

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій
Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач випускової кафедри

_____ Віктор СИНЄГЛАЗОВ

“ _____ ” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)
ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ
«БАКАЛАВР»

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і вироб-
ництва»

**Тема: Автоматизована система освітлення офісного при-
міщення**

Виконавець: студентка групи КП-403Б Юлія ПОЛЩУК

Керівник: кандидат технічних наук, старший викладач Микола ВАСИЛЕНКО

Нормоконтролер: _____ Микола ФІЛЯШКІН
(підпис)

Київ - 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій

Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Віктор СИНЄГЛАЗОВ

“ _____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи студентки

Поліщук Юлії Юріївни

- 1. Тема роботи:** «Автоматизована система освітлення офісного приміщення».
- 2. Термін виконання роботи:** з 22.05.2023 р. до 14.06.2023 р.
- 3. Вихідні дані до роботи:** Розробка системи управління освітленням робочого приміщення.
- 4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):** 1. Дослідження поняття системи управління освітленням, її функцій, методів та видів існуючих рішень; 2. Аналіз систем освітлення; 3. Дослідження освітлення виробничих приміщень та вимог до нього; 4. Побудова системи управління освітленням, її тестування в робочому приміщенні; 5. Аналіз отриманих результатів.
- 5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:** 1. Схематичне креслення моделі приміщення. 2. Схема підключення освітлювальних приладів на стелі макета; 3. Схема системи збору даних; 4. Графіки розподілу світла; 5. Схема модуля управління освітленням.

6. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Аналіз літературних джерел	22.05.2023	
2.	Збір інформації	23.05. 2023	
3.	Дослідження поняття системи управління освітленням, її функцій, методів та видів існуючих рішень	24.05. 2023	
4.	Аналіз систем освітлення	25.05.2023 – 27.05.2023	
5.	Дослідження освітлення виробничих приміщень та вимог до нього	28.05.2023 – 29.05.2023	
6.	Створення макета приміщення	30.05.2023	
7.	Вибір елементів і структури системи управління освітленням	31.05.2023 – 02.06.2023	
8.	Побудова системи управління освітленням	03.06.2023 – 06.06.2023	
9.	Первинне встановлення модуля	07.06.2023	
10.	Перевірка рішення на ефективність	08.06.2023 – 11.06.2023	
11.	Формування висновків по виконаній роботі	12.06.2023	
12.	Оформлення пояснювальної записки	13.06.2023	
13.	Створення презентації	14.06.2023	

7. Дата видачі завдання _____

Керівник: _____ Микола ВАСИЛЕНКО
(підпис)

Завдання прийняла до виконання _____ Юлія ПОЛІЩУК
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи «Автоматизована система освітлення офісного приміщення» 55 с., 24 рис., 2 табл, 18 джерел, 6 с. додатків.
СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ, ОФІСНЕ ПРИМІЩЕННЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР, ДАТЧИК ОСВІТЛЕНОСТІ, ПРИРОДНЕ ОСВІТЛЕННЯ.

Об'єкт дослідження – система управління освітленням (СУО).

Предмет дослідження – структура та алгоритми СУО.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка СУО офісного приміщення з функцією вмикання штучного освітлення в залежності від природного освітлення із використанням мікроконтролера та датчиків освітленості.

Метод дослідження – порівняльний аналіз, обробка літературних джерел.

Теоретичні дослідження склалися з дослідження поняття системи управління освітленням, її функцій, методів та видів існуючих рішень, аналізу систем освітлення та дослідження освітлення виробничих приміщень і вимог до нього. Запропоновано розробити СУО офісного приміщення з функцією вмикання штучного освітлення в залежності від природного освітлення із використанням мікроконтролера та датчиків освітленості.

Результати досліджень показали, що автоматизована система освітлення офісного приміщення є ефективним та перспективним рішенням для досягнення оптимального освітлення та енергоефективності. Результати практичного застосування системи свідчать про її потенціал для впровадження в різні офісні середовища з метою поліпшення якості освітлення, зниження витрат електроенергії та створення комфортних умов для працівників. Додатково система може сприяти зменшенню впливу на навколишнє середовище шляхом зменшення викидів парникових газів та споживання природних ресурсів.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ6

ВСТУП7

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ТА АКТУАЛЬНІСТЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ9

1.1. Поняття системи управління освітленням9

1.2. Функції та методи системи управління освітленням10

1.3. Види існуючих рішень систем управління освітленням11

1.4. Висновки до розділу 112

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ14

2.1. Порівняння різних типів джерел освітлення14

2.2. Різні варіанти побудови систем управління освітленням21

2.3. Висновки до розділу 222

РОЗДІЛ 3. ОСВІТЛЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ ТА ВИМОГИ ДО НЬОГО24

3.1. Значення освітлення робочого місця для працездатності та здоров'я24

3.2. Ергономічні вимоги до робочого місця26

3.3. Висновки до розділу 330

РОЗДІЛ 4. ПОБУДОВА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ31

4.1. Створення макета приміщення32

4.2. Вибір елементів і структури системи управління освітленням36

4.2.1. Плата Arduino UNO36

4.2.2. Вимірювальний перетворювач37

4.2.3. Система збору даних39

4.2.4. Науково-експериментальна установка41

4.2.5. Підбір датчиків42

4.2.6. Визначення порядку увімкнення світильників44

4.2.7. Визначення взаємозв'язку зовнішнього та внутрішнього освітлення47

4.3. Опис принципу роботи модуля51

4.4. Первинне встановлення модуля54

4.5. Перевірка рішення на ефективність54

4.6. Висновки до розділу 456

ВИСНОВКИ57

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ59

Додаток А61

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

- АЦП – аналого-цифровий перетворювач
КПО – коефіцієнт природної освітленості
ПК – персональний комп'ютер
СЗД – систему збору даних
СУО – система управління освітленням;

ВСТУП

В сучасному світі науково-технічний прогрес розгортається з неймовірною швидкістю, що призводить до вдосконалення технологій та якості життя людей. З метою покращення умов праці, збільшення ефективності використання енергоресурсів та зниження витрат на утримання приміщення, все більше уваги приділяється впровадженню автоматизованих СУО, які дозволяють забезпечити оптимальне освітлення в робочих приміщеннях, регулювати його відповідно до потреб працівників та забезпечувати економію енергоресурсів. [1]

Метою роботи є розробка СУО офісного приміщення з функцією вмикання штучного освітлення в залежності від природного освітлення із використанням мікроконтролера та датчиків освітленості.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні завдання: дослідити поняття СУО, її функцій, методів та видів існуючих рішень; проаналізувати системи освітлення; дослідити освітлення виробничих приміщень та вимоги до нього; побудувати СУО, провести її тестування в робочому приміщенні, а також здійснити аналіз отриманих результатів.

У роботі використано сучасні наукові та технічні досягнення у галузі автоматизації та енергозбереження. Вона складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел. У першому розділі досліджено поняття СУО, її функцій, методів та видів існуючих рішень. Другий розділ присвячений аналізу систем освітлення. У третьому розділі досліджено освітлення виробничих приміщень та вимоги до нього. В четвертому розділі побудовано СУО, проведено її тестування в робочому приміщенні, а також здійснено аналіз отриманих результатів.

Результатом дипломної роботи є функціональна автоматизована СУО робочого приміщення, яка забезпечує ефективне використання енергоресурсів, підвищує комфортність приміщення та забезпечує безпеку працівників. Отри-

мані результати можуть бути корисні для підприємств та організацій, які мають потребу у покращенні умов праці та економії енергоресурсів.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ТА АКТУАЛЬНІСТЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ

Теоретико-методичні засади та актуальність СУО полягає у використанні сучасних технологій управління освітленням для забезпечення максимального комфорту користувача та економії електроенергії. У будь-якому приміщенні освітлення повинно бути достатнім і забезпечувати комфортне сприйняття простору, в той же час важливим є економне використання електроенергії. Для досягнення цієї мети сучасні технології дозволяють використовувати СУО, які можуть регулювати яскравість і колір освітлення відповідно до потреб користувача і різних умов. [1]

1.1. Поняття системи управління освітленням

СУО – це комплексний набір технічних засобів, які автоматично або вручну керують освітленням певного приміщення або території для досягнення ефективності, комфорту та економії електроенергії. [1]

Основна мета СУО – забезпечити оптимальну якість освітлення в приміщенні при мінімальному споживанні енергії та зменшити витрати на обслуговування освітлення. Для цього система може бути оснащена датчиками руху і освітленості, які автоматично вмикають світло в тих зонах простору, де присутні люди, і вимикають його в тих, що не використовуються. Крім того, система може бути налаштована на ввімкнення світла в різний час доби і в залежності від наявності природного освітлення. Система також може бути підключена до різних систем управління будівлею, таких як опалення, вентиляція та кондиціонування, щоб урегулювати споживання енергії та забезпечити комфортні умови для користувачів об'єкта. [1]

Використання СУО допомагає зменшити енергоспоживання та витрати на електроенергію, що стає все більш важливим з точки зору збереження ресурсів та зменшення впливу на навколишнє середовище. Система також може забезпечити комфортне середовище для користувачів приміщень, що може позитивно вплинути на їхню продуктивність і задоволеність роботою. [2]

1.2. Функції та методи системи управління освітленням

Основними функціями СУО є: [1]

- Автоматичне управління освітленням – виявляє присутність людей у приміщенні і може вмикати та вимикати світло за потреби.
- Регулювання освітлення – дозволяє плавно регулювати освітлення відповідно до часу доби, природного освітлення та потреб користувача.
- Попередження про несправності – попереджає користувачів про несправні лампочки та інші освітлювальні прилади, щоб їх можна було вчасно замінити, запобігаючи вимкненню світла в невідповідний час.
- Забезпечення безпеки – освітлення в коридорах, на сходових клітинах і парковках можна контролювати, щоб підвищити безпеку користувачів об'єкта.
- Моніторинг та аналіз енергоспоживання – дані про споживання електроенергії для освітлення можна збирати та аналізувати, щоб зменшити витрати та урегулювати використання ресурсів.
- Індивідуальне налаштування – система дозволяє користувачам адаптувати освітлення до своїх потреб та вподобань.

