типи, залежно від виду діяльності, для якої від призначений, та можуть мати декілька окремих зон, які працюють за різними режимами, якщо площа приміщення велика.

Коридори та сходи. Під час уроків активність у цьому типі приміщень є невеликою, лише іноді відбувається поодинокий рух для переходу з одного приміщення до іншого, освітлення необхідне лише на короткий проміжок часу. Під час перерв присутній активний рух, оскільки, учні й вчителі переходять з одного класу до іншого для проведення уроків, очікують можливості входу до наступного класу, якщо попередній урок ще не завершився, а також для іншої активної діяльності.

Адміністративні приміщення. До цього типу приміщень можна віднести кабінети для вчителів, директора, завідувачів навчальною діяльністю та іншого адміністративного персоналу, приміщення для технічного персоналу тощо. До категорії входять багато різних за типом використання та призначенням приміщень, при чому для кожного з них відрізняються способи, регулярність та тривалість використання, які, однак частково збігаються з періодами, характерними для навчальних приміщень.

Вбиральні, роздягальня та технічні приміщення. Ці типи приміщень зазвичай є внутрішніми та відвідуються на невеликий проміжок часу. Спосіб використання та активність у приміщенні практично однакові для будь-якого періоду часу.

Їдальня. Найактивніше використовується під час перерв, однак також можливе використання і під час уроків. Має велику площу, тому ділиться на окремі зони, для кожної з яких необхідно налаштувати власний режим роботи.

Спортивна зала. Активно використовується протягом всього навчального дня. Під час уроків для проведення занять з фізкультури у холодний період, під час перерв може використовуватися учнями для активного відпочинку. Після занять використовується спортивними школами для навчання бажаючих. Має гарне природне освітлення, тому світло потрібно вмикати лише у випадку дуже хмарної погоди, сутінок, ночі.

Актова зала. Використовується для репетицій, проведення різноманітних заходів. Для актової зали більш актуальною є відокремлена система з ручним керуванням для налаштування правильного для заходу освітлення. Однак, оскільки приміщення не має природнього освітлення, на входах варто додатково встановити світильники, що будуть вмикатися при виявленні руху.

3.1.2 Формування загального переліку режимів роботи будівлі

Одним з факторів, за яким можна визначати спосіб функціонування кожного приміщення та усєї будівлі ліцею загалом є періоди, характерні для різних типів діяльності.

Основна частина активності у ліцеї припадає на класні кімнати, коридори, тому при описі видів активностей у першу чергу розглядатимуться саме такі види приміщень.

Як було описано у розділі 1, протягом тижня школа має 2 види днів – робочі дні, коли відбуваються уроки й активність у будівлі максимальна, та вихідні дні, коли будівлю відвідують зазвичай лише вчителі для організації свого робочого процесу або діти, що відвідують гуртки у певних приміщеннях ліцею. При чому вихідними днями можуть вважатися не лише ті дні тижня, що є вихідними за календарем (субота та неділя), а й окремо визначені дні, що є державними святами та передбачають скасування робочої діяльності. Також до вихідних належать усі дні, що належать до періоду канікул.

У тривалість робочого дня входить перелік часових проміжків, протягом яких здійснюються різні види діяльності. Ці періоди можна поділити на такі 4 категорії:

- *нічний період* – відвідуваність ліцею мінімальна, зазвичай у будівлі знаходиться лише охоронець ліцею;
- *уроки* – більшість вчителів, учнів та інших відвідувачів ліцею знаходяться у класах на уроках, час від часу можливе короткочасне

користування коридорами та технічними приміщеннями для переходу з одного приміщення до іншого;

- *перерви* – період великої активності у коридорах ліцею, оскільки діти за необхідності переходять з одного класу до іншого, у класах учні й вчителі можуть залишатися для підготовки до наступного уроку, або вийти з класу для його провітрювання, або у випадку завершення навчальних занять;

- *гуртки* – період, коли уроки вже закінчилися, але в приміщеннях будівлі ліцею проводяться позашкільні заняття для бажаючих. Зазвичай у коридорах швидко проходять ті, хто прямує на гуртки. З усіх навчальних приміщень використовується лише їх невелика частина.

Окрім цього, існують нестандартні ситуації, під час яких система повинна функціонувати за інакшим алгоритмом, ніж під час всіх перелічених вище періодів. Прикладом таких ситуацій є події, свята, концерти, що відбуваються нерегулярно, лише у певні визначені дні та протягом обмеженого періоду цього дня. Для таких видів подій можуть використовуватися різні сценарії, що не збігаються зі стандартними, при чому застосовуються вони не до всієї будівлі, а до обмеженого переліку приміщень, що будуть використовуватися для цих подій.

Отже, після розгляду та аналізу існуючих ситуацій при використанні будівлі ліцею усі види періодів, з урахуванням типу дня та часових проміжків можна поділити на **3 стандартні види періодів**.

Період уроків. Період, під час якого більша діяльність спостерігається у навчальних приміщеннях з невеликим використанням коридорів, службових приміщень. У навчальних приміщеннях під час уроків передбачається наявність постійної сильної або середньої активності в результаті використання дошки, виконання практичних завдань тощо. Варто передбачити алгоритм, що дозволить уникати частого вимикання освітлення, якщо протягом короткого періоду рух не фіксується, але у приміщенні все одно знаходяться люди, адже постійні різкі перепади рівня освітленості заважатимуть навчальному процесу та дратуватимуть.

Період перерв. Період, під час якого відвідувачі ліцею активно та масово переміщуються будівлею, у навчальних класах потрібно налаштувати алгоритм так, щоб у випадку закінчення використання приміщення протягом навчального дня, якщо вчителі та учні протягом перерви з нього виходять, світло автоматично вимикалося. В той же час, якщо в приміщенні хтось залишається для підготовки до наступного уроку, варто уникнути хибних вимкнень світла, щоби не завдавати дискомфорту присутнім. Коридори активно використовуються, тому у цей період передбачається більша пауза між завершенням руху та автоматичним вимкненням світла, щоби уникнути постійного миготіння при переміщенні відвідувачів.

Пасивний період. Тип періоду, до якого належать час роботи гуртків та вихідні дні, якими у свою чергу можуть бути календарні вихідні, державні свята та дні канікул. Розрахований на меншу активність, ніж під час навчання. Коридори функціонують, як під час уроків, а навчальні приміщення – як під час перерви, або за власним алгоритмом.

Для розробки зручного алгоритму автоматичного керування освітленням, який можна масштабувати на всі приміщення будівлі, необхідно виокремити фактори, за якими визначається наявність рухів у приміщенні та реакція системи на ці рухи. Це дозволить налаштувати роботу системи освітлення кожного типу приміщення, встановлюючи значення обмеженої кількості параметрів, а також дасть змогу системі обирати підходяще значення, що відповідає поточному режиму. При аналізі особливостей використання різних приміщень ліцею, визначено, що для кожної категорії характерна різна інтенсивність активності рухів у приміщенні та різна тривалість відвідування. Тому повинні бути обрані такі параметри, що дозволять системі вчасно вимикати світло, коли приміщення вже не використовується, щоби електроенергія не витрачалася даремно, а також не створювати дискомфорту через хибні вимикання світла, коли в приміщенні ще й досі хтось знаходиться, але рухів майже немає або вони є незначними.

Для задоволення цієї вимоги обрано **2 базові параметри** – **час очікування повторної фіксації рухів** та **час роботи світильників після завершення руху**.

Час очікування повторної фіксації рухів (t_M) – це період часу з моменту попередньої фіксації датчиком руху, протягом якого датчик повинен зафіксувати рух вдруге, щоби вважалось, що рух у приміщенні продовжується. Цей параметр дає можливість системі сприймати рух більш цілісно, що полегшить фіксацію даних у базі даних, оскільки збережено буде меншу кількість подібних записів про ідентичну подію.

Час роботи світильників після завершення руху (t_L) – це період часу з моменту фіксації завершення руху, протягом якого світильники продовжують свою роботу. Цей параметр потрібен для того, щоб світло не вимикалося за короткочасної відсутності руху, що може створювати дискомфорт.

Візуалізація використання обраних параметрів зображена на рис. 3.1.

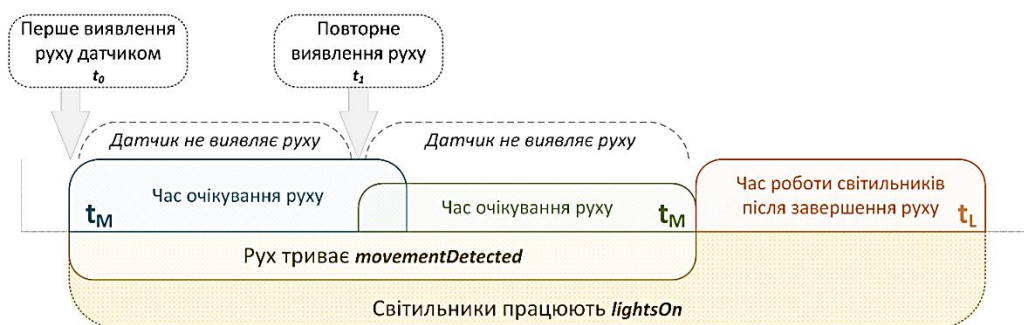


Рисунок 3.1. Використання параметрів для керування освітленням

Ці параметри індивідуально встановлюються для кожного типу приміщення, залежно від способу його використання, та мають різні значення залежно від поточного періоду, що дозволить адаптувати систему для різних умов.

3.1.3 Визначення способів керування системою освітлення

Для зручного керування системою необхідно передбачити різні способи управління освітленням залежно від ситуації, але з урахуванням поточного періоду, а відповідно і типу використання приміщення. Для зручності способи

керування відокремлено від періодів, як окремий фактор, що впливає на стан освітлення у певному приміщенні.

Перш за все, система повинна бути здатна самостійно регулювати роботу світильників системи освітлення залежно від наявності руху та рівня освітленості. Для цього повинні використовуватися датчики руху та датчики освітленості, на основі даних яких і здійснюється керування. Датчики руху дозволяють автоматично вмикати та вимикати освітлення при русі людей між приміщеннями та різкій зміні природнього рівня освітленості, а датчики освітлення дозволяють підтримувати рівень освітленості на мінімальному рівні, який є достатнім для роботи, але не завеликим, що може спричиняти дискомфорт. Цей **автоматичний режим** є основним при керуванні освітленням.

Однак можуть виникати випадки, коли автоматичного регулювання параметрів системи стає недостатньо, тому у системі необхідно передбачити додаткові можливості налаштування роботи системи, що відрізнятимуться від стандартних.

Під час деяких видів навчальних робіт рух у класах є неактивним, або може виникнути необхідність піти з приміщення та залишити освітлення увімкнутим. У таких випадках у результаті аналізу даних датчиків руху може помилково вимикатися світло, що заважатиме роботі. Вирішенням проблеми є виокремлення режиму роботи, за якого яскравість освітлення буде регулюватися автоматично залежно від показів датчика освітленості, але світло не вимикатиметься, якщо руху не виявлено. Отже, **адаптивний режим** передбачає лише адаптацію потужності роботи світильників під наявні умови.

Практично в кожному навчальному класі зараз встановлено телевізор, проектор або мультимедійну дошку, на яких демонструють навчальні матеріали при проведенні уроків. Водночас світильники часто випромінюють яскраве світло, що є значно яскравішим за світло демонстраційних пристроїв, що заважає чітко бачити зображення, що демонструються. Тому для таких випадків також необхідно передбачити окремий **презентаційний режим**, при

використанні якого потужність роботи світильників буде зменшена до рівня, що дозволить чітко бачити демонстроване зображення.

Також окрім цих режимів потрібно реалізувати ручне керування, під час якого користувач може самостійно налаштувати всі необхідні параметри.

Отже, в результаті аналізу отримуємо такий **перелік режимів роботи** залежно від способів керування освітленням:

- **автоматичний режим** – враховується наявність руху та поточний рівень освітленості;
- **адаптивний режим** – враховується лише поточний рівень освітленості, світильники увімкнуті постійно;
- **режим презентації** – автоматичний режим зі зниженим рівнем потужності світильників;
- **режим ручного керування** – робота світильників налаштовується користувачем;
- **режим максимальної потужності** – усі світильники увімкнено на повну потужність;
- **вимкнення освітлення** – усі світильники вимкнено.

Вони встановлюються незалежно від поточного типу періоду, але при режимах, які передбачають увімкнення та вимкнення світла залежно від наявності руху, враховуються час очікування повторної фіксації рухів та час роботи світильників після завершення руху, що змінюються залежно від періоду. Вони можуть застосовуватися як до всього приміщення разом, так і до кожної зони окремо.

Режимом за замовчуванням є автоматичний режим, тому коли обрано інший режим роботи світильників, необхідно встановлювати час, протягом якого цей режим буде працювати та після завершення якого система повернеться до автоматичного режиму роботи.

3.1.2 Визначення способу керування колірною температурою

Режими, що були визначені у попередніх пунктах, використовуються для керуванням яскравістю світла світильників, однак не враховують ще одного важливого параметра, що також впливає на самопочуття відвідувачів ліцею – колірну температуру освітлення. Колірна температура впливає на нашу продуктивність та на орієнтування в часі доби, тому вона повинна залежати від часу доби та від поточного виду діяльності.

На початку навчального дня, коли організм тільки прокидається, та наприкінці дня під час сутінок потрібно встановлювати теплішу колірну температуру освітлення, яка відповідатиме ранковому та вечірньому світлу. Вдень встановлюється нейтральна колірна температура освітлення.

Оскільки чим більшою є колірна температура освітлення, тим більшою є наша продуктивність, варто дати можливість використовувати її для видів діяльності, що вимагають високої уважності та концентрації учнів, наприклад, під час контрольної роботи.

Згідно з нормами, колірна температура має бути однаковою для всього приміщення, тому вона налаштовується всіх зон одночасно.

Колірна температура встановлюється незалежно від інших параметрів системи.

3.2 Розробка архітектури системи управління освітленням

Для розробки системи було обрано туманну архітектуру, де туманними вузлами є контролери у кожному класі, що отримують та початково обробляють дані з датчиків, на основі яких керують світильниками, а хмарним сервісом – сервер, що приймає дані з контролерів та зберігає їх у базі даних, а також надсилає на контролер налаштування та команди, отримані від користувача або створені згідно з алгоритмом. Обмін даними між контролерами та сервером організований з використанням протоколу MQTT. Через протокол MQTT дані та команди пересилаються у форматі JSON. Узагальнену архітектуру системи можна переглянути на рис. 3.2.

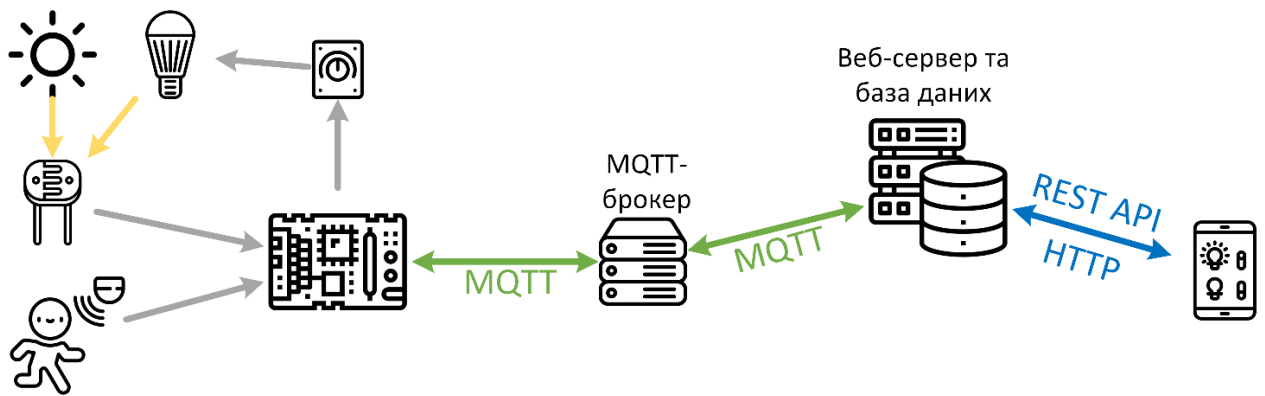


Рисунок 3.2. Архітектура системи керування освітленням

Для захисту мережі IoT у школі виділяється окрема локальна мережа, до якої підключені контролери та сервер. Підключення до сервера клієнтами відбувається з іншої локальної мережі загального використання або зі зовнішньої мережі. Для перегляду даних про систему та її керування користувачі користуються веб-інтерфейсом, до якого можна отримати доступ, підключившись до веб-сервера.

В архітектуру системи закладається ймовірність перебоїв у роботі мережі, тому передбачається, що контролери повинні бути достатньо автономними для підтримки керування освітленням у випадку перебоїв з'єднання з сервером. Також це забезпечує миттєвість реагування системи освітлення на зміну зовнішніх умов, оскільки дані обробляються на місці.

Хоч взаємодія датчиків та світильників відбувається локально на контролері, виконання деяких інших функцій, які є також важливими для процесу керування, неможливо виконати без участі сервера. Наприклад, зміна режиму роботи (способу керування) на будь-який інший, крім автоматичного, неможлива без участі сервера, адже встановлення потрібного режиму здійснює користувач. Зміна типу періоду здійснюється локально, однак щодня здійснюється синхронізація з сервером для оновлення розкладу, визначення типу дня (вихідний чи робочий) та з NTP-сервером для синхронізації часу.

До функцій контролерів входить:

- зчитування даних з датчиків;
- обробка даних датчиків;
- керування світильниками;

- формування повідомлень MQTT з даними пристроїв та даними контролера, надсилання їх на сервер;
- отримання повідомлень з сервера та їх обробка: оновлення налаштувань контролера, виконання команд – зміна типу періоду, зміна типу керування, встановлення колірної температури;
- зміна типу періоду за розкладом.

До функцій сервера входить:

- отримання повідомлень з контролерів та їх обробка;
- збереження даних з контролерів до бази даних;
- надсилання налаштувань на контролери;
- надсилання команд для зміни типу керування та параметрів, що встановлюються користувачем за надходженням запиту;
- надсилання повідомлень зі значенням колірної температури, встановленим користувачем;
- синхронізація даних про поточний день;
- взаємодія з користувачем через веб-інтерфейс.

Схематично типи даних, якими обмінюються контролер та сервер при функціонуванні системи подано на рис. 3.3.

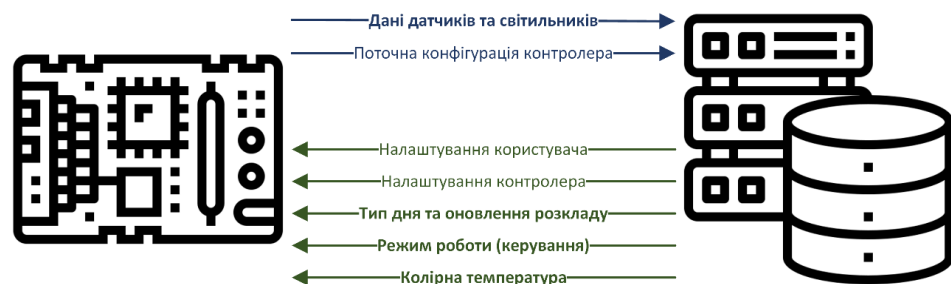


Рисунок 3.3. Взаємодія сервера та контролера системи

3.3 Розробка алгоритму функціонування системи

Керування світильників контролерами та їх поточний стан залежать від режиму роботи, поточного типу періоду, часу доби, типу приміщення та користувацьких налаштувань. Загалом функціонування системи можна

розділити на декілька окремих паралельних алгоритмів, які будуть описані нижче.

Від типу приміщення залежать 2 параметри – час очікування повторного руху та час роботи світильників після завершення руху. Ці параметри містять в собі задані набори значень, кожне з яких відповідає певному встановленому періоду, та встановлюються на початку роботи контролера та при оновленні налаштувань, отриманих з повідомлень MQTT.

Поточний період роботи впливає на вибір значень, що використовуються при визначення наявності руху та затримці роботи освітлення після завершення цього руху. Протягом робочого дня контролер змінює типи періодів декілька разів на день, тоді як у вихідний день тип періоду є незмінним – актуальним є Пасивний період. Як зазначено на рис. 3.4, контролер може діяти самостійно, оскільки у його пам'яті міститься глобальна змінна з типом поточного дня.

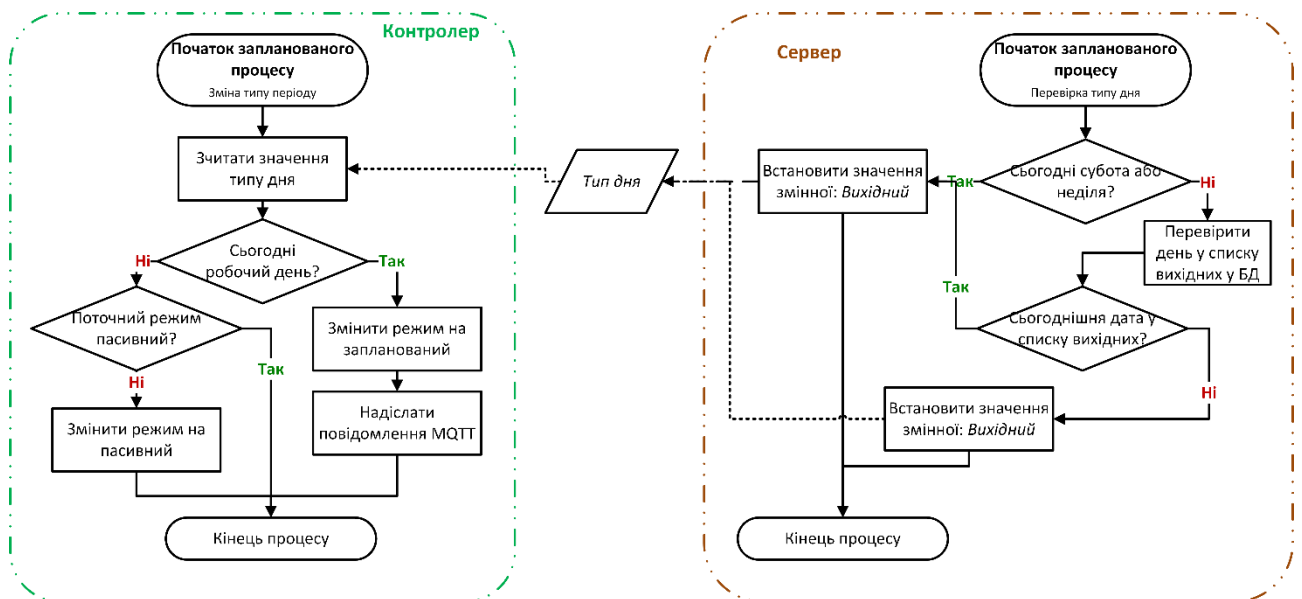


Рисунок 3.4. Алгоритм керування поточним типом періоду

Однак для підтримання актуальності змінної необхідна взаємодія з сервером, який, з використанням бази даних, API та календаря визначає поточний тип дня та надсилає його на контролер. Оновлення даних відбувається щоденно вночі. Разом з типом доби синхронізується також час

контролера, оскільки його чіп не є точним при визначенні часу, і після певного періоду стане помітним відхилення роботи контролера від розкладу.

