

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**Островський Федір Віталійович**

УДК 698.22

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Обґрунтування параметрів системи адаптивного  
освітлення в офісному приміщенні**

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на  
відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Островський Ф. В.

Керівник роботи  
Ярош Я.Д  
професор

Житомир – 2024

## АНОТАЦІЯ

Островський Ф.В. Обґрунтування параметрів системи адаптивного освітлення в офісному приміщенні. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

Основна увага дослідження зосереджена навколо впровадження адаптивного керування внутрішнім освітленням. Основний акцент роботи зосереджено на розробці моделей, методів та інструментів для побудови комплексної системи адаптивного керування внутрішнім освітленням. Впровадження розробленої системи керування адаптивним освітленням у приміщеннях, робить можливим оптимізацію використання освітлювальних приладів саме тоді, коли вони потрібні, тим самим сприяючи підвищенню енергозбереження.

**Ключові слова:** адаптивне освітлення, датчик освітленості, датчик руху, світильник, приміщення.

## ABSTRACT

Ostrovsky F. Justification of the parameters of the adaptive lighting system in the office premises. Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics - Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

The main focus of the study is on the implementation of adaptive control of interior lighting. The main emphasis of the work is focused on the development of models, methods and tools for building a complex system of adaptive control of indoor lighting. The introduction of a carefully designed adaptive lighting control system in the premises makes it possible to optimize the use of lighting devices exactly when they are needed, thereby contributing to increased energy savings.

**Keywords:** adaptive lighting, light sensor, motion sensor, lamp, room.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ ПРИМІЩЕНЬ.....	7
1.1. Системи автоматичного керування освітленням приміщень.....	7
1.2. Компоненти системи адаптивного керування освітленням .....	10
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО ОСВІТЛЕННЯ В ОФІСНОМУ ПРИМІЩЕНІ.....	14
2.1. Розрахунок основних світлотехнічних параметрів приміщення .....	14
2.2. Вибір типів світильників в офісному приміщенні.....	23
2.3. Вибір датчиків освітленості та присутності .....	27
2.4. Рівні керування адаптивним освітленням .....	30
2.5. Структурна схема системи адаптивного керування освітлення .....	31
РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО ОСВІТЛЕННЯ В ОФІСНОМУ ПРИМІЩЕННІ .....	34
3.1. Розрахунок капітальних затрат.....	34
3.2. Розрахунок експлуатаційних витрат .....	36
3.3. Розрахунок терміну окупності розробленої системи .....	38
3.4. Напрямки зростання енергоефективності штучного освітлення .....	39
ВИСНОВКИ .....	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	43
ДОДАТКИ	

## ВСТУП

**Актуальність теми та аналіз останніх досліджень.** У сучасному суспільстві, де технологічний прогрес стрімко прогресує, оптимізація та вдосконалення освітлення приміщень є вирішальними для забезпечення комфорту, безпеки та ефективності. Особливо інноваційним і актуальним напрямком у цьому відношенні є впровадження адаптивних методів і інструментів керування внутрішнім освітленням. Ця технологічна концепція не тільки зосереджена на ефективному використанні енергії, але й пропонує широкі можливості для створення оптимальних умов для життя та роботи.

Питання параметрів освітлення у приміщеннях розглядали вітчизняні науковці: О.Ю. С. Бікс, О.В. Бурбан, М.М. Поліщук, В.М. Мамалига, К.Я. Бортник, С.В. Гринюк, М.М. Поліщук, В.В. Шульгат, К.О. Павлусенко, П.Г. Бодавський, Т.М. Локтікова, Т.Г. Бабіна, Т.В. Малай, А.А. Кашканов, К.А. Паршенко, Ю.І. Лисогор, Н.О. Кушнір, Б.М. Злотенко, О.Г. Ратушняк, Т.Г. Петренко, В.І. Терешкович, Ю.С. Соколан, Д.В. Стаценко та інші..

**Метою дослідження** є обґрунтування параметрів системи адаптивного освітлення в офісному приміщенні. Для досягнення бажаної мети слід виконати наступні **завдання**:

- розглянути системи автоматичного керування освітленням приміщень;
- вивчити компоненти системи адаптивного керування освітленням;
- провести розрахунок основних світлотехнічних параметрів приміщення;
- обґрунтувати вибір типів світильників в офісному приміщенні;
- обґрунтувати вибір датчиків освітленості та присутності;
- навести рівні керування адаптивним освітленням;

- розробити структурну схему системи адаптивного керування освітлення;
- провести розрахунок ефективності проекту;
- зазначити напрямки зростання енергоефективності штучного освітлення;

**Об'єктом дослідження** є система адаптивного керування внутрішнім освітленням. **Предметом дослідження** є процес розробки моделей, методів та інструментів для побудови комплексної системи адаптивного керування внутрішнім освітленням.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених завдань були застосовані різні методи дослідження. У теоретичній частині кваліфікаційної роботи було використано аналітичний підхід, який передбачав вивчення існуючих рішень для розробки адаптивних систем керування освітленням. При написанні другого розділу використано метод проектування. Другий розділ присвячений обґрунтуванню вибору обладнання крім того, процес передбачав розробку комплексної схеми компонентів та їх взаємозв'язків. В третьому розділі проведено економічне обґрунтування проекту використано економіко-статистичний метод.

**Наукова новизна.** Результати дослідження охоплюють створення високоефективних алгоритмів, які враховують безліч змінних, включаючи природне освітлення, діяльність людини, час доби тощо. Ці алгоритми розроблені для максимального підвищення енергоефективності та створення приємної атмосфери освітлення в будь-якому просторі.

**Практичне значення отриманих результатів.** Впровадження розробленої системи керування адаптивним освітленням у приміщеннях, дає можливість оптимізувати використання освітлювальних приладів саме тоді, коли вони потрібні, тим самим сприяючи підвищенню енергозбереження.

**Перелік публікацій автора за темою дослідження.** Авторські тези відображають основні положення кваліфікаційної роботи, акцентуючи увагу на наступних темах:

1. Зондування зайнятості як метод керування освітленням;
2. Напрямки зростання енергоефективності штучного освітлення.

**Структура та обсяг кваліфікаційної роботи.** Структура роботи включає різні складові, а саме пояснювальну записку, графічні елементи та презентаційні матеріали. Пояснювальна записка складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку літератури та додатків.

## РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ ПРИМІЩЕНЬ

### 1.1. Системи автоматичного керування освітленням приміщень

Керування освітленням великих приміщень є досить складним завданням автоматизації, особливо у випадках, коли необхідно враховувати різні фактори – наявність жалюзі, різні типи світильників, особливості архітектури будівель, географічне положення, погодні умови, сезонність, тощо. Системи адаптивного освітлення можуть забезпечити економію енергії, зменшуючи використання штучного освітлення в денні години та в приміщеннях, де зафіксовано відсутність користувачів [5].

Окремою задачею є інтеграція природного та штучного освітлення в автоматизовану систему. Природне освітлення є нестабільним навіть у фіксованій точці, інтенсивність сонячного світла змінюється протягом часу доби, зміни погоди, пори року тощо. Для забезпечення інтеграції необхідно здійснити моніторинг інтенсивності денного світла, а потім визначити відповідні штучного освітлення, виходячи з умов рівномірності освітлення та уникнення занадто яскравого світла (або відблисків). Отже, система керування освітленням містить два взаємодіючих модулі: модуль контролю денного світла та модуль штучного освітлення. Цілі цих двох модулів різні. Поєднання цих модулів дозволить забезпечити комфортні умови перебування та зменшення витрат електроенергії. Автоматизація та збалансування системи керування освітленням працює таким чином, щоб рівномірне та стабільне освітлення підтримувалося в робочих місцях, тоді як споживання енергії було якомога меншим.

Економія електричної енергії забезпечується завдяки автоматизації керування. Налагоджена інтелектуальна система керування освітленням може бути більш ефективною, ніж та, яка спирається виключно на прийняті

людиною рішення. Але для того, щоб система керування освітлення могла приймати автономні рішення щодо світлового випромінювання та режимів роботи, вона повинна бути забезпечена необхідними даними, на підставі яких такі рішення можуть прийматися. Основною інформацією для системи прийняття рішень є сигнали від датчиків. Мережа розумних лампочок, керована датчиками, здатна відстежувати зміни в навколишньому середовищі та інтерпретувати ці зміни, щоб динамічно регулювати режими роботи для забезпечення комфортності та енергоефективності, а також економії вартісних витрат. Розглянемо методи адаптивного керування освітленням, що будуть використані в даній роботі [8].

Системи адаптивного освітлення можна класифікувати на дві різновиди: системи місцевого та загального освітлення. Місцеве освітлення використовується для робочих зон і приміщень, призначених для неї, напр. місця, які потребують більшого освітлення. Ці типи систем зазвичай прості, оскільки для них потрібне лише одне або декілька джерел світла. Створення та встановлення системи локального адаптивного освітлення є серйозною справою в разі частого використання робочого місця. Цей тип системи може бути побудований з датчиком світла (або присутності) і компонентом обробки даних (див. рис. 1.1) [14].



Рис. 1.1. Структурна схема локальної системи керування освітленням

Джерело: [14]

Зв'язок між компонентами системи має бути забезпечений за допомогою дротового з'єднання. Цей зв'язок можна здійснити за допомогою протоколу RS-485 або кабелю UTP5. Оскільки компоненти цієї системи розташовані поруч один з одним, це з'єднання матиме більш високу швидкість і меншу кількість помилок при передачі сигналів. Недоліком цього



з'єднання є механічні аспекти процесу, пов'язані з розміщенням проводів під час монтажу [14].

Система адаптивного управління освітленням більш обширна, ніж система локального освітлення, охоплює більшу площу, ніж саме приміщення. Загальне освітлення використовується в житлових, навчальних, робочих та офісних приміщеннях, серед інших місць [5].

