

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії

СОЛОМЧАК Маркіян Богданович

**Система інтернету речей для енергоефективного
освітлення будівлі навчального закладу / Internet
of Things system for energy-efficient lighting of an
educational building**

спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія
освітньо-професійна програма – Комп'ютерна інженерія

Кваліфікаційна робота

Виконав: студент групи КІ-41
СОЛОМЧАК Маркіян Богданович

Науковий керівник
к.т.н. Н.Я. Савка

ТЕРНОПІЛЬ - 2026

АНОТАЦІЯ

Соломчак М.Б. Система інтернету речей для енергоефективного освітлення будівлі навчального закладу. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія», освітньо-професійна програма. Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2026.

Робота написана обсягом 75 сторінок і містить 30 рисунків, 4 додатки та 41 джерело за переліком посилань. Обсяг графічного матеріалу 2 аркуші формату А3.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи енергоефективного освітлення будівлі навчального закладу на основі технологій інтернету речей. Методи дослідження включають методи аналізу та синтезу, порівняльного аналізу, проєктування баз даних, комп'ютерного моделювання, тестування.

У розробленому проєкті розглянуто задачу керування пристроями інтернету речей в режимі реального часу. Проаналізовано особливості архітектури інтернету речей, засоби їх реалізації та сучасні програмні системи керування освітленням навчальних закладів на основі IoT-технологій. Проаналізовано основні вимоги до освітлення будівель навчальних закладів та чинники впливу. Розроблено режими функціонування будівлі навчального закладу, алгоритми керування системою освітлення на основі IoT – технологій. Спроектовано архітектуру системи керування освітленням, модель бази даних. Проведено програмно-апаратну реалізацію алгоритмів керування освітленням. Розроблено інтерфейс користувача для налаштування системи освітлення та керування нею.

Практичне значення полягає у розробці IoT-системи енергоефективного освітлення будівлі навчального закладу.

Ключові слова: ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНЕ ОСВІТЛЕННЯ БУДІВЛІ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ, MY SQL.

ANNOTATION

Solomchak M.B. Internet of Things system for energy-efficient lighting of an educational building. – Manuscript.

Qualification work for the Bachelor degree in specialty 123 “Computer Engineering”, educational and professional program. Western Ukrainian National University, Ternopil, 2026.

The work is written in 75 pages and contains 30 figures, 4 appendices and 41 references. The volume of graphic material is 2 sheets of A3 format.

The purpose of the qualification work is to develop an energy-efficient lighting system for educational institution building based on Internet of Things technologies.

The research methods include methods of analysis and synthesis, comparative analysis, database design, computer modeling, and testing.

The work considers the task of real-time control of Internet of Things devices. The features of Internet of Things architecture, implementation tools and modern software systems for lighting control in educational institutions based on IoT technologies are analyzed. The main requirements for lighting systems in educational institution buildings and the influencing factors are investigated. Operating modes of the educational institution building lighting system and control algorithms based on Internet of Things technologies have been developed. The architecture of the lighting control system and the database model have been designed. Software and hardware implementation of lighting control algorithms has been carried out. A user interface for configuring and managing the lighting system has been developed.

The practical significance of the work lies in the development of an IoT-based energy-efficient lighting system for educational institution building, providing automation of lighting management processes and reduction of energy consumption.

Keywords: INTERNET OF THINGS, ENERGY-EFFICIENT LIGHTING, EDUCATIONAL INSTITUTION, LIGHTING CONTROL SYSTEM, IOT, DATABASE, MYSQL.

ЗМІСТ

Вступ.....	9
1 Системи освітлення в навчальних закладах	12
1.1 Нормативні та санітарні вимоги до організації освітлення приміщень навчальних закладів..	12
1.2 Особливості освітлення приміщень в навчальних закладах	13
1.3 Загальна характеристика навчального закладу.....	18
1.4 Постановка задачі кваліфікаційної роботи.....	20
2 Алгоритм керування системою освітлення навчального закладу	22
2.1 Системи управління освітленням	22
2.2 Технології керування освітленням	25
2.3 Протоколи керування IoT	27
2.4 Алгоритм керування системою освітлення навчального закладу.....	31
3 Система керування освітленням навчального закладу.	34
3.1 Режими функціонування системи	34
3.2 Архітектура системи керування освітленням	40
3.3 Апаратна реалізація системи керування освітленням	42
3.4 Програмна реалізація системи.....	45
Висновки.....	57
Список використаних джерел.....	59
Додаток А Світокопія публікації	64
Додаток Б. Рівні освітлення приміщень навчальних закладів.....	69
Додаток В. Блок-схема алгоритму керування димером.....	70
Додаток Г Техніко-економічне обґрунтування	71

					КР.КІ.11148829.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Соломчак М. Б.				СИСТЕМА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ДЛЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО ОСВІТЛЕННЯ БУДІВЛІ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Савка Н.Я.						8	75
Консульт.	Савка Н.Я.					ЗУНУ.ФКІТ. КІ-41		
Н. Контр.	Дубчак Л.О.							
Затвердив	Дубчак Л.О.							

ВСТУП

В сучасних умовах розвитку країни питання енергоефективності набувають особливої актуальності, оскільки раціональне використання енергетичних ресурсів є одним із чинників забезпечення сталого розвитку держави та функціонування установ різного призначення, зокрема, навчальних закладів. Значна частина енергоспоживання будівель навчальних закладів припадає саме на системи освітлення, які часто функціонують без урахування реальної потреби, рівня природного освітлення або фактичної присутності людей у приміщеннях. Такий підхід призводить до надмірного використання електроенергії, збільшення експлуатаційних витрат та зниження загального рівня енергоефективності об'єкта.

Одним із перспективних напрямів вирішення зазначеної проблеми є впровадження систем інтернету речей (IoT), що забезпечують автоматизований моніторинг та керування інженерними системами будівель у режимі реального часу. Концепція IoT ґрунтується на інтеграції фізичних пристроїв, сенсорів, контролерів і програмного забезпечення в єдине інформаційне середовище, у межах якого здійснюється збір, передавання, аналіз та опрацювання даних. Завдяки цьому стає можливою розробка інтелектуальних систем управління освітленням, здатних автоматично адаптувати режими роботи до поточних умов експлуатації приміщення.

Для навчальних закладів питання оптимізації енергоспоживання є особливо важливим, оскільки вони характеризуються великою площею приміщень, нерівномірним графіком використання аудиторій та високими витратами на комунальні послуги. Традиційні системи освітлення, що працюють за принципом ручного керування, не забезпечують достатнього рівня гнучкості та автоматизації, а тому не дозволяють ефективно контролювати використання електроенергії. Упровадження системи IoT для енергоефективного освітлення дає можливість автоматично вмикати або вимикати освітлення залежно від присутності людей,

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інтенсивності природного світла, часу доби чи інших важливих факторів. Також можливість використання світильників, які здатні змінювати яскравість світла та колірну температуру впливає на самопочуття, продуктивність та біоритм вчителів та учнів протягом навчального дня [5, 28]. Крім того, такі системи дозволяють здійснювати централізований моніторинг стану обладнання, аналізувати статистику енергоспоживання та оперативно реагувати на зміни умов функціонування об'єкта.

Важливим аспектом використання іот технологій є також підвищення рівня комфорту та безпеки освітнього середовища. Інтелектуальні системи здатні підтримувати оптимальний рівень освітлення в навчальних приміщеннях, що позитивно впливає на працездатність, концентрацію уваги та загальне самопочуття учасників освітнього процесу. Одночасно автоматизація процесів керування дозволяє зменшити навантаження на персонал закладу та підвищити ефективність експлуатації інженерної інфраструктури будівлі.

Таким чином, виникає необхідність у впровадженні сучасних інформаційно-комунікаційних технологій у сферу енергоменеджменту навчальних закладів, а також у розробці ефективних систем автоматизованого управління освітленням, здатних забезпечити економію електроенергії та оптимізацію експлуатаційних витрат. Розвиток мікроконтролерних платформ, бездротових мереж передачі даних і хмарних технологій зумовлює сприятливі умови для розробки доступних та масштабованих IoT-систем, які можуть бути інтегровані в існуючу інфраструктуру будівель без суттєвих фінансових витрат.

Метою роботи є розробка системи інтернету речей для енергоефективного освітлення будівлі навчального закладу, яка забезпечуватиме автоматизоване керування освітлювальними пристроями на основі аналізу параметрів навколишнього середовища та даних від сенсорів.

Для досягнення мети роботи необхідно:

- проаналізувати особливості роботи навчального закладу;
- проаналізувати існуючі системи освітлення для навчальних закладів;
- дослідити технології інтернету речей;

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розробити архітектуру та алгоритм роботи системи керування освітленням;
- провести апаратну реалізацію системи керування;
- здійснити програмну реалізацію системи керування;
- провести техніко-економічне обґрунтування розробки.

Об'єкт дослідження. Процес освітлення навчального закладу.

Предмет дослідження. Технології інтернету речей для енергоефективного керування освітленням навчального закладу.

Практична цінність. IoT-система керування освітленням в навчальних закладах для модернізації існуючих систем освітлення та розробки інтелектуального енергоефективного середовища.

Роботу виконано відповідно до мети та сформованих задач, а також зважаючи на вимоги, викладені у [33, 34].

Основні результати, отримані при виконанні дослідження опубліковано на XXVI всеукраїнській науково-технічній конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій» [38]. Копію тез поміщено у додатку А.

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ В НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

1.1 Нормативні та санітарні вимоги до організації освітлення приміщень навчальних закладів

При проектуванні системи освітлення необхідно враховувати вимоги ДБН в.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» [25, 29] та санітарного регламенту для закладів загальної середньої освіти [27, 37]. 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 природньої освітленості під час проектування використовуються люксметри, що розміщуються в точці, яка знаходиться за 1 м

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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, вестибюлів, сходів тощо. Розрахунки дозволяють визначити, чи задовольняє рівень освітленості мінімальні вимоги коефіцієнта природньої освітленості (КПО), 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 [41]. Норми освітленості для приміщень навчальних закладів містяться у додатку Б.

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 Особливості освітлення приміщень в навчальних 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.

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Більша частина навчального періоду припадає на світлий час доби, що забезпечує дітей природнім освітленням необхідного рівня. Але часто, особливо в зимовий період року, загальне освітлення повинно також працювати для того, щоб не утворювалися тіні, які заважатимуть дітям, та для компенсації недостатнього рівня природнього освітлення.

Обираючи обладнання для системи освітлення, не можна нехтувати важливими параметрами світлового обладнання та враховувати при розробці системи лише світлову ефективність. Для захисту очей від прямого потрапляння променів світла на сітківку ока важливо враховувати такі параметри, як рівномірність світлових потоків, їх спрямування, спектральний склад світла, рівень пульсацій [28].

Переважає більшість сучасних світильників в якості джерела світла використовують світлодіоди. Вони є ефективнішими за інші типи освітлювальних приладів, їм не властиві високі рівні випромінювання в ультрафіолетовому та інфрачервоному спектрах, які можуть приносити шкоду здоров'ю, та забирають частину енергії, яку можна витратити більш ефективно. Якісне led-освітлення не містить шкідливих речовин, їх спектр є доволі рівномірним, їм не властиві сильні світлові пульсації, мерехтіння, працюють безшумно.

Основним показником, на основі якого проектується система, є рівень освітленості [28]. За недостатнього рівня освітлення можливе зниження концентрації уваги та порушення працездатності, тоді як надмірний рівень може бути сильним подразником.

Варто враховувати ймовірний спад освітленості, спричинений зниженням ефективності випромінювання світлодіодів, запиленістю, забрудненістю або псуванням матеріалів корпусу. Заміри рівня освітленості необхідно здійснювати у певних базових точках та враховувати наявні перепади, спричинені розташуванням вікон, особливостями приміщень. Рівень достатнього освітлення визначається тим, що усі учасники навчального процесу можуть безперешкодно читати друковані матеріали та писати від руки. Освітлення на всіх навчальних поверхнях – партах, столах вчителів, дошках – повинна бути рівномірною.

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для комфортного перебування у приміщенні важливим є показник яскравості джерела світла. Навіть за встановленого в комфортних межах рівня освітлення світильника, він може засліплювати, якщо в полі зору є точки з підвищеною яскравістю або прямі та відбиті відблиски від світильників чи 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 увага, складніше сприймати інформацію. Варто уникати ситуацій використання яскравого переднього освітлення у притіненому класі, адже вони можуть створювати ефекти засліплення.

Зазвичай, причиною дискомфорту є неправильно підібрані освітлювальні прилади та їх неправильне розташування при проектуванні. Ключова заборона накладається на освітлення, яке падає на сидячу людину зі спини або спереду – це непрактично та формує тіні, що є причиною дискомфорту [28].

У сучасних LED-світильниках використовуються світлодіоди, точкова яскравість яких перевищує встановлені норми при забезпеченні нормального рівня освітлення. Щоб це компенсувати, 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 й рівномірно розподіляє світло. Можна застосовувати рифлені розсіювачі, однак, варто звертати увагу на правильність їх встановлення – використання неправильного боку розсіювача може погіршити ситуацію, ще більше сконцентрувавши промені точкових світлодіодів. Неприпустимо використовувати світильники без розсіювачів у відкритому вигляді або з розсіювачами з прозорих матеріалів.