Для виконання завдань зі зміни поточного режиму на наступний використовуються бібліотеки, що синхронізують час мережі та контролера, та бібліотеки, що створюють завдання та призначають їх виконання на конкретний час доби.

Наступним параметром, що потребує окремого алгоритму, є режим роботи світильників у зоні навчального класу. Він впливає на стан світильників (увімкнено/вимкнено) та на потужність роботи димера. Загальне схематичне відображення алгоритму міститься на рис. 3.5.

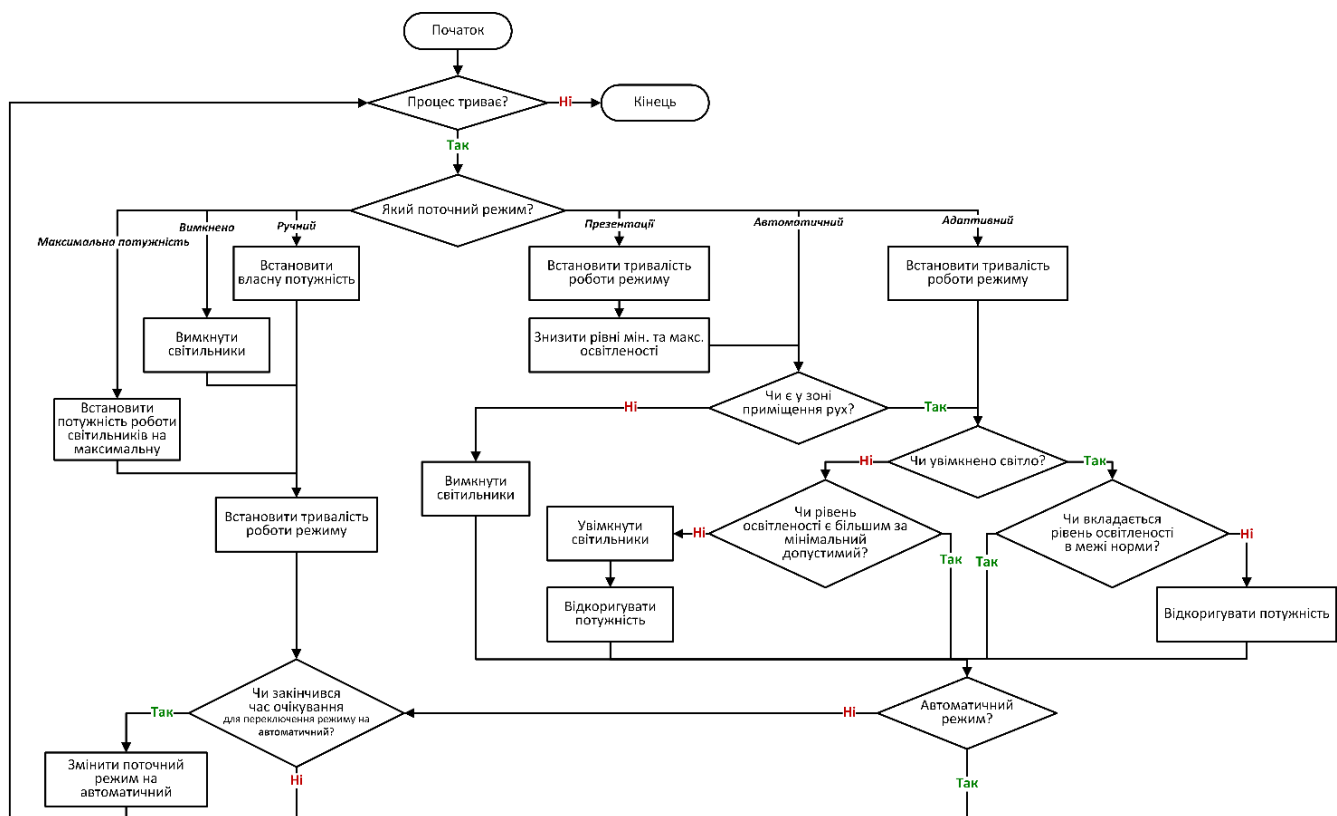


Рисунок 3.5. Алгоритм керування освітленням – яскравість та увімкнення/вимкнення світильників

Зображений алгоритм не враховує особливості функціонування контролера та особливості керування підключеними пристроями, а лише узагальнює суть усіх процесів, що відбуваються на контролері та дає уявлення про кожен з режимів роботи освітлення у процесі їх використання. Для всіх режимів, окрім автоматичного, встановлюється тривалість роботи режиму у

хвилинах, після чого система змінює встановлений користувачем режим роботи на варіант за замовчуванням – автоматичний режим.

У правій частині рис. 3.5 з алгоритмом наявні блоки «Чи увімкнено світло?», «Відкоригувати потужність» тощо. Вони є абстрактним узагальненням процесів порівняння, обробки даних, що мають свій власний алгоритм, але не були додані для спрощення сприйняття алгоритму.

Розглянуті параметри – режим роботи та поточний період – відповідають за яскравість та роботу світильників приміщення.

Значення колірної температури для приміщення встановлюється на основі даних, що задаються користувачем, або на основі розкладу та поточного часу доби. Для відповідності з колірною температурою світла протягом доби, легшої адаптації організму дітей до навчального процесу, зранку встановлюється більш холодна колірна температура, щоби пробудити організм, а за годину до заходу сонця – тепліша колірна температура. Також тепліша колірна температура встановлюється на перервах, щоб створити більш розслаблену атмосферу. Якщо ж значення встановлюється користувачем, тоді температура встановлюється на основі внесених даних. Алгоритм налаштування колірної температури наведено на рис. 3.6.

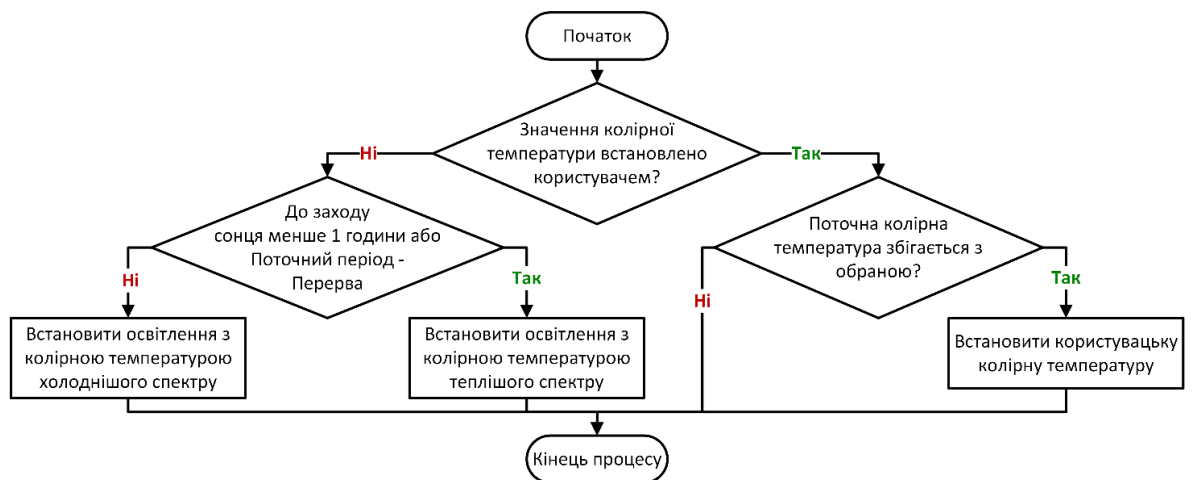


Рисунок 3.6. Алгоритм встановлення колірної температури світильників у приміщенні

3.4 Вибір елементної бази та реалізація апаратної частини

3.4.1 Вибір елементної бази

При виборі обладнання для реалізації прототипу апаратної частини враховувалися його ціна, якість та наявність необхідних функцій.

У якості контролера було обрано плату для розробки NodeMCU V3 з чипом CN340 (рис. 3.7).

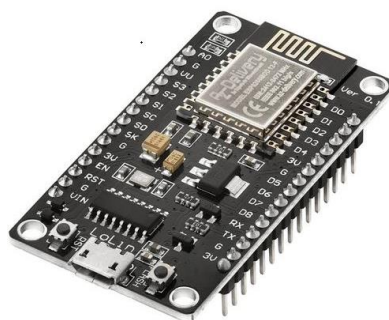


Рисунок 3.7. Плата NodeMCU v3 з чипом ESP8266

Плата має невелику вартість, але водночас вже включає в себе Wi-Fi чип ESP8266 та має вбудований стек протоколів TCP/IP з підтримкою до 5 клієнтських підключень, що дозволяє забезпечити мережевий зв'язок між платою та комп'ютером, на якому запущено сервер. Підключення до плати та її живлення здійснюється з використанням порту типу microUSB, який є розповсюдженим та можна знайти практично будь-де. Піни плати, до яких підключаються датчики та інші зовнішні пристрої, підтримують широкий перелік різних видів з'єднань, такі як I2C, PWM, UART, GPIO. Порти GPIO мають підтримку переривань. Можна здійснювати перепрошивку пристрою як через USB, так і з хмари.

Для визначення наявності руху було обрано доплерівський мікрохвильовий датчик руху RCWL-0516 (рис. 3.8).

Він визначає наявність руху у приміщенні з використанням доплерівського ефекту – зміни частоти хвилі, що реєструється приймачем, яка викликана переміщенням джерела або приймача у просторі. Він чудово визначає рухи у великих за площею приміщеннях та здатен охопити навіть рухи, що не відбулися в межах прямої видимості. На виході видає дискретний результат – 0, якщо руху немає або 1, якщо рух виявлено. Має особливість – при

виявленні руху протягом 2 секунд продовжує видавати позитивний результат, навіть якщо рух закінчився. Радіус дії – до 5-9 м, кут виявлення – 120°.

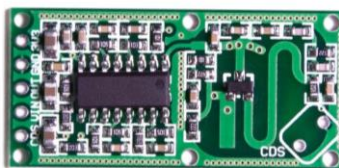


Рисунок 3.8. Датчик руху RCWL-0516

Для визначення рівня освітленості у приміщенні було обрано цифровий датчик GY-302 на базі чипу BH1750FVI (рис. 3.9)



Рисунок 3.9. Датчик освітленості GY-302

За допомогою цього датчика з високою чутливістю вимірюється фоновий рівень освітлення у Люксах. Дані передаються через інтерфейс I2C, для використання якого датчик потрібно підключити до двох портів контролера. Також для отримання значень освітленості у Люксах необхідно підключити бібліотеку Arduino BH1750.

У якості світильника використовувалася лампочка, що піддається димінгу, EUROLAMP LED Лампа TURBO NEW "Свічка" dimmable 6W E14 4000K. Лампочка живиться від електромережі змінного струму 220В.

Для регулювання яскравості світла лампочки було обрано димер для змінного струму 220В для плат Arduino та плат на базі ESP8266 (рис. 3.10).

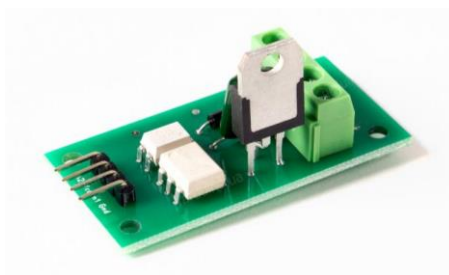


Рисунок 3.10. Димер 220В для Arduino та ESP8266

Регулювання струму здійснюється методом відсікання переднього фронту синусоїди струму за допомогою переривань плати. В результаті відсікання хвилі зменшується діюча напруга та потужність на виході.

3.4.2 Збір схеми

Кожен з пристроїв був підключений до відповідного порта живлення на платі з відповідною напругою та до портів, через які здійснюється обмін даними. Згідно з вимогами, димер та датчик руху було підключено до напруги 5 В, а датчик освітленості до напруги 3.3 В.

Схему з'єднання елементів подано на рис. 3.11 та у табл. 3.1. На рис. 3.12 відображено готову зібрану схему для керування лампочкою за допомогою контролера.

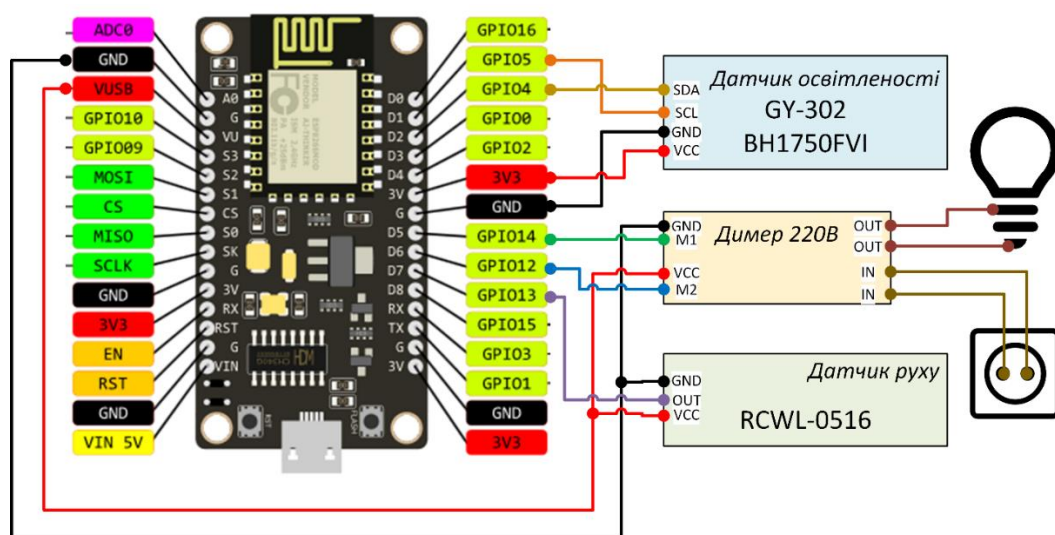


Рисунок 3.11. Схема з'єднання елементів апаратної частини системи керування освітленням

Таблиця 3.1 – З'єднання плати та елементів схеми

Пристрій	Контакт пристрою	Контакт плати	Режим
1	2	3	4
RCWL-0516	VCC	VU (VUSB) – 5V	-
	OUT	D7 (GPIO13)	INPUT
	GND	GND	-
	3V3	-	-
	COS	-	-

1	2	3	4
GY-302	ADDR	-	-
	SDA	D2 (GPIO4)	INPUT
	SCL	D1 (GPIO5)	INPUT
	GND	GND	-
	VCC	3V3	-
Димер 220В	M2	D6 (GPIO12)	INPUT_PULLUP
	VCC	VU (VUSB) – 5V	-
	M1	D5 (GPIO14)	OUTPUT
	GND	GND	-

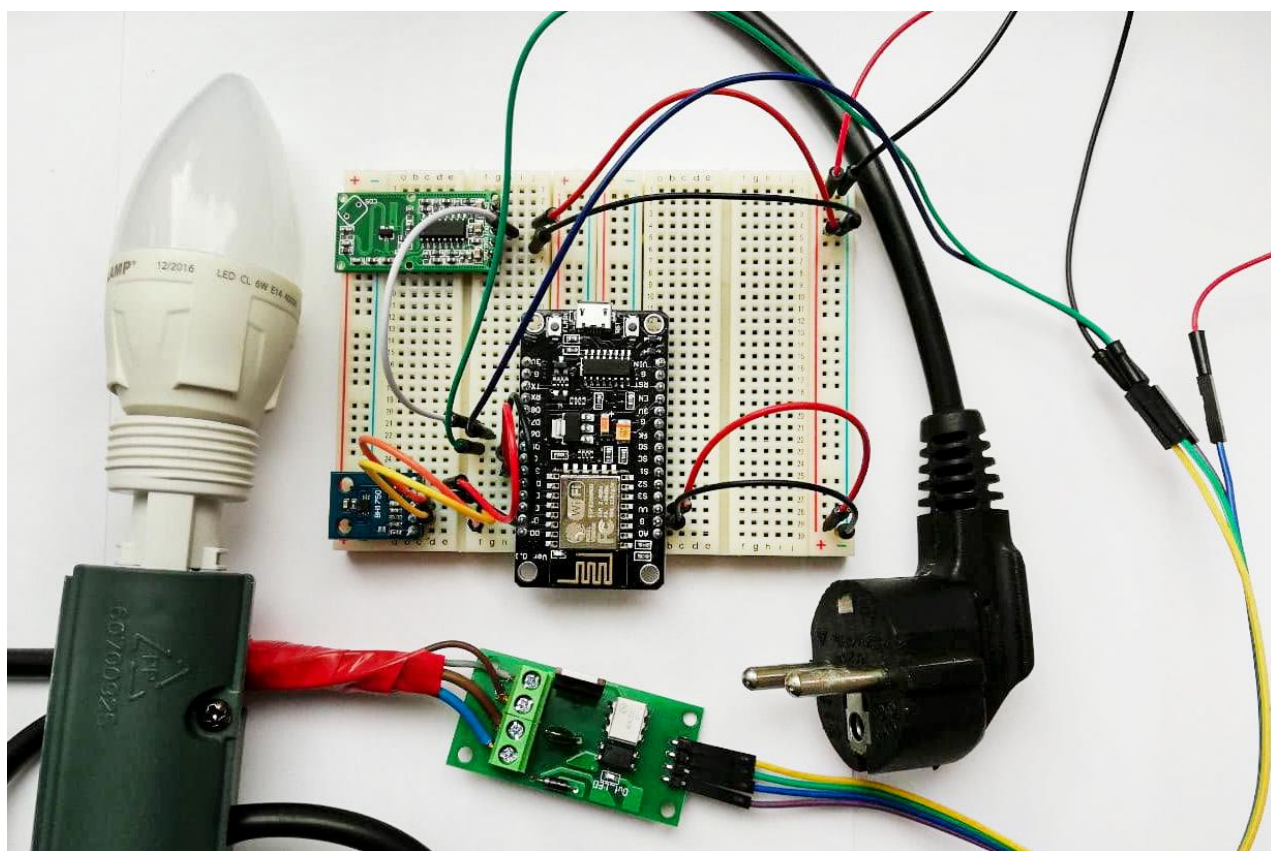


Рисунок 3.12. Зібрана апаратна частина системи керування освітленням

3.5 Створення програмного забезпечення адаптивної системи

3.5.1 Вибір засобів розробки

При виборі засобів розробки враховувалися доступність цих засобів, легкість та швидкість розробки, зручність масштабування системи при потребі. Також обрані інструменти мають бути легко розгорнуті у локальній мережі.

Для реалізації апаратної частини проекту було обрано плату NodeMCU v3, програмне забезпечення для якої можна розробляти мовою програмування Lua, або мовою програмування C++, модифікованою для Arduino з використанням середовища розробки Arduino IDE. У зв'язку з наявністю досвіду розробки для плат Arduino та можливістю відлагодження роботи приєднаних пристроїв на двох видах плат одночасно, для написання програмного забезпечення мікроконтролера було обрано засоби розробки для плат Arduino. У середовищі розробки було встановлено спеціальні модулі розширення, що здійснюють компіляцію та завантаження коду для мікроконтролерів з чипом ESP8266.

Для розробки сервера, що обробляє запити клієнтів та MQTT-повідомлення від мікроконтролерів було обрано мову програмування Java 11 та фреймворк Spring Boot 2.5.0. Для збереження даних датчиків та користувачів було використано реляційну базу даних MySQL 8.0. Розробка програмного забезпечення сервера здійснювалася у середовищі розробки IntelliJ IDEA Ultimate Edition.

Для розробки клієнтської частини веб-сервісу використано фреймворк Bootstrap 4, що дозволяє швидко розробляти інтерфейс, не витрачаючи багато часу на розробку стилів. Для формування веб-сторінок на основі даних з бази даних використано технологію Thymeleaf та JavaScript.

У якості локального брокера MQTT використано засіб Mosquitto – сервер MQTT з відкритим кодом, що підтримує протокол останньої версії 3.1.1 та є кросплатформним.

Для налагодження та тестування зв'язку через протокол MQTT використовується засіб графічного програмування Node-RED, у якому можна переглядати отримані з обох сторін повідомлення та надсилати власні для тестування обробки повідомлень контролером та сервером.

На рис. 3.13 зображено архітектуру мережі, що проектується, способи обміну даними між вузлами цієї мережі та засоби, що використовуються на кожному з компонентів мережі.