Адаптивне керування освітленням є обов'язковим для економії електроенергії. Цей тип системи матиме датчики освітлення та датчики присутності, мережевий компонент, контролер, який обробляє інформацію від датчиків і визначає, активувати чи ні освітлення, а також виконавчий компонент (див. рис. 1.2). Для більшого контролю система може включати сервер, який відображає статус кожного пристрою, і можна вносити певні зміни в процедуру системи..



Рис. 1.2. Структурна схема системи керування освітленням

Джерело: [12]

Кількість компонентів системи залежить від кількості джерел світла. Крім того, ця система може бути побудована з іншою топологією; наприклад, зірка. Однак централізація системи може підвищити ймовірність помилок під час передачі сигналів через бездротові технології.

Бездротові технології забезпечують надзвичайну гнучкість і щодо обслуговування системи адаптивного освітлення. З метою підвищення ефективності роботи, пристосування до потреб власників, особливостей користування мешканців, змін структури та нормативних регламентів, у систему протягом користування може і повинні вноситися зміни шляхом ручного налаштування. Побажаннями з боку користувачів може бути рівень освітленості або проміжок часу між моментом фіксації руху та перемиканням або затемненням світла [3].

У розумній системі освітлення їх можна змінити за пару секунд лише за допомогою програми для смартфона. Зондування зайнятості можна поєднувати з іншими стратегіями керування освітленням, щоб підвищити ефективність та знизити витрати. Використання датчиків навколишнього освітлення забезпечує додаткове вдосконалення керування освітленням завдяки налаштування потужності штучного освітлення під поточний рівень. Розглянемо існуючі технічні рішення щодо систем інтелектуального адаптивного керування освітленням.

## **1.2. Компоненти системи адаптивного керування освітленням**

До провідного з'єднання відноситься стандарт RS-485 – це стандарт передачі даних двопровідним напівдуплексним багатоточковим послідовним каналом зв'язку за допомогою витої пари. Властивості диференціальних сигналів забезпечують високу стійкість до шуму та можливості на великі відстані. Мережа 485 може бути налаштована двома способами, "двопровідним" або "чотирипровідним". У "двопровідній" мережі передавач і приймач кожного пристрою з'єднані в кручену пару. "Чотирипровідні" мережі мають один головний порт з передавачем, підключеним до кожного з "ведених" приймачів на одній крученій парі. Всі "підлеглі" передавачі підключені до приймача "ведучого" на другій крученій парі. У будь-якій конфігурації пристрої можуть бути адресованими, що дозволяє комунікувати

кожен вузол самостійно. Тільки один пристрій може одночасно керувати лінією, тому драйвери повинні бути переведені в режим високого імпедансу (три стани), коли вони не використовуються [23]. Також дротове з'єднання може бути встановлене за допомогою кабелю UTP 5.

До переваг дротового з'єднання можна віднести захищеність від шумів, завадостійкість, порівняно меншу кількість помилок при передачі сигналу, більшу швидкість передачі, стабільність та безпеку роботи. Недоліком є те що 52 дротове з'єднання не ефективно при передачі сигналу на відстані, так як через внутрішній опір кабелю сигнал буде частково втрачатися.

Бездротове (безпроводне) з'єднання в системах адаптивного контролю можна організувати за допомогою радіозв'язку або Wi-Fi. В більшості випадків один тип з'єднання не може забезпечити зв'язок між всіма компонентами системи, тому найкращим рішенням буде комбінування радіо- та Wi-Fi.

Для встановлення радіозв'язку між модулями системи найкраще підходить радіо модуль nRF24L01 або його аналоги. nRF24L01 – це одночиповий радіоприймач для всесвітнього діапазону ISM 2,4 - 2,5 ГГц. Трансивер складається з повністю інтегрованого синтезатора частоти, підсилювача потужності, кристалічного генератора, демодулятора, модулятора та вдосконаленого механізму протоколу ShockBurst. Вихідна потужність, частотні канали та налаштування протоколу легко програмується через інтерфейс SPI. Споживання струму дуже низьке, лише 9,0 мА при вихідній потужності -6 дБм і 12,3 мА в режимі RX. Вбудовані режими відключення та очікування дозволяють легко реалізувати економію енергії. За допомогою такого радіоприймача можна створити радіомережу будь-якої архітектури (шина, зірка, mesh).

Wi-Fi також може бути використаний для зв'язку між датчиками та виконавчими модулями та модулем керування (наприклад Raspberry Pi). Це буде архітектура "зірка" з центральним контролером в центрі датчики та виконавчі модулі - промені зірки. Wi-Fi також, можна використовувати для

зв'язку з Інтернет. Якщо в системі непередбачений модуль керування, то датчики та виконавчі модулі безпосередньо під'єднуються до сервера в Інтернеті (через Wi-Fi роутер). Це також зірка, але в центрі вже буде сервер в Інтернеті. Також можливий варіант коли модуль керування може використовувати Wi-Fi для під'єднання до Інтернету та серверу в Інтернеті.

Основною перевагою використання бездротового з'єднання є простота підключення та монтажу компонентів системи, так як вони можуть бути встановлені на відстані один від одного і підтримувати зв'язок без втрати сигналу через опір дроту. На сьогоднішній день є багато способів організації адаптивного освітлення за допомогою готових плат керування, таких як: Arduino, Raspberry Pi, NooLite, та інші. Ці плати дають змогу як пультового, так і дистанційного керування освітленням за допомогою додаткових виконавчих модулів різних типів.

Arduino – це електронна платформа з відкритим кодом, яка заснована на простому у використанні апаратному та програмному забезпеченні [10]. Плати Arduino здатні оперувати з сигналами від датчиків освітлення, натискання клавіш та реагувати на повідомлення в соціальній мережі Twitter. Реакцією системи може бути запуск двигуна, ввімкнення світлодіодів та інших виконавчих пристроїв. Для цього потрібно організувати логіку роботи у вигляді набору інструкцій мікроконтролеру. Такі команди та інструкції задаються за допомогою мови програмування Arduino (на основі підключення) та програмного забезпечення Arduino IDE, заснованого на обробці даних. Завдяки простому та доступному для користувачів інтерфейсу, Arduino набуває все більшої популярності не лише для любительських, але й професійних застосувань та додатків. Програмне забезпечення Arduino є простим у використанні та опануванні початківцями, але при цьому досить гнучким та функціональним для досвідчених користувачів. Програма адаптована для різних операційних систем - Mac, Windows, Linux. Широкого застосування стенди на базі Arduino набули у навчального процесі закладів освіти – викладачі та студенти використовують

його для побудови недорогих наукових інструментів, інженерних та дослідницьких проєктів в галузі програмування та робототехніки [20].

Raspberry Pi – це одноплатний комп'ютер невеликого розміру (як кредитна картка), який має інтерфейси підключення до дисплею (монітору комп'ютера або телевізора), стандартної клавіатуру та миші. Це багатофункціональний та достатньо потужний пристрій, який дозволяє реалізувати різноманітні обчислення. Програмування Raspberry Pi здійснюється на таких мовах, як Scratch та Python. Функціональність цього пристрою сумірна з функціональністю звичайного персонального комп'ютера, включаючи перегляд, редагування та відображення електронних документів, Інтернет-ресурсів, відтворення відео високої чіткості, тощо. Raspberry Pi широко використовується в проєктах автоматизації різного призначення, починаючи від музичних машин, закінчуючи метеостанціями з інфрачервоними камерами [19].

Система радіокерування NooLite – це технологія «розумного приміщення» за доступною ціною. Система радіокерування NooLite складається з пультів радіозв'язку NooLite та радіо перемикачів NooLite (блоків живлення). Використання такої системи не потребує прокладання електричних кабелів: панель керування NooLite можна розмістити на будь-якій поверхні, яка не перешкоджає сигналу. Головною зручністю використання системи керування радіо NooLite є можливість керувати освітленням з будь-якого місця. Існує можливість встановити стільки консолей керування NooLite, скільки потрібно і де завгодно. Система радіоконтролю NooLite є альтернативою прохідним вимикачам. Пульти дистанційного керування (передавачі) також працюють бездротово [28].

Отже, існує декілька варіантів організації зв'язку між компонентами системи адаптивного керування освітленням, ці варіанти можна умовно розділити на 2 типи: дротове та бездротове з'єднання. Кожен тип з'єднання має свої переваги та недоліки, тому вибір з'єднання залежить від типу та призначення системи.

## РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО ОСВІТЛЕННЯ В ОФІСНОМУ ПРИМІЩЕНІ

### 2.1. Розрахунок основних світлотехнічних параметрів приміщення

Було встановлено, що найоптимальнішим типом ламп і, водночас, найефективнішими буде саме вибір для реалізації нашої системи освітлення світлодіодних (LED) ламп, тому використовуючи вихідні данні у вигляді плану офісного приміщення зображено на рис. 2.1 проведемо розрахунок необхідної кількості світильників LED-світильників та виберемо їх тип для кожного їх приміщень офісу.