На дискомфорт також може впливати кут розсіювання світла. Внаслідок неправильного розташування світильників відносно парт у поєднанні зі завеликим кутом розсіювання, світлові потоки можуть спрямовуватись так, що промені світла потрапляють прямо в очі, засліплюючи учнів. Тому, при виборі світильників та їх розташування, необхідно обирати правильний кут розсіювання

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

залежно від форми приміщення, який повинен бути достатнім для освітлення всієї площі приміщення з мінімальною кількістю світильників. Приклад правильного та неправильного розташування світильників відображено на рисунку 1.1.

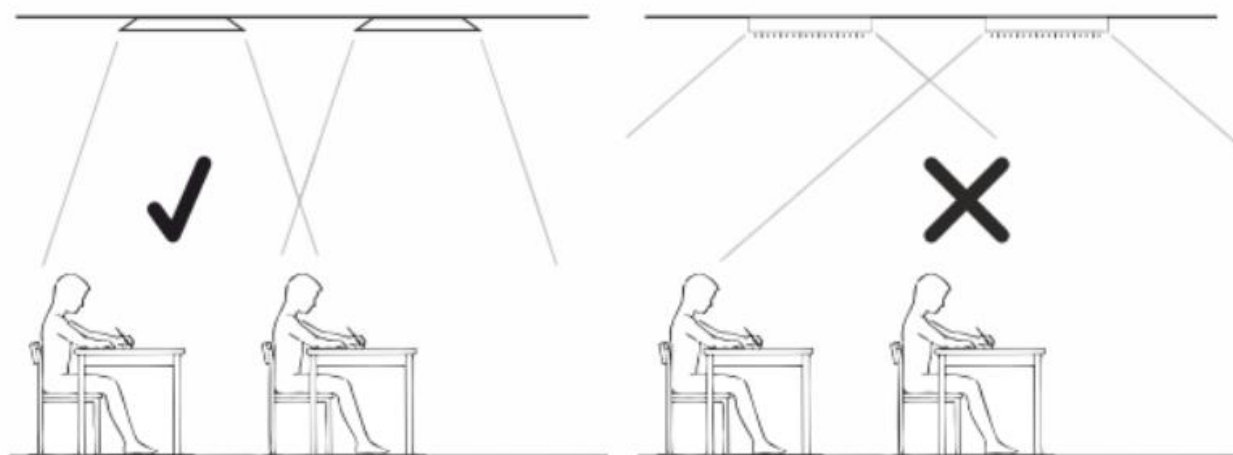


Рисунок 1.1 – Варіанти підбору та встановлення світильників

Для дошок необхідно встановлювати додаткове джерело світла. Найоптимальнішими світильниками для цього є невеликі спеціалізовані освітлювальні прилади на ніжках з концентрованим світловим потоком або цілісна довгаста лампа, витягнута уздовж верхньої частини дошки.

Ще одним фактором, який може негативно вплинути на зір та здоров'я, є пульсація світла. [5, 28, 37]. Як наслідок, виникає ймовірність розвитку депресій, безсоння, захворювань серцево-судинної системи.

Наступним параметром є колірна температура, яка характеризує якість, відтінок світла, частково визначає рівень яскравості джерела світла. На відміну від ламп розжарювання та люмінесцентних ламп, світлодіодні світильники можуть випромінювати світло будь-якої колірної температури. Загалом виділяють такі діапазони колірних температур [41]:

- теплий – до 3000 K;
- нейтральний – від 3300 K до 4600 K;
- холодний – від 4600 K.

Світильники, які випромінюють світло холодного колірного спектру, є більш енергоефективними, тому їх доцільно використовувати у приміщеннях з великою площею або на вулиці. Перевагу надають світлодіодним лампам з нейтральним кольором світла, адже воно є максимально подібним до природнього. В межах одного навчального класу не можна використовувати джерела світла, що мають різну колірну температуру [28].

Колірна температура може впливати як на комфорт людини в певному середовищі, так і на її фізичний стан. Зміна кольірних температур, що подібна до зміни природнього світла протягом дня, дозволяє організму відчувати зміну часу доби. Також різні температури стимулюють різні види діяльності та стани.

Для молодших класів рекомендується використовувати тепле світло. Для класів, де навчаються діти середнього та старшого шкільного віку, бібліотек – світло нейтрального колірного спектру. Для освітлення приміщень для занять спортом та стадіонів бажано використовувати світло більш холодного колірного спектру [27]. Для навчальних закладів краще не використовувати світильники з колірною температурою вище 4100 К, адже такий тип освітлення стимулює активність та сплески продуктивності.

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. У приміщеннях з великою площею рекомендується реалізовувати декілька незалежних контурів освітлення. Для актової зали доречно використовувати димери для плавного регулювання яскравості. На сцені повинно бути незалежне освітлення, організоване із застосуванням прожекторів та світильників спрямованого світла.

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Загальна характеристика навчального закладу

Навчальний заклад ліцейного типу знаходиться у навчальному корпусі загальною площею 2700 м² має 4 поверхи та умовно поділений на 2 крила: праве для початкової школи (1-4 клас) та ліве для старшої школи (5-11 клас), 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 год. до 16:30 год. У вечірні години (з 16:30 год. до 21:00 год.) проводяться заняття гуртків, студій та спортивних секцій. Початкова школа має 5-денний навчальний тиждень, старші класи навчаються і в суботу. Тривалість уроків – 45 хв., перерв – 15 хв.

Приміщення у навчальному закладі за призначенням можна поділити на такі типи:

- навчальні класи;
- коридори;
- адміністративні приміщення;
- сходи;
- вбиральні;
- технічні приміщення;
- актова зала;
- їдальня, спортзал.

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 (див. рисунок 1.2).

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Схематичні плани інших поверхів навчального закладу знаходяться у КР.КІ.11148829.00.00.000 С1. Поряд із навчальними класами, кожен поверх містить приміщення різного призначення.

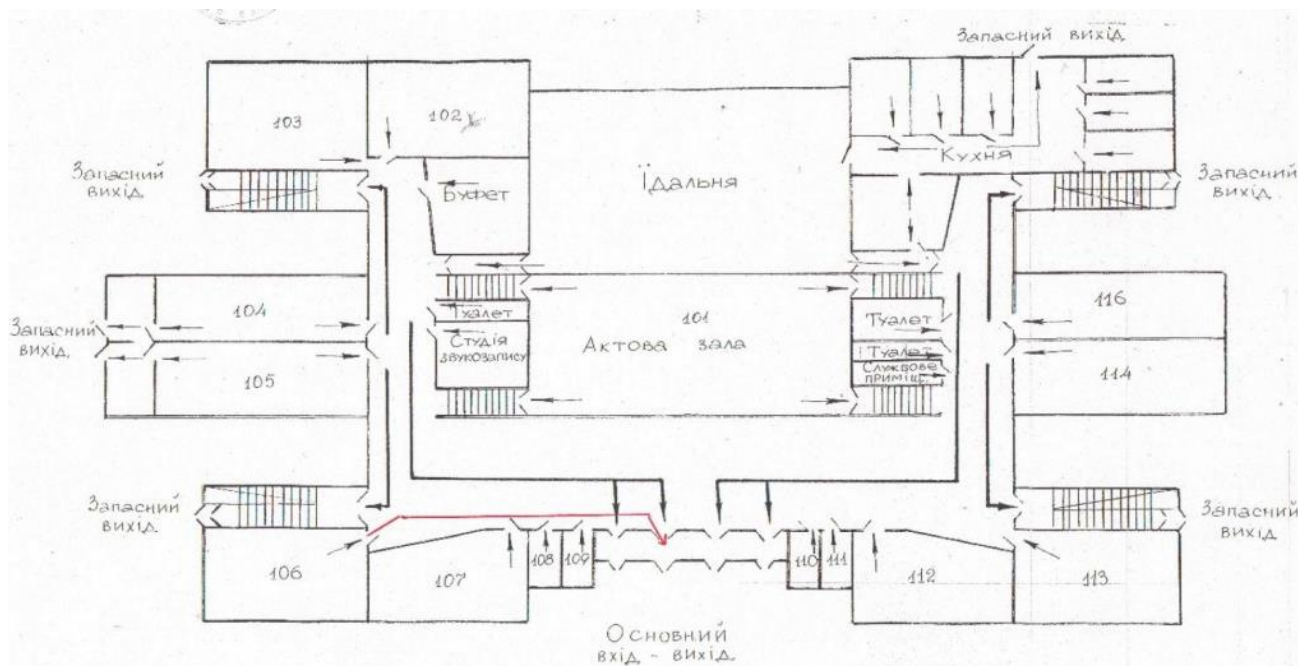


Рисунок 1.2 – Схематичний план 1 поверху з різними типами приміщень

За плануванням приміщення діляться на такі, що мають одну зону (див. рисунок 1.3) або декілька (наприклад, кабінет інформатики ділиться на 3 зони – теоретичну, практичну та вчительську – рисунок 1.4).

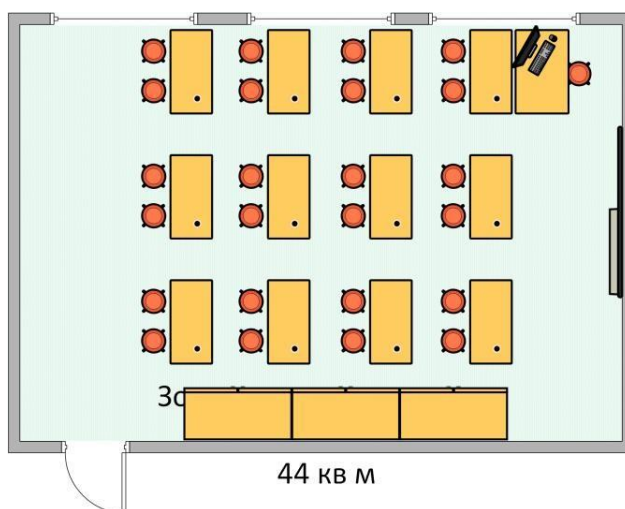


Рисунок 1.3 – Кабінет з 1 зоною

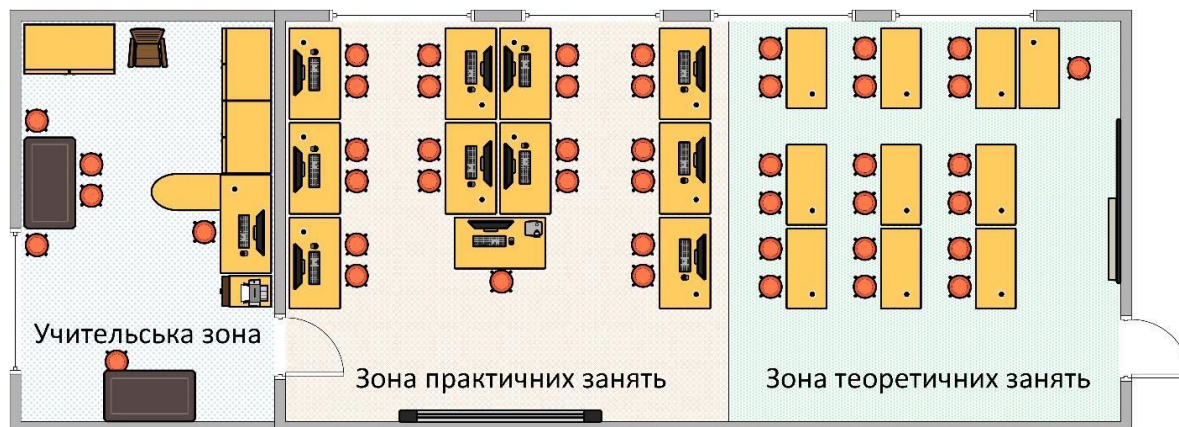


Рисунок 1.4 – Кабінет інформатики та його окремі зони

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

1.4 Постановка задачі кваліфікаційної роботи

У процесі дослідження розглянуто нормативні вимоги та санітарні регламенти до організації освітлення приміщень навчальних закладів, особливості функціонування систем освітлення в освітньому середовищі, а також загальну характеристику будівлі навчального закладу як об'єкта автоматизації. Проведений аналіз дозволив визначити основні вимоги до рівня освітленості навчальних приміщень, режимів роботи освітлювального обладнання, показників енергоефективності та умов забезпечення комфортного перебування учасників освітнього процесу.

Дослідження нормативної бази дало змогу встановити, що система освітлення навчального закладу повинна забезпечувати стабільний рівень освітленості відповідно до санітарних норм, враховувати тип приміщення,

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

характер виконуваних робіт, наявність природного освітлення та тривалість перебування людей у приміщенні. Аналіз санітарних вимог також показав необхідність забезпечення рівномірного освітлення, мінімізації енергетичних втрат та використання сучасних засобів автоматизації для підтримання оптимальних умов навчання.

Розгляд особливостей освітлення приміщень навчального закладу дозволив визначити основні проблеми існуючих систем керування освітленням. До таких проблем належать нераціональне використання електроенергії через ручне керування освітленням, відсутність автоматичного регулювання залежно від присутності людей та рівня природного освітлення, а також недостатній рівень централізованого моніторингу стану освітлювальної мережі. У результаті цього спостерігається перевитрата електроенергії та збільшення експлуатаційних витрат навчального закладу.