Аналогове та цифрове управління – це два різні методи СУО. [3]

Аналогове управління використовує фізичні пристрої, такі як вимикачі та диммери, для управління яскравістю та інтенсивністю світла. Цей тип управління простий і зручний у використанні, але має обмеження з точки зору точності та автоматизації. Наприклад, аналогові диммери дозволяють лише кілька фіксованих налаштувань, що обмежує діапазон інтенсивності світла, якого можна досягти. [3]

Цифрове управління освітленням використовує програмне забезпечення та комп'ютерне обладнання для управління системою освітлення. Цей метод забезпечує більшу точність і гнучкість у встановленні рівнів освітлення і може бути запрограмований на автоматичне регулювання освітлення в залежності від різних факторів, таких як час доби, кількість людей і рівень природного освітлення. [3]

Переваги цифрового управління освітленням включають покращену енергоефективність, економію коштів та розширені функції автоматизації. Однак цифрові СУО можуть бути складнішими і дорожчими в установці та обслуговуванні, ніж аналогові системи. Зрештою, вибір між аналоговими та цифровими СУО залежить від конкретних потреб і вимог об'єкта та користувача. [3]

1.3. Види існуючих рішень систем управління освітленням

Існує багато типів СУО, які варіюються в залежності від їх функціональності та складності: [4]

- Ручне управління: найпростіша СУО, де світло вмикається і вимикається вручну за допомогою вимикачів або кнопок.
- Таймери: таймери освітлення, які автоматично вимикаються через певний проміжок часу після увімкнення світла. Це дозволяє уникнути можливості забути вимкнути світло, коли користувач виходить на вулицю або коли використовується нічне освітлення.
- Датчик руху: система використовує датчик руху для виявлення присутності людей і в залежності від цього автоматичного вмикання та вимикання світла.
- Датчик освітленості: система вимірює рівень освітленості в приміщенні та автоматично вмикає і вимикає світло. Це дозволяє забезпечувати достатній рівень освітленості в приміщенні.
- Інтелектуальна система: система використовує алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту для прогнозування потреб в освітленні та урегулювання продуктивності та енергоефективності системи.
- Системи динамічного освітлення: ці системи здатні змінювати інтенсивність і колір світла відповідно до потреб користувача. Наприклад, системи динамічного освітлення можуть бути встановлені в лікарняних палатах, щоб забезпечити освітлення відповідно до біологічних ритмів пацієнтів і сприяти поліпшенню здоров'я.

- Системи на основі Інтернету речей (IoT): ці системи дозволяють керувати освітленням за допомогою мобільних пристроїв. Це корисно, якщо користувач хоче увімкнути світло дистанційно або якщо він перебуває на вулиці і забув вимкнути світло.
- Зональна система: система, яка дозволяє встановлювати різні рівні освітлення для різних зон приміщення, забезпечуючи достатню яскравість у різних частинах кімнати.
- СУО відповідно до графіка роботи: ця система вимикає освітлення в кінці робочого дня або під час перерви на обід.
- Системи з голосовою активацією: ці системи використовують голосові помічники, такі як Siri або Alexa, для управління освітленням. Голосові команди можна використовувати для ввімкнення та вимкнення світла, зміни його яскравості і кольору.

Найкращу СУО можна обрати відповідно до потреб користувача. Найсучасніші та інноваційні системи, такі як системи динамічного освітлення та інтелектуальні системи, дорожчі в установці та обслуговуванні, але забезпечують більш ефективне використання енергії та більш комфортне середовище для користувачів. [4]

1.4. Висновки до розділу 1

У будь-якому приміщенні освітлення має бути достатнім для користувача, воно повинно робити простір приємним і впізнаваним, при цьому економно використовувати електроенергію. Для досягнення цієї мети сучасні технології дозволяють використовувати СУО, які можуть регулювати яскравість і колір освітлення відповідно до потреб користувача та різних умов.

СУО автоматично контролюють рівень освітленості в приміщенні та регулюють яскравість і колір освітлення відповідно до потреб користувача, часу доби та погодних умов. Система може працювати на основі таких умов, як датчики руху, датчики присутності і т.д.

Однією з головних цілей СУО є зменшення споживання енергії в будівлях. СУО можуть значно зменшити споживання енергії, автоматично вимикаючи непотрібне світло та зменшуючи яскравість освітлення, коли в приміщенні нікого немає. Тому СУО є дуже важливими і необхідними на сучасних об'єктах з високим енергоспоживанням.

Ще одним важливим фактором є можливість забезпечення безпеки в будівлі, особливо в разі виникнення надзвичайної ситуації. З цією метою СУО можуть співпрацювати з системами аварійного освітлення, щоб забезпечити надійне освітлення в разі надзвичайної ситуації.

Загалом, СУО є невід'ємним елементом сучасної архітектури, забезпечуючи комфорт, енергоефективність та безпеку в будь-якій будівлі. Ефективне використання цих систем вимагає врахування потреб і вимог користувачів, а також застосування новітніх технологій і методів управління освітленням.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ

Системи освітлення можна аналізувати з різних боків, залежно від мети аналізу. Ось кілька можливих підходів до аналізу систем освітлення: [3]

- Технічний підхід: аналізуються основні технічні параметри системи освітлення, такі як яскравість, коефіцієнт світлового імпульсу, колірна температура, енергоспоживання та ефективність. Цей аналіз дозволяє оцінити технічний рівень системи освітлення та порівняти різні варіанти систем освітлення з точки зору продуктивності та енергоефективності.

- Ергономічний підхід: аналіз впливу системи освітлення на здоров'я та комфорт користувача. Аналіз може допомогти оцінити, чи відповідає система освітлення вимогам охорони здоров'я та безпеки, а також забезпечити комфортне та ефективне освітлення на робочому місці.

- Естетичний підхід: аналізує візуальне враження, яке створює система освітлення. Цей аналіз дозволяє оцінити, чи відповідає система освітлення вимогам дизайну і чи сприяє вона створенню приємного середовища в приміщенні.

- Економічний підхід: аналізує витрати на встановлення, експлуатацію та обслуговування системи освітлення. Такий аналіз дозволяє оцінити відповідність системи освітлення бюджетним вимогам і забезпечити найбільш ефективне використання бюджетних коштів.

В подальшому аналізі систем освітлення в розділі 2 буде використовуватися кожен із перелічених аспектів.

2.1. Порівняння різних типів джерел освітлення

Джерела світла поділяють на природні і штучні. Штучні в свою чергу бувають теплові та флуоресцентні. Теплові джерела світла випромінюють світло при нагріванні тіла, наприклад, лампи розжарювання, вугільні дуги та електричні інфрачервоні обігрівачі. Люмінесцентні джерела світла використовують явище люмінесценції для випромінювання світла шляхом прямого перетво-

рення електричної енергії у світлове випромінювання. Залежно від співвідношення між тепловим і світловим випромінюванням джерела світла поділяються на три категорії: теплове, світлове і змішане випромінювання (рис. 2.1). [5]



Рис. 2.1. Типи джерел електричного світла

Кожен з типів джерел світла має свої переваги та недоліки: [5]

- Природне світло – це безкоштовне джерело світла, яке надходить від сонця. Воно є найбільш екологічно чистим і сприяє здоровому способу життя, оскільки стимулює вироблення вітаміну D і регулює циркадний ритм організму. Однак природне світло нестабільне, залежне від погоди і обмежене певним часом доби, тому необхідні додаткові джерела світла.

- Лампа розжарювання (рис 2.2, а) – це традиційний тип джерела освітлення, який зазвичай використовується в побуті. Хоча вони недорогі та прості у використанні, їм бракує ефективності та довговічності. Вони також не забезпечують високої якості світла, що призводить до низької насиченості кольорів об'єктів. Ці лампи зазвичай мають низьку потужність і встановлюються безпосередньо на колодки лампи освітлення.

- Галогенні лампи розжарювання (рис. 2.2, б) – мають більш високу світлову віддачу, довший термін служби та більш точну кольорову температуру, ніж звичайні лампи розжарювання. Крім того, галогенні лампи можуть працювати за високих температур, що дозволяє використовувати їх у вимогливих умовах. Проте, галогенні лампи мають певні недоліки, такі як високу температуру роботи, а також надмірне енергоспоживання.

- Плазмова лампа (рис. 2.2, в) – цей тип лампи має більшу енергоефективність, довший термін служби та більш широкий спектр кольорів, ніж звичайні лампи розжарювання. Плазмові лампи можуть бути виготовлені в різних формах та розмірах, включаючи гнучкі плазмові екрани, плоскі панелі, кулі, трубки та інші форми. Проте вони дорогі та складні у виготовленні.

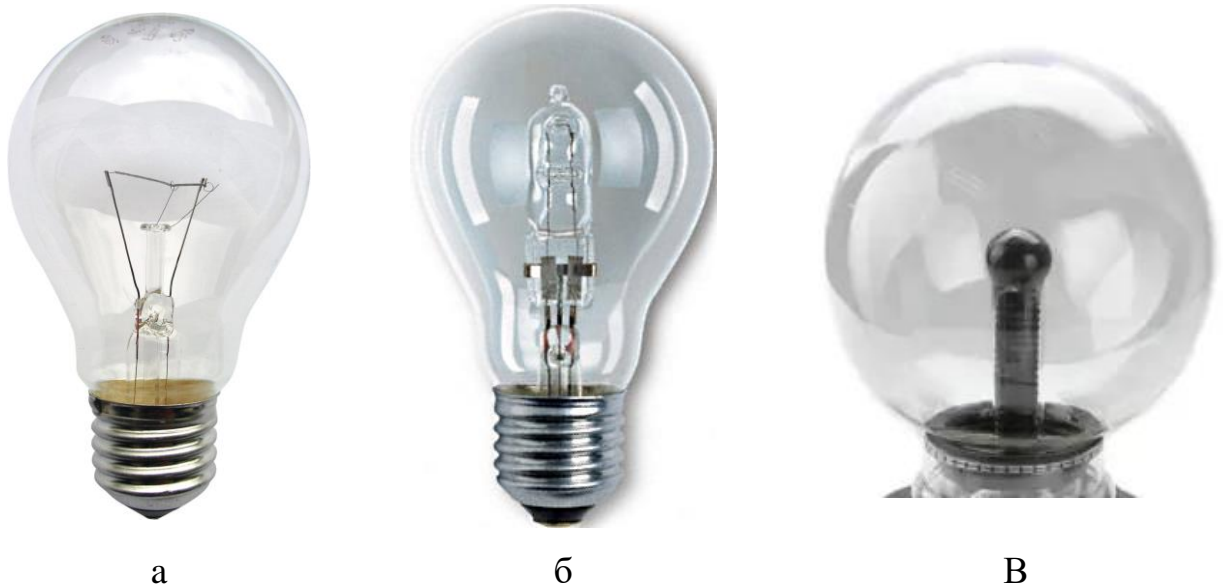


Рис. 2.2. Типи джерел освітлення: а) лампа розжарювання; б) галогенна лампа розжарювання; в) плазмова лампа

- Світлодіодні лампи (рис. 2.3, а) – цей тип джерел світла є енергоефективним, має довгий термін служби і низький вплив на навколишнє середовище. Вони також не містять ртуті або інших шкідливих речовин і можуть регулюватися за допомогою диммерів. Однак вони дорожчі за лампи розжарювання лампи, що робить заміну старої системи освітлення більш затратною.

- Лазерні лампи або лазерні діоди (рис. 2.3, б) – електронні пристрої, які виробляють вузьконаправлене світло високої якості з використанням ефекту

спонтанного випромінювання. Основною перевагою є висока енергоефективність та точність. Вони можуть генерувати високу інтенсивність світла з малими втратами енергії. Крім того, лазерні лампи можуть працювати при дуже високих температурах та навіть у вакуумі. Вони також можуть бути дуже малими та легкими. Однак лазерні лампи дорогі та складні у виготовленні. Також вони можуть бути небезпечними для здоров'я, якщо використовуються неправильно.