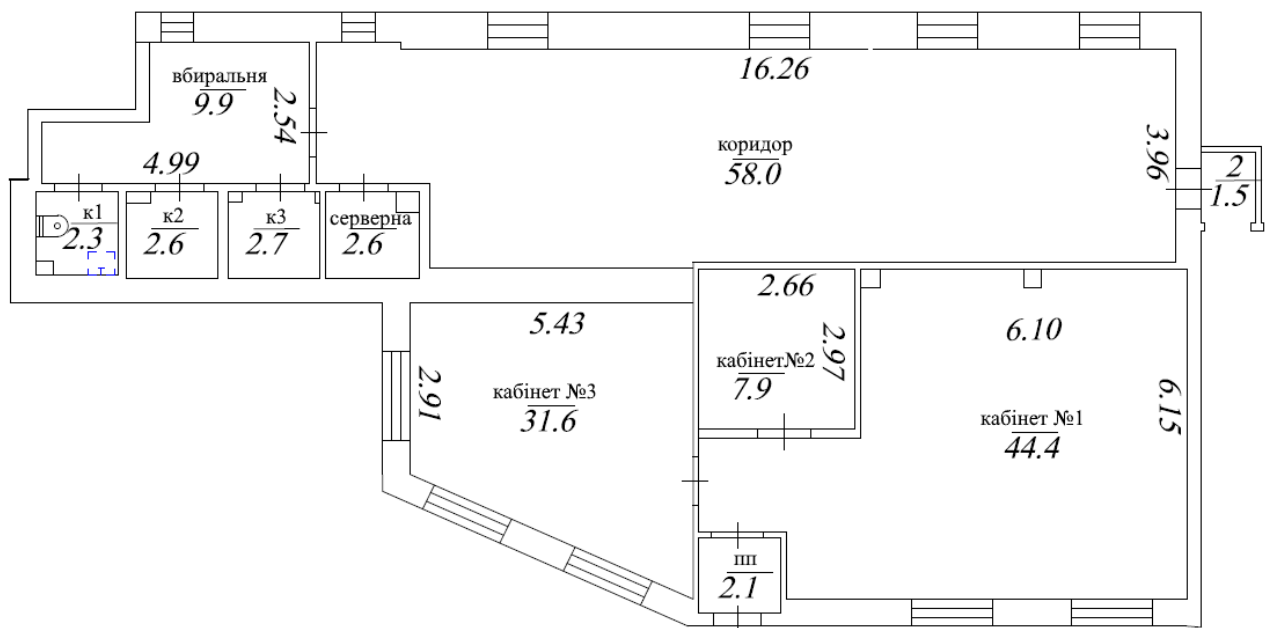


Рис. 2.1– План офісного приміщення

Джерело: власне дослідження

Всі вихідні данні для проведення розрахунку занесено до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні данні по офісному приміщенню

№	Найменування величини	Позначення	Значення	Одиниці виміру
1	2	3	4	5
<b>Коридор</b>				
1	Ширина приміщення	B	3,96	м
2	Довжина приміщення	A	16,26	м
3	Висота приміщення	h	2,5	м
4	Висота робочої поверхні	$h_p$	1,4	м
5	Числове значення коефіцієнта світильника	L/h	1,3	
6	Коефіцієнт запасу	$k_3$	1,5	
7	Коефіцієнт нерівномірності	z	1,15	
8	Коефіцієнт використання світлового потоку	$\eta$	1,3	
<b>Офісний кабінет №1</b>				
1	Ширина приміщення	B	6,15	м
2	Довжина приміщення	A	6,20	м
3	Висота приміщення	h	2,5	м
4	Висота робочої поверхні	$h_p$	1,4	м
5	числове значення коефіцієнта світильника	L/h	1,3	
6	Коефіцієнт запасу	$k_3$	1,5	
7	Коефіцієнт нерівномірності	z	1,15	
8	Коефіцієнт використання світлового потоку	$\eta$	1,3	
<b>Офісний кабінет №2</b>				
1	Ширина приміщення	B	2,97	м
2	Довжина приміщення	A	2,66	м
3	Висота приміщення	h	2,5	м
4	Висота робочої поверхні	$h_p$	1,4	м
5	числове значення коефіцієнта світильника	L/h	1,3	
6	Коефіцієнт запасу	$k_3$	1,5	
7	Коефіцієнт нерівномірності	z	1,15	
8	Коефіцієнт використання світлового потоку	$\eta$	1,3	
<b>Офісний кабінет №3</b>				
1	Ширина приміщення	B	5,43	м
2	Довжина приміщення	A	2,91	м
3	Висота приміщення	h	2,5	м
4	Висота робочої поверхні	$h_p$	1,4	м
5	числове значення коефіцієнта світильника	L/h	1,3	
6	Коефіцієнт запасу	$k_3$	1,5	
7	Коефіцієнт нерівномірності	z	1,15	
8	Коефіцієнт використання світлового потоку	$\eta$	1,3	

## Продовження таблиці – 2.1

1	2	3	4	5
<b>Вбиральня</b>				
1	Ширина приміщення	B	3,89	м
2	Довжина приміщення	A	4,99	м
3	Висота приміщення	h	2,5	м
4	Висота робочої поверхні	h <sub>p</sub>	1,4	м
5	Числове значення коефіцієнта світильника	L/h	1,3	
6	Коефіцієнт запасу	k <sub>з</sub>	1,5	
7	Коефіцієнт нерівномірності	z	1,15	
8	Коефіцієнт використання світлового потоку	$\eta$	1,3	
<b>Серверна</b>				
1	Ширина приміщення	B	1,3	м
2	Довжина приміщення	A	1,3	м
3	Висота приміщення	h	2,5	м
4	Висота робочої поверхні	h <sub>p</sub>	1,4	м
5	числове значення коефіцієнта світильника	L/h	1,3	
6	Коефіцієнт запасу	k <sub>з</sub>	1,5	
7	Коефіцієнт нерівномірності	z	1,15	
8	Коефіцієнт використання світлового потоку	$\eta$	1,3	
<b>Підсобне приміщення</b>				
1	Ширина приміщення	B	1,05	м
2	Довжина приміщення	A	1,05	м
3	Висота приміщення	h	2,5	м
4	Висота робочої поверхні	h <sub>p</sub>	1,4	м
5	числове значення коефіцієнта світильника	L/h	1,3	
6	Коефіцієнт запасу	k <sub>з</sub>	1,5	
7	Коефіцієнт нерівномірності	z	1,15	
8	Коефіцієнт використання світлового потоку	$\eta$	1,3	

Джерело: власне дослідження

Для початку виберемо рівень нормованого загального освітлення  $E_n$  з витягу державних будівельних норм України ДБН В.2.5–28–2021 "Природне і штучне освітлення" відповідно до нашого приміщення. Оскільки у нас офіс то рекомендована освітленість для більшості його приміщень становить 300 – 500 Лк.

Отже, розрахуємо кількість рядів світильників у кожному з приміщень за формулою:



$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) \cdot [L/h]}, \quad (2.1)$$

де:  $B$  – ширина приміщення, м;

$H$  – висота приміщення, м;

$h_p$  – висота робочої поверхні, м;

$[L/h]$  – числове значення коефіцієнта світильника.

Отже будемо мати:

$$N_p(\text{коридор}) = \frac{3,96}{(2,5 - 1,4) \cdot 1,3} = 3 \text{ шт};$$

$$N_p(\text{офіс1}) = \frac{6,15}{(2,5 - 1,4) \cdot 1,3} = 4 \text{ шт};$$

$$N_p(\text{офіс2}) = \frac{2,97}{(2,5 - 1,4) \cdot 1,3} = 2 \text{ шт};$$

$$N_p(\text{офіс3}) = \frac{5,43}{(2,5 - 1,4) \cdot 1,3} = 4 \text{ шт};$$

$$N_p(\text{вбиральня}) = \frac{3,89}{(2,5 - 1,4) \cdot 1,3} = 3 \text{ шт};$$

$$N_p(\text{серверна}) = \frac{1,3}{(2,5 - 1,4) \cdot 1,3} = 1 \text{ шт};$$

$$N_p(\text{підсобне}) = \frac{1,05}{(2,5 - 1,4) \cdot 1,3} = 1 \text{ шт}.$$

Визначимо максимальну припустиму відстань між рядами світильників за формулою:

$$L_{max} = \frac{B}{N_p}, \quad (2.2)$$

де:  $B$  – ширина приміщення, м;

$N_p$  – кількість рядів світильників у приміщенні, шт.

Будемо мати, що:

$$L_{max}(\text{коридор}) = \frac{3,96}{3} = 1,32\text{м};$$

$$L_{max}(\text{офіс1}) = \frac{6,15}{4} = 1,5\text{м};$$

$$L_{max}(\text{офіс2}) = \frac{2,97}{2} = 1,48\text{м};$$

$$L_{max}(\text{офіс3}) = \frac{5,43}{4} = 1,35\text{м};$$

$$L_{max}(\text{вбиральня}) = \frac{3,89}{3} = 1,3\text{м};$$

$$L_{max}(\text{серверна}) = \frac{1,3}{1} = 1,3\text{м};$$

$$L_{max}(\text{підсобне}) = \frac{1,05}{1} = 1,05\text{м}.$$

Наступним кроком буде знаходження висоти підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = \frac{L_{max}}{[L/h]}, \text{ м} \quad (2.3)$$

де:  $L_{max}$  – максимальна припустима відстань між рядами світильників;  
 $[L/h]$  – числове значення коефіцієнта світла.

Будемо мати:

$$h(\text{коридор}) = \frac{1,32}{1,3} = 1 \text{ м};$$

$$h(\text{офіс1}) = \frac{1,5}{1,3} = 1,15 \text{ м};$$

$$h(\text{офіс2}) = \frac{1,48}{1,3} = 1,13 \text{ м};$$

$$h(\text{офіс3}) = \frac{1,35}{1,3} = 1 \text{ м};$$

$$h(\text{вбиральня}) = \frac{1,3}{1,3} = 1 \text{ м};$$

$$h(\text{серверна}) = \frac{1,3}{1,3} = 1 \text{ м};$$

$$h(\text{підсобне}) = \frac{1,05}{1,3} = 0,8 \text{ м}.$$

Наступним кроком ми знаходимо висоту звисання світильника від стелі:

$$h_3 = H - h_p - h, \text{ м}, \quad (2.4)$$

де:  $H$  – висота приміщення, м;

$h_3$  – висота робочої поверхні, м;

$h$  – висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м.