У результаті аналізу встановлено, що навчальні аудиторії, коридори, лабораторії та адміністративні приміщення мають різний рівень потреби в освітленні та відрізняються інтенсивністю використання протягом доби. Це обумовлює необхідність розробки адаптивної системи керування освітленням, здатної автоматично реагувати на зміни умов експлуатації.

Таким чином, метою розробки є розробка системи інтернету речей для енергоефективного освітлення будівлі навчального закладу, що забезпечить автоматичне вмикання, вимикання або регулювання рівня освітлення залежно від умов навколишнього середовища та фактичного використання приміщень.

У межах поставленої задачі необхідно реалізувати такі задачі:

- дослідити технології інтернету речей;
- розробити архітектуру та алгоритм роботи системи керування освітленням;
- провести апаратну реалізацію системи керування;
- здійснити програмну реалізацію системи керування;
- провести техніко-економічне обґрунтування розробки.

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ ОСВІТЛЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

2.1 Системи управління освітленням

Для правильного та оптимального проектування системи необхідно враховувати існуючий досвід проектування подібних систем. Для цього розглянемо основні особливості та характеристики освітлювальних систем в навчальних приміщеннях.

Систему керування освітлювальними установками в аудиторіях навчального закладу, що залежить від поточної освітленості природнім світлом аудиторії та кількості осіб, що перебувають в приміщенні описано у [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, які вказують на наявний рівень природнього освітлення та дозволяють обчислити 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 – нижчий.

Для аналізу ефективності роботи системи передбачено моніторинг споживання електроенергії. В якості контролера використовується мікроконтролер arduino mega з чипом ESP8266. Яскравість світла LED-світильників змінюється з використанням технології широко-імпульсної модуляції.

Після впровадження системи в одній з аудиторій проведено порівняння показників споживання електроенергії, рівня шуму та кількості людей. Було виявлено, що запровадження та використання такої системи може заощадити

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

більш ніж 60% електроенергії, порівняно з освітленням без адаптивного керування.

Систему, що використовується для керування освітленням університетської аудиторії розроблено у [9]. 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. Керувати системою можна, 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.

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 [18]. Також при виході з аудиторії викладач може вимикати світло за допомогою id-картки.

Адаптивну систему, що не лише коригує яскравість освітлення для зменшення енергоспоживання, а й надає різні режими роботи для різних навчальних контекстів, предметів, видів діяльності, змінюючи колірну температуру освітлення та розподіл освітленості описано у [20]. Система підтримує розподіл класу на зони та керування ними, ручне та автоматичне регулювання на основі даних з датчиків присутності та освітленості. 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.

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі показників успішності здійснюється аналіз й коригування роботи системи. Структуру такої системи наведено на рисунку 2.1.

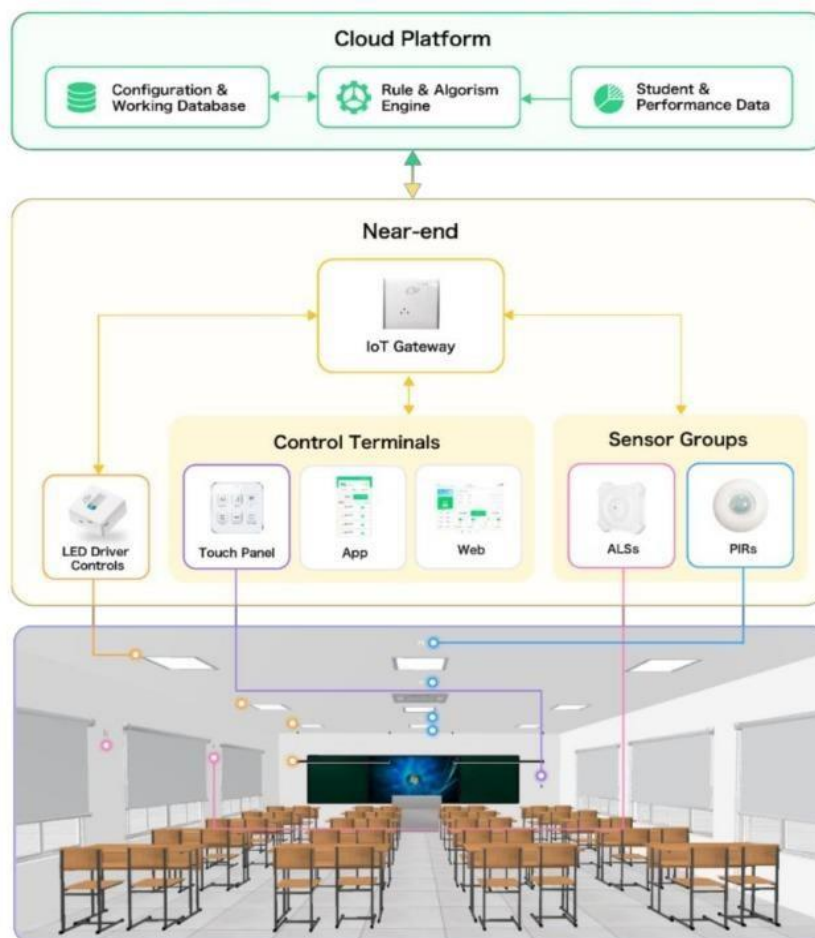


Рисунок 2.1 – Структура системи освітлення

У компанії Interact, що проєктує різноманітні IoT-засоби у Нідерландах коледжем CitaVerde було замовлено смарт-систему освітлення, яку описано у [21]. Для системи 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.

Система використовує для збору даних датчики присутності та освітленості, які 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.

2.2 Технології керування освітленням

Існують різні способів керування системою освітлення згідно із світовими стандартами. Одним з найбільш поширених способів є метод аналогового керування. Яскравість світильника регулюється за допомогою зміни напруги від 0 до 10 в, тобто яскравість змінюється пропорційно до напруги. Таке керування є одностороннім – димер керує драйверами LED або баластами люмінесцентних ламп та не отримує від них даних [23, 28, 30].

Перевагою зазначеного методу 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 в межах 10 шт. Такий метод керування не придатний, коли система містить велику кількість світильників, адже може бути недостатньо ліній керування. Окрім цього, на довгих лініях підключення можливі затухання сигналів та вплив шумів.

Керування через електромережу передбачає підключення світильників та лампочок безпосередньо до мережі змінного струму 220 В, а для зміни їх яскравості здійснюється обрізання синусоїди струму, при чому обмеження може здійснюватися за переднім або за заднім фронтом. Обмеження за переднім фронтом використовується для керування галогенними лампами та лампами розжарювання. Мінімальне навантаження для таких димерів 10-60 Вт, тому при розробці систем освітлення зі світлодіодними лампочками необхідно перевіряти, цю вимогу. Якщо навантаження недостатнє, то неможливо здійснювати стабільне регулювання на низькій потужності й може виникати мерехтіння. Обмеження за

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заднім фронтом використовується для керування галогенними лампами, лампами розжарювання та світлодіодними лампами.

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

Digital Addressable Lighting Interface (DALI) – відкритий цифровий стандарт, що використовується у системах для керування світлодіодними, люмінісцентними, галогенними світильниками або лампами розжарювання. Зв'язок з підключеними пристроями є двостороннім, що дозволяє виявляти помилки, поломки, надсилати дані, які можуть бути використані для відображення стану системи в інтерфейсі [11].

У такій 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 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 програмного забезпечення.

Протокол DALI зручно використовувати у випадках, коли світильники повинні взаємодіяти з декількома пристроями, стани яких впливають на роботу системи, наприклад, датчиками руху, освітленості, вимикачами.

DSI (Digital Serial Interface) – пропрієтарний 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 [11].

KNX – цифровий протокол рівня застосунків osi, що використовується для автоматизації будівель й поєднує керування не лише освітленням, а й, наприклад,

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

клімат-контролем, безпекою тощо. Розроблений на основі протоколів European home systems, BatiBUS та 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).

У таких системах використовується децентралізована мережа, тому за умов появи несправностей в одній з частин мережі або проблем з одним пристроєм – це ніяк не впливає на інші пристрої. Така архітектура дозволяє швидко модифікувати конфігурацію системи.

2.3 Протоколи керування IoT

До популярних протоколів, які використовуються для керування системами IoT та системами освітлення належать modbus, mqtt та coap, які можуть взаємно доповнювати один одного [1, 4, 6, 8, 10, 15].

Modbus – це послідовний протокол для зв'язку між пристроями, що розташовані поруч. Це стандарт 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 (див. рисунок 2.2).

Для підключення використовуються 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, підпорядкований пристрій надсилає у відповідь пакет з необхідними даними. Протокол застосовується як

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

звичайними датчиками, так і контролерами, оскільки обсяг даних, що передаються, невеликий.

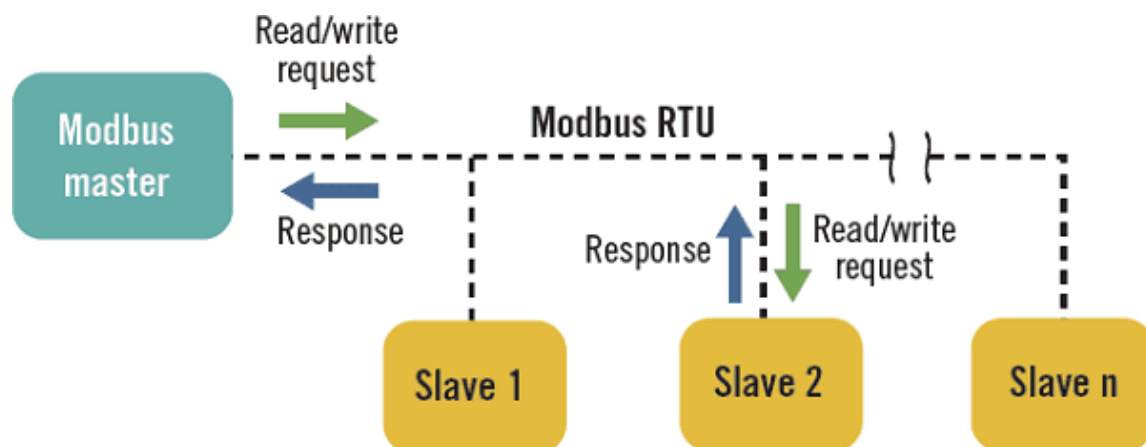


Рисунок 2.2 – Принцип роботи протоколу modbus

Протокол MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) – простий відкритий протокол, що дозволяє організувати обмін даними між пристроями як у локальних, так і в глобальних мережах, має значно ширші можливості, аніж modbus. Протокол розроблений спеціально для мереж IoT. Принцип роботи протоколу – модель «видавець – підписник» («publisher-subscriber») [15].

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 (див. рисунок 2.3). Усі дії зводяться до взаємодії з брокером, роботи з темами та повідомленнями. Це дозволяє організовувати взаємодію між пристроями типу один-до-одного, один-до-багатьох, багато-до-одного.

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.

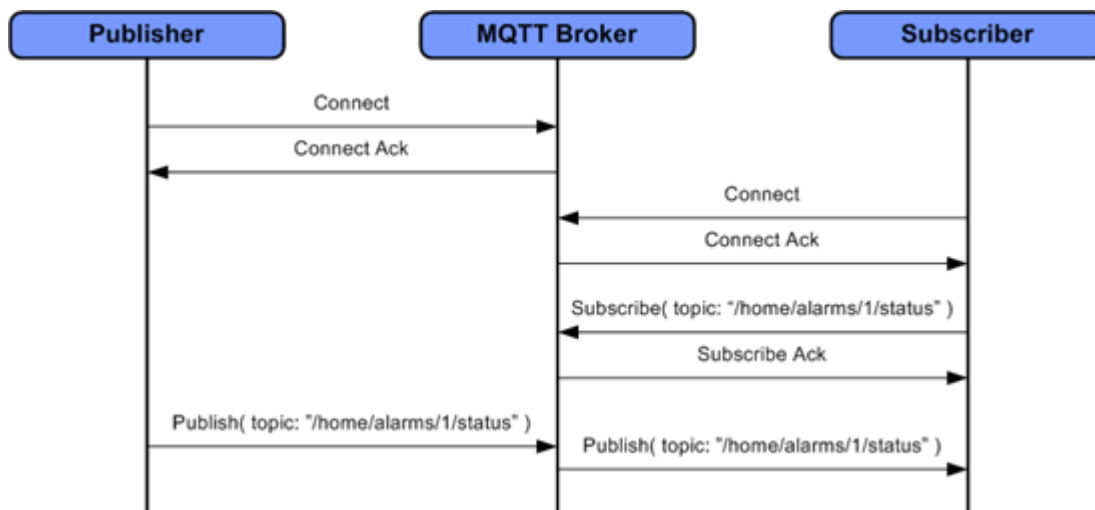


Рисунок 2.3 – Принцип роботи протоколу MQTT

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.

Недоліком протоколу є те, що теми, якими користуються клієнти, зазвичай, є довгими рядками, які вимагають такий обсяг пам'яті, який можна використати для корисного навантаження, а також необхідно підтримувати постійне з'єднання TCP.

Протокол CoAP (Constrained Application Protocol) – це спрощений 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.

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 [15].

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. Для вирішення проблеми та встановлення зв'язку необхідно виконати початковий запит до сервера, для створення асоціації маршрутизатором, після чого здійснювати обмін повідомленнями.

Протокол підтримує 2 рівні QoS – «confirmable» – підтвердженням від отримувача повідомлення, та «nonconfirmable» – повідомлення без підтвердження отримання (принцип «fire and forget»). Для захисту даних використовується протокол DTLS (Datagram Transport Layer Security), що є аналогом TLS для UDP.