- Лінійні люмінесцентні лампи (рис. 2.3, *в*) – мають високу енергоефективність, довгу тривалість служби, великий світловий потік та більш рівномірне розподілення світла по приміщенню, ніж в лампах розжарювання. Однак вони містять ртуть, що може бути небезпечним для здоров'я та довкілля, якщо лампи не будуть відповідно утилізовані. Також вони можуть бути менш ефективними при низьких температурах.

- Компактні люмінесцентні лампи (рис. 2.3, *г*) – модифікація традиційних лінійних люмінесцентних ламп. Вони мають звужену форму, що дозволяє їм бути більш ефективними у використанні енергії, а також більш швидкий час запалювання. В іншому компактні люмінесцентні лампи від лінійних не відрізняються.



Рис. 2.3. Типи джерел освітлення: *а*) світлодіодна лампа; *б*) лазерна лампа; *в*) лінійна люмінісцентна лампа; *г*) компактна люмінісцентна лампа

- Натрієві лампи (рис. 2.4, *a*) – цей тип джерел світла часто використовується для освітлення вулиць і автострад через свою яскравість і широке покриття. Однак натрієві лампи мають дуже низьку колірну температуру, через що освітлені кольори виглядають неприродно. Вони також мають низьку енергоефективність і короткий термін служби через високу робочу температуру.
- Металогенні лампи (рис. 2.4, *б*) – цей тип джерел світла має високу яскравість і точність передачі кольору. Вони також довговічні та забезпечують стабільну якість світла. Однак вони мають низьку енергоефективність і високу вартість виробництва.
- Ксенонові лампи (рис. 2.4, *в*) – це тип джерел світла, що використовується в автомобільному освітленні. Вони мають високу якість світла і довговічність, але коштують дорожче, ніж інші лампи. Вони також вимагають високої напруги і не прості у використанні.



Рис. 2.4. Типи джерел освітлення: *a*) натрієва лампа; *б*) металогенна лампа; *в*) ксенонова лампа

Вибір джерела світла залежить від конкретної ситуації та потреб. Важливо враховувати якість світла, ефективність, довговічність та екологічні аспекти джерела світла. Наприклад, якщо метою є забезпечення освітлення в приміщенні з низьким рівнем природного освітлення, можна використовувати світлодіо-

дні лампи або компактні люмінесцентні лампи. Крім того, важливо враховувати розмір і форму приміщення, оскільки це також впливає на розподіл світла. Наприклад, для кімнати з високою стелею може знадобитися більш потужне джерело світла, а для кімнати з низькою стелею – більш слабе джерело світла. [5]

Критерії електричного освітлення включають світловіддачу (відображає економічність лампи та є одним з найважливіших показників її якості, вимірюється у лм/Вт), корисний термін служби (тривалість горіння лампи до того моменту, поки її експлуатація є економічно вигідною), коефіцієнт потужності (співвідношення використаної активної потужності до повної, позначається $\cos\phi$), екологічність, складність обслуговування, безпечність, шум, пульсація (що може викликати стробоскопічний ефект), кольоропередача, температура нагріву, час запалювання та одинична потужність. [5]

Для аналізу і визначення найкращого типу електричного освітлення, необхідно скласти табл. 2.1, де відзначено види освітлення по вертикалі (1-8), а по горизонталі – їх критерії. Для оцінки типів освітлювальних приладів використано позначення «+», «-», «*», де «+» означає позитивну оцінку відносно критерію, «-» – негативну, «*» – середню. Залежно від важливості критерію, вони оцінюються так: важливі – 7-9, середньої важливості – 4-6, менш важливі – 1-3. Верхня межа призначається при позитивній оцінці, нижня – при негативній. Важливими критеріями є світловіддача, корисний термін служби та коефіцієнт потужності. Температура нагріву, час запалювання та одинична потужність відносяться до менш важливих. Інші критерії будуть мати середню важливість. Для підрахунку рейтингу потрібно скласти суму балів у передостанньому стовпчику таблиці, а в останньому стовпчику – визначити цей рейтинг від найбільшої кількості балів до найменшої.

Враховуючи подану в табл. 2.1 інформацію, можна дійти висновку, що найкращим рішенням для освітлення приміщення є світлодіоди, адже вони мають найбільш прийнятне співвідношення плюсів і мінусів та задовільняють всі чотири зазначені на початку розділу 2 принципи: технічний, ергономічний, естетичний та екологічний.

Таблиця 2.1

Порівняння джерел освітлення

Вид ламп	Критерії											Сума балів	Рейтинг
	Важливі			Середні					Менш важливі				
	Світловіддача	Корисний термін служби	Cosφ	Екологічність	Складність обслуговування	Безпечність	Шум, пульсація	Кольоропередача	Температура нагріву	Час запалювання	Одинична потужність		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Розжарювання	-	-	+	+	+	*	+	-	-	+	*	56	4
Галогенні розжарювання	*	-	+	+	+	*	+	-	-	+	*	57	3
Лінійні люмінесцентні	+	*	*	-	-	-	-	+	+	*	*	54	6
Компактні люмінесцентні	+	+	*	*	+	*	*	+	+	+	*	61	2
Натрієві	+	+	*	*	-	*	*	-	*	-	+	55	5
Металогенні	+	*	-	*	-	*	*	*	*	*	+	55	5
Ксенонові	*	-	*	*	-	*	*	+	-	-	+	53	7

Світлодіодні	+	+	+	+	+	+	+	+	*	+	–	62	1
--------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	---

2.2. Різні варіанти побудови систем управління освітленням Існує кілька варіантів побудови СУО: [3]

- **Централізована система:** електронні СУО встановлюються в центральній диспетчерській і з'єднуються з кожною кімнатою окремими кабелями. Основна перевага централізованої СУО полягає в тому, що всі світильники можна контролювати централізовано, що дозволяє більш точно керувати та ефективніше використовувати електроенергію. Однак така система може бути дорогою, якщо потрібно виконати багато додаткових електромонтажних робіт.

- **Децентралізована система:** освітленням керують локальні контролери, які контролюють окремі зони приміщення. Децентралізовані СУО дозволяють більш гнучко і локально керувати освітленням в кожній зоні або приміщенні. Це корисно, наприклад, коли потрібні різні рівні освітлення в залежності від призначення кожної зони або наявності людей у приміщенні. Проте у великих приміщеннях необхідність управляти значною кількістю світильників може стати більш складною для управління.

- **Бездротова система:** управління освітленням здійснюється за допомогою радіосигналів або інших бездротових технологій, що дозволяють зв'язати керуючі пристрої з освітлювальним обладнанням. Бездротові СУО корисні, коли прокладання додаткової проводки неможливе або невиправдане. Вони також більш гнучкі та прості у використанні, оскільки не потребують додаткових робіт з прокладання проводки. Однак вони схильні до перешкод і глушіння, що може погіршити якість сигналу і знизити надійність системи.

- **Мережева система:** освітлювальне обладнання підключається до комп'ютерної мережі і може управлятися за допомогою програмного забезпечення. Мережеві СУО корисні, коли потрібен централізований контроль і моніторинг для кількох об'єктів або коли встановлення та обслуговування системи є складним і дорогим.

- Система «розумний будинок»: СУО можуть бути інтегровані в системи «розумного будинку» для автоматичного управління освітленням відповідно до погодних умов, розкладу дня, наявності мешканців, температури тощо.

Вибір найкращого варіанту СУО вимагає врахування необхідної освітленості, розміру приміщення, наявності додаткових компонентів, таких як датчики руху або освітленості, а також бюджету на встановлення та обслуговування системи. [3]

2.3. Висновки до розділу 2

В розділі було проаналізовано такі типи джерел світла, кожен з яких має свої переваги та недоліки:

- природне світло;
- лампи розжарювання;
- галогенні лампи розжарювання;
- плазмові лампи;
- світлодіодні лампи;
- лазерні лампи;
- лінійні люмінесцентні лампи;
- компактні люмінесцентні лампи;
- металогалогенні лампи;
- натрієві лампи;
- ксенонові лампи.

Беззаперечним лідером виявились світлодіодні лампи.

Також було розглянуто такі варіанти побудови СУО:

- централізована система;
- децентралізована система;
- бездротова система;
- мережева система;
- система «розумний будинок».

Загалом, вибір джерела світла та варіанта побудови СУО повинен ґрунтуватися на низці факторів, включаючи вимоги до якості світла, бюджет, ефективність і довговічність, а також екологічну сумісність. Навіть невеликі зміни в джерелах світла можуть зменшити витрати на електроенергію та покращити якість перебування в приміщенні.

РОЗДІЛ 3

ОСВІТЛЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ ТА ВИМОГИ ДО НЬОГО

Освітлення у виробничих приміщеннях є важливим фактором для безпеки та комфорту працівників, а також для якості продукції. Згідно з нормами і стандартами, вимоги до освітлення виробничих приміщень визначаються виходячи з ряду факторів, включаючи тип виробництва, технологію і умови праці. [6]

Фактичне освітлення робочого місця можна виміряти за допомогою світломірів, які вимірюють кількість світла, яке падає на поверхню. Одиницею вимірювання фактичного освітлення є люкс (лк). Люкс визначає кількість світла, яка падає на поверхню площею один квадратний метр, коли відстань між джерелом світла і поверхнею становить один метр. [6]

Щоб виміряти фактичне освітлення робочого місця, необхідно розмістити світломір на поверхні, на яку падає світло. Світломір можна розмістити на робочому столі або на підлозі поруч з робочим місцем. Для точнішого вимірювання рекомендується використовувати декілька світломірів для вимірювання рівномірності освітлення на всій поверхні робочого місця. [6]

3.1. Значення освітлення робочого місця для працездатності та здоров'я

Серед факторів навколишнього середовища, які впливають на людей на роботі, освітлення є особливо важливим. Дослідження показують, що понад 90% інформації про навколишній світ ми отримуємо від зорової системи. Для деяких видів діяльності втома очей пов'язана з інтенсивністю процесів, пов'язаних із зоровим сприйняттям, таких як адаптація, акомодация і конвергенція. [6]

Адаптація – це пристосування ока до мінливих умов освітлення (інтенсивності світла). [6]

Акомодация – це пристосування ока до чіткого бачення об'єктів на різних відстанях шляхом зміни кривизни кришталика. [6]

Конвергенція – здатність ока приймати положення, при якому зорові осі обох очей перетинаються над об'єктом при розгляданні чогось поблизу. [6]

Освітлення на робочому місці має вирішальне значення для продуктивності та здоров'я працівників. Належне освітлення дозволяє працівникам працювати в комфортних умовах, підвищуючи продуктивність і знижуючи втому. Недостатнє або невідповідне освітлення може призвести до погіршення зору, втоми очей, перепадів настрою та зниження продуктивності. [6]