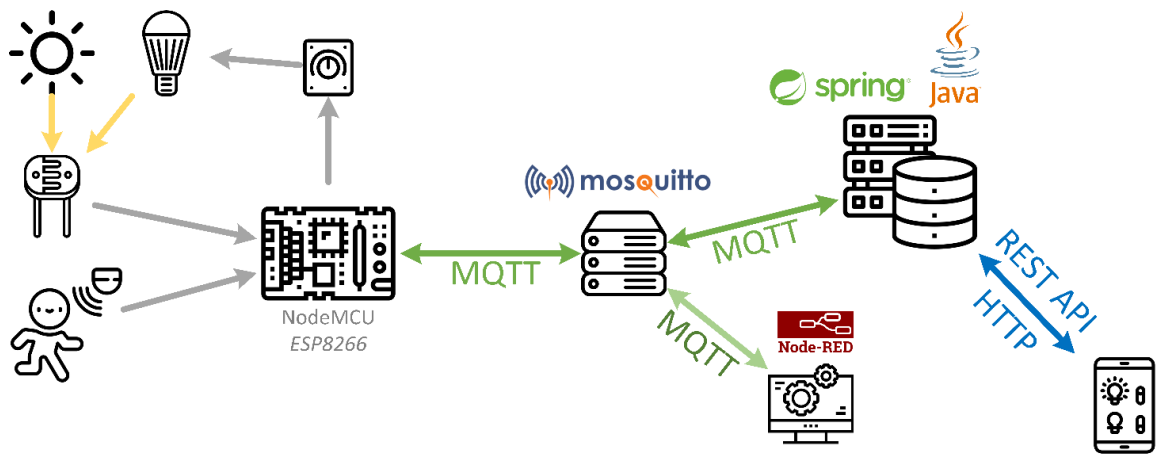


Рисунок 3.13. Архітектура системи з урахуванням обраних технологій та місцями їх застосування

3.5.2 Розробка формату MQTT-повідомлень між контролерами та сервером

Для успішного обміну повідомленнями між сервером та контролером необхідно, щоб існував спільний стандарт цих повідомлень, якого буде дотримано.

Існують такі вимоги до повідомлень MQTT:

- дані між компонентами мережі пересилаються у форматі JSON;
- розмір одного повідомлення не має перевищувати 512 байт;
- теми повідомлень повинні бути стандартизовані та відповідати певному шаблону.

Теми протоколу MQTT є ієрархічними, що дозволяє легко розмежовувати повідомлення, що розсилаються, за категоріями та підписуватися на теми, що відповідають певному приміщенню, зоні, поверху тощо.

Було розроблено такий формат тем, у якому відображається, на якому саме поверсі знаходиться певний пристрій, у якій він кімнаті та тип даних, що пересилається. Базовий шаблон теми, що використовується для обміну даними з конкретним приміщенням має такий вигляд:

school-lights/floor-<поверх>/room-<номер/назва кабінету>, де замість параметрів у трикутних дужках підставляються дані про конкретний кабінет. Для обміну широкомовними повідомленнями, що охоплюють всю будівлю

ліцею або конкретний поверх, може використовуватися один з верхніх рівнів теми повідомлення. У табл. 3.2 подано список всіх тем, що використовуються сервером та контролером з кабінету №207, розташованого на 2 поверсі, для надсилання та отримання повідомлень, та призначення кожної з цих тем. У колонках 2 та 3 табл. 3.2 вказується напрямок обміну повідомленнями – pub встановлюється для пристрою, що є видавцем повідомлень цієї теми (надсилає повідомлення), а sub – для пристрою, що є підписником (отримує повідомлення). Приклади вмісту повідомлень MQTT у форматі JSON, якими обмінюються сервер та мікроконтролер, містяться у додатку Е.

Таблиця 3.2 – Приклад тем повідомлень MQTT

Тема	Контролер	Сервер	Дані, що передаються
1	2	3	4
school/floor-2/room-207/device	pub	sub	Дані про пристрій (Wi-Fi, MAC тощо)
school/floor-2/room-207/data	pub	sub	Дані з датчиків та підключених пристроїв
school/floor-2/room-207/params	pub	sub	Налаштування контролера
school/floor-2/room-207/schedule	sub	pub	Новий розклад зміни періодів роботи
school/floor-2/room-207/mode	sub	pub	Новий режим роботи контролера
school/floor-2/room-207/config	sub	pub	Нові налаштування для контролера
school/period	sub	pub	Широкомовна розсилка для всіх пристроїв будівлі, що встановлює поточний тип дня та синхронізує час

Для тестування та налагодження обміну даними між сервером та платою, а також для емуляції роботи датчиків та сервера використовується середовище графічного програмування Node-RED, де було створено кнопки, при натисненні на які надсилаються тестові повідомлення, а також додано блок, який приймає всі повідомлення, які належать до тем, що підходять шаблонній масці “school/#” (рис. 3.14).

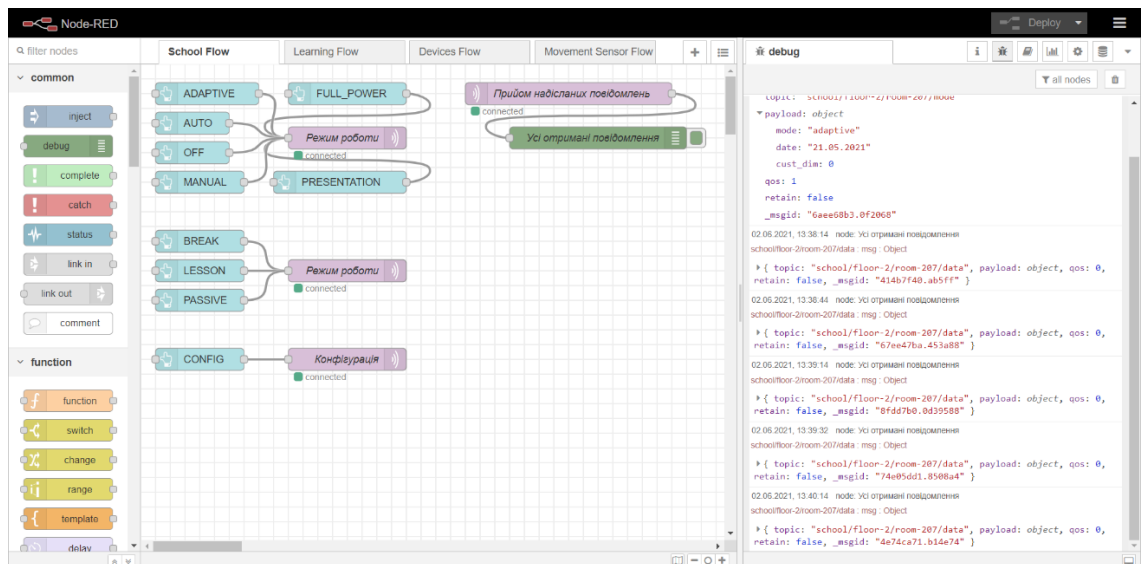


Рисунок 3.14. Середовище Node-RED

3.5.3 Розробка прошивки для мікроконтролера

Для виконання контролером своїх функцій до його прошивки були підключені бібліотеки для роботи з пристроями та для зв'язку з мережею:

- «ESP8266WiFi.h» – підключення NodeMCU до Wi-Fi.
- «PubSubClient.h» – підключення до MQTT брокера та робота з ним.
- «Ticker.h» – таймер для перевірки стану рядів світильників.
- «Wire.h» – зв'язок з датчиком освітленості через інтерфейс I2C/TWI.
- «BH1750.h» – зчитування та обробка даних з датчика освітленості.
- «ArduinoJson.h» – обробка отриманих та створення нових JSON-об'єктів у повідомленнях MQTT.
- «time.h» – бібліотека для роботи з часом.
- «CronAlarms.h» – створення запланованих завдань – зміна поточного періоду, встановлення колірної температури за розкладом, створення та видалення завдань.

Усі основні конфігурації мікроконтролера зберігаються як глобальні змінні, до значень яких можна отримати доступ з будь-якої функції прошивки.

Програмний код плати містить 2 основні функції: `setup()`, де відбувається ініціалізація всіх підключених пристроїв, та `loop()`, де послідовно виконуються усі операції. Особливості деяких пристроїв та бібліотек

передбачають паралельне виконання їх функцій та виклики внаслідок переривань.

Наприклад, димер здійснює керування потужністю світильника з використанням типу переривання RISING, яке передбачає ріст напруги на контакті, який реєструє переривання. Таким чином, кожного разу, коли плата реєструє початок нової синусоїди, димер блокує на короткий проміжок часу канал, тим самим обрізаючи хвилю. Через цю особливість для димера створюється функція, що з основним циклом прошивки пов'язана лише спільними глобальними змінними, що використовуються для обчислень та керування. Також паралельно до основного потоку працюють функція MQTT-клієнта callback(), що обробляє отримані повідомлення, та планувальник подій, що створює розклад для почергової зміни періодів роботи.

Передбачається, що може виникнути ситуація, коли вимкнеться живлення плати, тому при підключенні плати до локальної мережі, він надсилає свої дані на сервер зі статусом "INIT" та у відповідь отримує актуальні налаштування від сервера, що відображено на рис. 3.15.

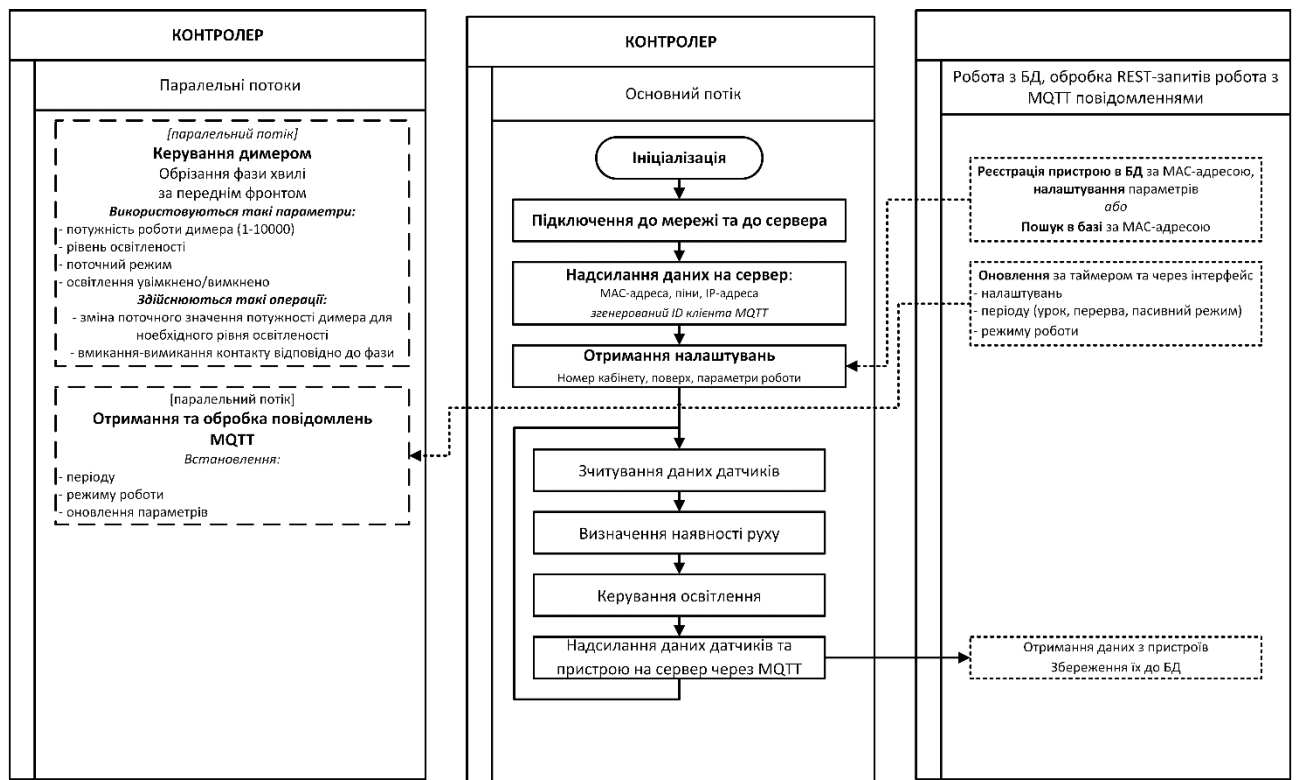


Рисунок 3.15. Узагальнений алгоритм роботи контролера, взаємодія його функцій setup() та loop() з паралельними процесами та з сервером

Разом з актуальними налаштуваннями контролер також синхронізує свій поточний час з серверами NTP для коректної роботи налаштованого розкладу.

В основному циклі програми виконуються такі операції:

- перевірка підключення до сервера MQTT;
- визначення наявності руху у поточний момент на основі показників датчика (алгоритм зображено на рис. 3.16);
- увімкнення та вимкнення світильників (зміна значення lightsOn);
- надсилання даних з датчиків та пристроїв через сервер на MQTT у випадку виявлення руху або його завершення, увімкнення та вимкнення світильників, завершення періоду очікування для надсилання наступного повідомлення.

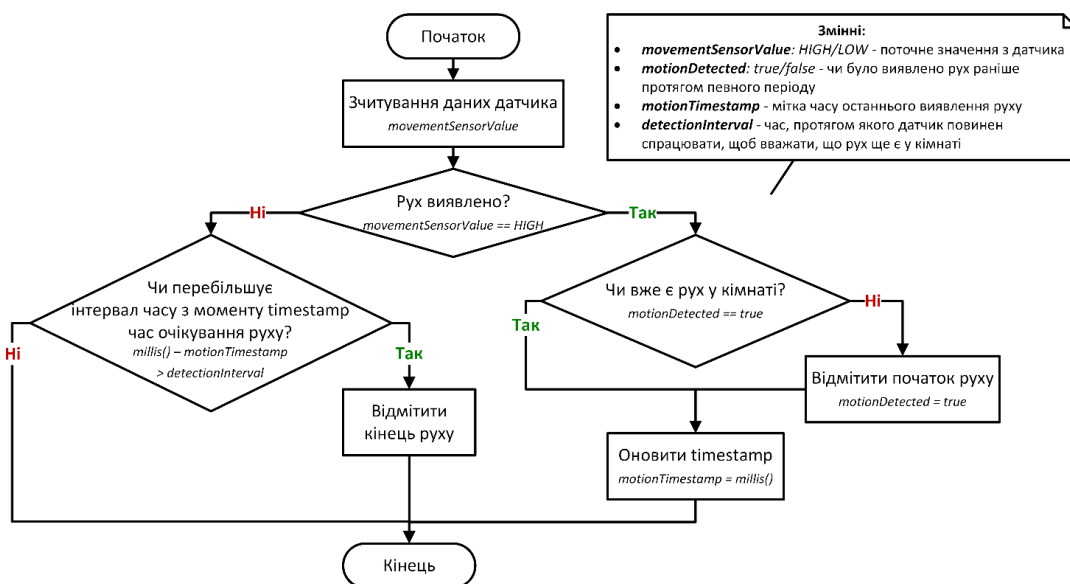


Рисунок 3.16. Алгоритм визначення наявності руху

Також в кожній ітерації циклу loop() здійснюється перевірка часових відміток та функції millis() на переповнення змінної, яка відбувається близько кожні 5 днів. Якщо переповнення має місце, то змінним часових відміток присвоюється значення 0.

Блок-схема для алгоритму основного циклу міститься у додатку Г.

В основному циклі програми здійснюється керування світильниками, що передбачає зміну їх статусу на «Увімкнено» або «Вимкнено» за допомогою змінної lightsOn. Подальше ж керування димером, який змінює потужність та

яскравість світіння світильників залежно від встановлених параметрів та режимів, відбувається у функції `handleInterrupt()`, що викликається внаслідок переривань. Блок-схему її алгоритму можна переглянути у додатку Д.

Рівень освітленості змінюється непропорційно до потужності роботи димера, тому при кожному виклику функції поточне значення потужності змінюється на певне значення-крок, що обраховується у функції `calucateStepValue()`, яка визначає розмір кроку на основі віддаленості поточного значення потужності від цільового значення. Встановлено фіксовані значення змін потужності, які вказано у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Крок зміни залежно від різниці між поточним та цільовим значеннями потужності роботи димера

Різниця між значеннями	gap>1000	gap>500	gap>100	gap>50	gap<=50
1	2	3	4	5	6
Крок зміни	100	20	5	3	1

Візуалізація алгоритму обчислення кроку зміни потужності роботи димера на рис. 3.17. Зменшення значення кроку дозволяє швидше досягати потрібного значення потужності, якщо різниця велика, та здійснювати точне регулювання, якщо поточне значення близьке до цільового.

При регулюванні яскравості світла вказується не конкретне цільове значення освітленості, якого потрібно досягти та дотримуватися, а допустимий діапазон, у якому це значення може лежати, адже рівень природньої освітленості не є стабільним та через рух хмар може часто змінюватися. Встановлення цільового діапазону замість фіксованого значення дозволяє уникнути постійних коливань рівня освітленості. Межами допустимого діапазону є $minLux + deltaLux / 10$ (нижня межа) та $minLux + deltaLux$ (верхня межа), де $minLux$ – це мінімальний рівень освітленості у приміщенні відповідно до норм, а $deltaLux$ – це діапазон між мінімальним та максимальним рівнями освітленості, що відповідають нормі.

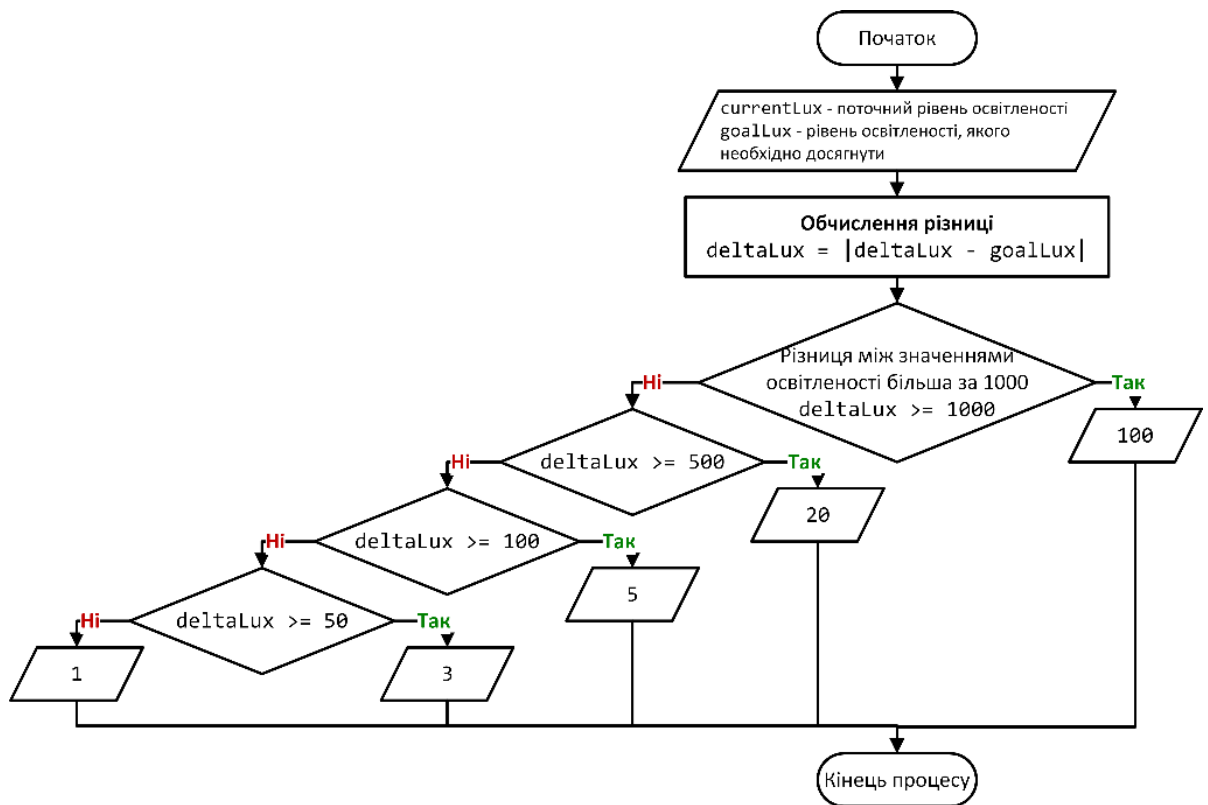


Рисунок 3.17. Алгоритм обчислення кроку зміни потужності димера

Після регулювання потужності димером перевіряється, чи отримані значення перевищують максимальних та у випадку перевищення повертають їх до нормальних значень.

3.5.4 Розробка програмного забезпечення для сервера

Основні функції сервера – це отримання даних з зовнішніх джерел, які потребують обробки, збереження даних у базі даних, взаємодія з мікроконтролером та надання користувачу інтерфейсу, за допомогою якого можна взаємодіяти з системою.

Для швидкої та зручної розробки системи було обрано фреймворк Spring Boot, який дозволяє підключити компоненти безпеки, бібліотеки для роботи з протоколами MQTT та HTTP, HTTPS, має зручні засоби для роботи з базою даних. Програмне забезпечення, створене з використанням цього фреймворку має структуру шарів, кожен з яких працює на своєму рівні та має свої функції.

Загалом можна виокремити такі головні елементи (шари, рівні) структури проекту:

- *model (модель)* – найголовніша частина проекту, у якій створюються та визначаються необхідні сутності, створюються їх зв'язки між собою;
- *repository (репозиторій)* – рівень інтерфейсів, що дають можливість взаємодіяти з базою даних з використанням сутностей моделі;
- *service (сервіси)* – рівень, що відповідає за бізнес-логіку проекту;
- *controller (контролер)* – приймає запити від клієнтів веб-застосунку та спрямовує їх на відповідні сторінки та виконує необхідні операції, використовуючи рівень сервісів;
- *view (відображення)* – рівень, на якому формуються сторінки інтерфейсу веб-сервісу.

Фреймворк базується на архітектурі Java ORM (Object/Relational Mapping), тому проектування програмного забезпечення сервера починається з визначення основних сутностей системи, з якими вона буде працювати, та побудови зв'язків між ними. Для взаємодії з базою даних за допомогою сутностей використовується інтерфейс Java Persistence API. Цей інтерфейс дає можливість взаємодіяти застосунку з базою даних будь-якого типу та від будь-якого вендора, якщо підключено для неї драйвер. При використанні Persistence API наявна функція, що автоматично створює та оновлює структуру бази даних відповідно останніх змін у структурі класів рівня моделі. Типи сутностей у базі даних, їх атрибути та зв'язки між ними описуються з використанням анотацій @Entity, @Table, @Id, @GeneratedValue, @JoinColumn, @ManyToOne, @OneToOne, @OneToMany тощо (рис.3.18).