Порівнюючи 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.

Таким чином, зважаючи на вище проведений аналіз, для реалізації прототипу системи керування освітленням варто орієнтуватися на компоненти, що відповідають ціна-якість. Згідно таких міркувань, обрано технологію з прямим підключенням установки до електромережі. Керування LED-світильниками здійснюватиметься на основі контролера, який, в свою чергу керує, димером. Протоколом керування в такій моделі слід обрати MQTT, що дозволяє здійснювати обмін даними між контролерами та сервером не тільки у локальній мережі й підтримується різними програмними засобами.

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4 Алгоритм керування системою освітлення навчального закладу

Керування світильниками на основі контролерів 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 задані набори значень, кожне з яких відповідає певному періоду, та встановлюються на початку роботи контролера й 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 рисунку 2.4, контролер може діяти самостійно, оскільки у його пам'яті міститься глобальна змінна з типом поточного дня.

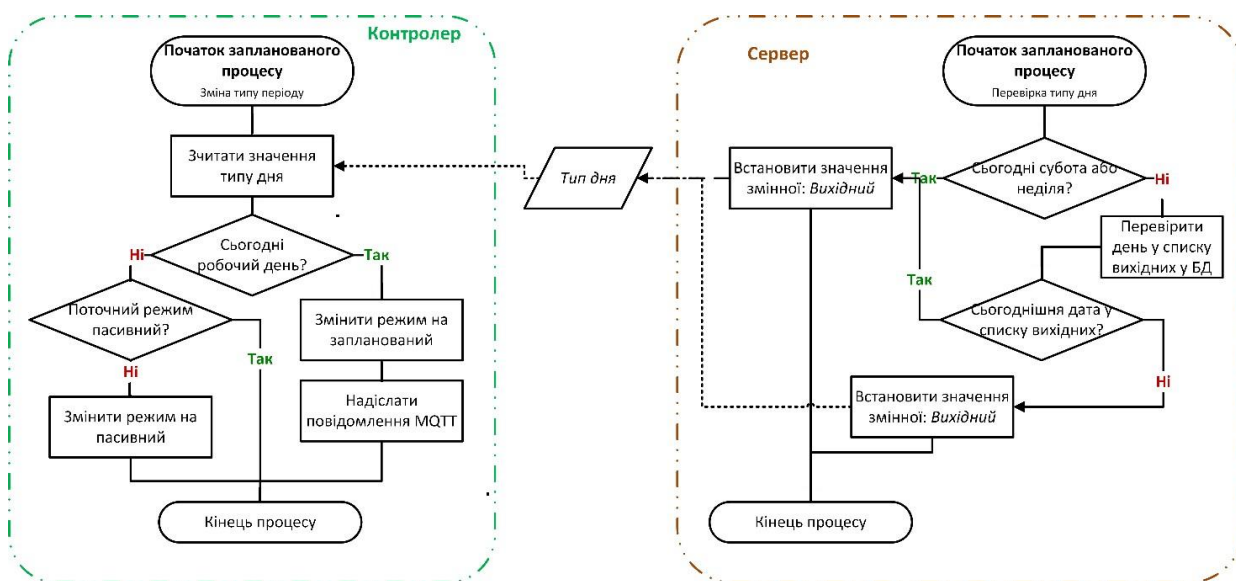


Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму керування поточним типом періоду

Блок-схему алгоритму керування контролером наведено на КР.КІ. 11148829.00.00.000 А1. 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. Блок-схему алгоритму наведено на рисунку 2.5.

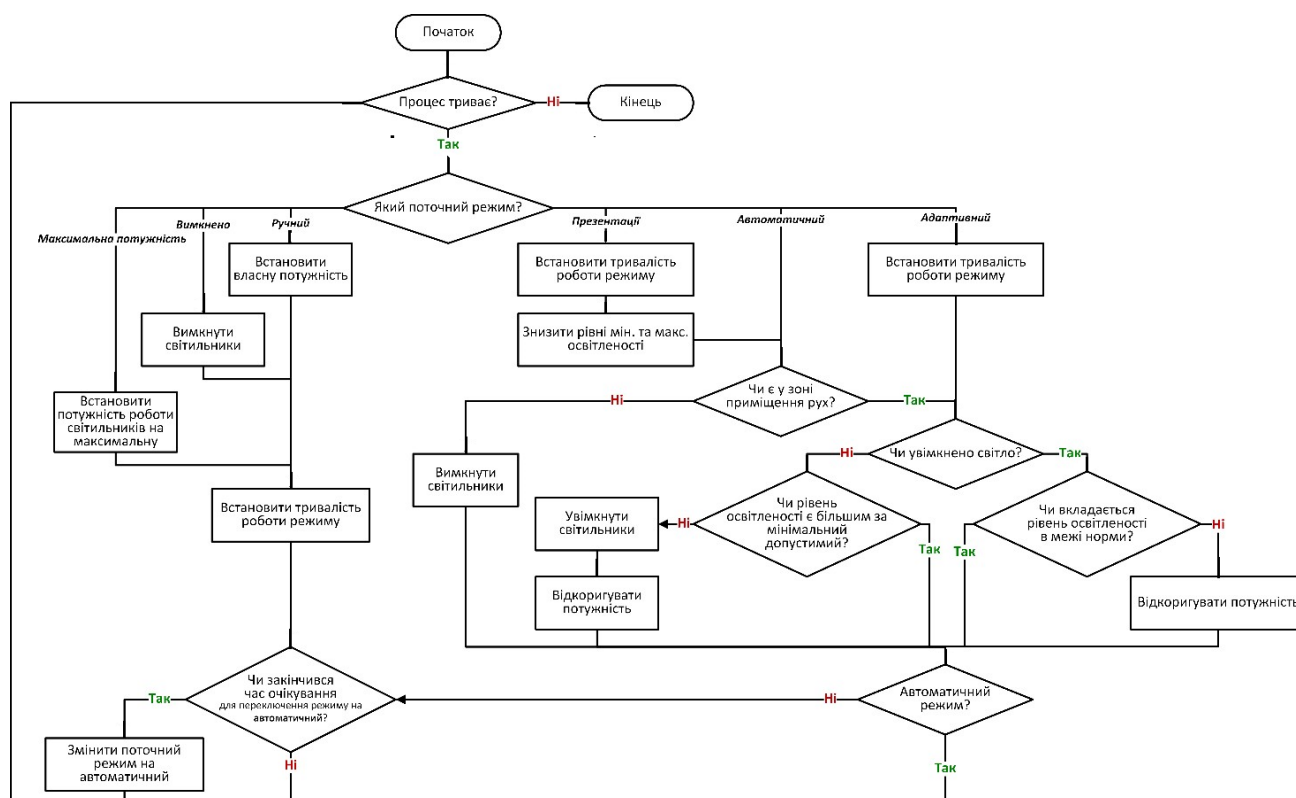


Рисунок 2.5 – Блок – схема алгоритму керування світильниками

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 із 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 алгоритму блоки «Чи увімкнено світло?», «Відкоригувати потужність» є абстрактним узагальненням процесів порівняння, обробки даних. Розглянуті параметри – режим роботи та поточний період – відповідають за яскравість та роботу світильників приміщення. Блок-схему алгоритму керування димером наведено у додатку В.

Значення колірної температури для приміщення встановлюється на основі даних користувача, або на основі розкладу та поточного часу доби. Блок-схему алгоритму налаштування колірної температури наведено на рисунку 2.6.

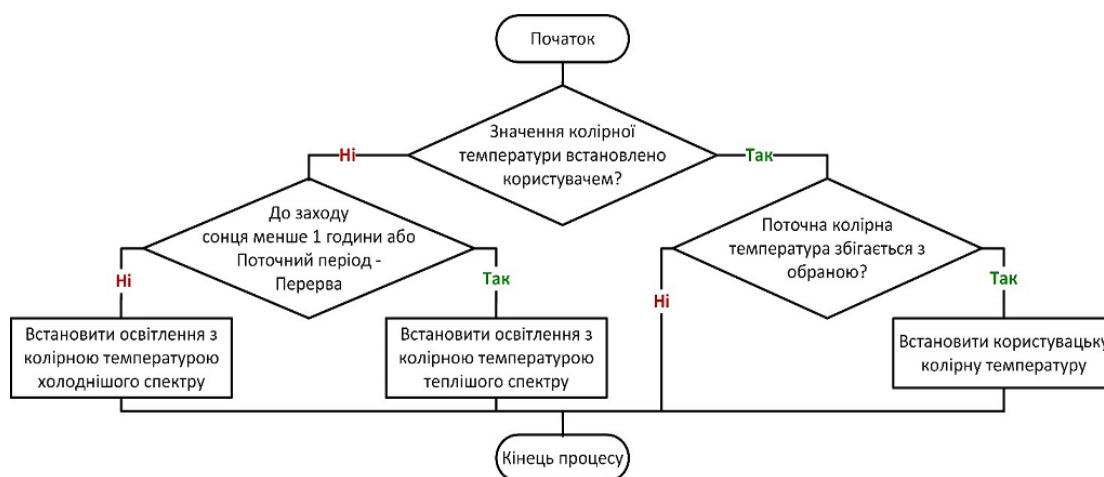


Рисунок 2.6 – Блок-схема алгоритму встановлення колірної температури

У наступних підрозділах детально опишемо програмно-апаратну реалізацію системи керування освітленням навчального закладу, в основі якої розроблені алгоритми.

3 СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

3.1 Режими функціонування системи

Перш, ніж розробити режими функціонування системи освітлення, необхідно проаналізувати усі види приміщень, що наявні у будівлі навчального закладу, та способи їх використання.

У навчальних класах відбувається основна частина діяльності. Згідно розкладу, в них протягом 45 хвилин відбуваються уроки, під час яких рух учнів та вчителів може бути як активним (заняття, що передбачають постійну взаємодію), так і неактивним (самостійні та контрольні роботи). Більшість навчальних класів закріплені за конкретним шкільним предметом та за 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 ними. Можливі випадки, коли урок починається пізніше, завершується раніше або не відбувається зазначеному приміщенні. Під час перерв відбувається підготовка до наступного заняття, відпочинок або учні й вчителі покидають приміщення, якщо за розкладом заняття не передбачені.

Коридори та сходи. Під час уроків активність у них є невеликою, лише іноді відбувається поодинокий рух для переходу з одного приміщення до іншого. Під час перерв активний рух, оскільки, учні й вчителі переходять з одного класу до іншого, очікують можливості входу до класу, якщо попередній урок ще не завершився, а також для іншої активної діяльності.

Адміністративні приміщення – кабінети для вчителів, директора, та іншого адміністративного персоналу, технічного персоналу тощо. Для кожного з них відрізняються способи, регулярність та тривалість використання, які, частково збігаються з періодами, характерними для навчальних приміщень.

Вбиральні, роздягальня та технічні приміщення – це внутрішні приміщення, які відвідують на короткий проміжок часу. Спосіб використання та активність у них практично однакові для будь-якого періоду часу.

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 – для активного відпочинку, після занять – спортивними гуртками. Має гарне природнє освітлення, тому світло потрібно вмикати лише у випадку дуже хмарної погоди, вечора.

Актова зала використовується для репетицій, проведення заходів. Для неї актуальною є відокремлена система з ручним керуванням. Оскільки приміщення не має природнього освітлення, на входах варто додатково встановити світильники, що будуть вмикатися при виявленні руху.

Одним з факторів, за яким можна визначати спосіб функціонування кожного приміщення та усієї будівлі 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 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 займаються в гуртках у певних приміщеннях. При чому вихідними днями можуть бути не лише дні тижня, що є вихідними за календарем, а й окремо визначені дні, що є державними святами та передбачають скасування робочої діяльності. Також до вихідних належить періоду канікул. У тривалість робочого дня входять періоди часу, протягом яких здійснюються різні види діяльності. Ці періоди можна поділити на такі категорії:

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

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коридорами та технічними приміщеннями;

– перерви – період великої активності у коридорах ліцею, у класах учні й вчителі можуть залишатися для підготовки до наступного уроку або вийти з класу для провітрювання чи завершення занять;

– гуртки – період, коли уроки вже закінчилися, але в приміщеннях проводяться позашкільні заняття. Зазвичай, у коридорах швидко проходять учасники гуртків. Використовується лише частина навчальних приміщень.

Окрім цього, існують нестандартні ситуації, під час яких система повинна функціонувати за іншим алгоритмом. Наприклад, події, свята, концерти, що відбуваються нерегулярно, лише у визначені дні та протягом обмеженого періоду дня. Для таких подій можуть використовуватися різні сценарії, що не збігаються зі стандартними, при чому, застосовуються вони не до всієї будівлі, а до обмеженої кількості приміщень, задіяних для цих подій. Отже, після проведеного аналізу можна виділити періоди функціонування:

– період уроків, під час якого діяльність спостерігається у навчальних приміщеннях з невеликим використанням коридорів та службових приміщень, постійної активності в результаті використання дошки, виконання завдань. Варто передбачити алгоритм уникання частого вимикання освітлення, якщо протягом короткого періоду рух не фіксується, але у приміщенні знаходяться люди. Адже постійні різкі перепади рівня освітлення заважатимуть навчальному процесу.