Погане освітлення може спричинити різні проблеми зі здоров'ям працівників. Зокрема, тривалий вплив комп'ютерних екранів в умовах поганого освітлення може викликати втому очей, їх сухість і подразнення, біль у шиї та спині, головний біль і затуманення зору. [6]

Крім того, погане освітлення може погіршити настрій і викликати депресію. Дослідження показали, що низька освітленість знижує рівень вітаміну D у сироватці крові, що впливає на настрій та емоційний стан. [6]

Освітлення впливає не лише на здатність органів зору сприймати світло, але й на функціонування всього організму. Недостатнє освітлення робить людей втомленими, знижує продуктивність і збільшує ризик помилок та нещасних випадків. Статистика показує, що недостатнє або неправильне освітлення є причиною 5% травм і фактором 20% нещасних випадків. Недостатнє освітлення також може призвести до професійних захворювань, таких як професійна міопія (короткозорість) та адаптаційний спазм. [6]

Щоб забезпечити оптимальне середовище для зорової роботи, важливо враховувати не тільки кількість і якість освітлення, але й колірне середовище. Світла палітра в інтер'єрі може впливати на рівень освітленості на 20-40% при тій же потужності джерела світла, зменшуючи різкі тіні і покращуючи рівномірність освітлення. [6]

Однак надмірна яскравість джерела світла або навколишніх об'єктів може засліплювати працівників, а нерівномірне освітлення і нерівномірна яскравість навколишнього середовища можуть викликати часту акомодацию очей і швидку їх втому. Тому, щоб забезпечити оптимальне освітлення, поверхні, які знаходяться у полі зору та добре освітлюються, краще фарбувати у кольори серед-

ньої світлості з коефіцієнтом відбивання в межах 0,3-0,6 та матовою поверхнею. [6]

3.2. Ергономічні вимоги до робочого місця Ергономіка – це галузь науки, яка вивчає взаємозв'язок між людьми та обладнанням з метою підвищення ефективності праці та зменшення травматизму. Створення ергономічних умов праці є важливим фактором забезпечення безпечних і комфортних умов праці. Робочі місця, які відповідають ергономічним вимогам, знижують ризик травматизму і втоми, підвищують продуктивність праці і зміцнюють здоров'я співробітників. [7]

Для забезпечення комфортних умов праці площа офісу повинна становити не менше 6 м², а об'єм – не менше 24 м³. Інтер'єр повинен бути виконаний з дифузно-відбиваючих матеріалів з коефіцієнтом відбиття 0,7-0,8 на стелі, 0,5-0,6 на стінах і 0,3-0,5 на підлозі. [7]

Розміри робочого простору повинні відповідати антропометричним параметрам, таким як зріст працівника, довжина рук і довжина ніг. Також слід враховувати можливість працівників змінювати положення тіла протягом робочого дня, щоб зменшити навантаження на м'язи та суглоби. [7]

Столи та стільці повинні регулюватися по висоті, щоб працівники могли змінювати положення тіла під час роботи. При цьому висота столу і стільця повинна відповідати зросту працівника і виконуваному завданню. Конструкція стільця повинна дозволяти змінювати позу, щоб забезпечити підтримання правильної робочої пози під час роботи і зменшити статичну напругу в м'язах ший, плечей і спини для запобігання розвитку втоми. Сидіння, спинка та інші поверхні стільця (крісла) повинні мати напівм'яке, неелектричне, неслизьке, повітро-непроникне покриття, яке легко очищається від забруднень. [7]

Конструкція робочих місць повинна забезпечувати оптимальне розташування обладнання, що використовується, на робочій поверхні. Обладнання повинно бути розташоване таким чином, щоб працівники могли користуватися ним комфортно і без труднощів. Відстань між очима користувача та екраном

має становити 500-700 мм, а кут огляду – 10-20° і не перевищувати 40°. Кут між верхнім краєм екрану та рівнем очей користувача повинен бути не менше 10°. Для комфортного перегляду екран повинен бути розташований перпендикулярно до лінії зору користувача. [7]

Вентиляція та температура також є важливими ергономічними факторами. Робоче середовище має бути добре вентиляльованим і забезпечувати достатню кількість свіжого повітря. Температура повітря повинна бути комфортною для працівників і відповідати вимогам гігієнічних норм. [7]

Забезпечуючи ергономічні умови праці, необхідно також дотримуватися вимог безпеки та охорони здоров'я. Робочі місця не повинні містити небезпечних елементів, які можуть спричинити травми. Правильне використання обладнання та інструментів також важливо для зниження ризику травмування. [7]

Ергономічні вимоги до освітлення робочого місця є дуже важливим фактором для забезпечення комфорту і здоров'я працівників. Згідно з українським законодавством, освітлення на робочих місцях має відповідати вимогам безпеки та охорони здоров'я працівників. Зокрема, до освітлення робочих місць висуваються такі вимоги: [8]

- рівень освітленості на поверхні робочого столу повинен бути не менше 300 лк для приміщень зі звичайним видом роботи та не менше 500 лк для приміщень зі складним видом роботи;
- відношення мінімальної освітленості до середньої освітленості повинно бути не менше 0,4 для приміщень зі звичайним видом роботи та не менше 0,5 для приміщень зі складним видом роботи;
- уникати відблисків на робочій поверхні та екрані комп'ютера;
- використовувати освітлення з природнім спектром світла, що найбільш близький до сонячного;
- забезпечувати рівномірний розподіл світла по робочій поверхні та приміщенню.

Однією з основних вимог є якість освітлення. Для забезпечення комфорту і здоров'я працівників важливо, щоб освітлення було рівномірним, без

відблисків і віддзеркалень і наближеним до природного. Цього можна досягти за допомогою спеціальних ламп, які імітують природне світло, а також за допомогою розсіювачів світла, які зменшують відблиски та віддзеркалення на робочому місці. [9]

Кількість освітлення також є важливою вимогою. Робоче місце має бути добре освітлене, щоб забезпечити комфорт і здоров'я працівників. [9]

Вимоги до освітленості: [8]

Для штучного освітлення:

- комбіноване – 1500 лк;
- загальне – 400 лк.

Для природного освітлення:

- бічне – коефіцієнт природної освітленості (КПО) 3,5%;
- верхнє або комбіноване – КПО 10%.

Для суміщеного освітлення:

- верхнє або комбіноване – КПО 3-6%;
- бічне – КПО 1,1-2%.

Розташування освітлення теж має значення. Важливо, щоб джерело світла знаходилося на відстані не менше 50 см від поверхні робочого місця, щоб забезпечити комфорт і здоров'я працівників. Світло повинно бути спрямоване на робоче місце, а не на очі працівника. [9]

Потрібно пам'ятати про колір світла, який може впливати на настрій та емоційний стан працівників. Наприклад, тепле жовте світло створює затишну і розслаблюючу атмосферу, тоді як холодне біле світло стимулює і допомагає підтримувати високу продуктивність. [9]

Управління освітленням також має велике значення. Важливо мати можливість контролювати яскравість і температуру на робочому місці, щоб забезпечити комфорт і здоров'я працівників. Цього можна досягти за допомогою диммерів або світильників з можливістю регулювання. [9]

Бажано враховувати індивідуальні особливості працівників, такі як вік, зір та особливості роботи, і налаштовувати освітлення відповідно до їхніх потреб. [9]

Також необхідно забезпечити достатнє природне освітлення, яке позитивно впливає на самопочуття і настрої працівників. При цьому вікна повинні бути спроектовані так, щоб пропускати достатню кількість світла, але не викликати бляклість або надмірне освітлення екранів комп'ютерів. Робочі місця повинні розташовуватися на відстані трьох метрів від світлових прорізів, а природне світло має падати збоку, бажано зліва. [9]

Нарешті, не слід забувати про правильне розташування світильників. Лампи повинні бути розташовані так, щоб вони не відбивалися на екрані комп'ютера і не відкидали тіні на робочу поверхню. Крім того, освітлювальні прилади також повинні бути розташовані так, щоб не відкидати тіні на робочу поверхню. При виборі освітлювальних приладів для використання на робочому місці важливо враховувати не тільки ефективність і якість світла, але також дизайн і можливість регулювання інтенсивності світла. Наприклад, робочі столи зазвичай потребують сильнішого освітлення, ніж весь робочий простір, тому важливо, щоб інтенсивність світла можна було регулювати на конкретних рівнях робочого місця. [9]

Площа світлових отворів, обчислюється за формулою: [10]

$$S_{\phi} = \frac{S_n \cdot K_{\text{ПО}} \cdot K_3 \cdot h_{\phi}}{100 \cdot T_0 \cdot r_2 \cdot K_{\phi}}, \quad (3.1)$$

де S_n – площа підлоги приміщення, м^2 ; K_3 – коефіцієнт запасу; h_{ϕ} – світлова характеристика світлового отвору; T_0 – загальний коефіцієнт світлопропускання; r_2 – коефіцієнт, що враховує відображення світла; K_{ϕ} – коефіцієнт, що враховує тип світлового отвору.

Необхідна кількість світильників легко розраховується за такою формулою: [10]

$$N_{\text{СВ}} = \frac{E_0 \cdot S \cdot k \cdot z}{\Phi_{\text{л}} \cdot n \cdot j}, \quad (3.2)$$

тут E_0 – освітленість, лк; S – площа приміщення, m^2 ; k – коефіцієнт запасу; z – коефіцієнт мінімальної освітленості; $\Phi_{\text{л}}$ – світловий потік, лм; n – кількість ламп в одному світильнику; j – коефіцієнт використання світлового потоку.

Для розрахунку j потрібно визначити індекс приміщення: [10]

$$i = \frac{A \cdot B}{(A+B) \cdot H_m}, \quad (3.3)$$

де A – ширина кімнати, м; B – довжина кімнати, м; H_m – висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м.

Сумарна потужність світильників розраховується за формулою: [10]

$$P_{\text{сум}} = N_{\text{св}} \cdot P_{\text{л}}, \quad (3.4)$$

тут $P_{\text{л}}$ – потужність одного світильника, Вт.

3.3. Висновки до розділу 3

Важливість належного освітлення та вимог до нього у виробничих приміщеннях не можна недооцінювати, оскільки воно впливає на безпеку та здоров'я працівників, їхню продуктивність та якість виготовленої продукції. Крім того, належне освітлення знижує втому працівників і покращує концентрацію уваги, що призводить до підвищення операційної ефективності та позитивно впливає на прибутковість.

Створення ергономічних умов праці є важливим фактором забезпечення безпечного та комфортного робочого середовища. Дотримання вимог щодо розміру робочого місця, планування, освітлення, вентиляції та температури може знизити ризик травм і захворювань. Тому при проектуванні та організації робочого місця слід враховувати ергономічні вимоги та стандарти, щоб забезпечити оптимальні умови праці та здоров'я працівників. Дотримання цих вимог позитивно впливає на ефективність роботи, здоров'я працівників та якість продукції. Тому ергономічні вимоги до робочого місця є важливим фактором, який слід враховувати при проектуванні та розміщенні робочого місця.