Для спрощення коду та покращення його читабельності було використано засіб Lombok – встановлення анотацій @Getter, @Setter, @Data, @AllArgsConstructor, @ToString тощо дозволяє не писати код стандартних методів та конструкторів класів, адже він генерується плагіном на етапі компіляції.

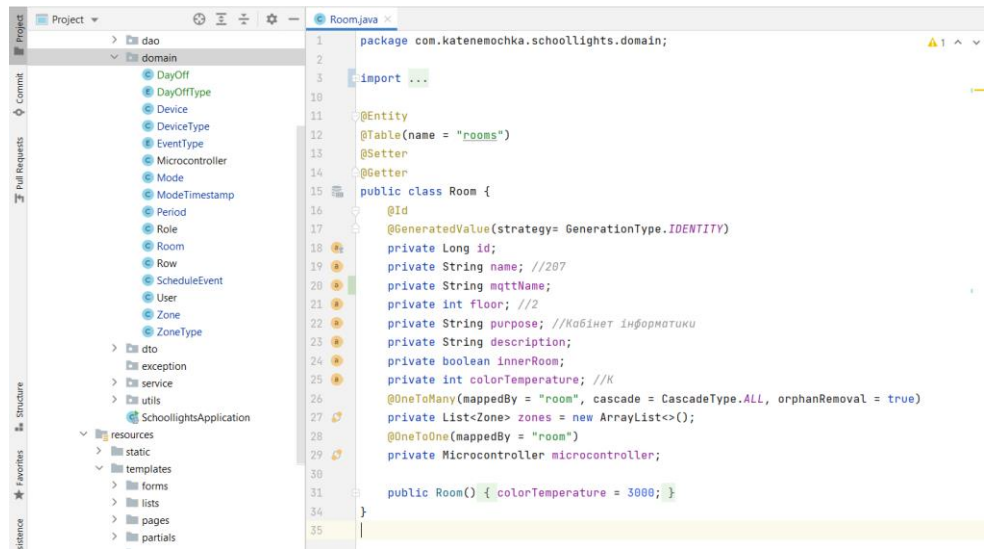


Рисунок 3.18. Використання анотацій при розробці класів сутностей рівня моделей

У результаті початкового проектування з використанням засобів IntelliJ IDEA було отримано діаграму створених класів (рис. 3.19).

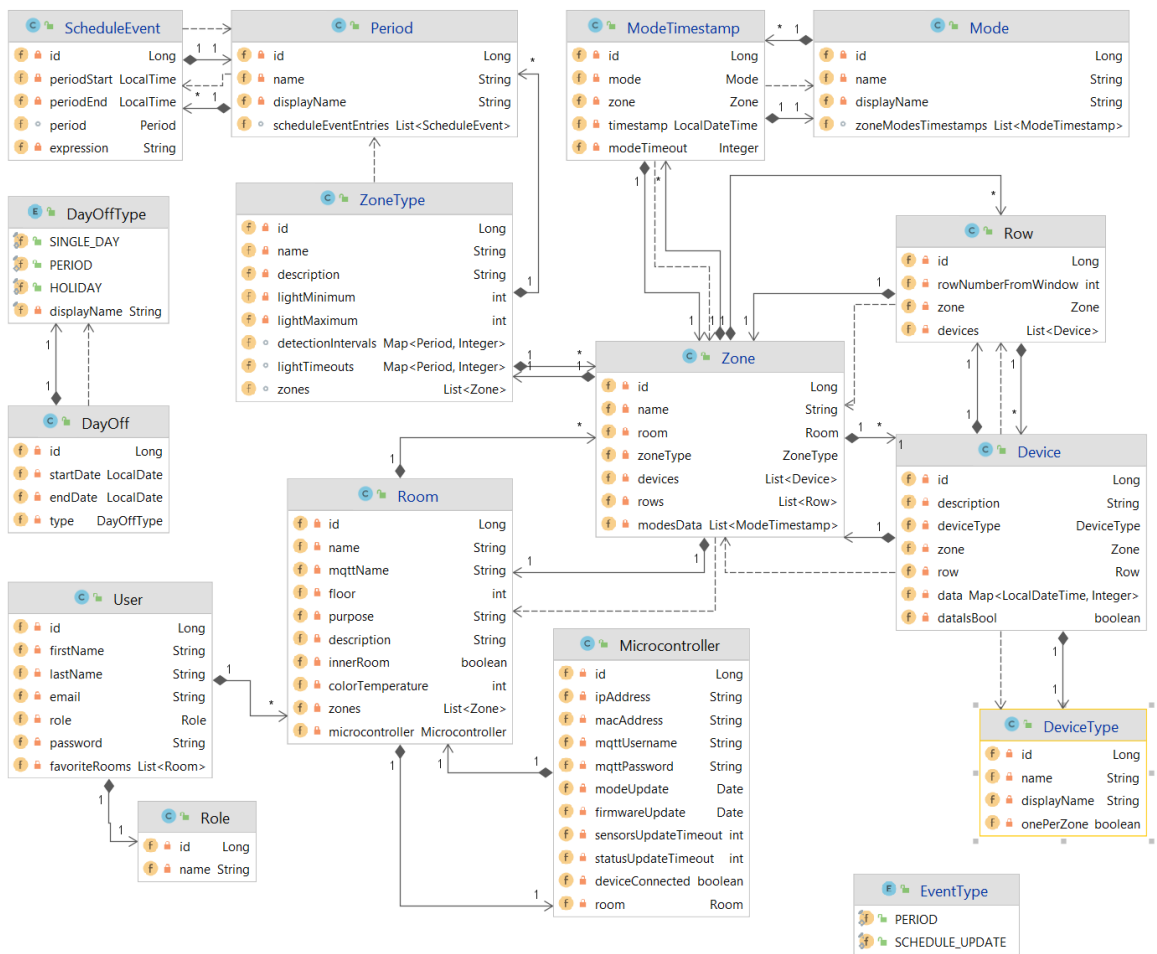


Рисунок 3.19. Скорочена версія діаграми класів рівня моделей для серверного ПЗ системи освітлення

Також було згенеровано діаграму бази даних, що відповідає класам рівня моделей (рис. 3.20).

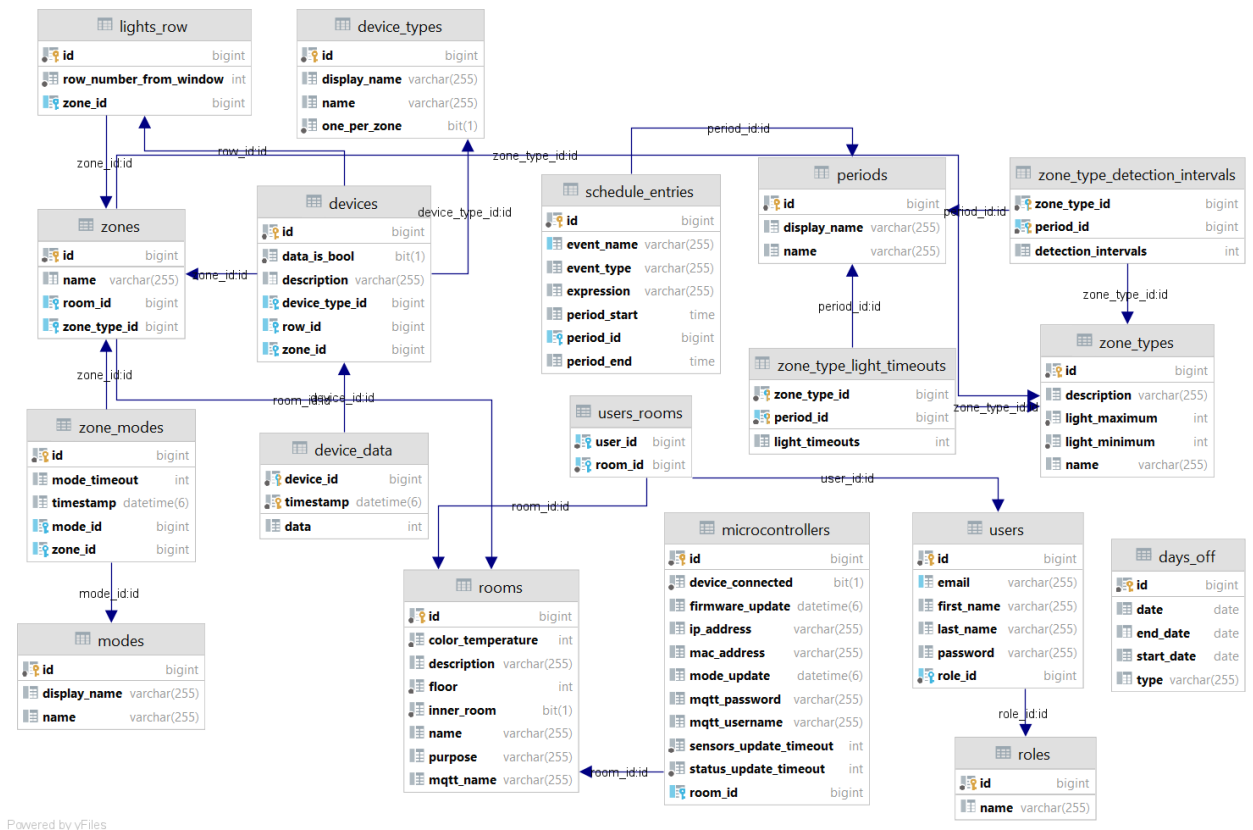


Рисунок 3.20. Діаграма згенерованої бази даних для системи освітлення

Окрім наведених в діаграмі класів, були створені також додаткові класи, які використовуються в модулях безпеки та інших системних процедурах, але суттєво не впливають на роботу системи, наприклад, класи User, Role, Privilege та EventType.

Після створення рівня моделі та генерування бази даних було створено інтерфейси для рівня репозиторію, щоб мати змогу здійснювати запити до бази даних, зберігати та оновлювати записи та видаляти їх. Створені інтерфейси успадковують базовий інтерфейс JpaRepository. За замовчуванням доступні базові операції CRUD (Create, Read, Update, Delete), при чому запит можна здійснювати лише за первинним ключем сутності. Для того, щоб мати змогу шукати записи таблиць за іншими параметрами, наприклад – шукати пристрої IoT за зоною навчального класу, у якій вони розташовані, або за типом

пристрою, було створено спеціальні абстрактні методи, за допомогою яких ці запити здійснюються (рис. 3.21).

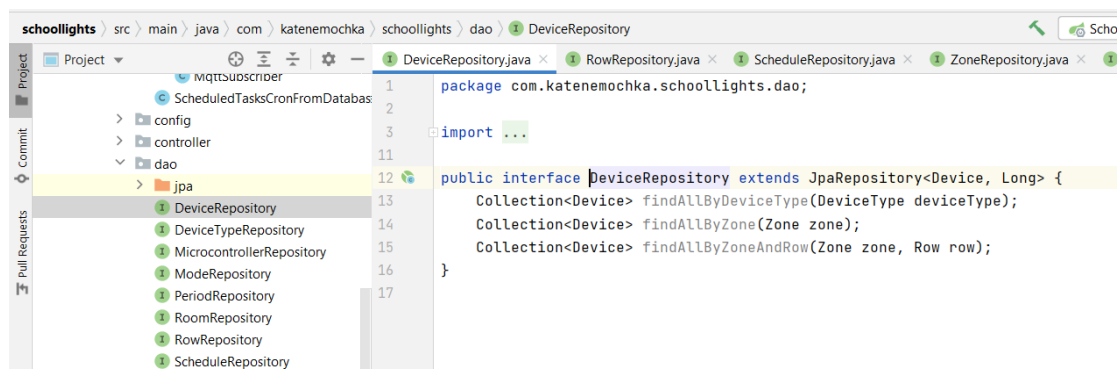


Рисунок 3.21. Реалізація інтерфейсу репозиторію для сутності Device

Використовуючи створені інтерфейси рівня репозиторію та класи сутностей, було спроектовано та розроблено рівень сервісів, що відповідає за бізнес-логіку – на цьому рівні здійснюються CRUD операції з отриманням сутності з бази даних за первинним ключем або будь-який іншим визначеним критерієм, а також інші операції. При реалізації сервісу здійснюється перевірка даних, що отримані як з рівня репозиторію, так і з рівня клієнтського додатку, на коректність даних та значення null. Залежно від контексту, якщо здійснюється пошук об'єкту в базі даних, і результатом пошуку є повернення значення null, користувач переадресовується на сторінку про помилку 404 або викликається виняток (exception) (рис. 3.22). Якщо виконується операція збереження або оновлення об'єкту у базі даних, здійснюється перевірка присутності такого об'єкту в базі даних і, якщо такий об'єкт існує, то вміст нового об'єкту зберігається у знайденому та оновлюється вже існуючий об'єкт, а якщо такого об'єкту немає, то зберігається (рис. 3.22). Якщо null є результатом пошуку набору елементів, то замість цього значення для користувача створюється та повертається порожній список або будь-яка інша підходяща за типом колекція (рис. 3.22).

Після завершення розробки рівня моделей, розпочалася одночасна розробка класів, що належать до рівнів контролерів, відображення та сервісів.

Для обміну даними між рівнем контролера та відображенням використовується XML-технологія Thymeleaf. Для її застосування на рівні

контролерів у методі, що відповідає відповіді на певний запит користувача до об'єкту моделі потрібно додати атрибут, значенням якого є об'єкт, з яким потрібно взаємодіяти на стороні користувача (рис. 3.23).

```

1 package com.katenemochka.schoollights.service.impl;
2
3 import ...
4
5 @Service
6 @Data
7 public class ZoneTypeServiceImpl implements ZoneTypeService {
8     @Autowired
9     ZoneTypeRepository zoneTypeRepository;
10
11     @Override
12     public List<ZoneType> getAll() {
13         List<ZoneType> zones = zoneTypeRepository.findAll();
14         return zones.isEmpty() ? new ArrayList<>() : zones;
15     }
16
17     @Override
18     public ZoneType getById(Long id) {
19         return zoneTypeRepository.findById(id).orElseThrow(() ->
20             new EntityNotFoundException("Zone type with id=" + id + " does not exist"));
21     }
22
23     @Override
24     public ZoneType createOrUpdate(ZoneType zone) {
25         if (zone.getId() != null) {
26             Optional<ZoneType> zoneOptional = zoneTypeRepository.findById(zone.getId());
27             if (zoneOptional.isPresent()) {
28                 return zoneTypeRepository.save(zone);
29             }
30         }
31         return zoneTypeRepository.save(zone);
32     }
33 }

```

Рисунок 3.22. Операції з сутностями та базою даних на рівні сервісів у класі ZoneTypeServiceImpl та його інтерфейсі ZoneTypeService

```

26 @Controller
27 @Data
28 public class ZoneController {
29
30     ZoneService zoneService;
31     ZoneTypeService zoneTypeService;
32     PeriodService periodService;
33
34     @Autowired
35     public void setZoneService(ZoneService zoneService) { this.zoneService = zoneService; }
36
37     @Autowired
38     public void setZoneTypeService(ZoneTypeService zoneTypeService) { this.zoneTypeService = zoneTypeService; }
39
40     @Autowired
41     public void setPeriodService(PeriodService periodService) { this.periodService = periodService; }
42
43     @GetMapping("/{zones/zone-types}")
44     public String getAllZoneTypes(Model model) {...}
45
46     @GetMapping("/{zones/zone-types/createUpdate}")
47     public String newZoneType(Model model) {
48         ZoneTypeDto dto = new ZoneTypeDto();
49         Map<String, Period> periodByNames = periodService.getAll().stream()
50             .collect(Collectors.toMap(Period::getName, Function.identity()));
51         System.out.println(periodByNames);
52         model.addAttribute("zoneTypeDto", dto.getDtoFromZoneType(new ZoneType(), periodByNames));
53         model.addAttribute("periodDisplayNames", periodService.getAll().stream()
54             .collect(Collectors.toMap(Period::getName, Period::getDisplayNames)));
55         return "forms/zone-type-form";
56     }
57 }

```

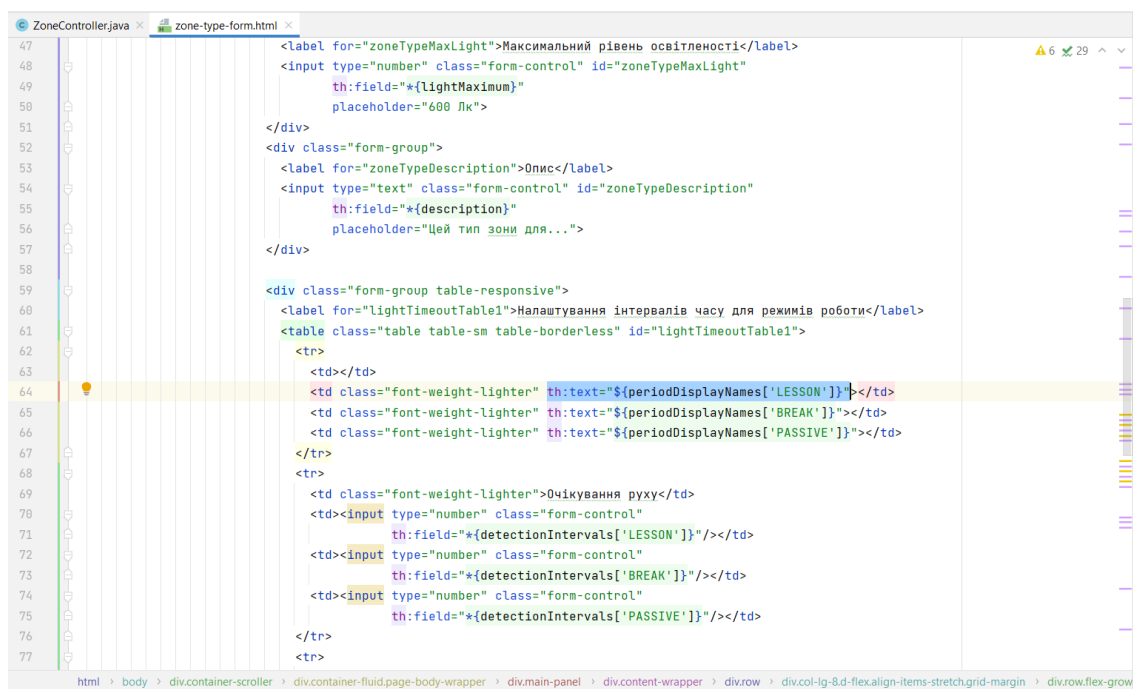
Рисунок 3.23. Контролер для форми створення та оновлення типів пристроїв

Для роботи з деякими сутностями на стороні клієнта створюються спеціальні класи, які спрощують передачу даних – DTO (Data Transfer Object).

Вони використовуються для спрощення структури об'єктів, з якими взаємодіє користувач, шляхом заміни розроблених об'єктів з рівня моделей стандартними типами даних, наприклад – рядками.

На стороні клієнта для взаємодії з переданим об'єктом використовуються атрибути Thymeleaf для тегів HTML, які пов'язують елементи HTML-сторінки з атрибутами сутності, яку було додано до моделі.

Прикладами є теги «th:object» (отримання об'єкта з моделі), «th:text» (текст, що міститься в елементі HTML, отриманий з об'єкта), «th:field» (позначка елемента HTML, як такого, що відповідає атрибуту об'єкта, отриманого через модель, використовується для елементів веб-сторінок для внесення даних користувачем, тощо. Приклад застосування цих тегів відображено на рис. 3.24.



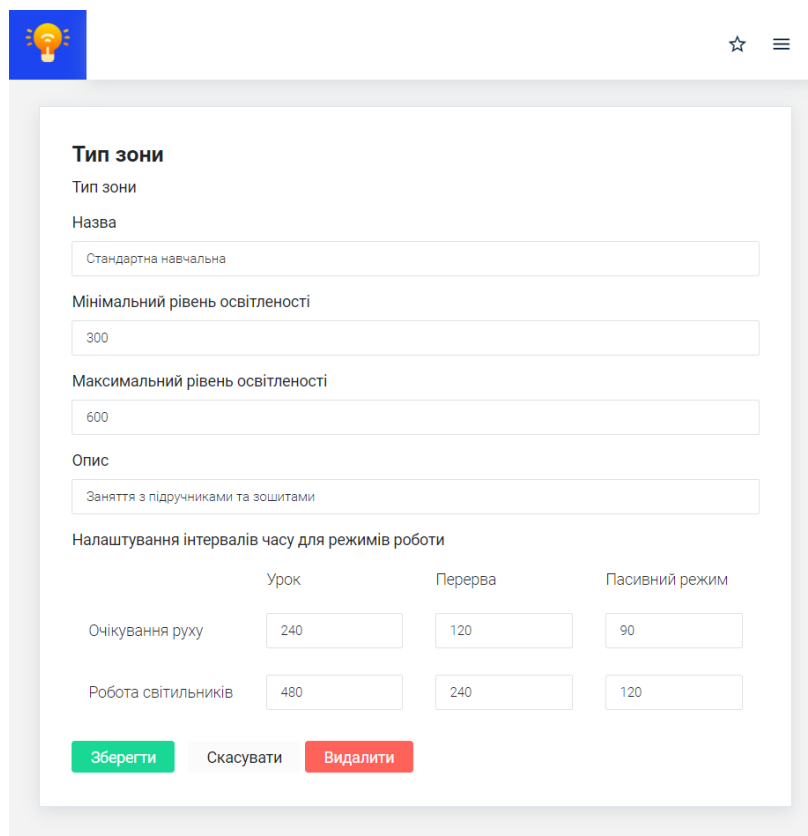
```
47 <label for="zoneTypeMaxLight">Максимальний рівень освітленості</label>
48 <input type="number" class="form-control" id="zoneTypeMaxLight"
49       th:field="*{lightMaximum}"
50       placeholder="600 Лк">
51 </div>
52 <div class="form-group">
53   <label for="zoneTypeDescription">Опис</label>
54   <input type="text" class="form-control" id="zoneTypeDescription"
55         th:field="*{description}"
56         placeholder="Цей тип зони для...">
57 </div>
58
59 <div class="form-group table-responsive">
60   <label for="lightTimeoutTable1">Налаштування інтервалів часу для режимів роботи</label>
61   <table class="table table-sm table-borderless" id="lightTimeoutTable1">
62     <tr>
63       <td></td>
64       <td class="font-weight-lighter" th:text="*{periodDisplayNames['LESSON']}"></td>
65       <td class="font-weight-lighter" th:text="*{periodDisplayNames['BREAK']}"></td>
66       <td class="font-weight-lighter" th:text="*{periodDisplayNames['PASSIVE']}"></td>
67     </tr>
68     <tr>
69       <td class="font-weight-lighter">Очікування руху</td>
70       <td><input type="number" class="form-control"
71             th:field="*{detectionIntervals['LESSON']}"></td>
72       <td><input type="number" class="form-control"
73             th:field="*{detectionIntervals['BREAK']}"></td>
74       <td><input type="number" class="form-control"
75             th:field="*{detectionIntervals['PASSIVE']}"></td>
76     </tr>
77   </table>
78 </div>
```

Рисунок 3.24. Код HTML з атрибутами Thymeleaf для форми створення та оновлення даних про тип зони приміщення

При застосуванні засобу Thymeleaf для формування веб-сторінок стандартні атрибути HTML-елементів, такі як «href» та «src», замінюються відповідними атрибутами від Thymeleaf – «th:href» та «th:src», а їх значення встановлюються з використанням спеціальних виразів підстановки @{...}, у які поміщуються потрібні посилання.