– період перерв – відвідувачі активно переміщаються будівлею. У навчальних класах потрібно налаштувати алгоритм таким чином, щоб у випадку закінчення періоду використання приміщення протягом навчального дня, світло автоматично вимикалося. В той же час, якщо в приміщенні хтось залишається для підготовки до наступного уроку, варто уникнути хибних вимкнень світла. У коридорах в цей період передбачається більша пауза між завершенням руху та автоматичним вимкненням світла, щоб уникнути постійного миготіння.

– пасивний період – час роботи гуртків та вихідні дні, 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.

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для розробки 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. При аналізі особливостей використання різних приміщень, визначено, що для кожної категорії характерна різна інтенсивність активності рухів та тривалість відвідування. Тому слід обрати параметри, що дозволять системі вчасно вимикати світло, коли приміщення вже не використовується, щоб електроенергія не витрачалася даремно, а також уникнути хибних вимикань світла, коли в приміщенні хтось знаходиться, але рухів майже немає.

Зважаючи на вищезазначене, обрано два базових 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 уможливорює сприймати рух цілісніше, що спрощує фіксацію даних у базі даних, оскільки збережено меншу кількість подібних записів про ідентичну подію.

Час роботи світильників після завершення руху (t_L) – це період з моменту фіксації завершення руху, протягом якого світильники продовжують свою роботу. Цей параметр потрібен, щоб світло не вимикалося за короткочасної відсутності руху. Схему використання обраних параметрів зображено на рисунку 3.1.

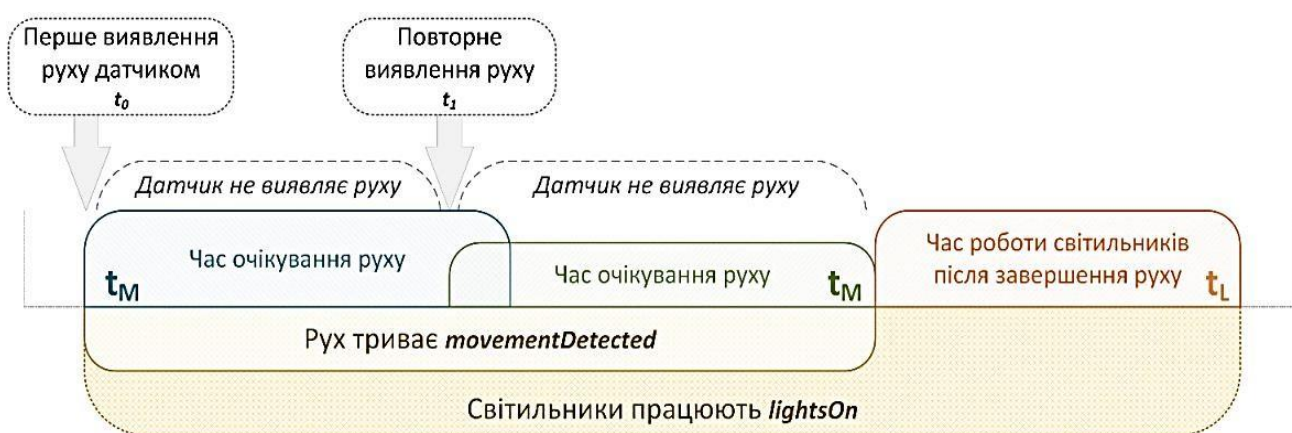


Рисунок 3.1 – Структурна схема застосування параметрів для керування освітленням

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

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 самостійно регулювати роботу світильників залежно від наявності руху та рівня освітленості. Для цього використовуються датчики руху та освітленості. Датчики руху дозволяють автоматично вмикати та вимикати освітлення при русі людей між приміщеннями та різкій зміні природнього рівня освітлення, а датчики освітлення – підтримують рівень освітлення на мінімальному рівні, який є достатнім для роботи.

Однак можуть виникати випадки, коли автоматичного регулювання параметрів системи стає недостатньо, тому необхідно передбачити додаткові можливості налаштування роботи системи. 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 потрібне 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 встановлюють телевізор, проектор або мультимедійну дошку. Водночас світильники часто випромінюють яскраве світло, що є яскравішим за світло демонстраційних пристроїв, що заважає сприйняттю зображення. Для таких випадків необхідно передбачити окремий презентаційний режим, при використанні якого потужність роботи світильників зменшена до рівня, який дозволить бачити зображення.

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, в результаті аналізу отримуємо такі режими роботи системи керування освітленням:

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

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

Режими, що були визначені у попередніх пунктах, використовуються для керуванням яскравістю світла, однак не враховують важливого параметра, що впливає на самопочуття – колірну температуру освітлення. Вона повинна залежати від часу доби та 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. Відповідно до норм, колірна температура повинна бути однаковою для всього приміщення й встановлюється незалежно від інших параметрів системи.

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Архітектура системи керування освітленням

Розробку архітектури здійснено на основі туманного принципу, де туманними вузлами є контролери у кожному класі, що отримують та початково опрацьовують дані з датчиків, на основі яких керують світильниками, а хмарним сервісом – сервер, що приймає дані з контролерів та зберігає їх у базі даних, надсилає на контролер налаштування та команди, отримані від користувача або створені на основі алгоритму. Обмін даними між контролерами та сервером організований з використанням протоколу MQTT, через який дані та команди пересилаються у форматі JSON [17, 16,]. Узагальнену архітектуру системи наведено на рисунку 3.2.

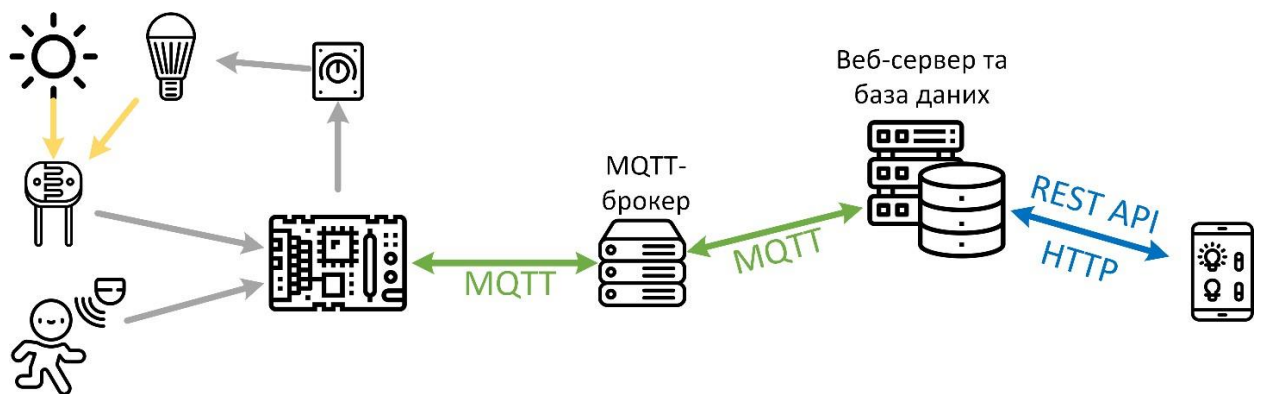


Рисунок 3.2 – Архітектура системи керування освітленням

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 чи із 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 закладено ймовірність перебоїв у роботі мережі, тому контролери повинні бути достатньо автономними для підтримки керування освітленням у випадку перебоїв з'єднання з сервером. Така система забезпечує

миттєвість реагування на зміну зовнішніх умов.

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 на інший, крім автоматичного, неможлива без участі сервера, адже встановлення потрібного режиму здійснює користувач. Зміна типу періоду здійснюється локально, однак щодня відбувається синхронізація із сервером для оновлення розкладу, визначення типу дня (вихідний чи робочий) та з NTP-сервером для синхронізації часу.

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

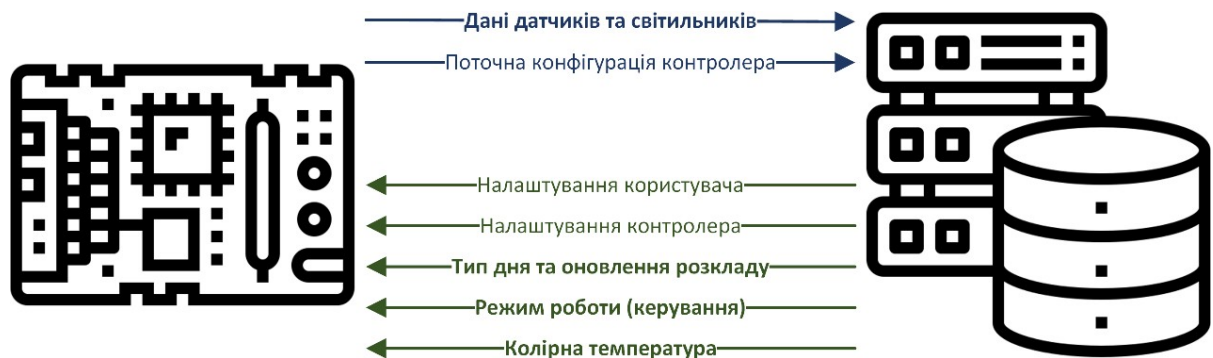


Рисунок 3.3 – Схема взаємодії сервера та контролера системи

Функції контролерів:

- зчитування даних з датчиків;
- опрацювання даних датчиків;
- керування світильниками;
- формування повідомлень MQTT з даними пристроїв та контролера, надсилання їх на сервер;
- отримання повідомлень з сервера та їх опрацювання;
- зміна типу періоду за розкладом.

До функцій сервера належать:

- отримання повідомлень з контролерів та їх опрацювання;

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 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.

Програмно-апаратну реалізацію системи керування освітленням навчального закладу на основі розроблених алгоритмів детально опишемо у наступних підрозділах.

3.3 Апаратна реалізація системи керування освітленням

При виборі обладнання для реалізації прототипу апаратної частини враховувалися його ціна, якість та наявність необхідних функцій. У якості контролера обрано плату для розробки NodeMCU V3 з чипом ESP8266 [32] (див. рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Плата NodeMCU v3

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Плата має невелику вартість, включає Wi-Fi чип ESP8266 та 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. Піни плати, до яких підключаються датчики та інші зовнішні пристрої, підтримують різні види з'єднань.

Для визначення наявності руху обрано доплерівський мікрохвильовий датчик руху RCWL-0516 (див. рисунок 3.5), який визначає наявність руху у приміщенні з використанням доплерівського ефекту – зміни частоти хвилі, що реєструється приймачем, яка викликана переміщенням джерела або приймача у просторі. На виході видає дискретний результат – 0, якщо руху немає або 1, якщо рух виявлено. При виявленні руху протягом 2 секунд продовжує видавати позитивний результат, навіть якщо рух закінчився. Радіус дії – до 5-9 м, кут виявлення – 120°.

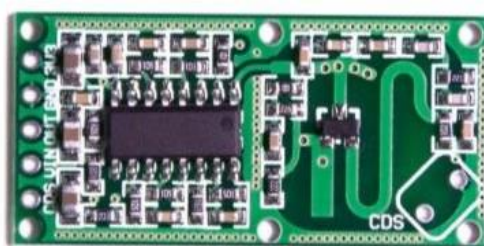


Рисунок 3.5 – Датчик руху RCWL-0516

Для визначення рівня освітленості у приміщенні обрано цифровий датчик GY-302 на базі чипу BH1750FVI (див рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Датчик освітленості GY-302

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За допомогою цього датчика з високою чутливістю вимірюється фоновий рівень освітлення. Дані передаються через інтерфейс I2 C, для використання якого датчик потрібно підключити до двох портів контролера. Також для отримання значень освітленості необхідно підключити бібліотеку Arduino BH1750.

У якості світильника використано лампочку, 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 обрано димер змінного струму 220В для плат Arduino та плат на базі 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.

Кожен з пристроїв підключений до порта живлення на платі з відповідною напругою та до портів, через які здійснюється обмін даними. Згідно з вимогами, димер та датчик руху підключено до напруги 5 В, а датчик освітленості – 3.3 В. Схему з'єднання елементів подано на рисунку 3.17.

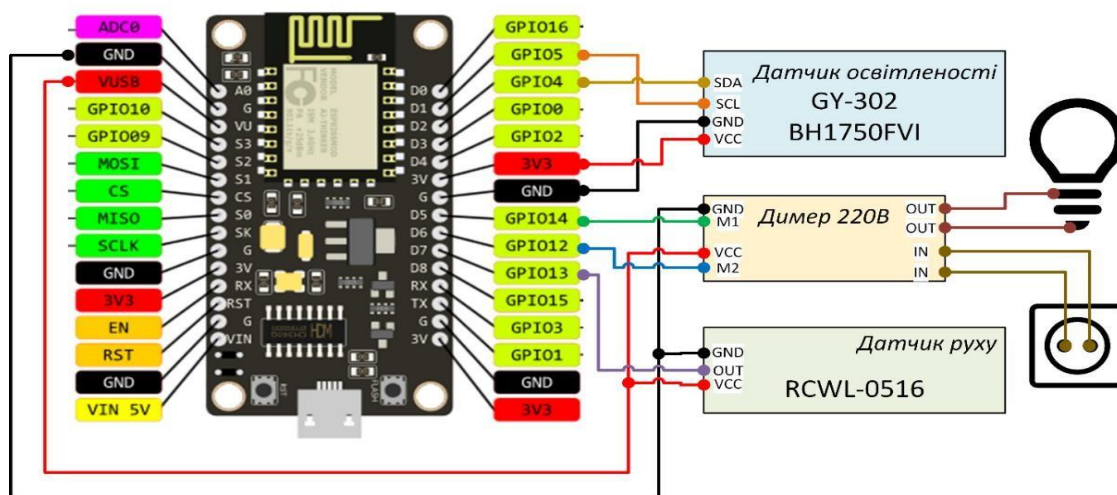


Рисунок 3.7 – Схема з'єднання елементів системи керування освітленням

На рисунку 3.8 відображено схему керування лампочкою на основі контролера.