РОЗДІЛ 4 ПОБУДОВА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ

Необхідність побудови ефективної СУО в офісному приміщенні як робочому просторі є актуальною проблемою, оскільки в останні роки зросло усвідомлення значення комфорту, енергоефективності та сталого розвитку на робочих місцях. Метою даного розділу кваліфікаційної роботи є розробка та реалізація СУО в офісному приміщенні з використанням інноваційних технологій. Дослідження цієї проблеми дозволить отримати практичні результати та рекомендації для впровадження ефективної СУО. В процесі дослідження будуть враховані такі фактори, як розташування вікон, природне освітлення, рух людей та інші параметри, що впливають на освітлення приміщення. Результати цього дослідження та розробка СУО можуть служити початковою платформою для подальших досліджень та впровадження в офісних приміщеннях.

Офісні приміщення та аудиторії університету будуються згідно з однаковими нормативними вимогами [8, 9], оскільки вони виконують схожі функції. В обох випадках люди проводять значний час за робочими місцями. Зважаючи на те, що аудиторії Національного авіаційного університету мають відкритий доступ для студентів і можуть легко використовуватись для встановлення тестових СУО та збору даних, було вирішено побудувати СУО в приміщенні університету. Це дозволяє зручно проводити експерименти та отримувати важливі висновки. Такий підхід забезпечує можливість тестування ефективності СУО в реальних умовах, де активно працюють студенти та викладачі.

4.1. Створення макета приміщення Для проведення дослідження та виявлення закономірностей, які досить складно отримати у реальному приміщенні, було створено макет офісу. Прототипом обрано приміщення розміром 6 на 6 м (36 м^2), висота стелі – 3 м. На одній зі стін на рівні 1 метра від підлоги розташовується світловий отвір площею $7,5 \text{ м}^2$. Стіни в приміщенні світлі. Стеля Армстронг – біла. Офіс обладнаний світлодіодними світильниками.

Приміщення перед створенням макета потрібно перевірити на відповідність нормативним вимогам щодо природного та штучного висвітлення.

Штучне освітлення включає в себе верхнє і місцеве освітлення. Рівень освітленості у зоні робочого місця має бути не більше 300 – 350 лк. Природне освітлення здійснюється через вікна та інші світлові отвори, які орієнтовані переважно на північний схід та північ, загальною площею $7,5 \text{ м}^2$ та нормується КПО, яке розраховується з урахуванням сонячного клімату та світлового поясу.

Для забезпечення нормованого значення КПО потрібно провести розрахунок природного та штучного висвітлення. Необхідно розрахувати площу світлових отворів за формулою (3.1), де $K_3 = 1,5$; $h_\phi = 15$; $T_0 = 0,63$; $r_2 = 1,25$; $K_\phi = 1,2$; КПО = 1 [8]. Тоді: $S_\phi = \frac{36 \cdot 1,5 \cdot 15}{100 \cdot 0,63 \cdot 1,25 \cdot 1,2} \approx 8,57 \text{ м}^2$.

Необхідна площа світлових прорізів вище за фактичну $7,5 \text{ м}^2$, отже є потреба у використанні штучного освітлення. Воно буде забезпечуватися світильниками, в яких встановлені світлодіодні лампи. Кожен такий світильник має світловий потік $\Phi_{\text{л}} = 3750 \text{ лм}$. Необхідна кількість світильників легко розраховується за формулою (3.2), де $k = 1,5$; $z = 1,2$; $n = 1$; $E_0 = 300 \text{ лк}$; $S = 36 \text{ м}^2$. [8]

Залишається лише розрахувати j – коефіцієнт використання світлового потоку, для чого необхідно визначити індекс приміщення за формулою (3.3):

$$i = \frac{6 \cdot 6}{(6+6) \cdot 2} = 257.$$

По індексу приміщення визначився коефіцієнт використання світлового потоку: $j = 0,61$ [8]. Тепер можна розрахувати необхідну кількість світильників для дотримання нормативів за формулою (3.2):

$$N_{\text{св}} = \frac{300 \cdot 36 \cdot 1,5 \cdot 1,2}{3700 \cdot 1 \cdot 0,61} = 9 \text{ шт.}$$

Тепер потрібно розрахувати сумарну потужність світильників за формулою (3.4): $P_{\text{сум}} = 9 \cdot 37 = 333 \text{ Вт}$.

Отже, з розрахунків можна зробити висновок про те, що умови освітленості приміщення відповідають нормативним вимогам.

Макет приміщення був виготовлений у масштабі 1:10. Площа макета складає $3,6 \text{ м}^2$, висота 0,3 м. На рис. 4.1 представлено креслення макета, а на рис. 4.2 – сам макет. У макеті встановлена стеля, яку можна конфігурувати як це необхідно для експериментів. Живлення на світильники можна регулювати і замінити на будь-який тип світильників.

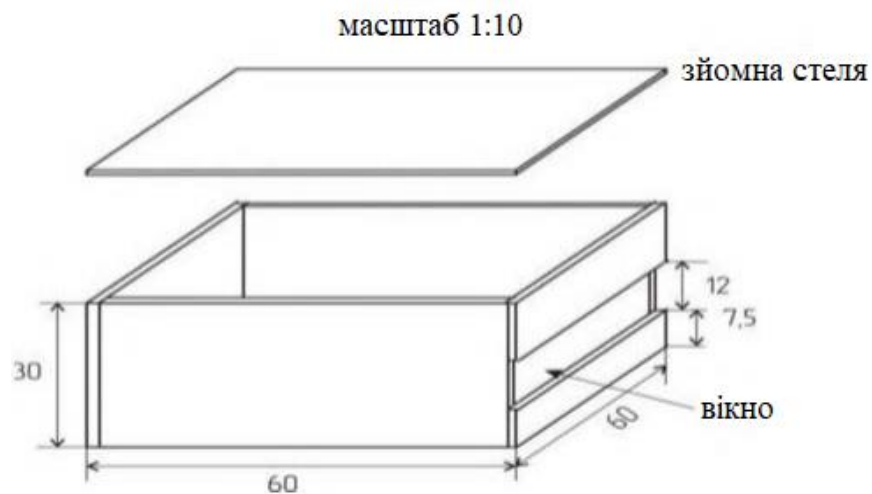


Рис. 4.1. Схематичне креслення моделі приміщення

У цій роботі на стелі були встановлені світильники, в кожному з яких знаходяться по дев'ять світлодіодів. Світильники виготовлені за формою справжніх та пропорційні їх розмірам. Як матеріал вибрано світлодіодну стрічку білого кольору B-LED 3528-60W IP65 [11].



Рис. 4.2. Макет приміщення

Завдяки тому, що кожен світильник підключений до реле, можна керувати будь-яким світильником незалежно від інших. Це зроблено з метою визначення раціонального способу включення. У макеті було вирішено використовувати модуль восьмиканального та одноканального механічного реле, у зв'язку з тим, що дев'ятиканальних реле не існує, а в макеті встановлено дев'ять світильників. На рис. 4.3, *а* показано модуль восьмиканального реле, а малюнку 4.3, *б* – модуль одноканального.

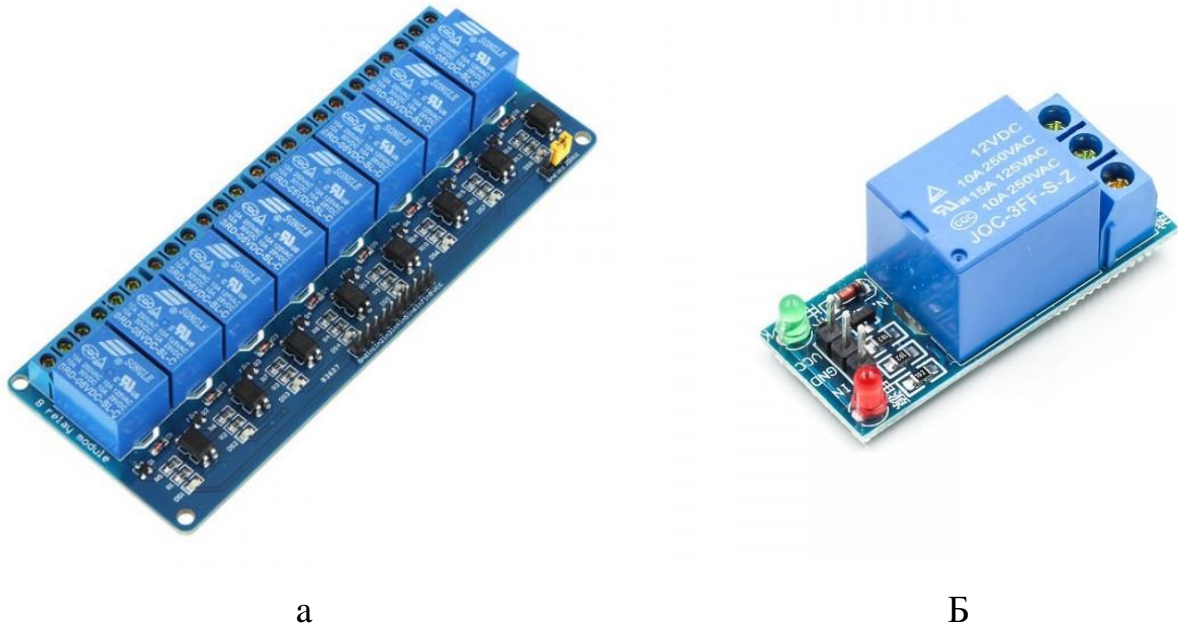


Рис. 4.3. Модуль реле: а) восьмиканального; б) одноканального

Такі модулі дозволяють зробити установку реле в пристрій з живленням 5 В і здатні комутувати вихідні ланцюги з напругою до 30 В постійного струму і з напругою до 250 В змінного струму. Сила струму має перевищувати 10 А. Оптопарі такого реле об'єднані анодами і підключені через перемичку до позитивного полюса і тому вхідний сигнал інвертується, тобто коли виведення контролера 1, то реле вимкнено, і якщо 0, то увімкнено. [12]

Два модулі реле підключаються до платформи для прототипування NI ELVIS II, на основі якої реалізовано регульоване джерело живлення з можливістю виставляти напругу від 0 до 12 В [13]. Структурна схема підключення представлена на рис. 4.4.