Додавання атрибутів «th:replace», «th:insert» дають можливість використовувати повторювані частини веб-сторінок, такі як навігація, початковий (header) та кінцевий (footer) елементи, що є спільними для всіх сторінок застосунку.

У результаті розробки форми для створення та оновлення типів пристроїв було отримано веб-сторінку, що зображена на рис. 3.25.



Тип зони

Тип зони

Назва

Мінімальний рівень освітленості

Максимальний рівень освітленості

Опис

Налаштування інтервалів часу для режимів роботи

	Урок	Перерва	Пасивний режим
Очікування руху	<input type="text" value="240"/>	<input type="text" value="120"/>	<input type="text" value="90"/>
Робота світильників	<input type="text" value="480"/>	<input type="text" value="240"/>	<input type="text" value="120"/>

Рисунок 3.25. Форма для створення та оновлення типів зон приміщень

Для обробки помилок, що можуть виникати, було створено контролер `WebErrorController`, який успадковує інтерфейс `ErrorController` та спрямовує користувача на сторінки, що відповідають помилкам 404 (шаблон «error-404»), 500 (шаблон «error-500»), або на сторінку для помилок за замовчуванням, якщо для конкретного коду помилки не створено окремої сторінки. При виникненні виключень та помилок користувач спрямовується на сторінку з посиланням «/error», яка може мати різний вміст залежно від коду значення (рис 3.26).

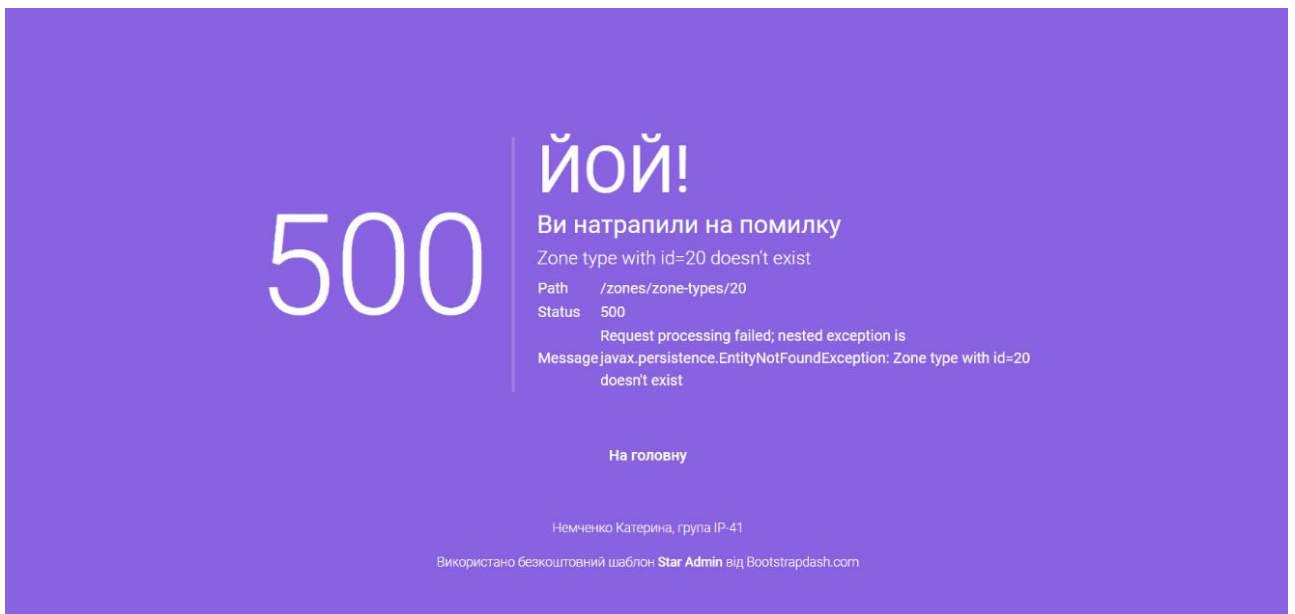


Рисунок 3.26. Сторінка з повідомленням про помилку на стороні сервера

Для доступу до сутностей системи через налаштування було створено сторінки зі списками сутностей, де можна побачити їх повний перелік та перейти на відповідні форми для їх створення або редагування (рис 3.27).

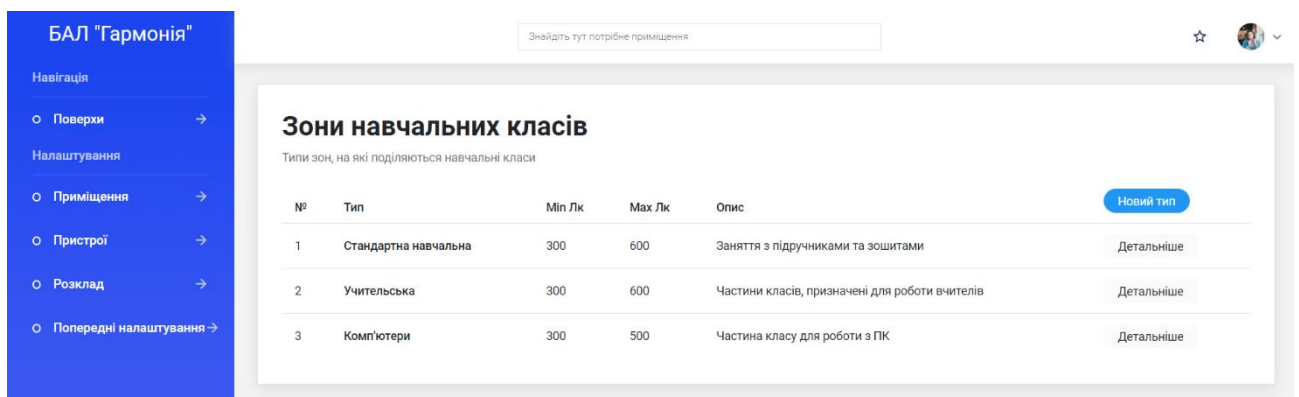


Рисунок 3.27. Сторінка для керування освітленням навчального класу 207

Взаємодія з протоколом MQTT

Робота з повідомленнями MQTT на сервері виконується з використанням бібліотеки `eclipse.paho.client.mqttv3`. Для взаємодії клієнта веб-системи було розроблено інтерфейс REST API, через який система приймає дані від користувача

Було розроблено 6 класів, що використовуються для обміну повідомленнями з MQTT-брокером та прийому запитів від клієнта веб-застосунку:

- *MqttSpringClient.java* – реалізація клієнта мережі MQTT на стороні сервера з методами для підтримання підключення, публікації повідомлень, підписки на теми та отримання повідомлень за цими темами.
- *MqttConfig.java* – клас, для здійснення конфігурації клієнта MQTT.
- *Callback.java* – клас для прийому повідомлень від брокера з функцією відновлення перерваного з'єднання.
- *MqttPublisher.java* – клас із методами, кожен з яких здійснює формування та надсилання повідомлень для контролерів на теми для конфігурації налаштувань мікроконтролерів та змін режимів їх роботи (рис. 3.28).
- *MqttSubscriber.java* – клас для обробки отриманих методами класу Callback залежно від повідомлень та збереження їхнього вмісту в базі даних.
- *RestMqttController.java* – клас-контролер, що приймає та опрацьовує REST-запити через протокол HTTP та викликає методи класу MqttPublisher для публікації відповідних запиту повідомлень.

Створення подій, що виконуються за розкладом

Згідно з алгоритмом роботи системи, щодоби сервером на контролер надсилаються дані про поточну добу та її тип (вихідний чи робочий день), а також розклад, збережений на контролері, замінюється на новий.

Для створення таких циклічних подій у конфігурації застосунку вмикається можливість використання планування, до методів планувальника додається анотація `@Scheduled` з її аргументами – періодом повторного виконання події або точні дата та час, коли вона має відбутися. Методом, що відповідає циклічній події, викликається метод класу MqttPublisher `publishSchedule()`, який використовується для надсилання потрібних даних на контролер.

```

import ...
@Component
public class MqttPublisher {

    @Autowired
    MqttSpringClient mqttSpringClient;
    JSONObject payload;

    public MqttPublisher(MqttSpringClient mqttSpringClient) { this.mqttSpringClient = mqttSpringClient; }

    /*MQTT_TOPIC_PERIOD = "school/period*/
    public void publishPeriod(Period period) {...}

    /*MQTT_TOPIC_MODE = "school/floor-2/room-207/mode*/
    public void publishZoneMode(Zone zone) {
        int floor = zone.getRoom().getFloor();
        String room = zone.getRoom().getName();
        String topic = "school/floor-" + floor + "/room-" + room + "/mode";

        payload = new JSONObject();
        payload.put("mode", zone.getMode().getName().toLowerCase());
        payload.put("date", LocalDateTime.now().toLocalDate().toString());
        payload.put("cust_dim", zone.getDimmerValue());
        payload.put("mode_time", zone.getModeTimeout());

        mqttSpringClient.publish( qos: 1, retained: true, topic, payload.toString());
    }

    /*MQTT_TOPIC_CONFIG = "school/floor-2/room-207/config*/
    public void publishRoomConfig(Room room) {

```

Рисунок 3.28. Вміст методу publishZoneMode() класу MqttPublisher для сповіщення мікроконтролера NodeMCU про зміну режиму роботи

Безпека веб-застосунку

Після розробки всіх необхідних функцій до застосунку додається функція безпеки Spring Security, що є компонентом фреймворку Spring Boot (spring-boot-starter-security). Для активації цієї функції було додано класи для здійснення ідентифікації, автентифікації та авторизації користувача у системі – класи User.java, Role.java.

У системі існують 3 види користувачів:

- *адміністратори* – користувачі, що можуть налаштовувати компоненти системи, переглядати загальний стан системи, статистику і мають найбільший доступ;
- *zareєстровані користувачі* – користувачі, zareєстровані у системі, мають свій обліковий запис, можуть зберігати у списку часто використовуваних потрібні навчальні класи, зазвичай це вчителі;
- *nezareєстровані користувачі* – користувачі, які не zareєстровані у системі та мають доступ до керування певним класом, де доступ до веб-сторінки керування здійснюється за статичним URL.

3.6 Інструкція користувача

Перед встановленням програмного забезпечення сервера необхідно створити базу даних, у якій зберігатимуться дані системи. При розгортанні системи на сервері необхідно відредагувати файл `application.properties` та вказати параметри для з'єднання з брокером MQTT та з базою даних, налаштувати початкові вхідні дані для модуля Spring Security (рис. 3.29). За замовчуванням модуль безпеки вимкнений для зручності налаштування. Після завершення налаштувань системи його потрібно увімкнути та додати користувачів.

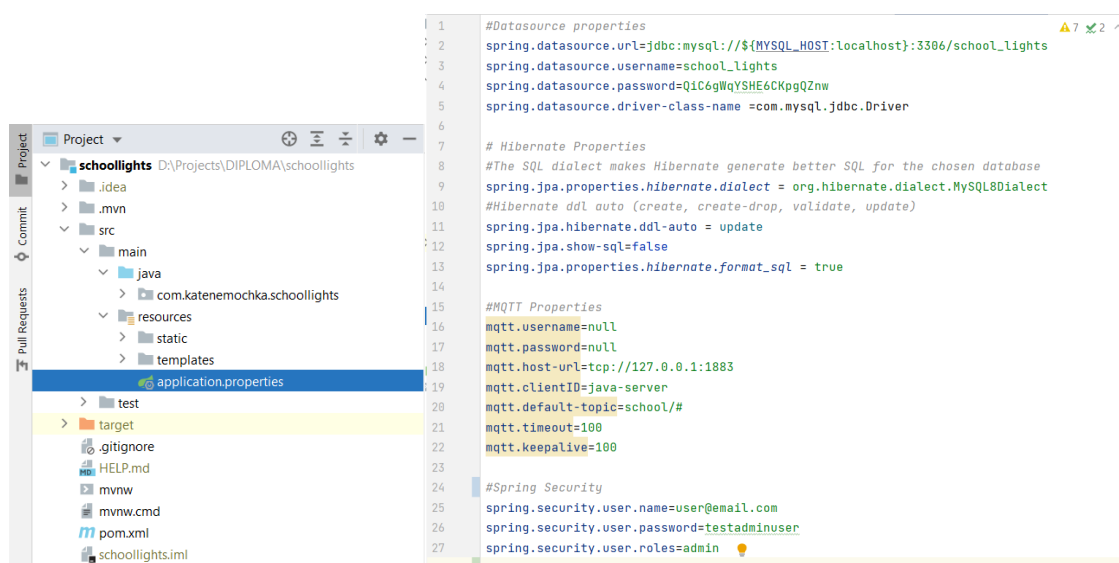


Рисунок 3.29. Розташування файлу з властивостями застосунку та його вміст

Після розгортання системи та входу до неї, за допомогою веб-інтерфейсу здійснюються налаштування серверної частини системи. Існує перелік параметрів, які є сталими та не можуть змінюватися адміністраторами системи. До цих параметрів належать режими роботи, типи періодів та типи кінцевих пристроїв. Для цих сутностей не створено форм для створення або зміни, однак створено сторінки зі списками значень цих параметрів, де відображено службові назви та назви для відображення (рис. 3.30, 3.31). Для типів пристроїв, окрім їх назв, також вказано кількість пристроїв, що встановлюються у єдиній зоні приміщення – для кожної зони встановлюється

по 1 датчику руху, а для кожного ряду цієї зони – по 1 димеру та датчику освітленості.

№	Тип пристрою	Службова назва	Один пристрій на зону класу
1	Датчик освітленості	LIGHT_SENSOR	Ні
2	Датчик руху	MOTION_SENSOR	Так
3	Ряд світильників	LIGHTS_ROW	Ні
4	Димер	DIMMER	Ні

Рисунок 3.30. Список попередньо встановлених типів кінцевих пристроїв

№	Назва режиму роботи	Службова назва
1	Ініціалізація	INIT
2	Автоматичний	AUTO
3	Адаптивна освітленість	ADAPTIVE
4	Повна потужність	FULL_POWER
5	Ручний режим	MANUAL
6	Вимкнути	OFF
7	Режим презентації	PRESENTATION

№	Назва періоду	Службова назва
1	Урок	LESSON
2	Перерва	BREAK
3	Пасивний режим	PASSIVE

Рисунок 3.31. Список попередньо встановлених режимів роботи та типів періодів

Для роботи з освітленням класів, що керується встановленими мікроконтролерами, у системі створюються сутності приміщень, їх зон та рядів світильників, що належать до зон. Усі зони приміщень належать до певних типів зони, що визначають норми рівнів освітленості та час очікування руху й час роботи світильників після завершення руху, що залежать від поточного режиму роботи освітлення. Для створення переліку типів зон приміщень, що існують у будівлі навчального закладу, використовуються відповідні сторінки – короткий список усіх типів зон, де вказуються встановлені мінімальна та максимальна норми освітленості з їх назвами та описом особливостей, а також форма для їх створення та редагування (рис. 3.32).

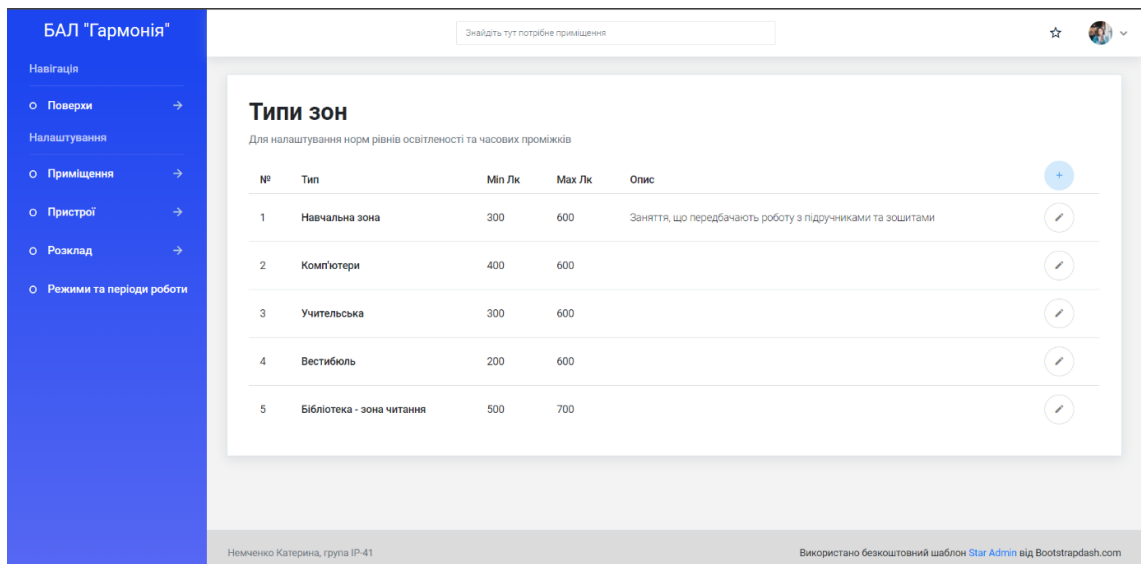


Рисунок 3.32. Список типів зон, що існують у будівлі

Після створення необхідного переліку типів зон створюються сутності для роботи з приміщеннями будівлі навчального закладу. При створенні приміщення у відповідній формі вказуються основні дані про нього: його номер або назва, якщо номер відсутній; призначення та детальніший опис, якщо у цьому є необхідність; назва приміщення, що буде використовуватися контролером для підписки на потрібні повідомлення; поверх (рис. 3.33).

Приміщення
Базові дані про приміщення

Назва/Номер
401

Призначення
Кабінет образотворчого мистецтва

Деталі
ліве крило, старші класи

Назва для MQTT
символи a-z, 0-9, _
401

Поверх
4

Внутрішнє (не має вікон)

Мікроконтролер
AB:AB:18:B3:C2:59

Рисунок 3.33. Форма для створення та редагування даних приміщення

Також під час або після створення приміщення у системі, до нього додається сутність мікроконтролера, з використанням якої мікроконтролер,

встановлений у приміщенні, отримуватиме оновлення про налаштування приміщення.

Під час додавання до системи нового приміщення автоматично створюється його перша зона та перший ряд цієї зони, кількість яких можна збільшити при більш детальному налаштуванні. Керування цими параметрами здійснюється на відповідній сторінці, де відображено наявні зони та кількість рядів світильників, що до них належать (рис. 3.34, 3.35, 3.36).

№	Назва	Призначення	Поверх	Внутрішня	Контролер	Деталі
1	207	Кабинет інформатики	2	Ні	не підключено	старша школа
2	401	Кабинет образотворчого мистецтва	4	Ні	Підключено	ліве крило, старші класи

Рисунок 3.34. Перелік приміщень навчального закладу

Також на цій сторінці відображено статус підключення сервера до мікроконтролера, встановленого у приміщенні. Залежно від стану, у правій частині сторінки можливі 3 варіанти відображення: сутність мікроконтролера не прив'язано до приміщення (рис. 3.35); сутність мікроконтролера пов'язана з приміщенням, але не підключена до самого контролера (рис. 3.36); між платою та системою встановлено зв'язок.

Кабинет інформатики
Каб. 207
2 поверх

Деталі: старша школа
Колірна температура: 3000 K
Мікроконтролер: не підключено

Редагувати дані про приміщення | Видалити приміщення

Теоретична зона
Тип: Навчальна зона
Редагувати дані про зону | Видалити зону
Кількість рядів світильників: 3
Додати ряд | Видалити ряд

Практична зона
Тип: Комп'ютери
Редагувати дані про зону | Видалити зону
Кількість рядів світильників: 3
Додати ряд | Видалити ряд

Додати нову зону

Рисунок 3.35. Веб-сторінка для налаштування приміщення

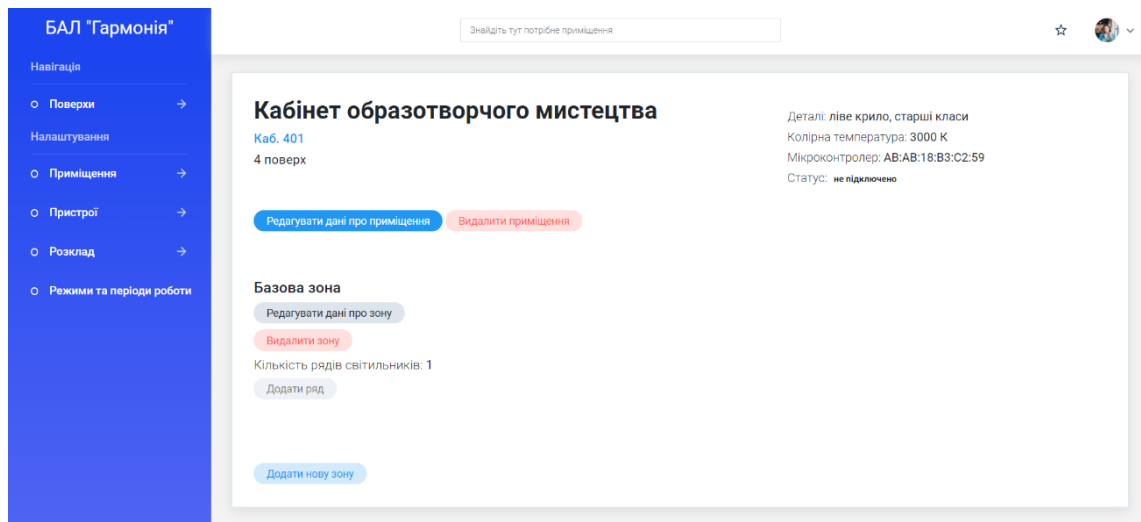


Рисунок 3.36. Веб-сторінка для налаштування приміщення

Мікроконтролери додаються до системи 2-ма шляхами:

- при підключенні плати до брокера MQTT та початку обміну повідомленнями здійснюється їх автоматична реєстрація у базі даних системи за їх MAC-адресою, після чого адміністратором його віртуальна сутність під'єднується до потрібного приміщення та вручну здійснюється синхронізація даних з платою;
- сутність мікроконтролера створюється у системі, вона та приміщення, з яким вона пов'язана, налаштовуються ще до підключення плати до мережі та початкового обміну даними. За наявних налаштувань при першому підключенні плати до сервера, їй надсилаються налаштування, що пов'язані з її MAC-адресою.