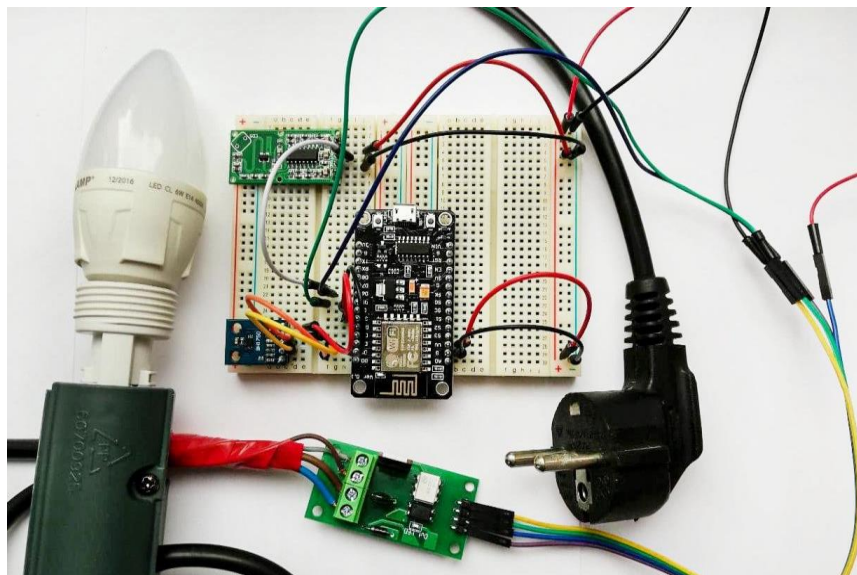


Рисунок 3.8 – Апаратна частина системи керування освітленням

У наступному підрозділі опишемо програмно систему керування освітленням із зазначенням середовищ розробки.

3.4 Програмна реалізація системи

При виборі засобів розробки враховувалась доступність цих засобів, простота та швидкість розробки, зручність масштабування системи при потребі. Для реалізації апаратної частини проекту обрано плату NodeMCU v3, програмне забезпечення для якої можна розробляти мовою програмування Lua, або C++, модифікованою для Arduino з використанням середовища розробки Arduino IDE. [12, 13]. У середовищі розробки встановлено спеціальні модулі розширення, що здійснюють компіляцію та завантаження коду для мікроконтролерів з чипом ESP8266.

Для розробки сервера обрано мову програмування Java 11 та фреймворк Spring Boot 2.5.0. Для збереження даних датчиків та користувачів використано реляційну базу даних MySQL 8.0. Розробка програмного забезпечення сервера здійснювалася у середовищі розробки IntelliJ IDEA Ultimate Edition.

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк. 45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для розробки клієнтської частини веб-сервісу використано фреймворк Bootstrap 4. 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 обрано засіб графічного програмування Node-RED, у якому можна переглядати отримані з обох сторін повідомлення та надсилати власні для тестування обробки повідомлень контролером та сервером.

Для успішного обміну повідомленнями між сервером та контролером необхідно, щоб існував спільний стандарт цих повідомлень, якого буде дотримано. Теми протоколу MQTT є ієрархічними, що дозволяє легко розмежовувати повідомлення за категоріями та підписуватися на теми, що відповідають певному приміщенню, зоні, поверху тощо.

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.

Для тестування та налагодження обміну даними між сервером та платою, а також для емуляції роботи датчиків та сервера використано середовище графічного програмування Node-RED.

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

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- «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 освітлення 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» – розробка запланованих задач – зміна поточного періоду, встановлення колірної температури за розкладом, створення та видалення задач.

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.

Передбачається, що може виникнути ситуація вимкнення живлення плати, тому при підключенні плати до локальної мережі, вона надсилає свої дані на сервер зі статусом “INIT” та у відповідь отримує актуальні налаштування від сервера, що відображено на рисунку 3.9.

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;
- увімкнення та вимкнення світильників;
- надсилання даних з датчиків та пристроїв через сервер на MQTT у випадку виявлення руху або його завершення, увімкнення та вимкнення

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

світильників, завершення періоду очікування для надсилання наступного повідомлення.

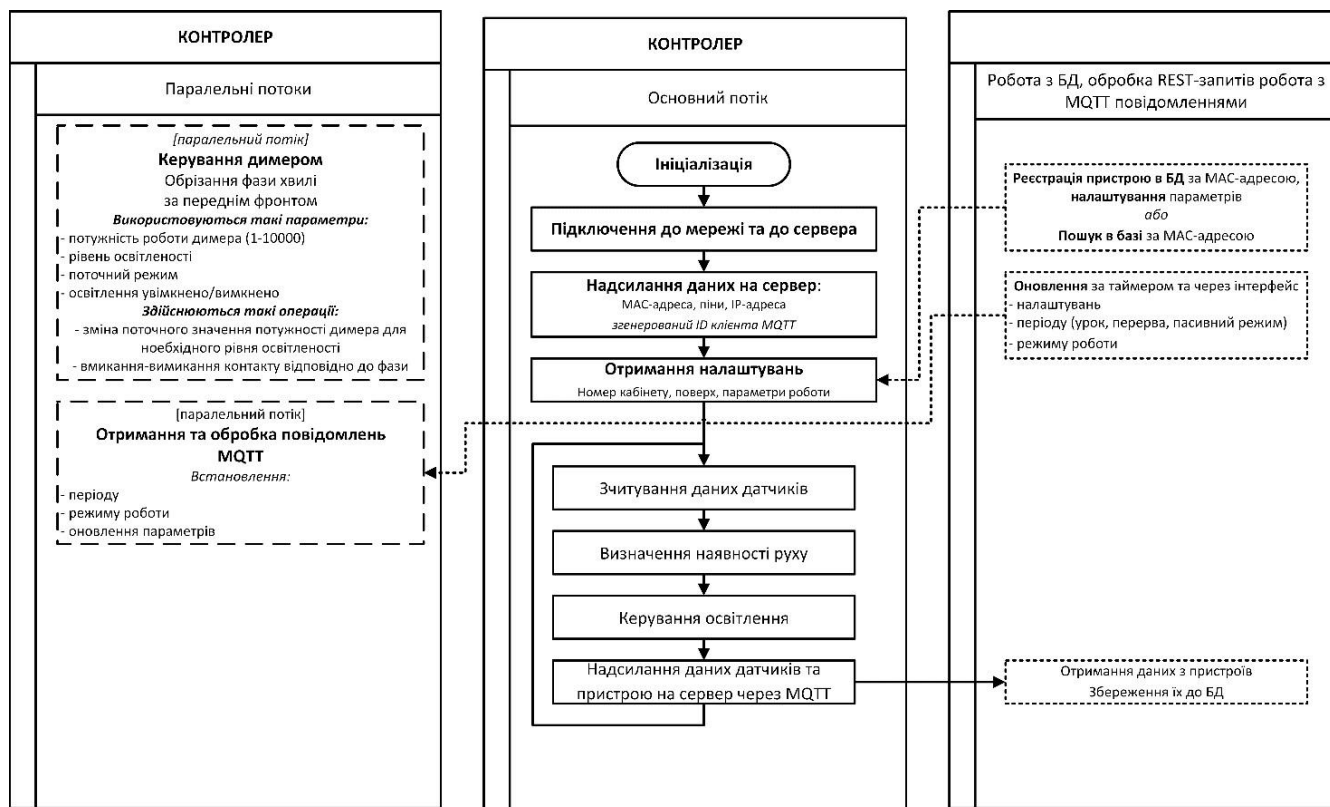


Рисунок 3.9 – Узагальнений алгоритм роботи контролера

При регулюванні яскравості світла вказується не конкретне цільове значення освітленості, якого потрібно досягти та дотримуватися, а допустимий діапазон, адже рівень природньої освітленості не є стабільним та через рух хмар може часто змінюватися. Межами допустимого діапазону є $\text{minLux} + \text{deltaLux} / 10$ (нижня межа) та $\text{minLux} + \text{deltaLux}$ (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.

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

Основні функції сервера – це отримання даних з зовнішніх джерел, які потребують обробки, збереження у базі даних, взаємодії з мікроконтролером та

надання користувачу інтерфейсу. Для швидкої та зручної розробки системи 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.

Загалом можна виокремити такі елементи структури проекту:

- model (модель) – найголовніша частина проекту, у якій створюються та визначаються необхідні сутності, будуються зв'язки;
- 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 й виконує необхідні операції, використовуючи рівень сервісів;
- view (відображення) – рівень, на якому формуються сторінки інтерфейсу веб-сервісу.

У результаті проектування отримано діаграму класів, яку представлено на рисунку 3.10. Окрім наведених на діаграмі, побудовано 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.

ER-діаграму бази даних, що відповідає класам рівня моделей зображено на рисунку 3.11. Центральним елементом структури є таблиця Rooms, що описує приміщення навчального закладу. У ній зберігаються характеристики аудиторій і службових приміщень, зокрема назва, поверх, призначення, температурні параметри та MQTT-ідентифікатор для мережевої взаємодії. Саме до приміщень прив'язуються інші компоненти системи, включаючи зони освітлення, мікроконтролери та користувачів.

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

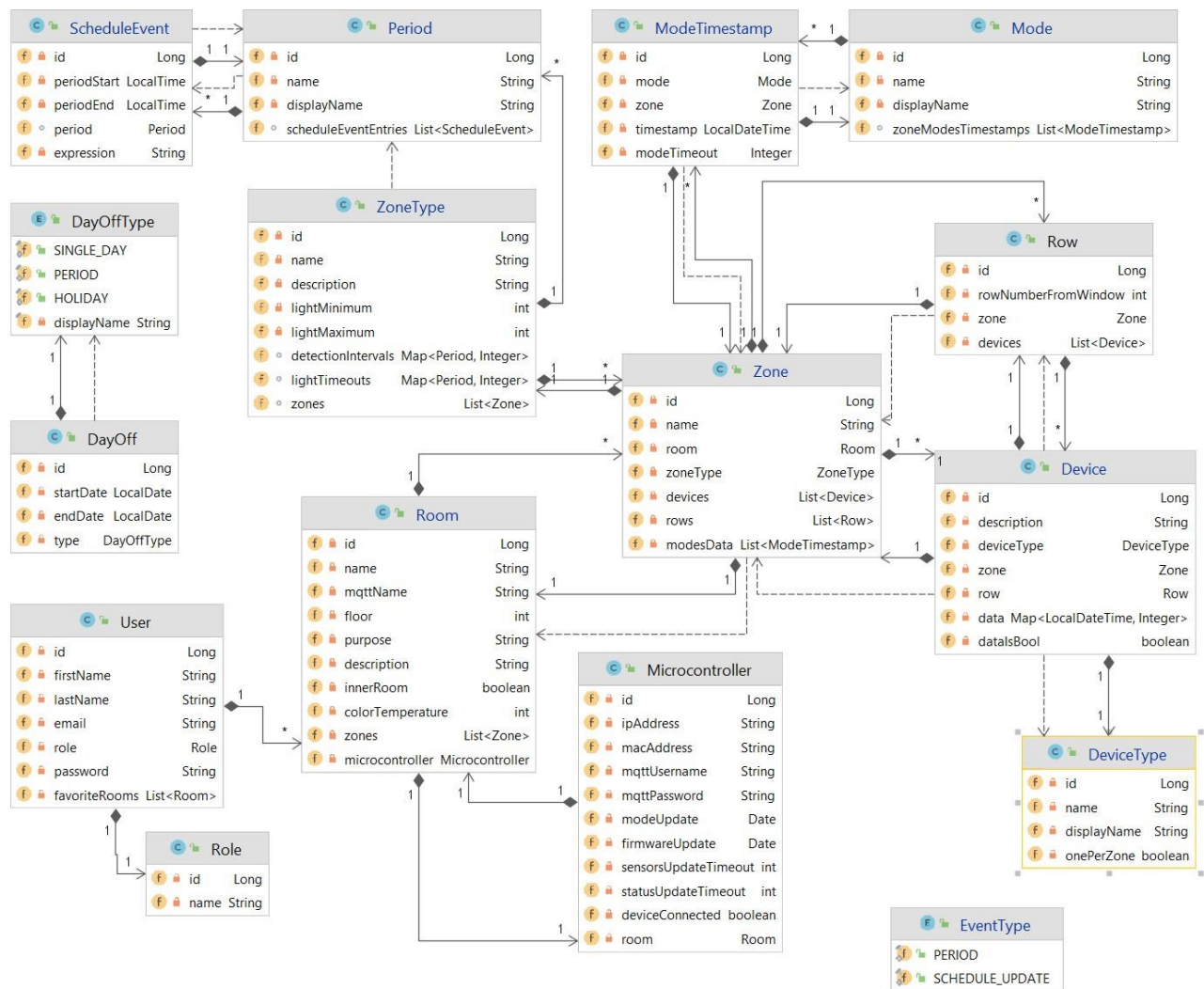


Рисунок 3.10 – Діаграма класів рівня моделей серверного забезпечення системи освітлення

Для деталізації структури освітлення використовується таблиця *Zones*, яка поділяє приміщення на окремі функціональні зони. Такий підхід дозволяє реалізувати локальне керування освітленням залежно від рівня природного освітлення, розташування робочих місць або інтенсивності використання певної частини приміщення. Наявність зв'язку із таблицею *Zone_types* забезпечує можливість застосування різних режимів роботи для окремих типів зон.