Отже, отримаємо такі дані:

$$h_3(\text{коридор}) = 2,5 - 1,4 - 1 = 0,1 \text{ м};$$

$$h_3(\text{офіс1}) = 2,5 - 1,4 - 1,15 = 0,2 \text{ м};$$

$$h_3(\text{офіс2}) = 2,5 - 1,4 - 1,13 = 0,03 \text{ м};$$

$$h_3(\text{офіс3}) = 2,5 - 1,4 - 1 = 0,1 \text{ м};$$

$$h_3(\text{вбиральня}) = 2,5 - 1,4 - 1 = 0,1 \text{ м};$$

$$h_3(\text{серверна}) = 2,5 - 1,4 - 1 = 0,1 \text{ м};$$

$$h_3(\text{підсобне}) = 2,5 - 1,4 - 0,8 = 0,3 \text{ м}.$$

Наступним кроком визначимо сумарний світловий потік освітлювального обладнання в кожному з приміщень:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_H * A * B * k_3 * z}{\eta}, \text{ Лм} \quad (2.5)$$

де:

$E_H$  – рівень нормованого загального освітлення;

$A$  – довжина приміщення, м;

$B$  – ширина приміщення, м;

$k_3$  – коефіцієнт запасу;

$z$  – коефіцієнт нерівномірності;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку;

$E_H$  – 400 Лк.

Матимемо:

$$\Phi_{\Sigma} (\text{коридор}) = \frac{400 * 16,26 * 3,95 * 1,5 * 0,1}{1,3} = 2\,964 \text{ Лм};$$

$$\Phi_{\Sigma} (\text{офіс1}) = \frac{400 * 6,20 * 6,15 * 0,2 * 1,15}{1,3} = 2\,698 \text{ Лм};$$

$$\Phi_{\Sigma} (\text{офіс2}) = \frac{400 * 2,66 * 2,97 * 0,03 * 1,15}{1,3} = 84 \text{ Лм};$$

$$\Phi_{\Sigma} (\text{офіс3}) = \frac{400 * 2,91 * 5,43 * 0,1 * 1,15}{1,3} = 945 \text{ Лм};$$

$$\Phi_{\Sigma} (\text{вбиральня}) = \frac{400 * 4,99 * 3,89 * 0,1 * 1,15}{1,3} = 1\,746 \text{ Лм};$$

$$\Phi_{\Sigma} (\text{серверна}) = \frac{400 * 1,3 * 1,3 * 0,1 * 1,15}{1,3} = 60 \text{ Лм};$$

$$\Phi_{\Sigma} (\text{підсобне}) = \frac{400 * 1,05 * 1,05 * 0,3 * 1,15}{1,3} = 117 \text{ Лм}.$$

Наступним етапом визначаємо загальну (умовну) кількість світильників у кожному з приміщень:

$$N_{cb}^* = \frac{A \cdot B}{L_{max}} \quad (2.6)$$

де:  $A$  – довжина приміщення, м;

$B$  – ширина приміщення, м;

$L_{max}$  – максимальна пропускна здатність між рядами, м.

Будемо мати:

$$N_{cb}^* (\text{коридор}) = \frac{16,26 * 3,96}{1,32} = 49 \text{ шт};$$

$$N_{cb}^* (\text{офіс1}) = \frac{6,20 * 6,15}{1,5} = 25 \text{ шт};$$

$$N_{cb}^* (\text{офіс2}) = \frac{2,66 * 2,97}{1,48} = 5 \text{ шт};$$

$$N_{cb}^* (\text{офіс3}) = \frac{2,91 * 5,43}{1,35} = 12 \text{ шт};$$

$$N_{cb}^* (\text{вбиральня}) = \frac{4,99 * 3,89}{1,3} = 15 \text{ шт};$$

$$N_{cb}^* (\text{серверна}) = \frac{1,3 * 1,3}{1,3} = 1 \text{ шт};$$

$$N_{cb}^* (\text{підсобне}) = \frac{1,05 * 1,05}{1,05} = 1 \text{ шт.}$$

В таблицю 2.2 заносимо всі основні розрахункові данні по кожному з приміщень необхідні для вибору типів світильників.

Таблиця 2.2 – Розрахункові дані необхідної кількості світильників.

Назва приміщень	Кількість рядів світильників	Умовна кількість світильників $N_{cb}^*$	Світловий потік $\Phi_{\Sigma}$
Коридор	3	49	2968
Офіс1	4	25	2698
Офіс2	2	5	84
Офіс3	4	12	945
Вбиральня	3	15	1746
Серверна	1	1	60
Підсобне	1	1	117

Джерело: власне дослідження

Враховуючи розрахунки проведені в пункті 2.1 даного кваліфікаційної роботи які зведені в таблицю 2.2, наступним етапом є проведення вибору світильників та кількості ламп в них у відповідності до цих даних.

## 2.2. Вибір типів світильників в офісному приміщенні

Почнемо вибір світильників з приміщення коридору. Оскільки в ньому світловий потік становить 2968 Лм, то оберемо наступний тип світильників враховуючи те що їх має бути приблизно 49 штук розміщених в три ряди. Розрахуємо світловий потік одного світильника необхідного для встановлення в коридорі:

$$\Phi_{\text{світ.приміщення}} = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{cb}^*} \quad (2.7)$$

Отже будемо мати:

$$\Phi_{\text{світ.коридор}} = \frac{2968}{49} = 60 \text{ Лм.}$$

У відповідності до отриманого результату приймаємо точковий світильник внутрішнього розташування фірми Led SMART на 18 Вт із світловим потоком 70 Лм, який зображено на рисунку 2.2.



Рис. 2.2 – світильник Led SMART на 18 Вт

Джерело: власне дослідження

В кожному ряді коридору приймаємо по 16 таких світильників.

Наступним проведемо розрахунок типів світильників в офісному приміщенні №1. В ньому світловий потік складає 2698 Лм, світильники розміщені в чотири ряди, а їх кількість становить приблизно 25 штук.

Отже розрахуємо світловий потік одного світильника, який має бути розташований в офісному приміщенні №1:

$$\Phi_{\text{офіс1}} = \frac{2698}{25} = 108 \text{ Лм.}$$

Отже для встановлення обираємо LED світильник марки Euro light із світловим потоком 120 Лм, та потужністю 24 Вт (див рис. 2.3).



Рис. 2.3 – LED світильник Euro light на 24 Вт

Джерело: власне дослідження

Далі ми проведемо розрахунок, вибір світильника в офісному приміщенні №2.

Світловий потік цього приміщення складає 84 Лм, світильники розміщені в два ряди, а їх кількість приблизно 5 штук. Отже розрахуємо світловий потік одного світильника який має бути розташований в офісному приміщенні №2.:

$$\Phi_{\text{офіс2}} = \frac{84}{5} = 17 \text{ Лм.}$$

Отже для встановлення обираємо LED світильник марки Leggera OP-R 12 Вт із світловим потоком 25 люменів, та потужністю 5 Вт. (див. рис. 2.4)





Рис. 2.4 – LED світильник Leggera OP-R на 5 Вт

Джерело: власне дослідження

Наступним кроком ми проведемо вибір світильників для офісного приміщення №2. Світловий потік цього приміщення складає 945 Лм, приміщення має чотири ряди світильників, а приблизна їх кількість становить 12 штук. Отже розрахуємо світловий потік одного світильника який має бути розташований в офісному приміщенні №3:

$$\Phi_{\text{офіс3}} = \frac{945}{12} = 79 \text{ Лм.}$$

Отже для встановлення обираємо LED світильник марки Feron AL599 зі світловим потоком 90 Лм. на 15 Вт. (див. рис. 2.5).



Рис. 2.5 – Світильник Feron AL599 на 15 Вт.

Джерело: власне дослідження

Наступним кроком ми розраховуємо світильник для вбиральні. Світловий потік приміщення складає 1746 Лм, вони мають бути розміщені в два ряди, приблизна кількість світильників 15 штук. Отже розрахуємо

світловий потік одного світильника, який має бути розташований в вбиральні:

$$\Phi_{\text{вбиральня}} = \frac{1746}{15} = 116 \text{ Лм.}$$

Отже для встановлення обираємо LED світильник марки Norfen HLR-18 зі світловим потоком 120 ЛМ. на 18 Вт. (див. рис. 2.6).



Рис. 2.6 – Світильник Norfen HLR-18 на 18 Вт.

Джерело: власне дослідження

Наступним кроком ми розраховуємо світильник для серверного приміщення, світловий потік якого складає 60 Лм, приміщення має один ряд світильників з приблизною кількістю 1 штука. Отже розрахуємо світловий потік одного світильника який має бути розташований в серверному приміщенні:

$$\Phi_{\text{серверна}} = \frac{60}{1} = 60 \text{ Лм.}$$

Отже для встановлення обираємо LED світильник марки Accento lighting Shine R зі світловим потоком 60 Лм потужністю 10 Вт. (див. рис. 2.7).



Рис. 2.7 Світильник Accento lighting Shine R на 10 Вт

Джерело: власне дослідження

Наступним кроком ми розрахуємо світильник для підсобного приміщення, світловий потік якого складає 117 Лм, приблизна кількість світильників рівна в приміщенні 1 шт. Отже розрахуємо світловий потік одного світильника, який має бути розташований в підсобному приміщенні:

$$\Phi_{\text{підсобне}} = \frac{117}{1} = 117 \text{ Лм.}$$



Рис. 2.8 – світильник Expert XH-C30-380-SS на 24 Вт

Джерело: власне дослідження

Отже для встановлення обираємо LED світильник марки Expert XH-C30-380-SS зі світловим потоком 120 Лм., на 24 Вт.

### 2.3. Вибір датчиків освітленості та присутності

В нашій розроблюваній системі адаптивного офісного освітлення, будемо використовувати: датчик освітленості LM393 та BH1750, а також датчик присутності HC SR501. Всі ці датчики легко підключаються до контролера Arduino та оптимально вписуються в концепт нашої розроблювальної системи. Встановлюватись звісно вони будуть не у всіх приміщеннях нашого офісу, бо їх доцільно використовувати лише там де постійно працюють люди, а їх кількість буде залежати від розмірів приміщення.

Отже датчик освітленості LM393 ми будемо використовувати лише в тих приміщеннях де мало вікон (по одній штуці в кожному приміщенні), а датчик освітленості BH1750 – в приміщення, де є багато вікон і регулювання

норм освітленості потрібно дотримуватись точніше. Датчики LM393 показано на рисунку 2.9, BH1750 – на рисунку 2.10 відповідно.