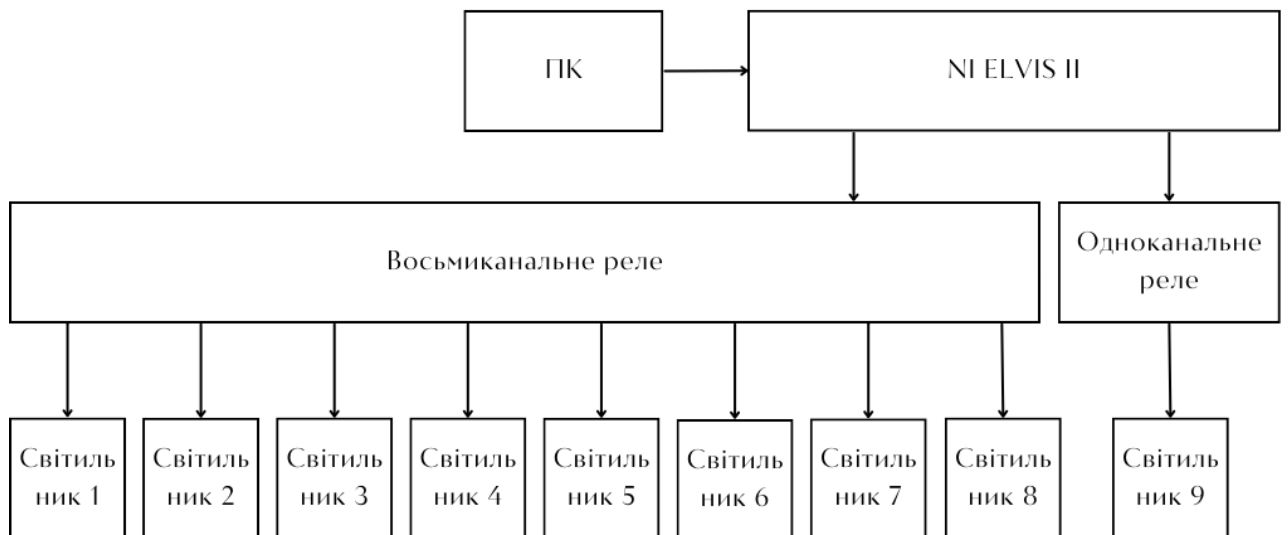


Рис. 4.4. Схема підключення освітлювальних приладів на стелі макета

4.2. Вибір елементів і структури системи управління освітленням

4.2.1. Плата Arduino UNO

Як контролер буде використовуватися рішення від Arduino, а саме плата Arduino UNO (рис. 4.5), яка побудована на мікроконтролері ATmega328 і є досить простою у налаштуванні та використанні. [14]

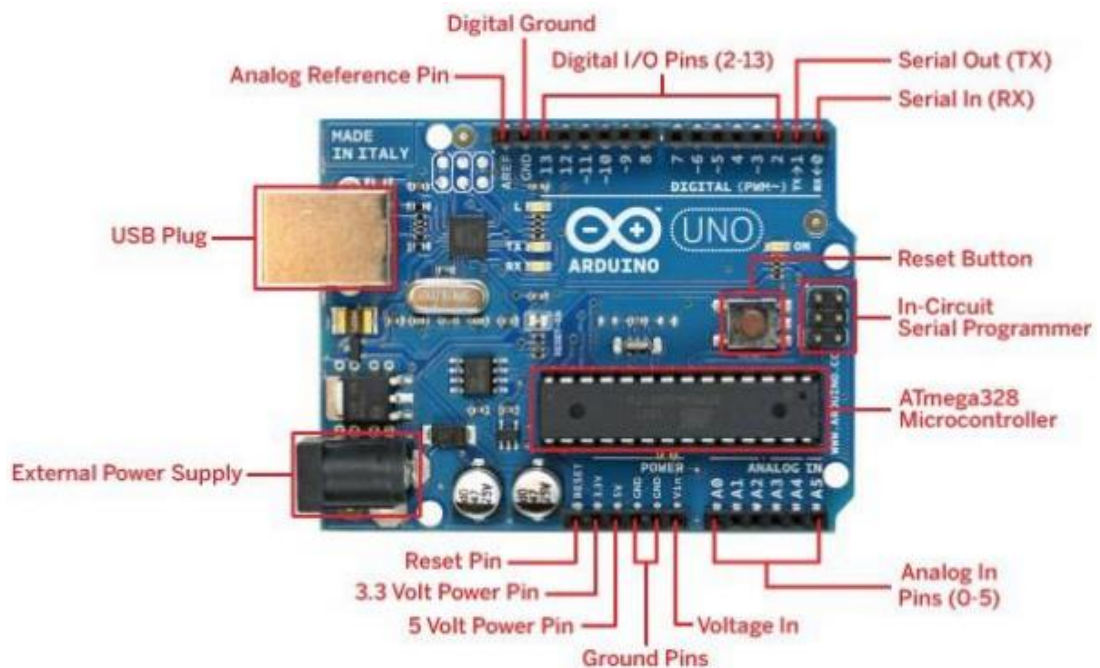


Рис. 4.5. Елементи плати Arduino UNO

Опис деяких елементів плати Arduino UNO: [14]

- шість аналогових пінів, призначених для підключення аналогових пристроїв;

- чотирнадцять цифрових пінів , на які можна подавати лише два види сигналів high та low ;
- роз'єм USB – для підключення до персонального комп'ютера (ПК);
- IREF – це пін для інформування зовнішніх пристроїв про робочий режим плати.

Характеристики плати Arduino UNO:

- мікроконтролер ATmega328;
- робоча напруга 5 В;
- рекомендована вхідна напруга 7-12 В, гранична – 6-20 В;
- чотирнадцять цифрових входів/виходів;
- flash-пам'ять складає 32 КБ.

Виводи живлення плати:

- 5 Volt power pin – цей пін можлива подача безпосередньо 5 В, перевищення цієї напруги виведе з ладу пристрій. Також цей пін може використовуватись для живлення зовнішніх пристроїв;
- VIN – цей вхід служить подачі зовнішнього напруги;
- 3V3 – на нього подається напруга від внутрішнього стабілізатора;
- GND – вивід заземлення.

Кожен із чотирнадцяти цифрових виводів може бути налаштований як на вхід, так і на вихід. Всі виводи працюють на напрузі 5 В і кожен має резистор навантаження, відключений за замовчуванням, в 20-50 кОм і може пропускати до 40 мА. [14]

4.2.2. Вимірювальний перетворювач

Для перетворення фізичного явища на електричний сигнал необхідно використовувати перетворювач або датчик. [15]

В оптоелектроніці широко використовують різні напівпровідники, які можуть взаємодіяти зі світловою енергією, так званим електромагнітним випромінюванням. Найчастіше для розпізнавання та перетворення світла використовуються фоторезистори, фотодіоди та прилади із зарядовим зв'язком. [15]

Для вимірювання рівня освітленості можна скористатися цифровим або аналоговим датчиком, які відрізняються один від одного за характером вихідного сигналу. [15]

Аналогові датчики на виході мають безперервний аналоговий сигнал, який пропорційний до зміни вхідної величини. Для зняття такого сигналу використовується аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Після цього необхідно провести перетворення значення АЦП у формат вимірюваної величини. [15]

Цифрові датчики – з такого типу датчиків інформація знімається цифровими інтерфейсами. Доступна така інформація у форматі вимірюваної величини. [15]

Було вирішено використовувати цифровий датчик, а саме GY-30, який виконаний на базі сенсора BH1750 з широким діапазоном вимірювань до 65535 лк. Головні переваги цього цифрового датчика над аналоговим фоторезистором, такі: [16]

- дає дуже точні свідчення про освітленість;
- забезпечує швидкий відгук на зміну світла.

Модуль GY-30 (рис. 4.6) має вбудований АЦП та цифрову логіку, яка обробляє дані щодо освітленості та переводить рівень освітлення в люкси. Також цей модуль по шині I²C може передати дані на Arduino UNO. [16]

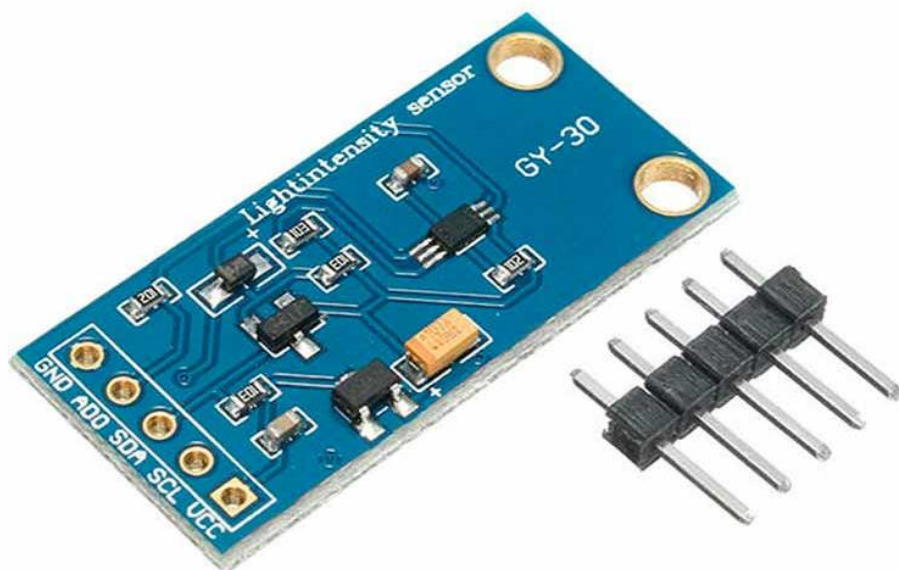


Рис. 4.6. Модуль GY-30

На модулі GY-30 знаходиться оптичний датчик – фотодіод, підсилювач сигналу фотодіода та АЦП. На платі знаходяться також підтягуючі резистори, конденсатори і стабілізатор напруги на 3,3 В. [16]

Сенсор на базі VH1750 має такі технічні характеристики: [16]

- І²С цифровий інтерфейс шини;
- спектральна характеристика близька до ока;
- мінімальний вплив інфрачервоного випромінювання;
- низьке споживання струму з функцією сплячого режиму;
- широкий діапазон та висока роздільна здатність (від 1 до 65535 лк);
- фільтрація світлових шумів 50/60 Гц;
- точність у режимі високої роздільної здатності – 1 лк;
- точність у режимі низької роздільної здатності – 4 лк;
- струм споживання дуже малий і становить 120 мкА;
- період вимірювання в режимі високої роздільної здатності – 120 мс;
- період вимірювання в режимі низької роздільної здатності – 16 мс;
- не потребує додаткового калібрування.

4.2.3. Система збору даних

Перед проектуванням описаної на початку розділу системи освітлення необхідно знати, як розподіляється природне світло у всіх точках простору у різний час доби. Світло – це сигнал, який можна виміряти, тому було створено систему збору даних (СЗД) зі зняттям світлових характеристик.

СЗД – це комплекс засобів, призначений для вимірювання електричних сигналів, що надходять від перетворювачів чи датчиків. СЗД здійснює попередню обробку, накопичення інформаційних даних та їх передачу до комп'ютера. СЗД дозволяє проводити безліч операцій із сигналами від фізичних об'єктів. Також СЗД дозволяє виводити цифрові та аналогові сигнали управління.