При створенні мікроконтролера у системі вказуються його MAC-адреса, логін та пароль MQTT, з якими він підключається до брокера, період оновлення даних датчиків та пристрою. При підключенні плати до системи також надсилається IP-адреса пристрою, яка відображається лише у списку мікроконтролерів (рис. 3.37).

Разом з налаштуванням класів створюється розклад періодів, де вказуються початок та кінець уроків, перерв та пасивних періодів. Сформовані вирази, що містяться у передостанній колонці, використовуються контролерами, для послідовної зміни періодів роботи (рис. 3.38).

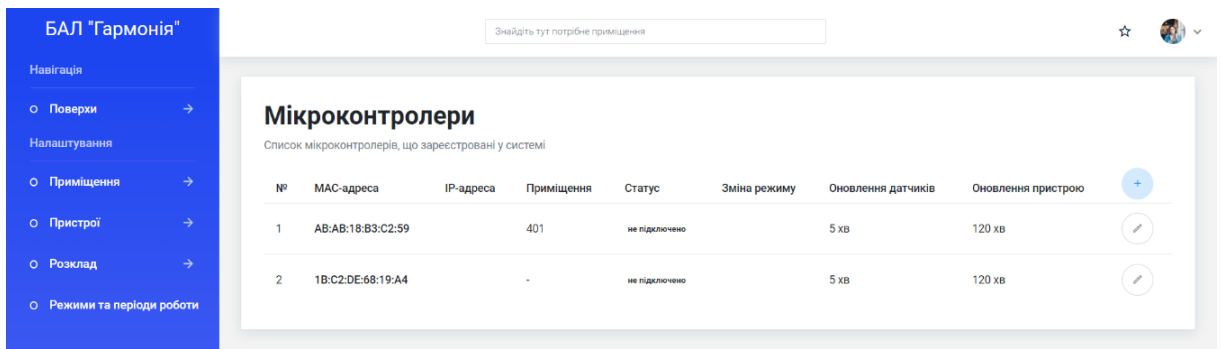


Рисунок 3.37. Перелік мікроконтролерів, зареєстрованих у системі

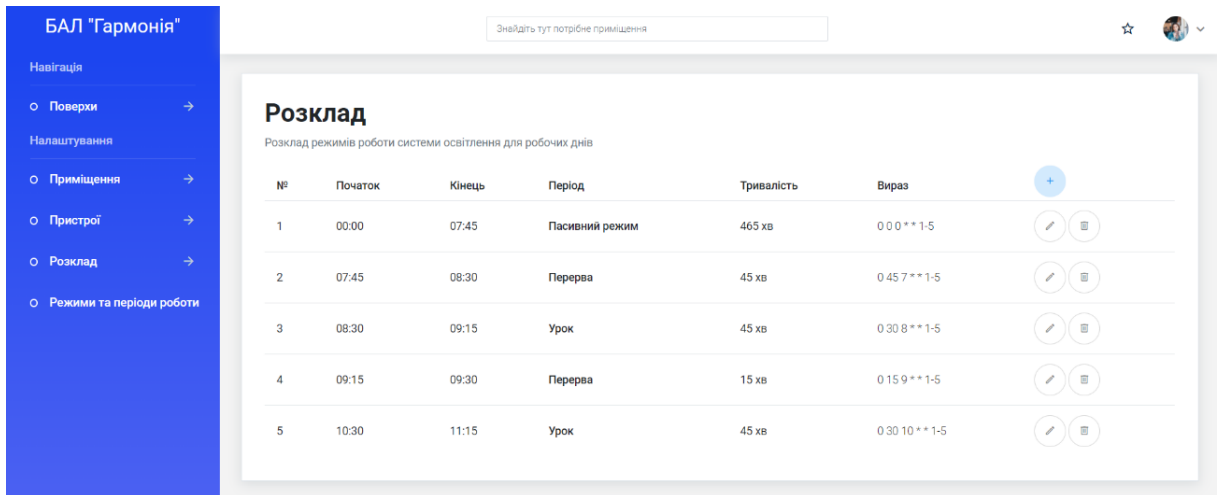


Рисунок 3.38. Розклад періодів роботи системи

Також створено розділ, де вказуються вихідні дні та канікули, коли контролер весь час працює лише у пасивному режимі (рис. 3.39).

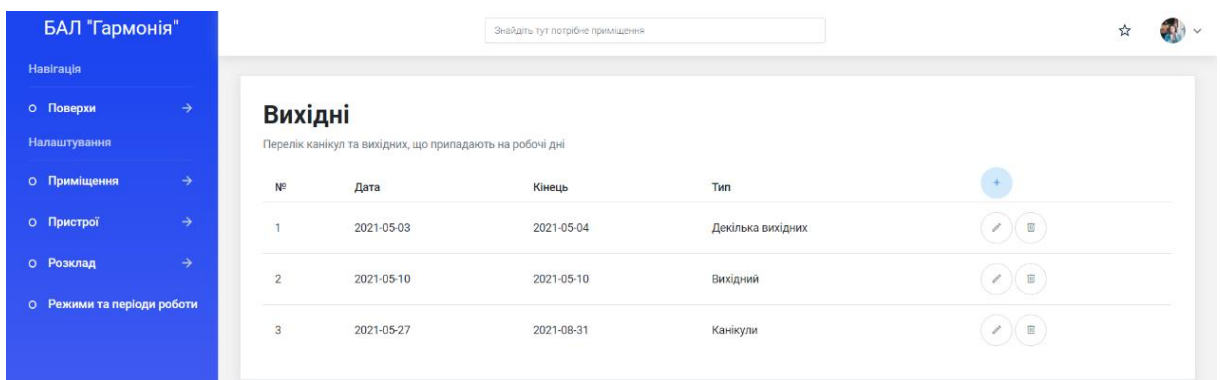


Рисунок 3.39. Перелік вихідних днів

Після завершення налаштування системи вмикається модуль безпеки та додаються користувачі системи.

Користувачам, які не є адміністраторами, доступні лише сторінки приміщень для керування світильниками, до розділу з налаштуваннями вони доступу не мають. Знайти потрібне приміщення можна за його назвою у полі

пошуку та через навігацію – серед усіх наявних приміщень або за обраним поверхом.

На відповідній сторінці користувач може встановлювати колірну температуру для всього приміщення, обирати режими роботи для зон та налаштовувати роботу рядів світильників (рис. 3.40).

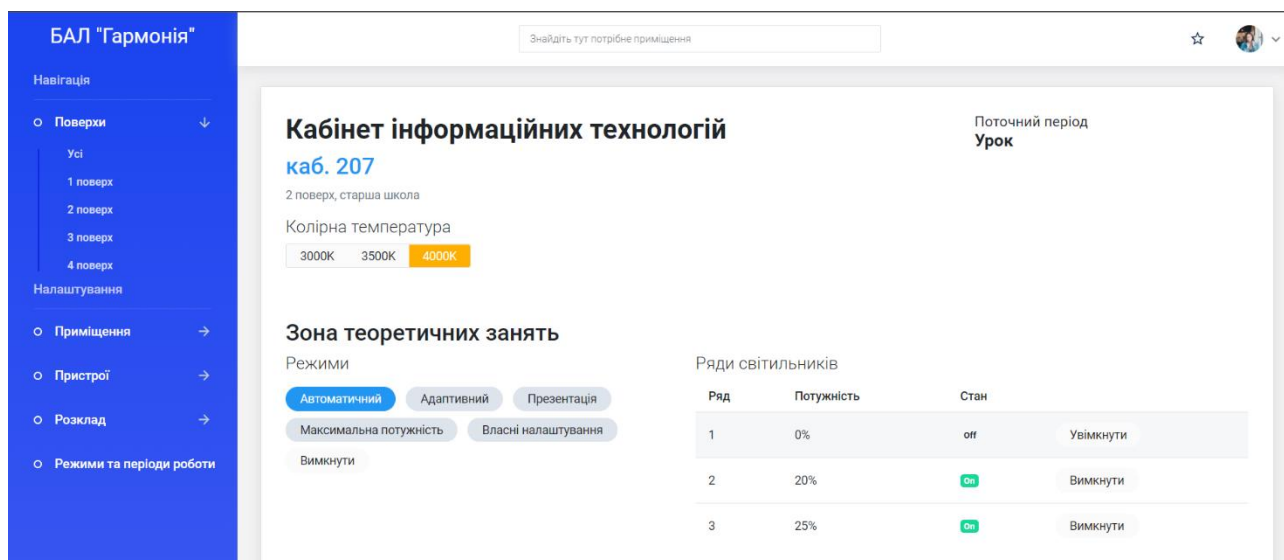


Рисунок 3.40. Сторінка для керування освітленням приміщення

Висновки до розділу

У розділі 3 було описано:

- процес визначення особливостей роботи навчального закладу, режимів, періодів роботи, способів керування параметрами системи;
- процес проектування архітектури системи керування освітленням для Боярського академічного ліцею «Гармонія»;
- розроблені алгоритми функціонування системи;
- елементну базу, обрану для реалізації апаратної частини системи;
- реалізацію апаратної частини системи;
- планування принципів обміну повідомленнями MQTT між контролерами та сервером;
- процес створення програмного забезпечення для мікроконтролера NodeMCU v3, особливості програмування компонентів, алгоритми, що застосовуються у прошивці мікроконтролера;

- процес створення програмного забезпечення сервера, опис складових веб-проекту;
- було описано спосіб використання веб-системи для керування освітленням.

У результаті виконання послідовності дій, описаних у 3 розділі, було реалізовано апаратну та програмну частини системи керування освітленням навчального закладу.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було створено програмну та апаратну складові адаптивної IoT-системи енергоефективного освітлення для будівлі Боярського академічного ліцею «Гармонія», що передбачає зміну яскравості світильників, їх колірної температури та режимів роботи залежно від налаштувань користувача, встановлених за допомогою веб-інтерфейсу, розкладу роботи системи та даних з датчиків.

Під час розробки системи та її алгоритмів було враховано вимоги державних норм до освітлення для шкіл. Визначено, що для програмного керування доступні такі параметри освітлення, як освітленість приміщення, що регулюється зміною потужності роботи світильника, та колірна температура світла, якою можна керувати, якщо у світильнику є підтримка такої функції.

Було досліджено вже існуючі системи керування освітленням для навчальних закладів, що використовують технології IoT у своїй роботі. Визначено, що зазвичай такі системи розробляються та впроваджуються для покращення енергоефективності будівлі, покращення комфортності умов навчання та роботи, зручності керування освітленням та моніторингу використання приміщень та освітлення. Також було розглянуто та обрано технології та протоколи для керування освітленням. Керування джерелами світла здійснюється за допомогою димера, що обрізає один з фронтів синусоїди електричного струму. Керування контролерами та обмін даними між серверами та контролерами здійснюються за допомогою протоколу MQTT через локальну мережу навчального закладу.

Для розробки алгоритмів, що дозволять підтримувати коректну роботу системи освітлення, було досліджено та проаналізовано особливості роботи навчального закладу – було визначено типи приміщень будівлі, особливості їх роботи, параметри, за якими можна стандартизувати роботу системи та режими роботи системи, у яких вона може працювати, а саме:

- *типи періодів роботи будівлі: урок, перерва, пасивний період;*

- *способи керування освітленням* (режими роботи): автоматичне, адаптивне та ручне керування, режими презентації та максимальної потужності, вимкнення світильників;

- керування *колірною температурою* світильників.

Було визначено, що для створення алгоритму підходящого для різних типів приміщень, достатньо визначити такі параметри, як *час очікування повторного руху*, та *час роботи світильників після завершення руху*, для яких будуть встановлені різні значення залежно від типу приміщення та встановленого періоду роботи системи.

На основі результатів здійсненого аналізу, було обрано елементну базу для реалізації апаратної частини системи та засоби для розробки програмного забезпечення для мікроконтролера та сервера.

У процесі проектування було розроблено:

- архітектуру IoT системи освітлення;
- загальні алгоритми роботи системи освітлення для зміни періодів та режимів роботи, керування світильниками, що включають як контролери, так і сервер;

- алгоритми керування освітленням, що використовуються на контролері для керуванням потужністю димерів, живленням рядів світильників, колірною температурою світильників, що змінюються на основі даних з датчиків, встановлених режимів роботи, розкладу, часу доби, налаштувань користувача;

- логічну модель бази даних та діаграму сутностей системи освітлення, на основі якої було розроблено ПЗ для сервера системи.

Між сервером та мікроконтролерами було розподілено функції з керування освітленням. Мікроконтролери здійснюють локальне керування світильниками кожного навчального приміщення на основі встановленого розкладу періодів, даних з датчиків та команд керування й конфігурацій, що надходять з сервера від користувачів системи, а також надсилають на сервер дані з датчиків та підключених пристроїв для їх збереження у базі даних та

подальшого аналізу. Сервер виконує функції взаємодії з користувачами системи, надаючи веб-інтерфейс для перегляду стану системи, та централізованого керування системою освітлення, дозволяючи адміністраторам системи з будь-якого пристрою змінювати налаштування режимів роботи кожного з типів приміщень та розклад, за яким на мікроконтролері змінюються типи періодів.

Апаратну частину реалізовано на базі мікроконтролера NodeMCU v3 з чипом ESP8266, що має вбудовану підтримку Wi-Fi. Програмне забезпечення для цієї частини системи створено мовою програмування C++, модифікованою для мікроконтролерів Arduino.

Програмне забезпечення для сервера системи створено мовою програмування Java 11 з використанням фреймворку Spring Boot 2.5 для серверної частини веб-застосунку, а також використано фреймворк Bootstrap 4 для створення веб-інтерфейсу застосунку.

Було здійснено апробацію роботи шляхом подання тез доповідей на такі конференції:

- VII Міжнародна науково-технічна Internet-конференція «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 26 листопада 2020. – К: НУХТ [4], тема: «Постановка задачі побудови адаптивної системи енергоефективного освітлення адміністративних будівель на базі Інтернету речей»;
- VII International conference "Information Technology and Interactions (Satellite)": December 02-04, 2020, Taras Shevchenko National University of Kyiv [8], тема: «Statement of the Task of Building an Adaptive System of Energy-Efficient Lighting for Administrative Buildings Based on the Internet of Things».

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».
- 2) САНІТАРНИЙ РЕГЛАМЕНТ для закладів загальної середньої освіти, чинний з 01 січня 2021 року. URL: [https://www.reestrnpa.gov.ua/REESTR/RNAweb.nsf/alldocact2/re35394\\$0000_00_00](https://www.reestrnpa.gov.ua/REESTR/RNAweb.nsf/alldocact2/re35394$0000_00_00) (дата звернення: 20.05.2021).
- 3) Долуд В.П. Правильне світло в кожному школі: Посібник по використанню сучасних освітлювальних приладів в навчальних закладах. Вид. 2-ге, доповнене.
- 4) Немченко К.Ю., Палій С.В. Постановка задачі побудови адаптивної системи енергоефективного освітлення адміністративних будівель на базі Інтернету речей. «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами» : матеріали VII Міжн. наук.-тех. конф., 26 лист. 2020 р. Київ : НУХТ. С. 258–259.
- 5) Barkmann, Claus & Wessolowski, Nino & Schulte-Markwort, Michael. (2012). Applicability and efficacy of variable light in schools. *Physiology & behavior*. 105. 621-7. 10.1016/j.physbeh.2011.09.020.
- 6) F. J. Montalbo and E. Enriquez, "An IoT Smart Lighting System for University Classrooms," 2020 International Symposium on Educational Technology (ISET), 2020, pp. 3-7, doi: 10.1109/ISET49818.2020.00011.
- 7) González-Amarillo, C., Cárdenas-García, C., Caicedo-Muñoz, J., & Mendoza-Moreno, M. (2020). Smart Lumini: A Smart Lighting System for Academic Environments Using IOT-Based Open-Source Hardware. *Revista Facultad De Ingeniería*, 29(54), e11060. <https://doi.org/10.19053/01211129.v29.n54.2020.11060> (дата звернення: 20.05.2021).
- 8) K. Nemchenko, S. Paliy. Statement of the Task of Building an Adaptive System of Energy-Efficient Lighting for Administrative Buildings Based on the Internet of Things. *Information Technology and Interactions (Satellite): Conference Proceedings*, December 04, 2020, Kyiv, TSNUK. P. 365 – 366.

- 9) Ripley, D. L., & Politzer, T. (2010). Vision disturbance after TBI. *NeuroRehabilitation*, 27(3), 215.
- 10) Sun B, Zhang Q, Cao S. Development and Implementation of a Self-Optimizable Smart Lighting System Based on Learning Context in Classroom. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020; 17(4):1217. <https://doi.org/10.3390/ijerph17041217> (дата звернення: 20.05.2021).
- 11) Освітлення у освітніх установах. 5WATT: веб-сайт. URL: <https://5watt.ua/uk/blog/statti/osvitlennya-u-osvitnikh-ustanovakh> (дата звернення: 20.05.2021).
- 12) Що таке люкси й люмени, та чому вати – не головне в світлодіодному освітленні. Maxus: веб-сайт. URL: <https://maxus.com.ua/blog/chto-takoe-lyuksy-i-lyumeny-i-pochemu-vatty-ne-glavnoe-v-svetodiodnom-osveshchenii> (дата звернення: 20.05.2021).
- 13) Як вимірюється освітленість у приміщенні? 5WATT: веб-сайт. URL: <https://5watt.ua/uk/blog/statti/yak-vimiryuyetsya-osvitlenist-u-primisshenni> (дата звернення: 20.05.2021).
- 14) Як колірна температура лампи впливає на наше самопочуття? LED Test: веб-сайт. URL: <https://ledtest.vestum.ua/uk/study/jak-kolirna-temperatura-lampy-vplivaie-na-nashe-samorochuttja/> (дата звернення: 20.05.2021).
- 15) Яким має бути освітлення в навчальному закладі? LED Test: веб-сайт. URL: <https://ledtest.vestum.ua/uk/study/jakim-maie-buti-osvitlennja-v-navchalnomu-zakladi/> (дата звернення: 20.05.2021).
- 16) Lombok возвращает величие Java. Habr: веб-сайт. URL: <https://habr.com/ru/post/438870/> (дата звернення: 20.05.2021).
- 17) MQTT и Modbus: сравнение протоколов, используемых в шлюзах для IoT. Habr: веб-сайт. URL: <https://habr.com/ru/company/intel/blog/304228/> (дата звернення: 20.05.2021).

- 18) Воздействие цветовой температуры освещения на организм человека. Первое заявочное исследование. Lumen Magazine: веб-сайт. URL: <http://www.lumen2b.ru/lt-research/> (дата звернения: 20.05.2021).
- 19) Диммер что это такое и как он работает. Я – электрик: веб-сайт. URL: <https://yaelectrik.ru/elektroprovodka/dimmer-cto-eto> (дата звернения: 20.05.2021).
- 20) Освещение школ. Елотек: веб-сайт. URL: <https://elotek.com.ua/catalogue/shkola/> (дата звернения: 20.05.2021).
- 21) Руководство: Thymeleaf + Spring. Часть 1. Хабр: веб-сайт. URL: <https://habr.com/ru/post/435062/> (дата звернения: 20.05.2021).
- 22) Управление освещением. Обзор протоколов. Gorod LED: веб-сайт. URL: <https://gorodled.ru/stati/upravlenie-osveshcheniem-obzor-protokolov/> (дата звернения: 20.05.2021).
- 23) Чем отличается JDBC от ORM? Хабр Q&A: веб-сайт. URL: <https://qna.habr.com/q/368548> (дата звернения: 20.05.2021).
- 24) 0–10V, DALI and other lighting control system protocols compared. CMD: веб-сайт. URL: <https://www.cmd-ltd.com/advice-centre/lighting-control-systems/0-10v-dali-and-other-lighting-control-system-protocols-compared/> (дата звернения: 20.05.2021).
- 25) Arduino PID Library - Brightness Control. Instructables Circuits: веб-сайт. URL: <https://www.instructables.com/Arduino-PID-Library-Luminosity-Control/> (дата звернения: 20.05.2021).
- 26) Arduino PubSubClient - MQTT Client Library Encyclopedia. HiveMQ: веб-сайт. URL: <https://www.hivemq.com/blog/mqtt-client-library-encyclopedia-arduino-pubsubclient/> (дата звернения: 20.05.2021).
- 27) ArduinoJson: Efficient JSON serialization for embedded C++. ArduinoJson: веб-сайт. URL: <https://arduinojson.org/> (дата звернения: 20.05.2021).
- 28) Benefits Of LED Lighting In K-12 Schools. SitelogIQ: веб-сайт. URL: <https://www.sitelogiq.com/blog/benefits-led-lighting-k-12-schools/> (дата звернения: 20.05.2021).