Рис. 2.9 – Датчик освітленості LM393

Джерело: власне дослідження

Датчик освітленості LM393 буде встановлено в наступних приміщеннях офісу: серверна, кабінет №2. Датчик BH1750 буде встановлено в кабінеті №1 (два датчики) та кабінеті №2.

Схема підключення датчика освітленості LM393 до МК наведена в додатку А.

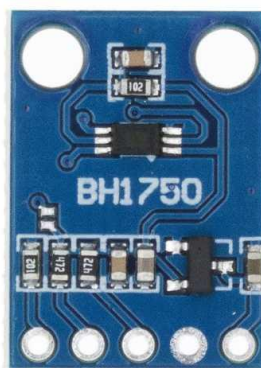


Рис. 2.10 – Датчик освітленості BH1750

Джерело: власне дослідження

Схема підключення датчика освітленості BH1750 до МК наведена в додатку Б.

Оскільки обидва типи датчиків будуть використовуватись в кількості 1 шт, то визначимо необхідну кількість датчиків кожного типу за формулою:

$$n_{\text{дат.заг.типу}} = n_{\text{дат.прим.}} \cdot n_{\text{прим}} \quad (2.8)$$

де  $n_{\text{дат.заг.типу}}$  – необхідна загальна кількість датчиків конкретного типу, шт;

$n_{\text{дат.прим.}}$  – кількість датчиків в кожному приміщенні, шт;

$n_{\text{прим}}$  – кількість приміщень в яких встановлено конкретний датчик, шт.

Отже визначимо кількість датчиків LM393 та ВН1750 :

$$n_{\text{дат.заг. LM393}} = 1 \cdot 2 = 2 \text{ шт}$$

$$n_{\text{дат.заг. ВН1750}} = 1 \cdot 3 = 3 \text{ шт}$$

Датчики присутності НС SR501 (див. рис. 2.11) доцільно встановлювати в тих приміщення де люди перебувають обмежену кількість часу, тобто знаходяться там не постійно, таких приміщень у нас в офісі 4: коридор, серверна, підсобне приміщення та вбиральня.

Схема підключення датчика присутності НС SR501 до МК наведена в додатку В.



Рис. 2.11 – Датчик присутності НС SR501

Джерело: власне дослідження

Тому визначимо загальну кількість датчиків присутності типу НС SR501 за формулою 2.8:

$$n_{\text{дат.заг. НС SR501}} = 1 \cdot 4 = 4 \text{ шт.}$$

Отже, необхідна кількість датчиків рівна 4 одиницям

## 2.4. Рівні керування адаптивним освітленням

Розроблену схему керування адаптивним освітленням офісного приміщення наведено в додатку Г.

Систему керування адаптивним освітленням можна умовно поділити на 2 рівні: високий та низький (рис 2.12).

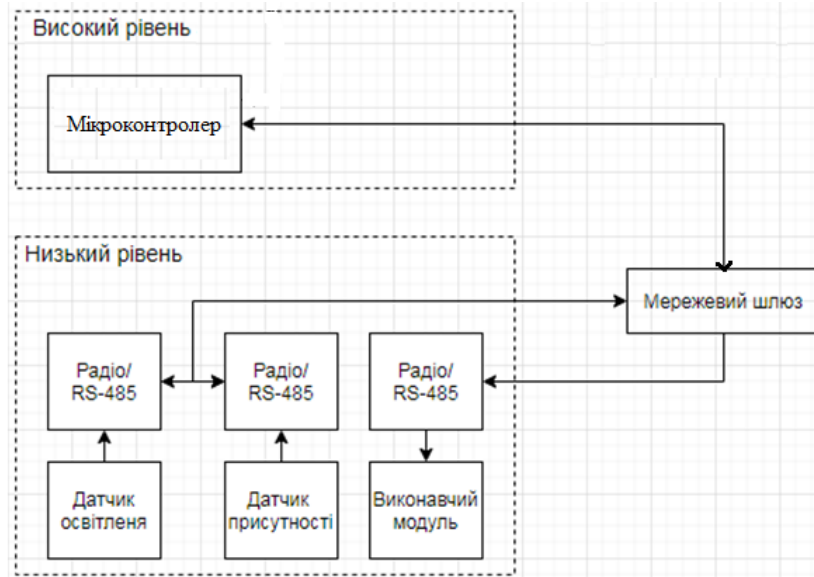


Рис. 2.12 – Адаптивне освітлення: рівні системи керування

Джерело: власне дослідження

На нижньому рівні розміщені датчики та виконавчі модулі, що використовуються в системі. Як виконавчі пристрої для цих завдань зазвичай використовуються реле. Всі ці датчики надсилають сигнали на мережевий шлюз по радіо або RS-485 (стандарт передачі даних по двопровідному напівдуплексному багатоточковому послідовному каналу зв'язку) про стан освітлення в приміщенні або про присутність людей в приміщенні. Мережевий шлюз також надсилає сигнали на виконавчі пристрої. Мережевий шлюз використовується для регулювання нижнього і середнього рівнів системи. Мережевий шлюз виконує роль маршрутизатора.

Високий рівень - це програмне забезпечення, реалізоване на ПК або модулі Raspberry Pi, яке обробляє сигнали від датчиків освітленості та присутності і може приймати рішення про ввімкнення або вимкнення світла.

Таке програмне забезпечення можна використовувати в таких середовищах, як OpenHAB, Home Assistant і Majordomo. Середовище проміжного програмного забезпечення отримує сигнали від низькорівневих датчиків освітленості та присутності через мережевий шлюз, обробляє їх відповідно до заданих параметрів і надсилає команди на реле для ввімкнення або вимкнення освітлення.

## 2.5. Структурна схема системи адаптивного керування освітленням

Структурна схема системи адаптивного керування освітленням (див. рис 2.13) розроблена для одного джерела освітлення, при збільшенні кількості джерел освітлення, буде збільшуватися кількість виконавчих елементів та датчиків освітлення (див. аркуш 1 графічного матеріалу проекту).

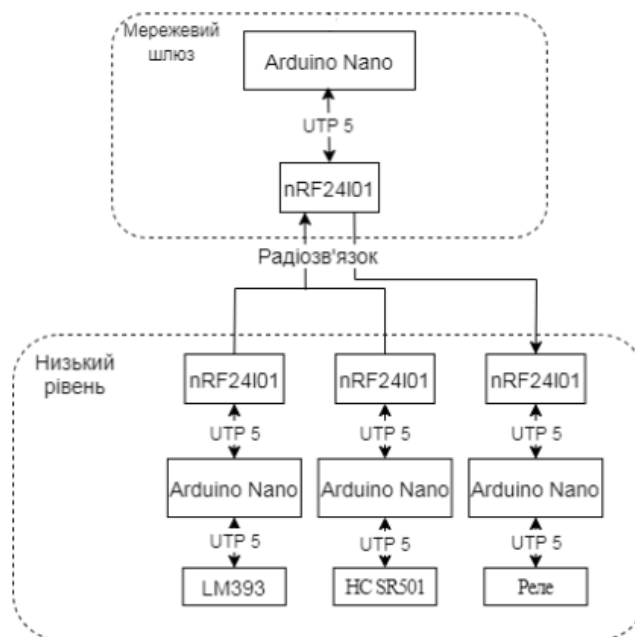


Рис. 2.13 – Структурна схема проектованої системи адаптивного керування освітленням для одного джерела освітлення

Джерело: власне дослідження

На нижньому рівні системи розташовуються датчики присутності, датчик освітлення та реле. Датчик освітлення LM393 – це простий фоторезисторний датчик світла, який має як аналогові, так і цифрові виходи. Цифровий вихід має регулюючий потенціометр, за допомогою якого можна встановити рівень тригерного освітлення. Паралельно з ним спрацьовує датчик присутності, за умови присутності людини в зоні освітлення данні з датчиків передаються за допомогою мережевого шлюзу на середній рівень системи. На високому рівні системи використовується мікроконтролер з встановленим середовищем, що в свою чергу, в порівнянні з рівнем необхідного освітлення приймає рішення про ввімкнення або вимкнення додаткового освітлення.

Роль безпроводної передачі даних між рівнями виконує радіомодуль nRF24101 (див. рис. 2.14) – це найпростіший та найдешевший прийомо-передавальний модуль що поєднується з багатьма процесорами.



Рис. 2.14 – Радіомодуль nRF24101

Джерело: власне дослідження

Він використовує діапазон 2,4 ГГц і працює зі швидкістю передачі даних від 250 кбіт/с до 2 Мбіт/с. При використанні в космосі з меншою швидкістю передачі радіус дії може сягати до 100 метрів. Проектовані системи управління адаптивним освітленням використовують комбінований тип топології зв'язку та комбінований зв'язок між компонентами системи. На нижньому рівні використовується мережева топологія "зірка" з дротовим з'єднанням за допомогою 61 кабелю RS-485 стандарту UTP 5, що забезпечує надійність, високу швидкість передачі даних і завадостійкість.



Модуль може використовувати 125 різних каналів, що дозволяє побудувати мережу з 125 незалежних модемів в одному місці. Кожен канал може мати до шести адрес, і кожен пристрій може одночасно зв'язуватися з іншими пристроями. Енергоспоживання модуля під час передачі становить близько 12 мА, що навіть менше, ніж у одного світлодіода. Робоча напруга модуля становить 1,9-3,6 В, але інші виводи є логічними 5 В, тому його можна легко підключити до Arduino без необхідності використання перетворювача логічного рівня.

### РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО ОСВІТЛЕННЯ В ОФІСНОМУ ПРИМІЩЕННІ

#### 3.1. Розрахунок капітальних затрат

В попередньому розділі роботи було розроблено систему адаптивного освітлення офісного приміщення. У цьому контексті необхідно визначити капітальні та операційні витрати на впровадження такої системи та розрахувати період окупності. Необхідно також оцінити, чи є система економічно життєздатною.