В таблиці Devices описуються всі пристрої інтернету речей, підключені до системи. Для кожного пристрою зберігається інформація про його тип, належність до певної зони або ряду освітлення, а також характеристика типу

даних. Використання таблиці Bevice_types дозволяє класифікувати пристрої за функціональним призначенням.

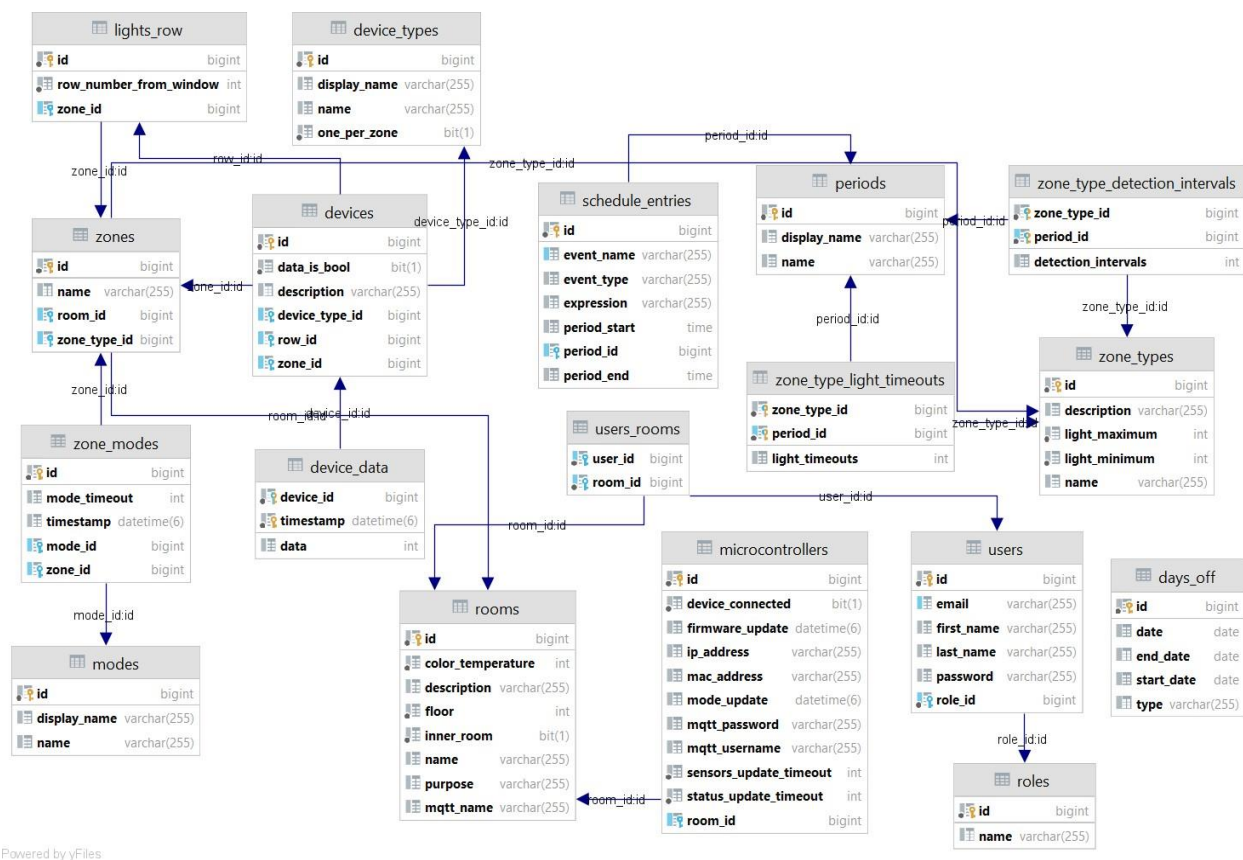


Рисунок 3.11 – ER-діаграма бази даних системи освітлення

Таблиця Microcontrollers містить параметри мережевих контролерів, що забезпечують взаємодію між фізичними пристроями та серверною частиною системи. У таблиці зберігаються IP-адреси, MAC-адреси, MQTT-облікові дані, а також параметри оновлення стану сенсорів. Це свідчить про використання технології MQTT для реалізації IoT-взаємодії між компонентами системи.

Для виконання запитів до бази даних, зберігання, оновлення та видалення записів спроектовано інтерфейси для рівня репозиторію, які успадковують базовий інтерфейс IRepository. Екранну форму вікна інтерфейсу наведено на рисунку 3.12.

Тип зони

Тип зони

Назва

Стандартна навчальна

Мінімальний рівень освітленості

300

Максимальний рівень освітленості

600

Опис

Заняття з підручниками та зошитами

Налаштування інтервалів часу для режимів роботи

	Урок	Перерва	Пасивний режим
Очікування руху	240	120	90
Робота світильників	480	240	120

Зберегти Скасувати Видалити

Рисунок 3.12 – Екранна форма вікна розробки та оновлення типів зон приміщень

Для обробки помилок розроблено 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.

Для доступу до сутностей системи через налаштування розроблено сторінки зі списками сутностей, де можна побачити їх повний перелік та перейти на відповідні форми (див. рисунок 3.13).

БАЛ "Гармонія"

Навігація

- Поверхи →
- Налаштування
- Приміщення →
- Пристрої →
- Розклад →
- Попередні налаштування →

Знайдіть тут потрібне приміщення

Зони навчальних класів

Типи зон, на які поділяються навчальні класи

№	Тип	Мін Лк	Мак Лк	Опис	
1	Стандартна навчальна	300	600	Заняття з підручниками та зошитами	Детальніше
2	Учительська	300	600	Частини класів, призначені для роботи вчителів	Детальніше
3	Комп'ютери	300	500	Частина класу для роботи з ПК	Детальніше

Новий тип

Рисунок 3.13 – Екранна форма сторінки керування освітленням навчального класу

Існують сталі параметри, які не змінюються адміністраторами системи, зокрема, режими роботи, типи періодів та типи кінцевих пристроїв. Для таких сутностей не створено форм, однак розроблено сторінки зі списками значень цих параметрів (див. рисунок 3.14).

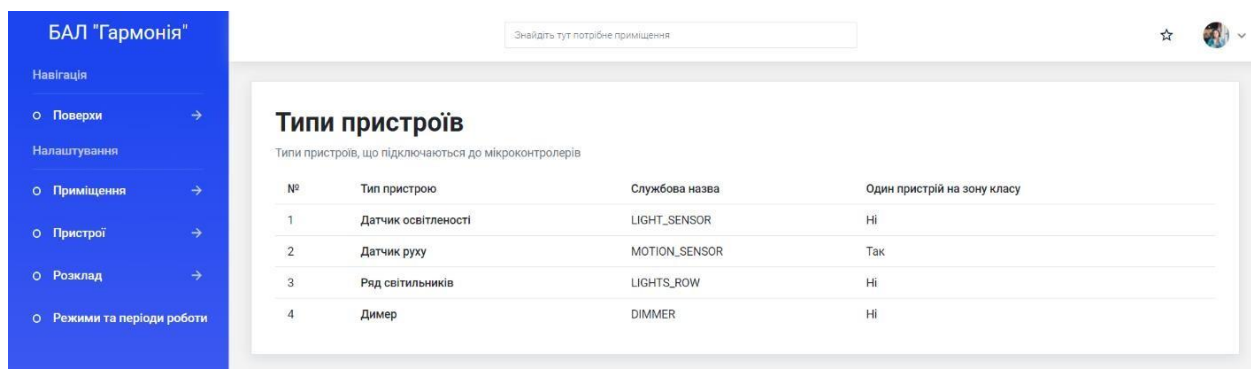


Рисунок 3.14 – Екранна форма вікна списку пристроїв

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.

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 (див. рисунок 3.15).

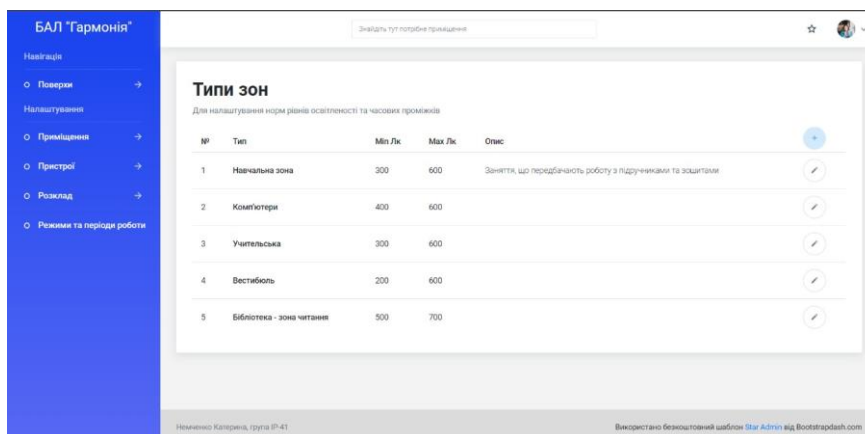


Рисунок 3.15 – Екранна форма вікна типів зон

При створенні приміщення у відповідній формі вказуються: 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 (див. рисунок 3.16).

Рисунок 3.16 – Екранна форма вікна для опису приміщення

Також сторінці приміщення відображено статус підключення сервера до мікроконтролера, встановленого у приміщенні – сутність мікроконтролера не прив’язано до приміщення, сутність мікроконтролера зв’язана з приміщенням, але не підключена до самого контролера, між платою та системою встановлено зв’язок. Цей статус видно у правому верхньому куті сторінки (див. рисунок 3.17).

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 (див. рисунок 3.18).

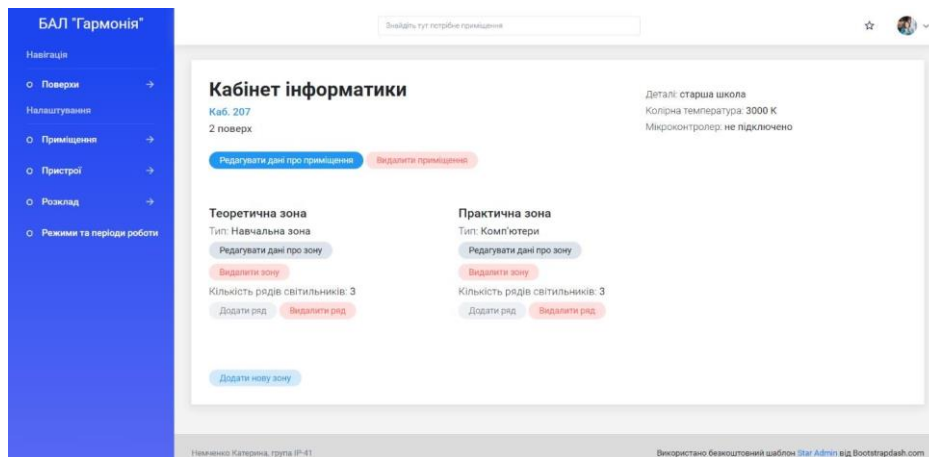


Рисунок 3.17 – Екранна форма вікна налаштування приміщення

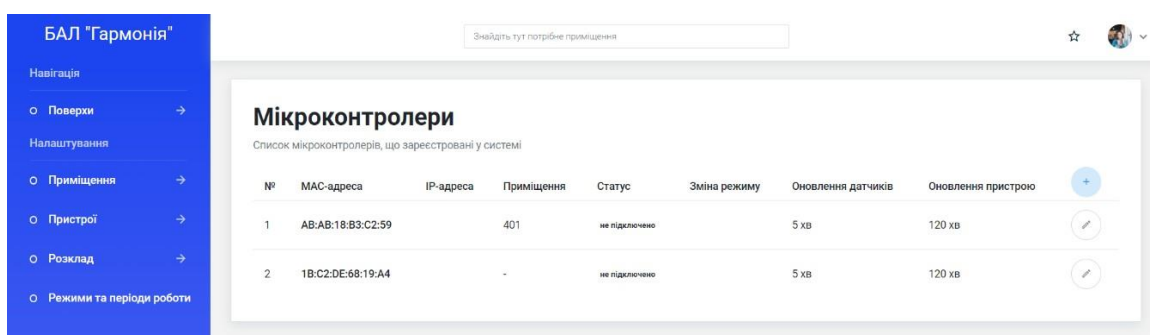


Рисунок 3.18. – Екранна форма вікна переліку мікроконтролерів, зареєстрованих у системі

Розклад періодів, містить дані про початок та кінець уроків, перерв та пасивних періодів. Сформовані вирази, використовуються контролерами, для послідовної зміни періодів роботи (див. рисунок 3.19).