СЗД складатиметься з 4-х модулів GY-30, які підключені до контролерів. Кожен датчик до свого контролера. Наявність контролера кожного датчика обумовлено тим, що у модулі GY-30 немає можливості зміни адреси. На кожен

контролер завантажена програма, яка дозволяє зчитувати дані в певний проміжок часу. Дані вимірювання записуються у файл комп'ютера. У цьому файлі вказуються значення освітленості в лк та номер виміру. До одного з контролерів підключений п'єзоелектричний випромінювач, який здійснює звуковий сигнал під час запису вимірювання. Схема СЗД представлена на рис. 4.7.

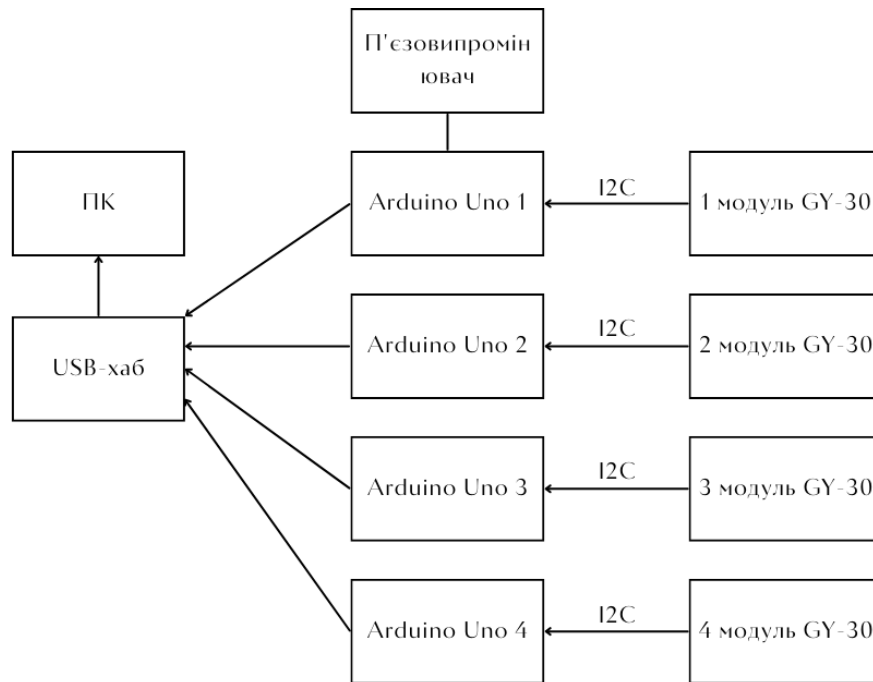


Рис. 4.7. Схема СЗД

Щоб дані з датчиків приходили одночасно, було зроблено їхнє підключення до USB-хабу. Це дозволяє запускати контролери одночасно і відповідно вимірювати рівень освітленості в приміщенні в один і той же час у кількох точках одночасно.

СЗД створена для фіксації, аналізу та протоколювання рівнів освітленості. Ця система дозволяє вимірювати рівень освітленості в різних точках простору і зберігати дані для подальшої обробки.

Залежно від виду експерименту обирається необхідна кількість датчиків. Датчики можна встановити у потрібних точках досліджуваної області. Кожен датчик потрібно підключити до мікроконтролера, який запрограмований. Після цього запускається програма, яка знаходиться в раніше заведеній папці. При першому запуску програми автоматично визначається кількість підключених

COM-портів. Кожному порту відповідає мікроконтролер. Інтерфейс програми представлений на рис. 4.8.



Рис. 4.8. Інтерфейс програми СЗД

Далі вказується ім'я файлу кожного датчика і вибирається номер порту, якому відповідає цей датчик. Залежно від того, скільки датчиків необхідно, стільки разів і запускається програма, в якій кожного разу вказується ім'я датчика та номер відповідного порту.

Структура створеного файлу, до якого записуються дані вимірювань:

- перший стовпець – значення рівня освітленості, лк;
- другий стовпець – номер виміру.

Часовий інтервал задається під час завантаження програми в мікроконтролер і залежить від цілей експерименту.

4.2.4. Науково-експериментальна установка

Для проведення повного дослідження розподілу світла в приміщенні було розроблено науково-експериментальну установку. Вона включає такі складові:

- СЗД для аналізу рівня освітленості;
- макет приміщення з роздільним управлінням світловими приладами;
- регульоване джерело напруги.

За допомогою цієї установки буде вивчено повний розподіл денного світла, що проходить у вікна приміщення, та визначено рівні освітленості в різних точках при різних комбінаціях включення світильників.

СЗД здійснює попередню обробку, накопичення інформаційних даних та здійснює їх подальшу передачу в комп'ютер. З комп'ютера передаються сигнали на NI ELVIS II, який реалізований як регульоване джерело живлення, про те, яку напругу передати на пристрій комутації і далі на об'єкт управління.

4.2.5. Підбір датчиків

Для вимірювання світлових характеристик необхідно знати точні значення рівня освітленості у різних точках. Тому треба використовувати кілька датчиків одночасно, інакше точних вимірів не отримати. Отримані з кожного датчика значення можуть відрізнятись. Тому необхідно вибрати один еталонний датчик, значення якого максимально наближено до показників цифрового люксметра. У макеті приміщення встановлюється щонайменше чотири датчики освітленості та цифровий люксметр ST-1301 [17] (рис. 4.9).



Рис. 4.9. Цифровий люксметр ST-1301

Люксметр ST-1301 забезпечує точне відображення рівня освітлення у приміщенні у люксах у широкому діапазоні. Люксметр складається з фотодетектора та лічильного пристрою. На екрані відображається вся необхідна інформація про освітлення. [17]

Підбір датчиків було здійснено на розробленій науково-експериментальній установці. Всередину макету приміщення поміщаються датчики освітленості та люксметр, при цьому виключивши зовнішнє проникнення

світла, закривши своєрідні вікна. На ПК запускається спеціальна програма для NI ELVIS II – NI ELVISmx Variable Power Supplies. Використовуючи цю програму, можна регулювати рівень напруги, що подається на всі світильники.

Вимірювання датчиків записуються у файл на комп'ютері за допомогою СЗД. Вимірювання з люкметра записуються вручну. Щоб не запускати світло всередину макета, було вирішено встановити веб-камеру, за допомогою якої можна бачити люкметр. Після аналізу результатів обирається датчик, значення якого найближче до значення люкметра.

На рис. 4.10 можна побачити графік порівняння значень на датчиках та на люксетрі. З цього графіка видно, що датчик №2 та люкметр показують майже однакові значення. Саме тому було вирішено використати цей датчик як еталонний.

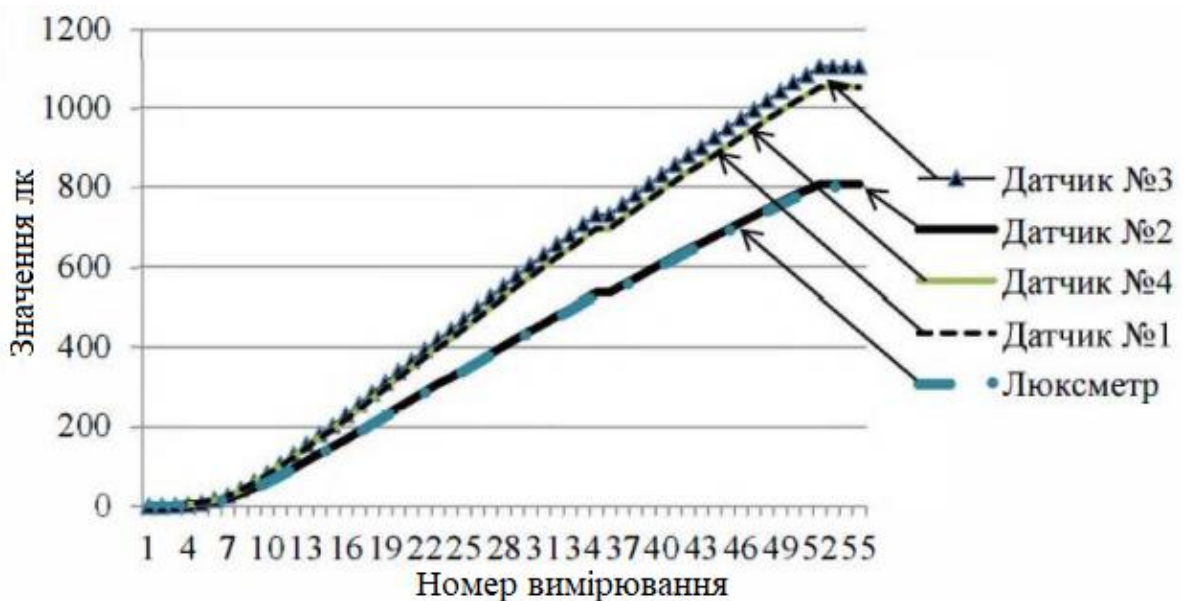


Рис. 4.10. Порівняння значень на датчиках та люксетрі

Для того щоб точно перевірити показання, датчик №2 було встановлено практично в одному місці з цифровим люксетром. Результат цього експерименту представлений на рис. 4.11.

Похибка становить 3 лк, в діапазоні від 300 до 500 лк. Залежність еталонного датчика від люкметра: $y = 0,9932 \cdot x - 0,8099$. На цій основі були обчислені залежності інших датчиків від еталонного:

- залежність датчика №1: $y = 0,7683 \cdot x + 0,6755$;

- залежність датчика №3: $y = 0,7315 \cdot x + 0,6823$;
- залежність датчика №4: $y = 0,7676 \cdot x + 0,5005$.

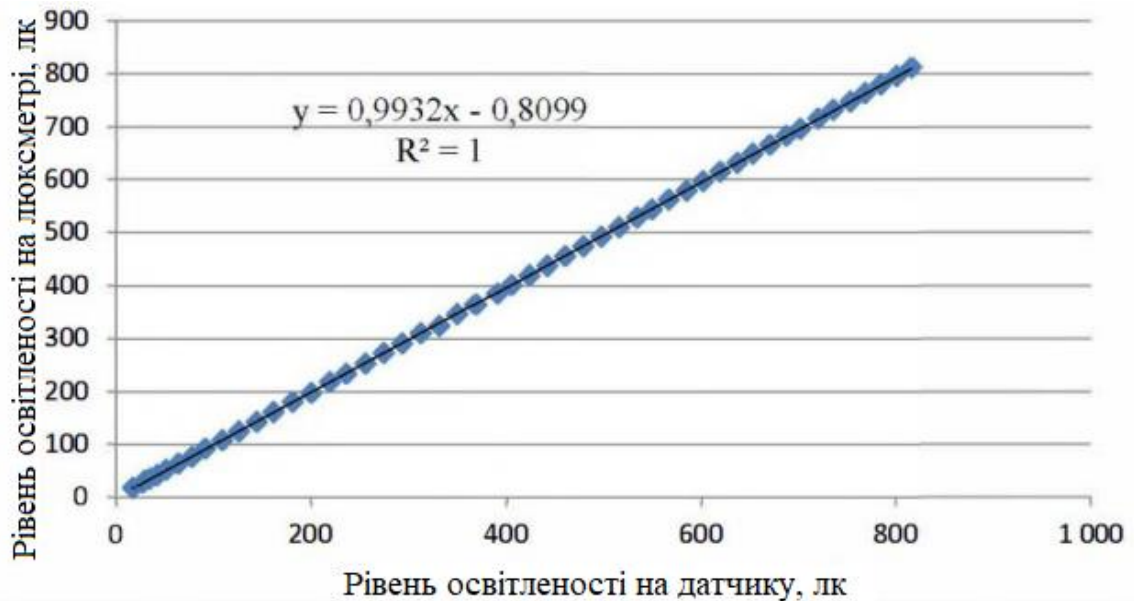


Рис. 4.11. Залежність між еталонним датчиком та люксметром ST-1301

4.2.6. Визначення порядку увімкнення світильників

Для того щоб можна було визначити раціональний порядок увімкнення світильників, необхідно знати, як змінюватиметься рівень освітленості у всіх точках приміщення при включенні різних комбінацій світлових приладів. Для того, щоб експеримент вийшов вдалим, необхідно розмістити науково-експериментальну установку в повністю темному приміщенні. У приміщенні, де проводиться експеримент, вмикається штучне світло, яке є природним освітленням для макета. Таким чином можна змодельовати фіксований рівень денного світла, який проходить у вікна макета.