Важливо також оцінити вартість обладнання, що використовується в системі. У цьому дослідженні були розглянуті витрати на обслуговування елементів системи протягом усього терміну служби системи (10 років) і витрати на заміну елементів (заміна ламп у світильниках після 5 років експлуатації). Витрати на обслуговування елементів системи були прийняті на рівні 1% від вартості обладнання.

Під час аналізу окупності, в першу спочатку, слід розрахувати загальну річну вартість проекту – TAC (Total Annualized Cost) за таким співвідношенням:

$$TAC = \frac{TLCC}{CPWF}, \quad (3.1)$$

де:

Total Life Cycle Cost (TLCC) – це загальна вартість системи протягом періоду експлуатації;

Cumulative Present Worth Factor (CPWFце) – сукупний фактор реальної вартості.

В таблиці 3.1 показано всі капітальні витрати для реалізації розробленої системи в даному проекті.

Таблиця 3.1– Капітальні витрати

№	Назва технічних матеріалів	кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Система освітлення				
1	Led SMART на 18Вт.	49	236 грн	11564 грн
2	Euro light на 24 Вт.	25	227 грн	5675 грн
3	Leggera OP-R на 5 Вт.	5	250 грн	1250 грн
4	Feron AL599 на 15 Вт.	12	475 грн	5700 грн
5	Hopfen HLR-18 на 18 Вт.	15	251 грн	3012 грн
6	Accento lighting Shine R на 10 Вт.	1	453 грн	453 грн
7	Expert XH-C30-380-SS на 24 Вт.	1	395 грн	395 грн
8	LM393	2	23 грн	46 грн
9	ВН1750	3	41 грн	123 грн
10	НС-SR501	4	33 грн	132 грн
11	Arduino Nano	13	95 грн	1235 грн
12	nRF24l01	13	36 грн	468 грн
13	Виконавче реле	4	64 грн	128 грн
Всього				30181 грн

Джерело: власне дослідження

Капітальні витрати - це фінансування створення або придбання основних засобів і нематеріальних активів, які підлягають амортизації. Капітальні витрати, необхідні для впровадження запропонованої системи, є одним з найважливіших показників для економічної оцінки ефективності заходів. Проектні інвестиції в обладнання та будівельно-монтажні роботи визначаються на основі договірних цін і розцінок Промислової групи компаній "Рентехно". Компанія пропонує повний комплекс послуг з продажу, доставки, монтажу та налагодження систем адаптивного освітлення.

Вартість монтажно-налагоджувальних робіт визначимо по формулі:

$$K_{MN} = \sum(C_i \cdot a \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{CM} \cdot K_{PP}, \quad (3.2)$$

де:

$C_i$  — це чисельність працівників  $i$ -го розряду, що необхідні для виконання певного обсягу робіт, чол;

$a$  — це годинна тарифна ставка  $i$ -го розряду, грн;

$t_i$  — це час, необхідний для виконання певного обсягу, годин;

$K_d = 1,1 \dots 1,5$  — коефіцієнт, який враховує розмір доплат;

$K_{CM} = 1,22$  — коефіцієнт, який враховує відрахування на соціальні заходи;

$K_{PP} = 1,1 \dots 1,5$  — коефіцієнт, який враховує інші витрати на здійснення монтажних (налагоджувальних) робіт.

Отже отримаємо, що:

$$K_{MN} = (2 \cdot 26,1 \cdot 24 + 2 \cdot 31,9 \cdot 15) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,1 = 3262 \text{ грн.}$$

Транспортні витрати визначаються відповідно до тарифу транспортної компанії ТОВ "Делівері", ваги вантажу та відстані до складу постачальника. Доставка вантажу здійснюється зі складу компанії "Рентекно". За розрахунками перевізника, доставка шести вантажних місць загальною вагою 20 кг коштує 100 грн.

Капітальні витрати становлять:

$$K = K_{OB} + K_{TR} + K_{MN}, \quad (3.3)$$

де:  $K_{OB}$  — вартість обладнання по зведенню витрат (без ПДВ), грн.;

$K_{TR}$  — транспортно-заготівельні та складські витрати, грн.;

$K_{MN}$  — витрати на монтаж та налагодження встаткування, грн.

Отримаємо, що:

$$K = 30181 + 100 + 3262 = 33543 \text{ грн.}$$

Розрахунки показали, що капітальні витрати на проект дорівнюють 33543 грн

### 3.2. Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування прогнозованого об'єкта за певний період часу, виражені в

грошовому еквіваленті. Основними статтями експлуатаційних витрат для електроустановок та мереж електропередачі є наступні:

- основна й додаткова заробітна плата обслуговуючого персоналу й відрахування на соціальні заходи – (Сз);
- амортизаційні відрахування – (Са);
- вартість спожитої електроенергії – (Се);
- витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування – (Ст)
- інші витрати – (Сін).

У такий спосіб річні експлуатаційні витрати по об'єкті проектування становлять:

$$C = C_a + C_e + C_z + C_T + C_{in} . \quad (3.4)$$

Амортизаційні витрати розраховуються:

$$H_a = \frac{\Phi_n}{\Phi_n \cdot T_n} \cdot 100\% , \quad (3.5)$$

де:

$T_n$  – час якісного використання (амортизаційний період);

$\Phi_n$  – початкова ціна системи.

Отже матимемо:

$$H_a = \frac{33543}{33543 \cdot 10} \cdot 100\% = 10\% .$$

Тоді річні амортизаційні відрахування АВ для розробленої системи становлять:

$$AB = \frac{\Phi_n \cdot H_a}{100} = \frac{33543 \cdot 10}{100} = 3354,3 \text{ грн.} \quad (3.6)$$

Визначте річні витрати на технічне обслуговування та ремонт. Щорічні витрати на технічне обслуговування та ремонт включають вартість матеріалів, запасних частин та заробітну плату ремонтних робітників і

можуть бути визначені на основі даних про результати діяльності компанії і дорівнюють 1% від капітальних витрат.

$$C_T = 0,01 \cdot K_{\text{ПР}}. \quad (3.7)$$

Отримаємо:

$$C_T = 0,01 \cdot 33543 = 335,43 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати по об'єкту проектування розраховуються за формулою (3.4) і становлять:

$$C = 3354,3 + 0 + 0 + 335,43 = 3689,73 \text{ грн.}$$

Загальна сума експлуатаційних витрат дорівнює 3689,73

### **3.3. Розрахунок терміну окупності розробленої системи**

В даному підрозділі ми маємо провести оцінку доцільності використання розробленої система адаптивного освітлення визначивши її термін окупності. Для того, щоб це зробити порівняємо ціни на електроенергію, яку використовує стандартна система освітлення на базі ламп розжарення та розроблена нами адаптивна система освітлення.

Середній показник споживання електроенергії розробленої нами системи становить 6307,2 кВт·год, що в грошовому еквіваленті буде дорівнювати 10596 грн. Якщо для нашого офісного приміщення використовувати систему освітлення на стандартних лампах розжарення, то така система буде споживати 39420 кВт·год, а ціна становитиме 66225,6 грн, що в шестеро перевищує показники нашої розробленої системи освітлення. Враховуючи той факт, що для визначення споживання електроенергії нашої системи ми використовували ще й час роботи освітлення 10 год., то можемо сміливо ще зменшити показники споживання на 1500 – 3000 кВт·год, бо в нашій системі освітлення передбачено адаптивний режим роботи, що знову ж

таки забезпечить раціональне використання освітлювального обладнання і внесе свої економічні позитивні зміни. Тому враховуючи це все остаточний показник споживання електроенергії розробленої адаптивної системи освітлення становитиме близько 3000 кВт·год. Тоді ціна за спожиту електроенергію буде рівна показнику 6720 грн., а прибуток від її використання буде приблизно рівний значенню 59505,6 грн.

Визначимо термін окупності нашої системи за формулою:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{K}{P_o}, \quad (3.8)$$

де  $K$  – капітальні витрати, грн;

$P_o$  – прибуток, грн.

Отже будемо мати, що:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{30181\text{грн}}{50955,6\text{грн}} = 0,6\text{року}.$$

Розрахунки показали, що окупність запропонованого проекту рівна півроку.

### **3.4. Напрямки зростання енергоефективності штучного освітлення**

Традиційно проблему енергоефективності штучного освітлення вирішують простими методами, такими як: фарбування стін та стелі в світлі кольори з більшим коефіцієнтом відбиття світла, заміна освітлювальних приладів на більш економічні, підтримання чистоти вікон та освітлювальних приладів, своєчасне вимикання світла, або вимикання світла за заданим графіком (освітлення на вулицях).

Також існують більш технологічні методи економії електроенергії: заміна застарілого обладнання на більш енергоефективне, установка приладів для обліку споживання електроенергії (в тому числі багатотарифних),

контроль режимів освітлення, установка систем автоматичного контролю рівня освітлення.

Найкращим варіантом вирішення такої проблеми є автоматизація освітлення. В залежності від типу території можна запропонувати декілька варіантів автоматизації освітлення:

- встановлення автоматичних датчиків освітлення, здатних подавати сигнал на вмикання / вимикання ламп, точкових світильників, ліхтарів та інших освітлювальних приладів залежно від ступеня освітленості навколишнього простору. Правильно встановлене та запрограмоване обладнання працює без втручання людини. Іншими словами, датчик світла (сутінкове реле)

- це автоматичний вимикач, який контролює яскравість освітлення певної зони або приміщення в залежності від рівня природного освітлення;

- використання датчиків присутності, що можуть відслідковувати присутність людини в приміщенні і відповідно вмикати/вимикати освітлення в заданих зонах. Це забезпечить автоматичне вимикання освітлення в неробочих/незайнятих зонах;

- створення та запровадження систем адаптивного освітлення, що включає в себе відразу декілька факторів (наприклад, врахування рівня природного освітлення в приміщенні та присутності людини). Такі системи є повністю автоматичними за рахунок використання датчиків, контролерів та процесорів, що дають змогу знімати задані показники та приймати рішення про вмикання/вимикання освітлення у відповідних зонах. Використання такої системи дозволяє забезпечити значну економію електроенергії.