- 29) College Campus, School, & Classroom LED Lighting. Cree Lighting: веб-сайт. URL: <https://www.creelighting.com/applications/classroom-led-lighting> (дата звернення: 20.05.2021).
- 30) Color Accuracy. NaturaLux: веб-сайт. URL: https://www.naturalux.com/NaturaLux_Lighting_Filters_Color.htm (дата звернення: 20.05.2021).
- 31) Creating Smarter Schools: Benefits and Applications of IoT in Education. Igor: веб-сайт. URL: <https://www.igor-tech.com/news-and-insights/articles/creating-smarter-schools-benefits-and-applications-of-iot-in-education> (дата звернення: 20.05.2021).
- 32) Documentation. Thymeleaf: веб-сайт. URL: <https://www.thymeleaf.org/documentation.html> (дата звернення: 20.05.2021).
- 33) ESP8266 Daily Task – Publish Temperature Readings to ThingSpeak. Random Nerd Tutorials: веб-сайт. URL: <https://randomnerdtutorials.com/esp8266-daily-task-publish-temperature-readings-to-thingspeak/> (дата звернення: 20.05.2021).
- 34) ESP8266 Interrupts and Timers using Arduino IDE (NodeMCU). Random Nerd Tutorials: веб-сайт. URL: <https://randomnerdtutorials.com/interrupts-timers-esp8266-arduino-ide-nodemcu/> (дата звернення: 20.05.2021).
- 35) ESP8266 NodeMCU MQTT – Publish BME280 Sensor Readings (Arduino IDE). Random Nerd Tutorials: веб-сайт. URL: <https://randomnerdtutorials.com/esp8266-nodemcu-mqtt-publish-bme280-arduino/> (дата звернення: 20.05.2021).
- 36) ESP8266 OTA Updates with Arduino IDE | Over the Air. Random Nerd Tutorials: веб-сайт. URL: <https://randomnerdtutorials.com/esp8266-ota-updates-with-arduino-ide-over-the-air/> (дата звернення: 20.05.2021).
- 37) Home. Spring: веб-сайт. URL: <https://spring.io/> (дата звернення: 20.05.2021).
- 38) How Energy-Efficient Light Bulbs Compare with Traditional Incandescents. Energy.gov: веб-сайт. URL: <https://www.energy.gov/energysaver/save-electricity-and-fuel/lighting-choices-save-you-money/how-energy-efficient-light> (дата звернення: 20.05.2021).

- 39) Introduction. Bootstrap: веб-сайт. URL: <https://getbootstrap.com/docs/4.6/getting-started/introduction/> (дата звернення: 20.05.2021).
- 40) Libraries – Arduino Reference. Arduino: веб-сайт. URL: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/> (дата звернення: 20.05.2021).
- 41) Main Page. Baeldung: веб-сайт. URL: <https://www.baeldung.com/> (дата звернення: 20.05.2021).
- 42) Martin-Laclaustra/CronAlarms: Arduino IDE library for scheduling alarms to occur at specific times with crontab syntax. GitHub: веб-сайт. URL: <https://github.com/Martin-Laclaustra/CronAlarms> (дата звернення: 20.05.2021).
- 43) Microwave Vs PIR Motion Sensor With ESP32 & LoRa Project. Instructables Circuits: веб-сайт. URL: <https://www.instructables.com/Microwave-Vs-PIR-Motion-Sensor-With-ESP32-LoRa-Pro/> (дата звернення: 20.05.2021).
- 44) MQTT and CoAP, IoT Protocols. Eclipse Foundation: веб-сайт. URL: https://www.eclipse.org/community/eclipse_newsletter/2014/february/article2.php (дата звернення: 20.05.2021).
- 45) NodeMCU - MQTT Basic Example. Instructables Circuits: веб-сайт. URL: <https://www.instructables.com/NodeMCU-MQTT-Basic-Example/> (дата звернення: 20.05.2021).
- 46) Occupancy-based management – Citaverde College Heerlen. Interact Office: веб-сайт. URL: <https://www.interact-lighting.com/global/customer-stories/citaverde-college> (дата звернення: 20.05.2021).
- 47) PubSubClient. Arduino Reference: веб-сайт. URL: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/pubsubclient/> (дата звернення: 20.05.2021).
- 48) Saving Energy with Internet of Things. GIS Smart Campus: веб-сайт. URL: <https://www.schoolofthefuture.sg/saving-energy-with-internet-of-things> (дата звернення: 20.05.2021).

- 49) Schools invests in 'concentration' lighting. Inno lighting: веб-сайт. URL: <https://iinno-lighting.com/schools-invests-in-concentration-lighting/> (дата звернення: 20.05.2021).
- 50) time.h. GitHub: веб-сайт. URL: <https://github.com/arduino/esp8266/blob/master/tools/sdk/libc/xtensa-lx106-elf/include/time.h> (дата звернення: 20.05.2021).
- 51) Turn your office into a smart office. Interact Office: веб-сайт. URL: <https://www.interact-lighting.com/en-us/what-is-possible/interact-office> (дата звернення: 20.05.2021).
- 52) W3Schools Online Web Tutorials. W3Schools: веб-сайт. URL: <https://www.w3schools.com/> (дата звернення: 20.05.2021).
- 53) Wi-Fi модуль NodeMCU V3 ESP8266 (CH340). Arduino.ua: веб-сайт. URL: <https://arduino.ua/prod1492-wi-fi-modyl-nodemcu-esp8266> (дата звернення: 20.05.2021).
- 54) Димер 220В для Arduino та ESP8266. Arduino.ua: веб-сайт. URL: <https://arduino.ua/prod2958-dimmer-220v-dlya-arduino> (дата звернення: 20.05.2021).

ДОДАТКИ
Додаток А
(довідковий)

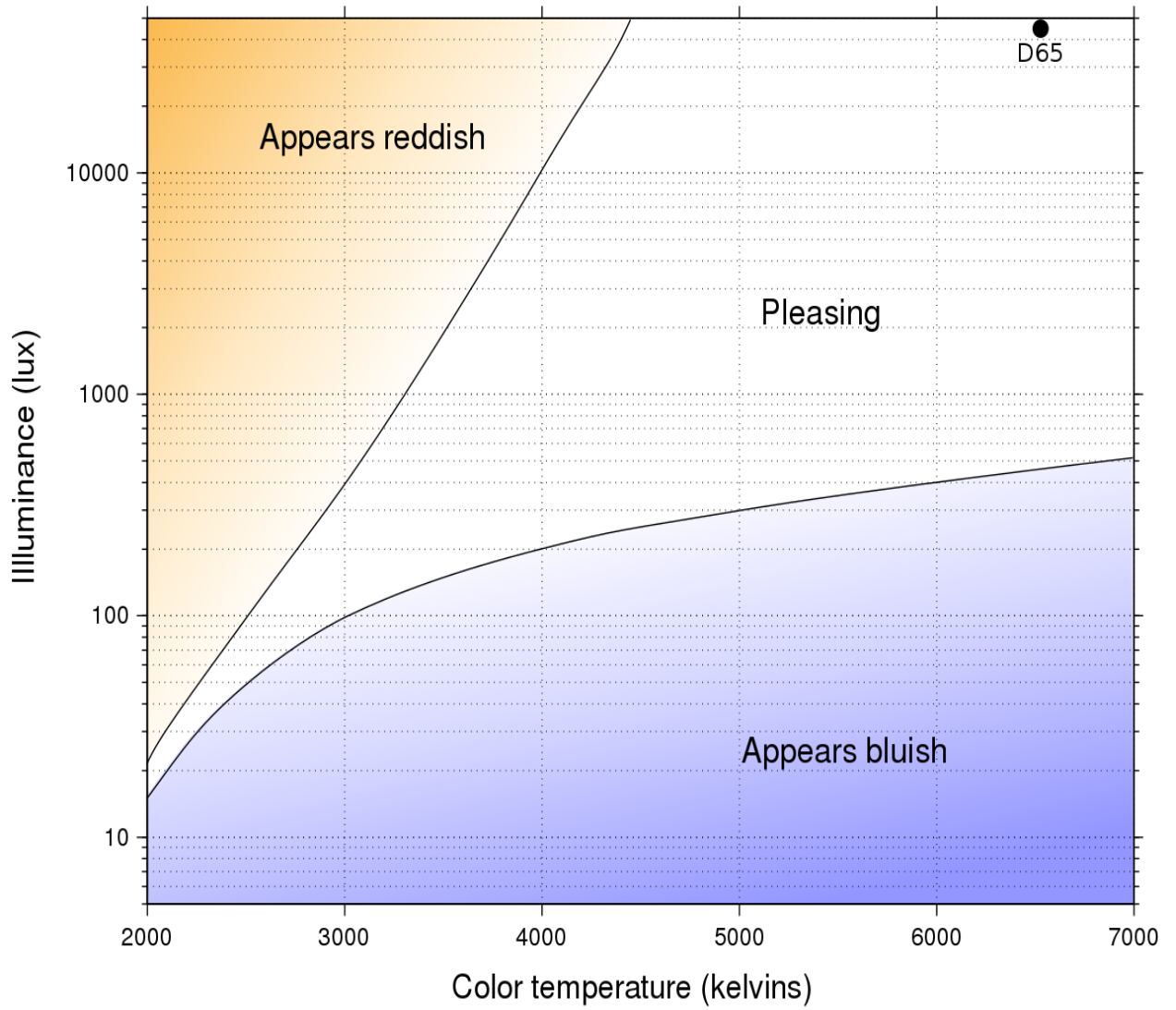


Рисунок А.1. Номограма Крюїтгофа для вибору зони комфортного освітлення для світлодіодів

Додаток Б

(довідковий)

Таблиця Б.1 – Рівні освітленості для загального штучного освітлення у приміщеннях закладів загальної середньої освіти

Приміщення	Площина (Г – горизонтальна, В – вертикальна), висота площини над рівнем підлоги	Освітлення робочих поверхонь, лк
1	2	3
Навчальні приміщення, лабораторії	В – 1,5 – середина дошки	500
	Г – 0,8 – робочі столи і парти	400
Кабінети технічного креслення та малювання	В – дошка	500
	Г – 0,8 – робочі столи і парти	500
Майстерні з обробки металів та деревини	Г – 0,8 – верстаки і робочі столи	300
Кабінети трудового навчання для дівчаток	Г – 0,8	400
Спортивні, фізкультурно-спортивні зали	Г – підлога	200
	В – 2,0 м від підлоги з обох сторін на поздовжній осі приміщення	75
Снарядні, інвентарні, господарські комори	Г – 0,8	50
Криті басейни	Г – поверхня води	150
Актові зали	Г – підлога	200
Естради актових залів	В – 1,5	300
Кабінети педагогічних працівників	Г – 0,8	300
Рекреації	Г – підлога	150
Глядацькі, лекційні зали		500
Кімнати музичної практики		300
Комп'ютерні класи		300
Вестибюлі		200
Рекреаційні зони, коридори		100
Сходи		150
Бібліотеки	книжкові полиці	200
Бібліотеки	зони читання	500
Комори для зберігання навчальних матеріалів		100
Шкільні їдальні		200
Кухні		500

**Додаток В – Схематичні плани Боярського академічного ліцею «Гармонія»
(довідковий)**

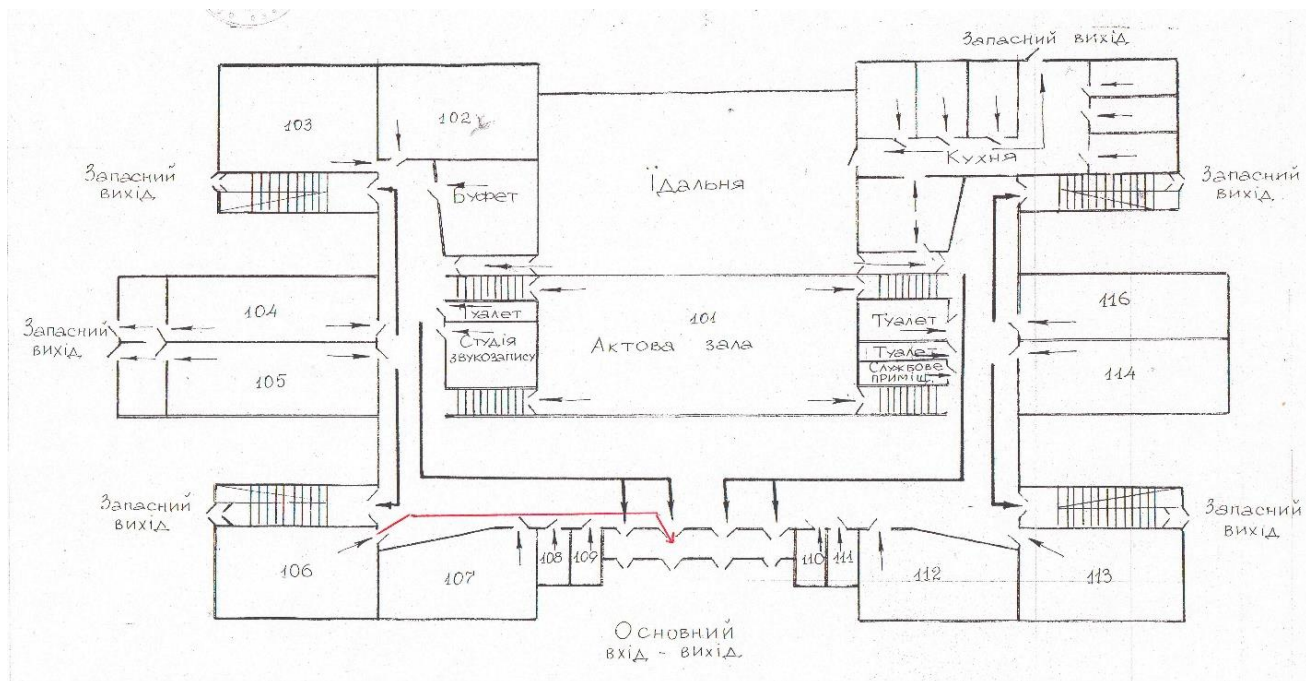


Рисунок В.1. План 1-го поверху БАЛ «Гармонія»

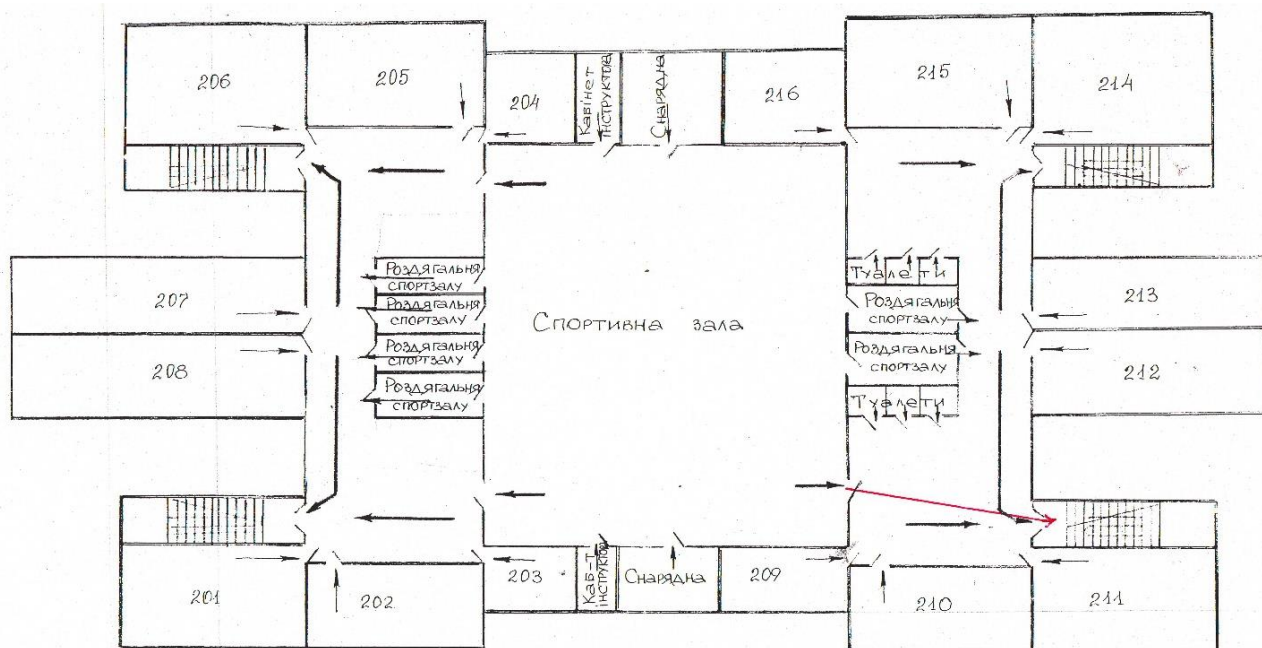


Рисунок В.2. План 2-го поверху БАЛ «Гармонія»

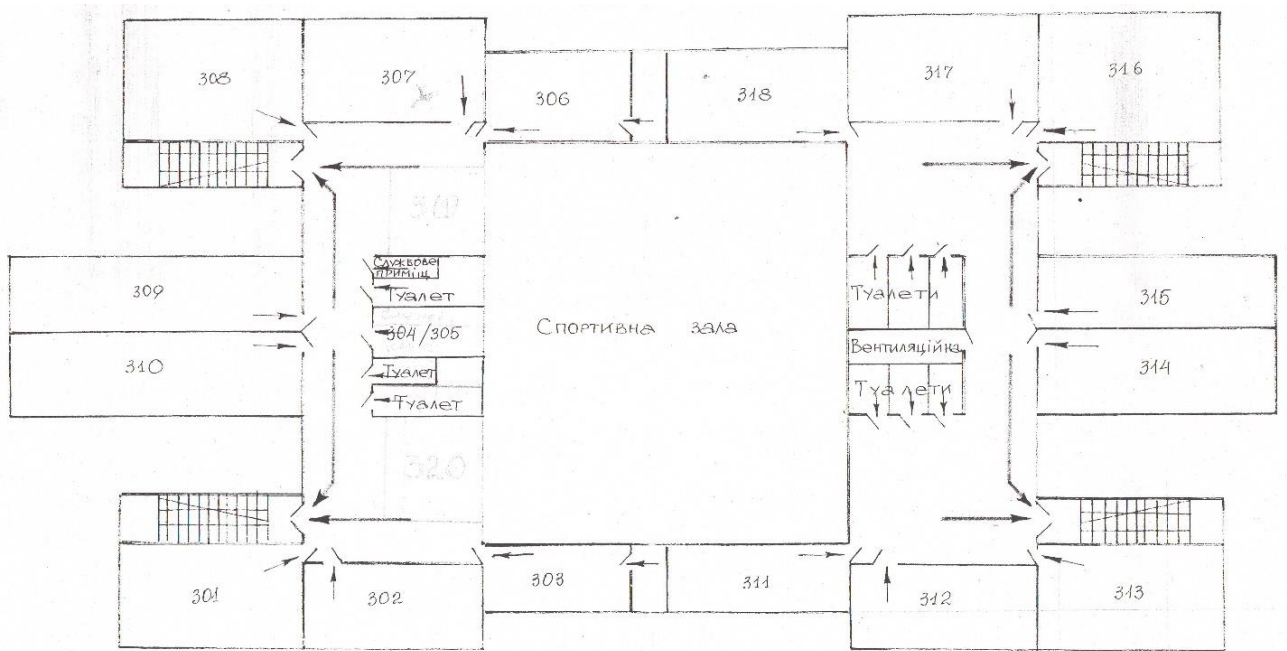


Рисунок В.3. План 3-го поверху БАЛ «Гармонія»

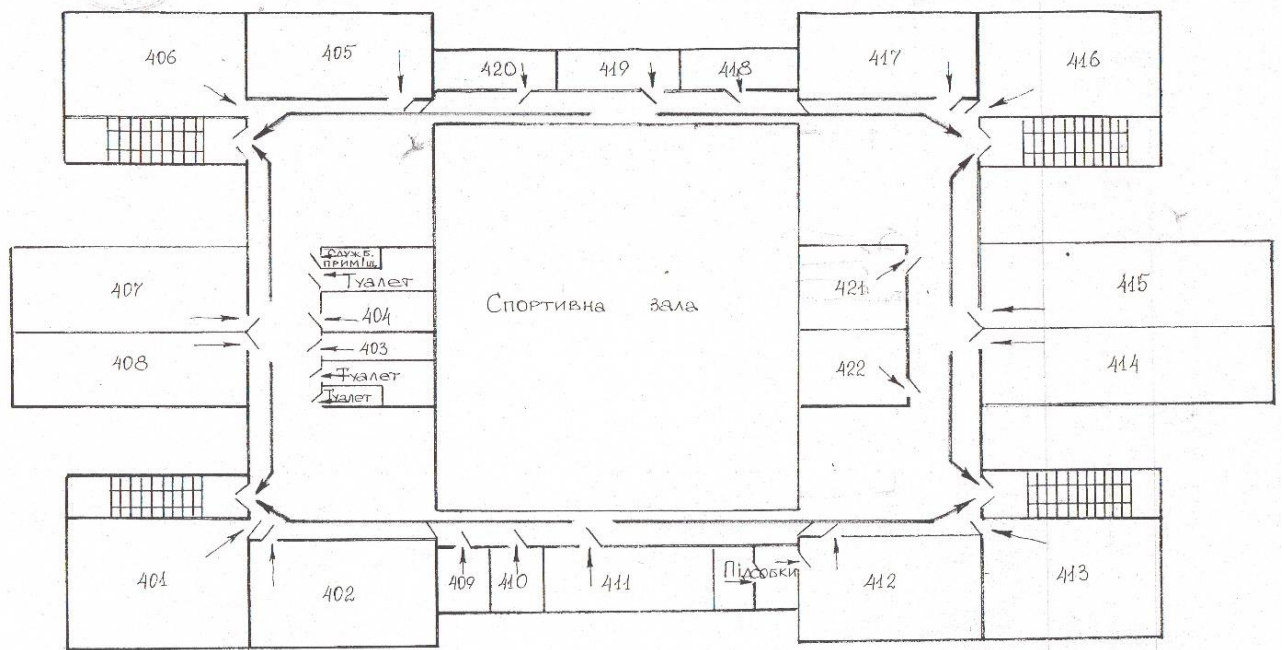


Рисунок В.4. План 4-го поверху БАЛ «Гармонія»