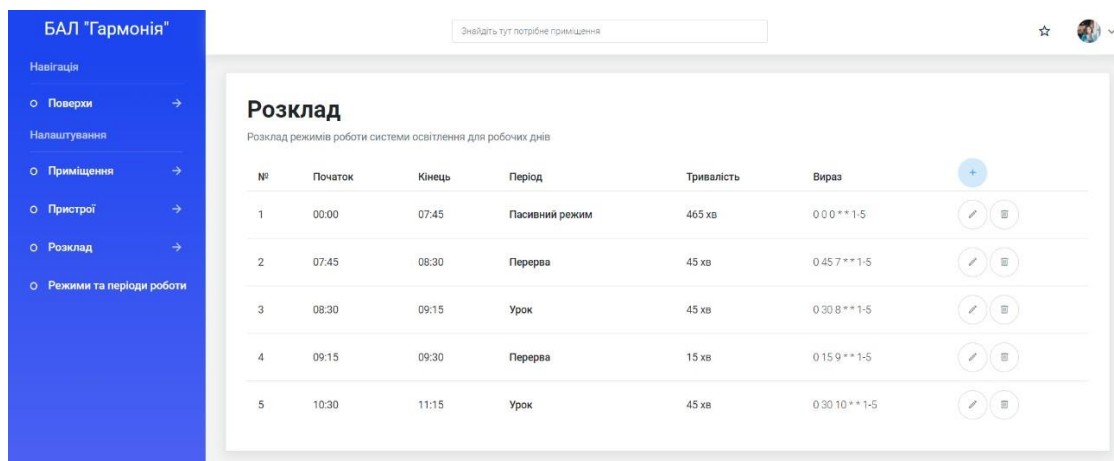


Рисунок 3.19 – Екранна форма розкладу

Також спроектовано розділ, де вказують вихідні дні та канікули. Тоді контролер весь час працює у пасивному режимі. 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. На відповідній сторінці користувач може встановлювати колірну температуру для всього приміщення, обирати режими роботи для зон та налаштовувати роботу рядів світильників, що продемонстровано на рисунку 3.20.

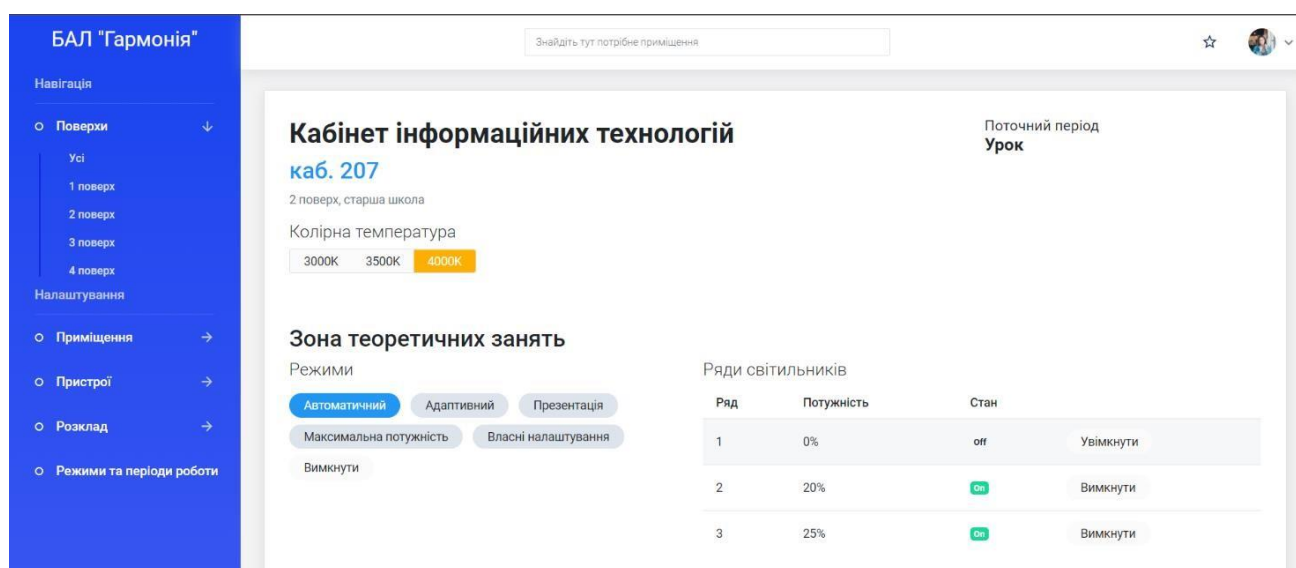


Рисунок 3.20 – Екранна форма сторінки керування освітленням приміщення

Зважаючи на вищезазначені результати, розроблена система керування освітленням будівлі навчального закладу на основі технологій інтернету речей містить механізми зміни яскравості світильників, їх колірної температури та режимів роботи залежно від налаштувань користувача, розкладу роботи та даних з датчиків. Така система уможливорює економію електроенергії та забезпечує комфортні умови для учасників навчального процесу. Техніко-економічне обґрунтування розробки системи керування освітленням на основі технологій інтернету речей наведено у додатку Г.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра розроблено програмно-апаратну складову адаптивної іот-системи енергоефективного освітлення навчального закладу. При цьому отримано практичні результати, які варто сформулювати у вигляді висновків.

1. Проаналізовано особливості роботи навчального закладу як об'єкта автоматизації, зокрема структуру приміщень, режими їх використання та специфіку експлуатації систем освітлення й встановлено, що нерівномірне використання аудиторій, коридорів і службових приміщень призводить до нераціонального використання електроенергії при застосуванні традиційних систем керування освітленням.

2. Проаналізовано існуючі системи освітлення для навчальних закладів та сучасні підходи до автоматизації керування освітлювальними мережами й обґрунтовано доцільність використання концепції інтернету речей для підвищення енергоефективності будівлі.

3. Досліджено технологій інтернету речей, які забезпечують можливість централізованого моніторингу, автоматизованого керування освітленням та віддаленого доступу до компонентів системи, що уможливило отримати основу для побудови масштабованої та гнучкої ІоТ-архітектури.

4. Розроблено архітектуру системи керування освітленням, що передбачає інтеграцію сенсорів освітленості та руху, мікроконтролерів, мережових засобів передачі даних і серверної частини в єдину систему.

5. Розроблено алгоритм керування освітленням будівлі навчального закладу залежно від умов навколишнього середовища, режиму роботи приміщення та присутності користувачів, що дозволило підвищити рівень адаптивності системи та забезпечити раціональне використання електроенергії.

6. Проведено програмно-апаратну реалізацію системи керування освітленням, що дало змогу отримати фізичну модель системи, здатну

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечувати збір даних, їх опрацювання, передавання та керування освітлювальними пристроями в режимі реального часу.

7. Здійснено техніко-економічне обґрунтування розробки проєкту на основі оцінювання витрат на впровадження системи та аналізу очікуваного скорочення енергоспоживання встановлено економічну доцільність використання запропонованої системи.

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Al-Fuqaha A., Guizani M., Mohammadi M., Aledhari M., Ayyash M. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2015. Vol. 17, № 4. P. 2347-2376.
2. Arduino PID Library – Brightness Control. веб-сайт. URL: <https://www.instructables.com/Arduino-PID-Library-Luminosity-Control/> (дата звернення 20.04.2026).
3. ArduinoJson. веб-сайт. URL: <https://arduinojson.org/> (дата звернення 10.03.2026).
4. Ashton K. That ‘Internet of Things’ Thing // RFID Journal. 2009. № 22. P. 97-114.
5. Barkmann, Claus & Wessolowski, Nino & Schulte-Markwort, Michael. Applicability and efficacy of variable light in schools. Physiology & behavior. URL: doi: 10.1016/j.physbeh.2011.09.020.
6. Boyes H., Hallaq B., Cunningham J., Watson T. The Industrial Internet of Things (IIoT): An Analysis Framework // Computers in Industry. 2018. Vol. 101. P. 1-12.
7. 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-iiot-in-education> (дата звернення 20.02.2026).
8. Da Xu L., He W., Li S. Internet of Things in Industries: A Survey // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2014. Vol. 10, № 4. P. 2233-2243.
9. 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.
10. Gubbi J., Buyya R., Marusic S., Palaniswami M. Internet of Things (IoT): A Vision, Architectural Elements, and Future Directions // Future Generation Computer

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Systems. 2013. Vol. 29, № 7. P. 1645-1660.

11. Hwang J., Kim J., Jeong Y. Energy Efficient Smart Lighting System Using IoT Technology // International Journal of Smart Home. 2016. Vol. 10, № 3. P. 203-214.

12. Introduction. Bootstrap: веб-сайт. URL: <https://getbootstrap.com/docs/4.6/getting-started/introduction/> (дата звернення: 20.05.2021).

13. Libraries – Arduino Reference. Arduino: веб-сайт. URL: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/> (дата звернення 05.03.2026).

14. 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 14.05.2026).

15. MQTTand CoAP, IoT Protocols. Eclipse Foundation: веб-сайт. URL: https://www.eclipse.org/community/eclipse_newsletter/2014/february/article2.php (дата звернення: 15.04.2026).

16. Nemchenko K., Paliy S. 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.

17. NodeMCU – MQTT Basic Example. Instructables Circuits: веб-сайт. URL: <https://www.instructables.com/NodeMCU-MQTT-Basic-Example/> (дата звернення 15.04.2026).

18. Pătru I., Carabaş M., Bănică L. Smart Building Monitoring and Control Using IoT Technologies // Informatica Economica. 2019. Vol. 23, № 2. P. 46-55.

19. Perumal T., Sulaiman M., Leong C. Internet of Things (IoT) Enabled Smart Lighting Systems for Smart Cities // Proceedings of IEEE Symposium on Computer Applications and Industrial Electronics. 2015. P. 273-278.

20. 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: веб-сайт. URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph17041217> (дата звернення 20.03.2026).

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

21. Yoon Y., Kim Y. Smart Lighting System Using Sensor Networks and IoT Technology // Journal of Information Processing Systems. 2017. Vol. 13, № 5. P. 1377-1388.

22. Білоус Н. В., Скопа О. Ю. Системи автоматизованого керування освітленням будівель на основі технологій Інтернету речей // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2021. № 6. С. 145-150.

23. Василенко О. В. Енергоефективність будівель та сучасні технології енергозбереження : навчальний посібник. Київ : Кондор, 2020. 236 с.

24. Грицюк Ю. І., Бойко Б. В. Інтернет речей: технології, архітектура, перспективи розвитку // Науковий вісник НЛТУ України. 2020. Т. 30, № 2. С. 88-94.

25. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінрегіон України, 2018. 137 с.

26. Димер 220В для Arduino та ESP8266. Arduino.ua: веб-сайт. URL: <https://arduino.ua/prod2958-dimmer-220v-dlya-arduino> (дата звернення: 20.04.2026).

27. ДСанПіН 5.5.2.008-01. Державні санітарні правила і норми влаштування, утримання загальноосвітніх навчальних закладів та організації навчально-виховного процесу. Київ : МОЗ України, 2001. 54 с.

28. ДСТУ EN 12464-1:2016. Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Робочі місця у приміщеннях. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.

29. Жуков І. А., Стахів П. Г. Мікроконтролерні системи : навчальний посібник. Львів : Львівська політехніка, 2018. 316 с.

30. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» від 22.06.2017 № 2118-VIII.

31. Каплун В. В., Саченко А. О. Інформаційні системи та технології Інтернету речей : навчальний посібник. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 264 с.

32. Кравець П. О., Климюк Ю. В. Розумні системи керування освітленням у концепції Smart Building // Комп'ютерні системи та інформаційні технології.

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2022. № 4. С. 77-84.

33. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Економіка проєктів в комп'ютерній інженерії»/ Н.Я. Савка / Під ред. Л.О. Дубчак. Тернопіль: ЗУНУ, 2025. 33 с.

34. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи з освітнього ступеня “Бакалавр” спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» галузі знань 12 Інформаційні технології / О.М. Березький, Л.О.Дубчак, Г.М. Мельник, Ю.М. Батько, О.Й. Піцун / Під ред. Л.О.Дубчак. Тернопіль: ЗУНУ, 2026. 54 с.

35. 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. Київ : НУХТ. С. 258-259.

36. Олійник А. О., Субач І. Ю. Автоматизація систем освітлення в енергоефективних будівлях // Енергетика і автоматика. 2020. № 5. С. 98-105.

37. Освітлення у освітніх установах. 5WATT: веб-сайт. URL: <https://5watt.ua/uk/blog/statti/osvitlennya-u-osvitnikh-ustanovakh> (дата зверненн: 20.04.2026).

38. Савка Н. Я., Соломчак М.О., Горян В. Ю. Порівняльний аналіз методів оцінки вартості IT-проєктів // Матеріали XXVI Всеукраїнської науково – технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій». Одеса: ОНТУ, 2026. С. 201-203.

39. Саченко А. О., Каплун В. В. Технології Internet of Things у побудові розумних систем моніторингу // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2020. № 39. С. 112-118.

40. Федорченко О. В., Мірошник М. А. Аналіз енергоефективних технологій освітлення навчальних приміщень // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2021. № 59. С. 214-221.

41. Як вимірюється освітленість у приміщенні? 5WATT: веб-сайт. URL:

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

<https://5watt.ua/uk/blog/statti/yak-vimiryuyetsya-osvitlenist-u-primisshenni>
звернення 20.04.2026).

(дата

					КР.КІ.11148829.00.00.000.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		