Використання датчиків освітлення дозволяє заощадити 10-15% електроенергії, використання датчиків присутності - 15-20%, система адаптивного освітлення дозволить заощадити 35-45% від споживаної на освітлення енергії. Таким чином, задачею даної роботи є проектування системи адаптивного освітлення, яка враховуватиме фактор рівня зовнішнього (природного) освітлення та фактор присутності людини, та



даватиме змогу візуального контролю та переходу в ручний режим керування освітленням.

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було розраховано та спроектовано систему автоматичного керування освітленням в офісному приміщенні.

Система адаптивного управління освітленням більш обширна, ніж система локального освітлення, охоплює більшу площу, ніж саме приміщення. Загальне освітлення використовується в житлових, навчальних, робочих та офісних приміщеннях, серед інших місць.

Адаптивне керування освітленням є обов'язковим для економії електроенергії. Системи адаптивного освітлення можуть забезпечити економію енергії, зменшуючи використання штучного освітлення в денні години та в приміщеннях, де зафіксовано відсутність користувачів

В процесі розробки було проведено аналітичний огляд можливих існуючих рішень та вибрано оптимальний варіант реалізації системи, розроблено та розраховано її структурну та принципові схеми.

Також в проекті було проведено техніко-економічне обґрунтування розробленої системи автоматичного керування освітленням в результаті якого було визначено його вартість та термін окупності, які становлять: ціна системи з урахуванням ПДВ складає 3262 грн., а термін окупності склав 0,6 року

Впровадження розробленої системи керування адаптивним освітленням у приміщеннях, дає можливість оптимізувати використання освітлювальних приладів саме тоді, коли вони потрібні, тим самим сприяючи підвищенню енергозбереження.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ачкасов А. Є., Лушкін В. А., Охріменко В. М., Кузнецов А. І., Чернявська М. В., Воронкова Т. Б. Електротехніка у будівництві: навч. пос. Харків: ХНАМГ 2009 363 с.
2. Бікс Ю. С., Ратушняк О. Г. Техніко-економічний аналіз сучасних енергоефективних систем освітлення багатоквартирних будинків. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2016. № 4. С. 61-68.
3. Бурбан О. В., Поліщук М. М., Бортник К. Я. Система голосового керування освітлення на базі Wemos D1 Mini. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2022. № 49. С. 80-85.
4. Гринюк С. В. Поліщук М. М., Гринюк М. В. Інтелектуальна система керування освітленням на базі Arduino Uno. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2023. № 53. С. 98-103.
5. Кужель В. П., Кашканов А. А., Кашканов В. А. Теоретичні основи оптимізації функціонування автомобільних систем адаптивного освітлення. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2015. № 1. С. 103-110.
6. Кушнір Н. О., Локтікова Т. М., Лисогор Ю. І. Розробка автоматизованої системи управління освітленням об'єктів спеціального призначення. Технічна інженерія. 2023. № 1. С. 127-132.
7. Мамалига В. М., Малай Т. В. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи освітлення приміщення з використанням ламп різних типів для країн Євросоюзу (Німеччина, Данія, Польща). Формування ринкових відносин в Україні. 2021. № 3. С. 62-69.
8. Натрошвілі С. Г., Бабіна Т. Г., Злотенко Б. М. Комп'ютерно-інтегрована система керування природним і штучним освітленням розумного будинку. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2020. № 5. С. 65-71.

9. Петренко Т. Г., Павлусенко К. О. Концептуальна модель людино-орієнтованої розумної системи освітлення. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2023. № 3. С. 11-18.

10. Петренко Т. Г., Бодавський П. Г. Дворівнева розумна система нечіткого управління освітленням. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2020. № 3(дод.). С. 49.

11. Соколан Ю. С., Паршенко К. А. Аналіз змін у нормуванні природного освітлення приміщень у відповідності із державними будівельними нормами. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2020. № 6. С. 67-72.

12. Стаценко Д. В., Злотенко Б. М., Натрошвілі С. Г. Комп'ютерна система для керування освітленням приміщень. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2021. № 2. С. 40-44.

13. Суворова К. І., Кулакова К. О., Ляшенко О. М. Оцінка незорової дії джерел світла для промислового освітлення. Світлотехніка та електроенергетика. 2020. № 3. С. 92-96.

14. Теслюк В. М., Береговська Х. В., Береговський В. В. Модель роботи підсистем освітлення та охорони інтелектуального будинку. Науковий вісник НЛТУ України. 2013. Вип. 23.10. С. 297-303.

15. Трубочанінова К. А., Черкашин Є. А. Система "розумного" освітлення. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2023. № 2. С. 14-21.

16. Чернявський В. Г., Ярова Г. О. Людино-орієнтоване освітлення в інтер'єрах закладів готельного господарства. Теорія та практика дизайну. 2020. Вип. 21. С. 89-97.

17. Чуйко О. А., Лисиця Д. О., Кучук Г. А. Програмно-апаратний комплекс керування сценічним освітлювальним обладнанням. Системи управління, навігації та зв'язку. 2022. Вип. 1. С. 90-93.

18. Яців М. Б. Напрямки розвитку систем штучного освітлення сучасних східних християнських храмів. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Архітектура. 2019. Vol. 1, Iss. 2s. С. 114-118.

19. Adaptive lighting systems: Occupancy sensing. URL: <https://silvair.com/blog/adaptive-lighting-systems-occupancy-sensing/>. (дата звернення 15.04.2024).

20. Arduino Uno. URL: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno>. (дата звернення 15.04.2024).

21. BASIC TYPES OF LIGHTING. Standard Products Inc. URL: <https://www.standardpro.com/3-basic-types-of-lighting/> (дата звернення 15.04.2024).

22. Ihm P., Nemri A., and Krarti M. (2009). Estimation of lighting energy savings from daylighting. Building and Environment. Vol. 44. №3. P. 509. (дата звернення 15.04.2024).

23. Jiang Li, Liu Da-You, Yang Bo (2014). Smart home research. Proceedings of 2004 International Conference on Machine Learning and Cybernetics URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1382266> (дата звернення 15.04.2024).

24. Lodha Riya, Gupta Suruchi, Jain Harshil, Narula Harish (2015). Bluetooth Smart based Attendance Management System. International Conference on Advanced Computing Technologies and Applications (ICACTA-2015). URL: <https://core.ac.uk/reader/81125800> (дата звернення 15.04.2024).

25. Matta S. (2010). An intelligent light control system for power saving. IECON 2010.36th Annual Conference on IEEE Industrial, pp. 3316–3321.

26. Miki M., Hiroyasu T., Imazato K. (2014). Proposal for an intelligent lighting system, and verification of control method effectiveness. IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1460469> (дата звернення 16.04.2024).

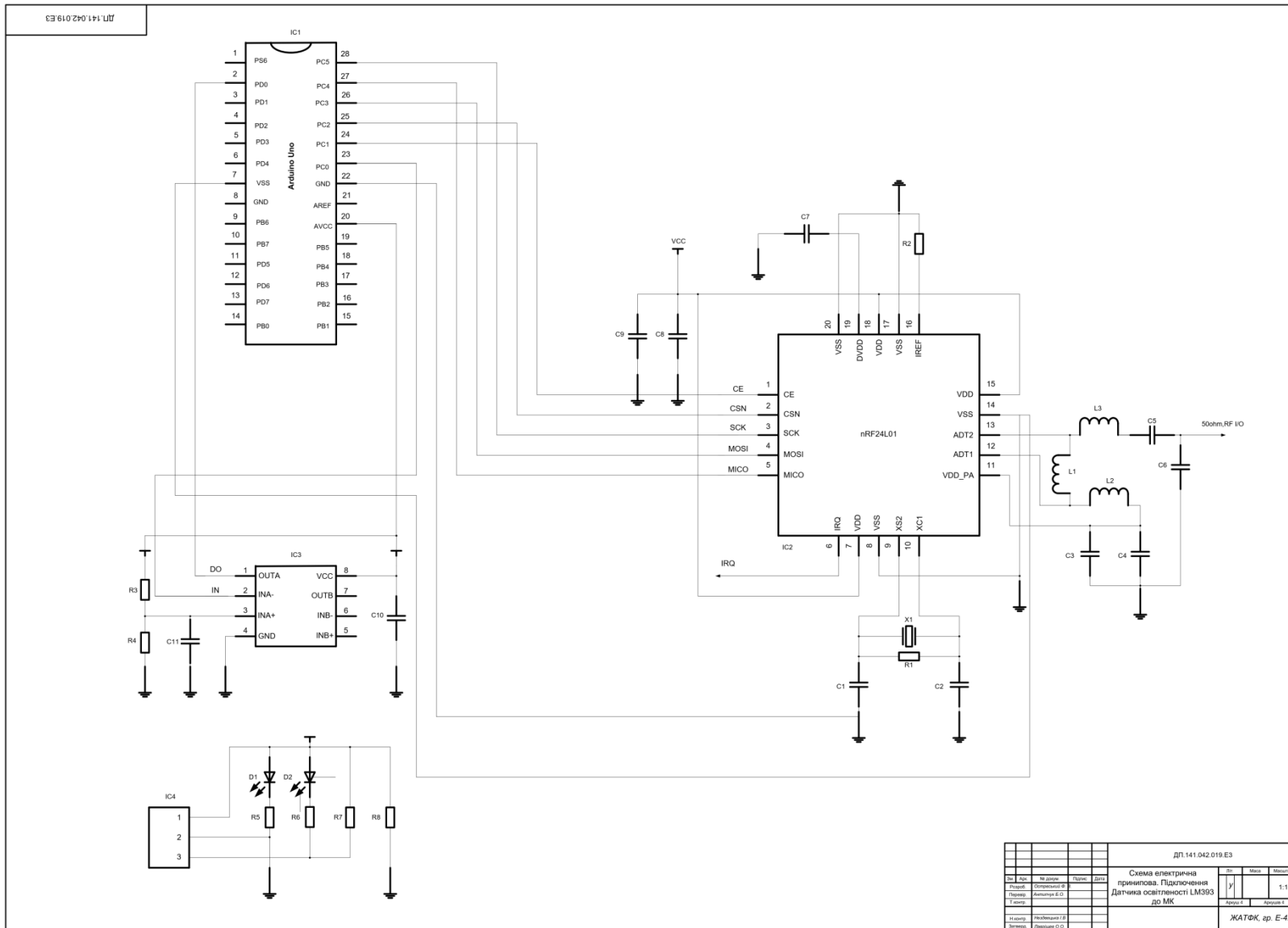
27. Rouse M. (2020). Smart home or building (home automation or domotics). URL: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/smart-home-or-building> (дата звернення 14.04.2024).