Додаток Г – Блок-схема алгоритму основного циклу прошивки контролера

(обов'язковий)

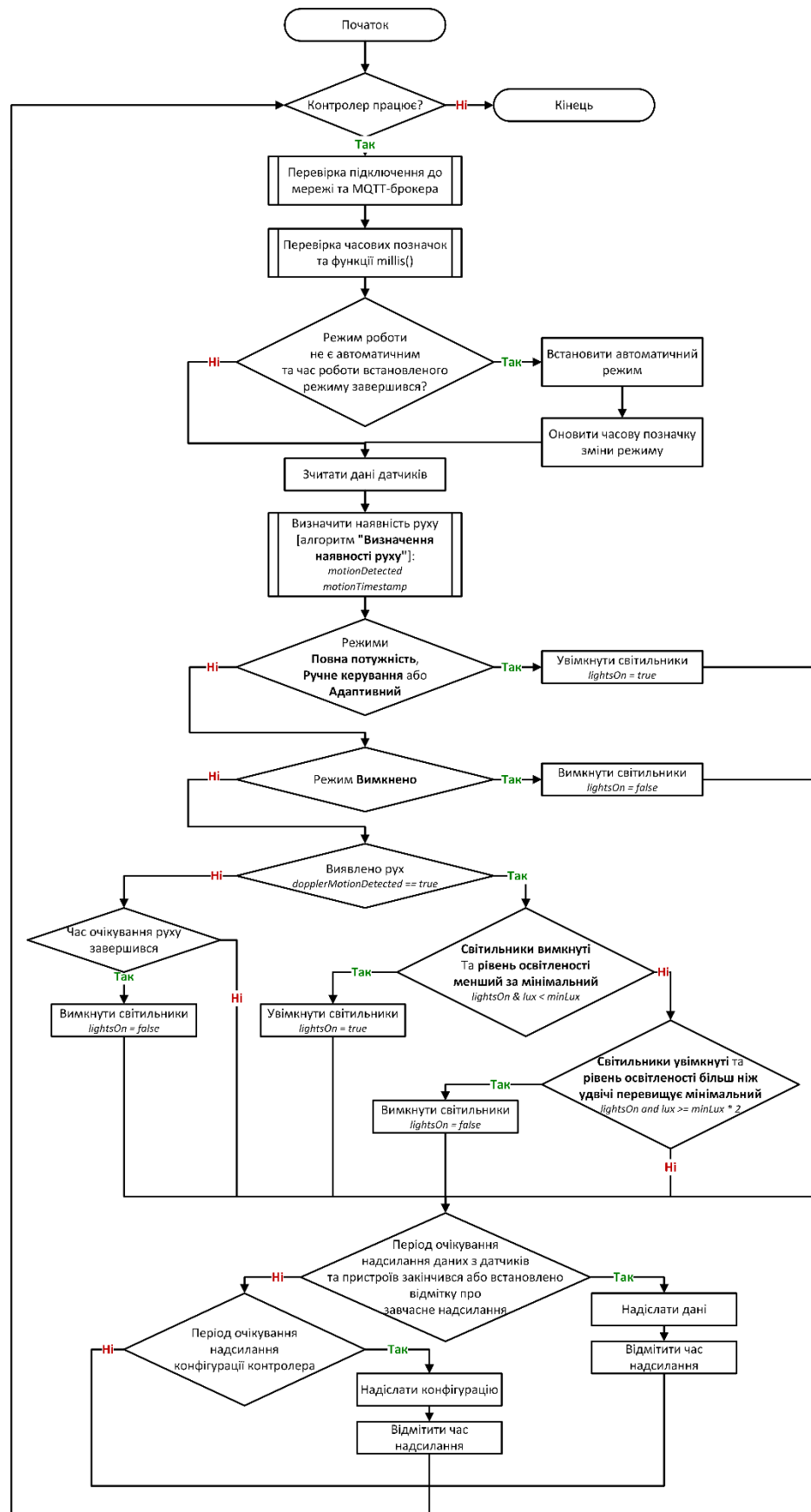


Рисунок Г.1. Алгоритм основного циклу прошивки мікроконтролера

Додаток Д – Блок-схема алгоритму керування роботою димера (обов'язковий)

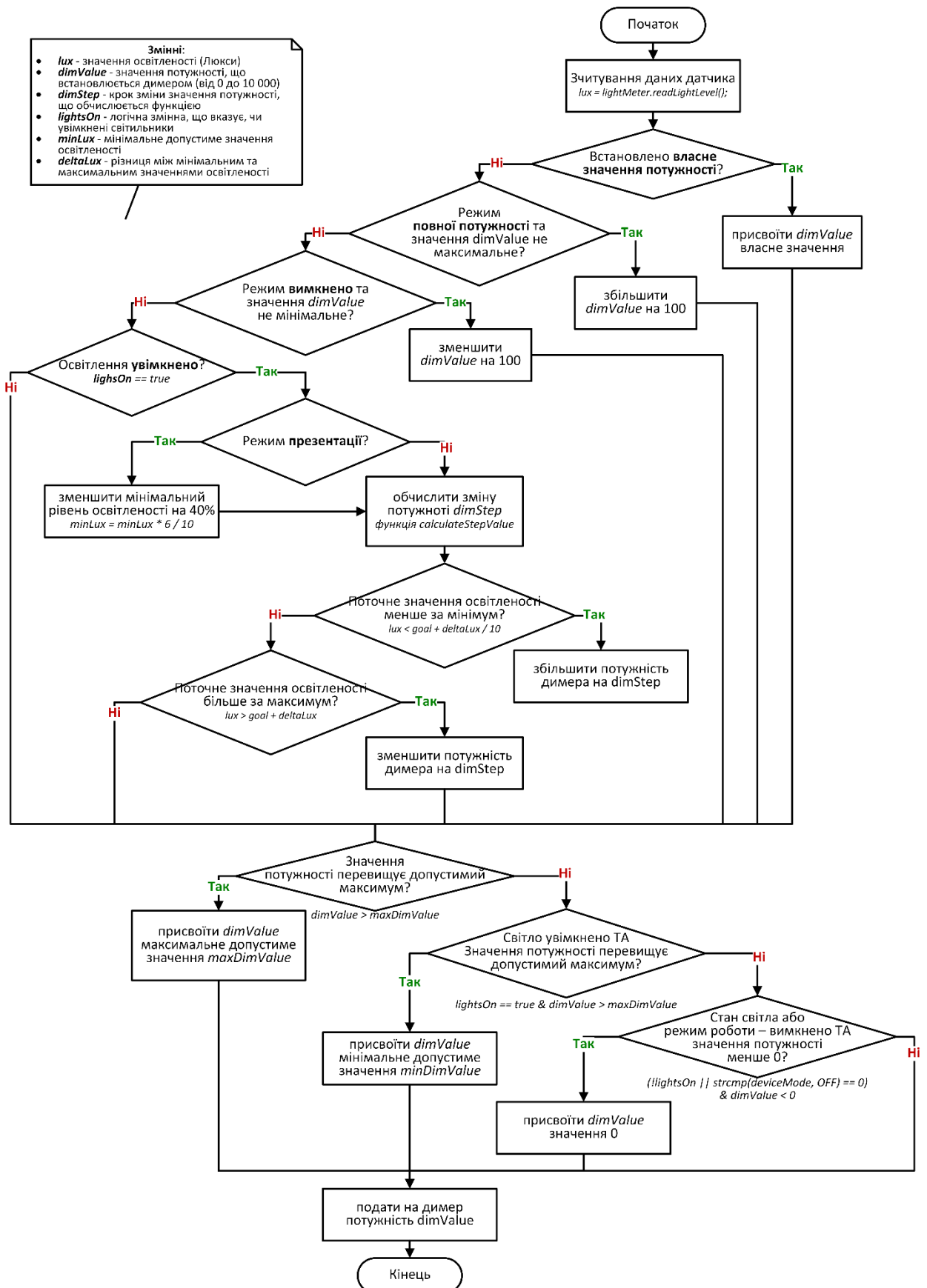


Рисунок Д.1. Блок-схема алгоритму керування роботою димера

Додаток Е – Приклади повідомлень MQTT

(обов'язковий)

а) Повідомлення від мікроконтролера з даними датчиків та пристроїв:

```
{ "topic": "school/floor-2/room-207/data",  
  "payload": { //початок повідомлення  
    "room": "207", //номер кабінету  
    "period": "lesson", //поточний період  
    "mode": "auto", //режим роботи  
    "mac": "8C:AA:B5:7C:59:9A", //MAC-адреса пристрою  
    "mv_sens": [{"pin": 13, "zone_id": 1, "motion": true}], //датчик руху  
    "lt_sens": [{"pin_sda": 4, "pin_scl": 5, "zone_id": 1, "level": 370}], //датчик  
освітленості  
    "rows": [{ //ряди світильників  
      "pin": 14,  
      "zone_id": 1,  
      "row_num": 1,  
      "on": false, //зараз світильники вимкнуті  
      "type": "desk",  
      "dim": 0 } ] },  
  "qos": 0, "retain": false, "_msgid": "2da03964.9e9666" }
```

б) Повідомлення сервера для встановлення режиму роботи мікроконтролера:

```
{ "topic": "school/floor-2/room-207/mode",  
  "payload": {  
    "mode": "adaptive",  
    "date": "21.05.2021",  
    "cust_dim": 0 },  
  "qos": 1,  
  "retain": false,  
  "_msgid": "6aee68b3.0f2068" }
```

Додаток Є – Презентація для захисту (довідковий)



Кваліфікаційна робота бакалавра на тему:
Адаптивна IoT система енергоефективного освітлення будівлі Боярського академічного ліцею "Гармонія"

Виконала: Катерина НЕМЧЕНКО,
студентка 4 курсу, група ІР-41
Науковий керівник: кандидат технічних наук,
доцент Сергій ПАЛІЙ

1

Рисунок Є.1. Слайд 1

Вступ

Мета: розробка адаптивної IoT системи енергоефективного освітлення для будівлі БАЛ "Гармонія", що функціонує на основі даних з датчиків руху та освітленості, з урахуванням часу доби та пори року та може керуватися за допомогою веб-інтерфейсу.

Об'єкт дослідження: система енергоефективного освітлення навчального закладу.

Предмет дослідження: адаптивна IoT система керування освітленням.

2

Рисунок Є.2. Слайд 2

Цілі кваліфікаційної роботи

Ціль: створення адаптивної IoT системи енергоефективного освітлення, що дозволяє регулювати рівень освітленості, колірну температуру та роботу світильників у будівлі БАЛ "Гармонія" залежно від налаштувань, даних датчиків, розкладу, часу доби, пори року, якою можна керувати з веб-інтерфейсу.

Для досягнення цілей роботи необхідно:

1. Провести аналіз особливостей роботи БАЛ "Гармонія"
2. Дослідити та проаналізувати існуючі системи освітлення для шкіл
3. Розробити архітектуру та алгоритм роботи системи
4. Обрати елементну базу для реалізації апаратної частини
5. Створити програмне забезпечення для компонентів системи

3

Рисунок Є.3. Слайд 3




Актуальність

-  **Енергоефективність** - зменшення обсягів енергоспоживання та витрат завдяки гнучкому керуванню пристроями системи.
-  **Створення комфортних умов для роботи та навчання** - зміна яскравості та колірної температури освітлення залежно від часу доби, пори року, типів активностей можуть сприяти більш продуктивній роботі та підтриманню гарного самопочуття.
-  **Зручність керування системою** - адміністратори можуть швидко змінювати налаштування контролерів для багатьох класів одночасно, а користувачі можуть легко керувати освітленням обраного класу зі смартфона або комп'ютера.
-  **Моніторинг стану системи освітлення** - графіки використання класів на основі даних з датчиків руху, графіки роботи освітлення.


4


Рисунок Є.4. Слайд 4

Опис Боярського академічного ліцею "Гармонія"

-  Навчальний заклад (1-11 клас)
-  м. Боярка, Київська обл.
-  2700 м², 4 поверхи, 2 крила



-  Час роботи
Уроки: 8:00-16:30
Гуртки: 16:30-21:00

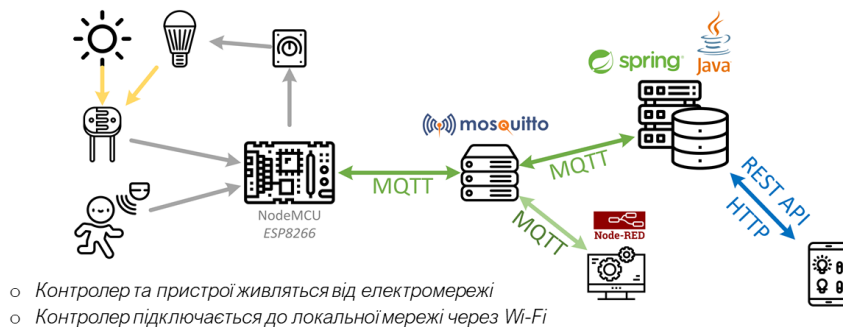
-  Навчальні дні
Молодша школа: ПН-ПТ
Старша школа: ПН-СБ

5

Рисунок Є.5. Слайд 5

Архітектура системи

Обмін даними між сервером та контролерами здійснюється з використанням протоколу MQTT.



6

Рисунок Є.6. Слайд 6

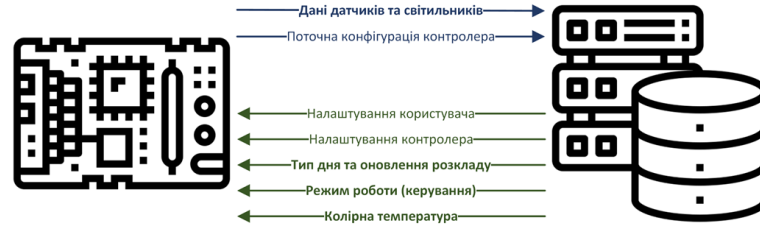
Архітектура системи

Контролер надсилає на сервер:

- дані з датчиків
- дані про стан системи

Сервер надсилає на контролери:

- команди про зміни режимів роботи
- налаштування контролера



7

Рисунок Є.7. Слайд 7

Принцип роботи системи



8

Рисунок Є.8. Слайд 8

Принцип роботи системи

Типи періодів

- Урок
- Перерва
- Пасивний

Режими роботи

- Автоматичний
- Адаптивний
- Режим презентації

- Максимальна потужність
- Ручний
- Вимкнено

Яскравість світильників адаптується під рівень освітленості

Яскравість світильників є максимальною, мінімальною, або встановлюється користувачем

9

Рисунок Є.9. Слайд 9



Рисунок Є.10. Слайд 10

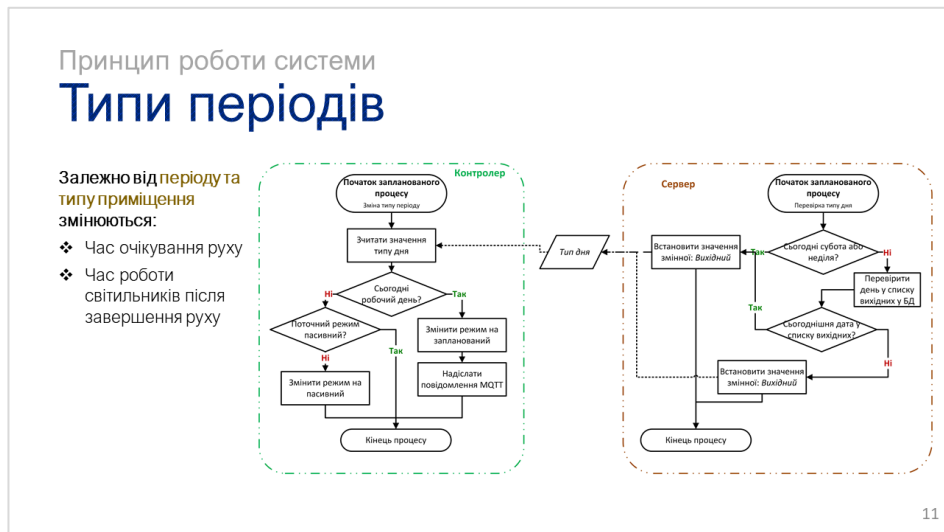


Рисунок Є.11. Слайд 11

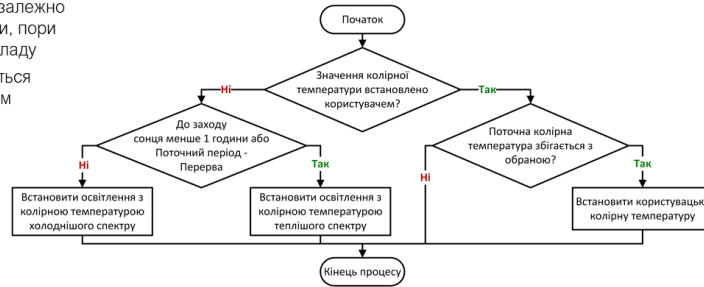


Рисунок Є.12. Слайд 12

Принцип роботи системи

Колірна температура

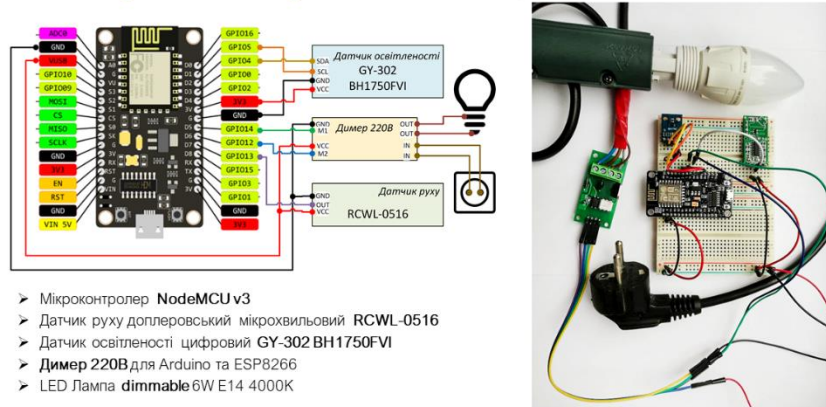
- ❖ Змінюється залежно від часу доби, пори року та розкладу
- ❖ Встановлюється користувачем



13

Рисунок Є.13. Слайд 13

Апаратна реалізація

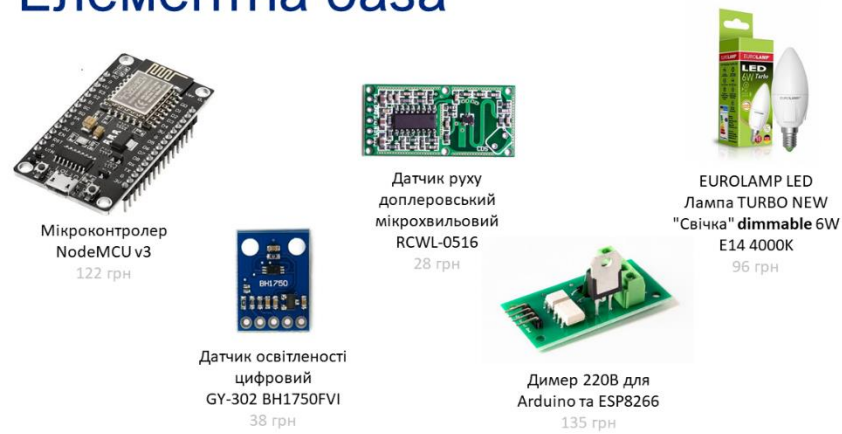


- Мікроконтролер NodeMCU v3
- Датчик руху доплерівський мікрохвильовий RCWL-0516
- Датчик освітленості цифровий GY-302 BH1750FVI
- Димер 220В для Arduino та ESP8266
- LED Лампа dimmable 6W E14 4000K

14

Рисунок Є.14. Слайд 14

Елементна база



15

Рисунок Є.15. Слайд 15

Вступ

Мета: розробка адаптивної IoT системи енергоефективного освітлення для будівлі БАЛ "Гармонія", що функціонує на основі даних з датчиків руху та освітленості, з урахуванням часу доби та пори року та може керуватися за допомогою веб-інтерфейсу.

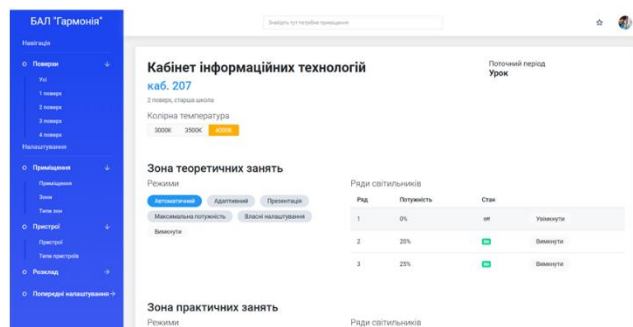
Об'єкт дослідження: система енергоефективного освітлення навчального закладу.

Предмет дослідження: адаптивна IoT система керування освітленням.

2

Рисунок Є.16. Слайд 16

Реалізація



Інтерфейс для керування освітленням класу для користувача



Зміна яскравості LED-лампи залежно від рівня освітленості, що реєструється датчиком

17

Рисунок Є.17. Слайд 17

Висновки

- ✓ Було проведено аналіз особливостей роботи БАК "Гармонія"
- ✓ Досліджено існуючі системи освітлення для шкіл, в тому числі створені з використанням технологій IoT
- ✓ Розроблено архітектуру та алгоритм роботи системи
- ✓ Обрано елементну базу та зібрано схему на основі мікроконтролера NodeMCU v3
- ✓ Створено програмне забезпечення для мікроконтролера та сервера

18

Рисунок Є.18. Слайд 18

Апробація

- ✓ VII Міжнародна науково-технічна Internet-конференція «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 26 листопада 2020. – К: НУХТ
- ✓ VII International conference "Information Technology and Interactions (Satellite)": December 02-04, 2020, *Taras Shevchenko National University of Kyiv*

19

Рисунок Є.19. Слайд 19