28. Wang Yuan, Dasgupta Partha (2015). Designing an Adaptive Lighting Control System for Smart Buildings and Homes. Arizona State University conference URL: [https://www.researchgate.net/publication/280003515\\_Designing\\_an\\_Adaptive\\_Lighting\\_Control\\_System\\_for\\_Smart\\_Buildings\\_and\\_Homes](https://www.researchgate.net/publication/280003515_Designing_an_Adaptive_Lighting_Control_System_for_Smart_Buildings_and_Homes). (дата звернення 15.04.2024).

29. Yamnenko J., Tereshchenko T., Klepach L. and Palii D. (2017). Forecasting of electricity consumption in SmartGrid. /International Conference on Modern Electrical and Energy Systems

## **ДОДАТКИ**

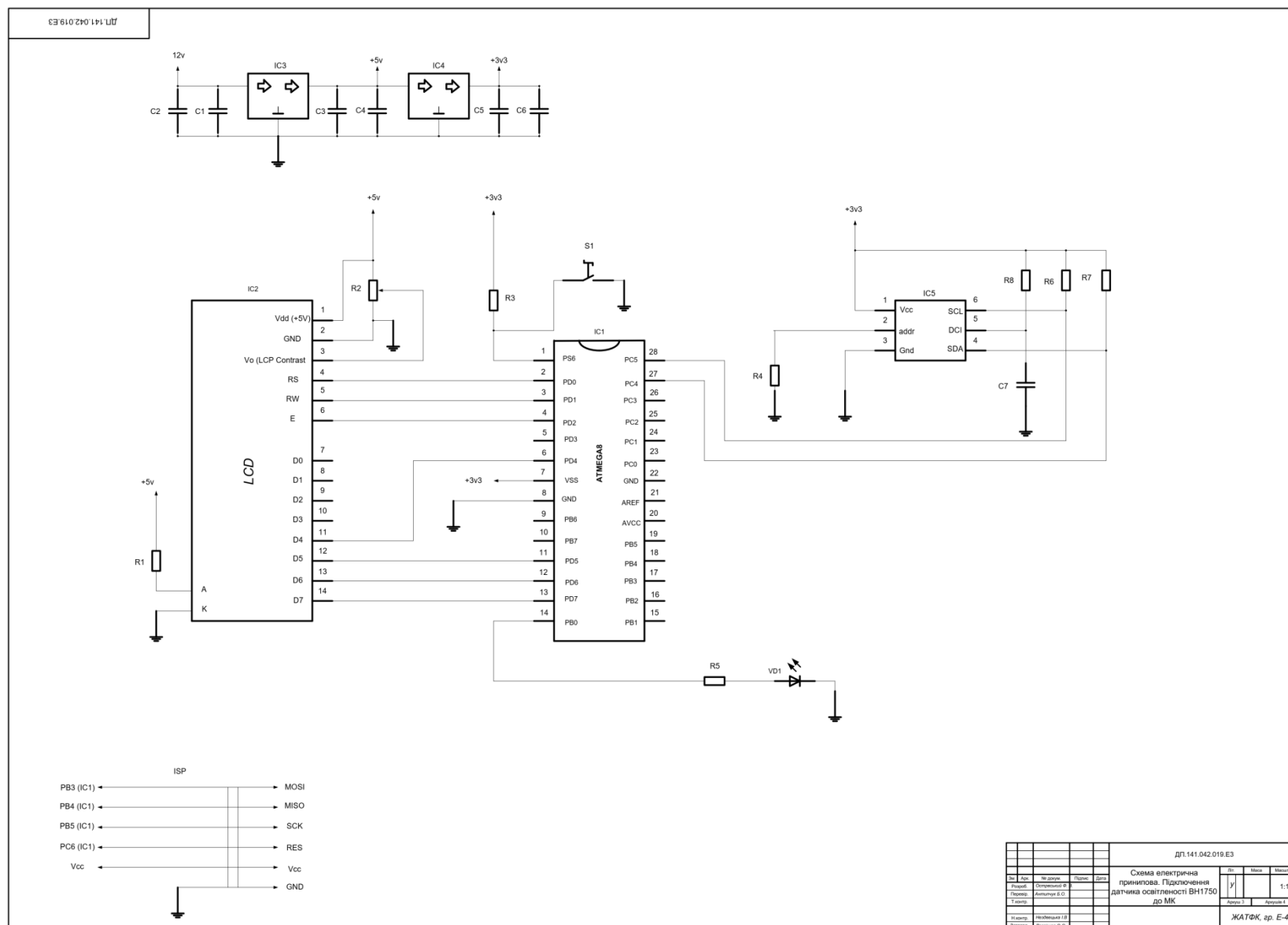
# Додаток А



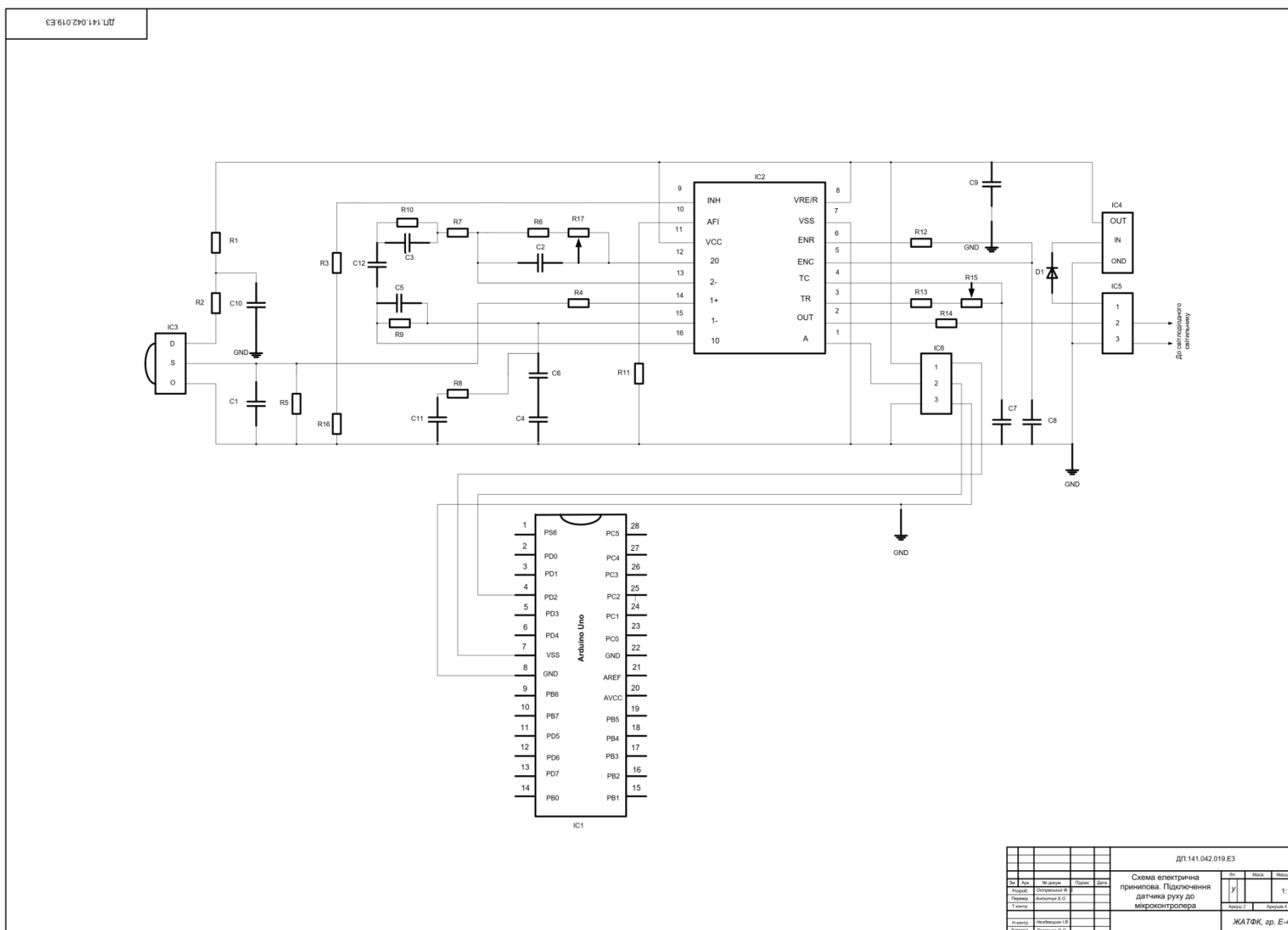
ДП.141.042.019.E3				
№	Др.	№ докум.	Підпис	Дата
1	У	Сторожук О.Ф.		
2	У	Антонюк Е.О.		
3	У			
Схема електрична прийомів. Підключення Датчика освітленості LM393 до МК				
Назва	№Модуля	ІФ	Масштаб	Масштаб
Випуск	Розробник	Д.О.		
				ЖАТФК, ар. Е-42



Додаток Б



Додаток В



Додаток Г