На спеціальній платформі розташовуються чотири датчики. Один датчик розташовується біля стіни, другий під першим рядом світильників, третій між світильниками і четвертий під наступним рядом. Ця платформа встановлюється в дальній кут макета і при кожному вимірі пересувається на чотири см від стіни до вікна по одній лінії. Таким чином досліджується спочатку одна половина приміщення, потім друга. Інтервал між вимірами – п'ять секунд. Щоб точно знати, коли можна пересувати датчики, на один з контролерів встановлений п'єзовипромінювач, який видає звук, коли виконується запис.

Найпершим виміром визначається розподіл природного світла в макеті. Потім, залежно від вимірювань, включається група світильників і повторюється вимір.

При різних комбінаціях включення світильників вдалося визначити характер розподілу світла у приміщенні. За 100% освітленості було обрано значення 350 лк. Графіки результатів експериментів представлені на рис. 4.12 (а-г).

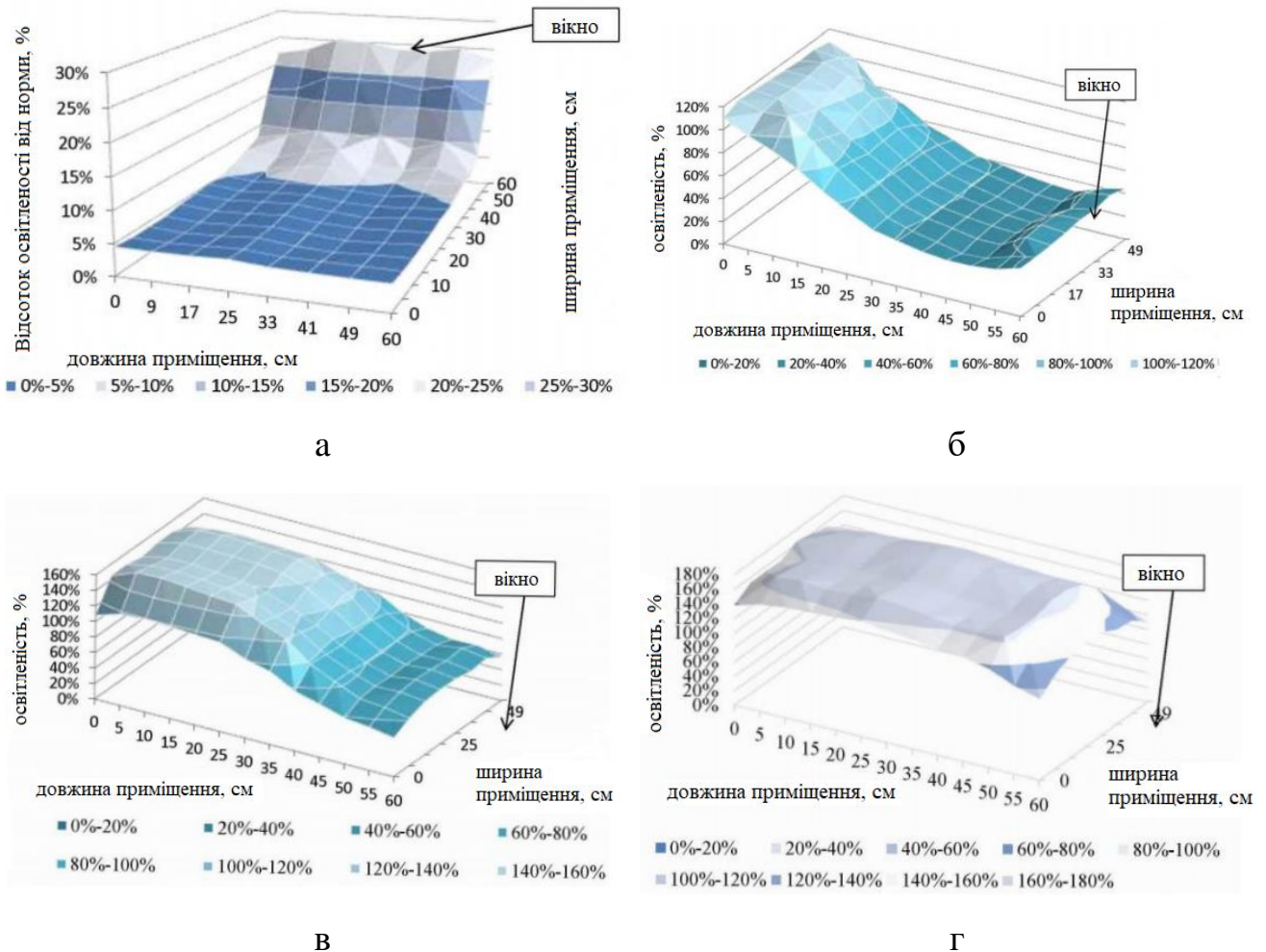


Рис. 4.12. Розподіл світла: а) природного світла по всій площі приміщення; б) при одному увімкненому сегменті біля стіни; в) при двох увімкнених сегментах; г) при трьох увімкнених сегментах

При недостатній освітленості, коли у всіх точках приміщення потрібно увімкнення всіх трьох груп світильників можна спостерігати такі результати як на рисунках вище. Використовуючи подібний градієнт наочно, можна побачити, що освітленість розподіляється нерівномірно по приміщенню. Найсильніше висвітлюються саме ті частини офісу, які розташовані ближче до вікна. При по-

черговому ввімкненні груп світильників рівень освітленості по ширині приміщення зростає у всіх точках приміщення. При цьому можна помітити, що по довжині приміщення рівні відрізняються менше ніж на 5%. Тому доцільно об'єднати світильники групами, які розташовуватимуться паралельно світловому отвору.

Результати розподілу світла при достатній природній освітленості біля вікна представлені на рис. 4.13.

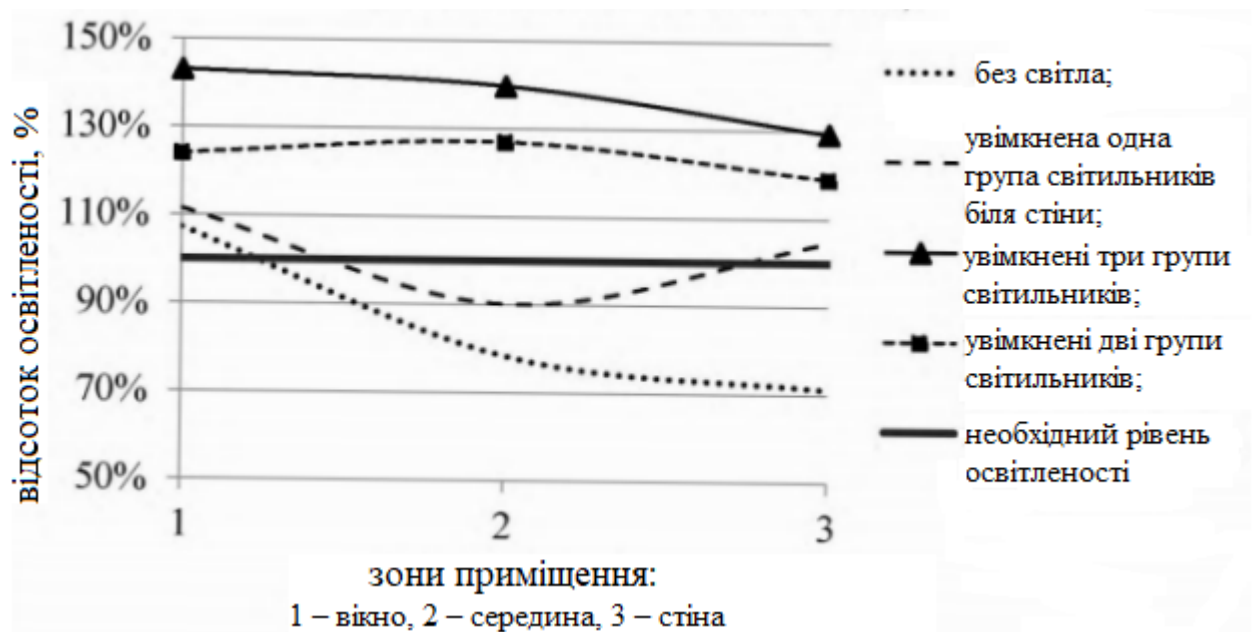


Рис. 4.13. Розподіл світла при різному ввімкненні світильників (при достатньому рівні природного освітлення біля вікна)

З даного графіку видно, що ввімкнення всіх світильників є ірраціональним, коли освітленість на достатньому рівні, і призводить до великих витрат на електроенергію. Тому необхідно вмикати світильники по черзі та групами.

Щоб підтвердити дослідження, краще провести експеримент в реальному приміщенні. Як згадувалося раніше, всі приміщення будуються за строгими нормами та правилами, за якими однією з вимог є розташування світильників строго паралельно світлонесучій стіні та розташування зліва від робочої зони світлового отвору. У більшості таких приміщень денне світло розподіляється майже однаково і тому слід досліджувати характер розподілу денного світла у

конкретному закладі та його приміщеннях. Дослідження проводились у навчальному приміщенні Національного авіаційного університету.

Протягом усього робочого дня проводилися виміри освітленості з допомогою датчиків, один із яких було встановлено вікні, інші розташовувалися у різних точках приміщення різної віддаленості від віконного отвору. Результати, отримані під час цих вимірів представлені на рис. 4.14. З графіка можна побачити, що динаміка освітленості повторюється у різних точках приміщення. І звичайно ж видно велика різниця між освітленістю біля вікна та біля стіни.

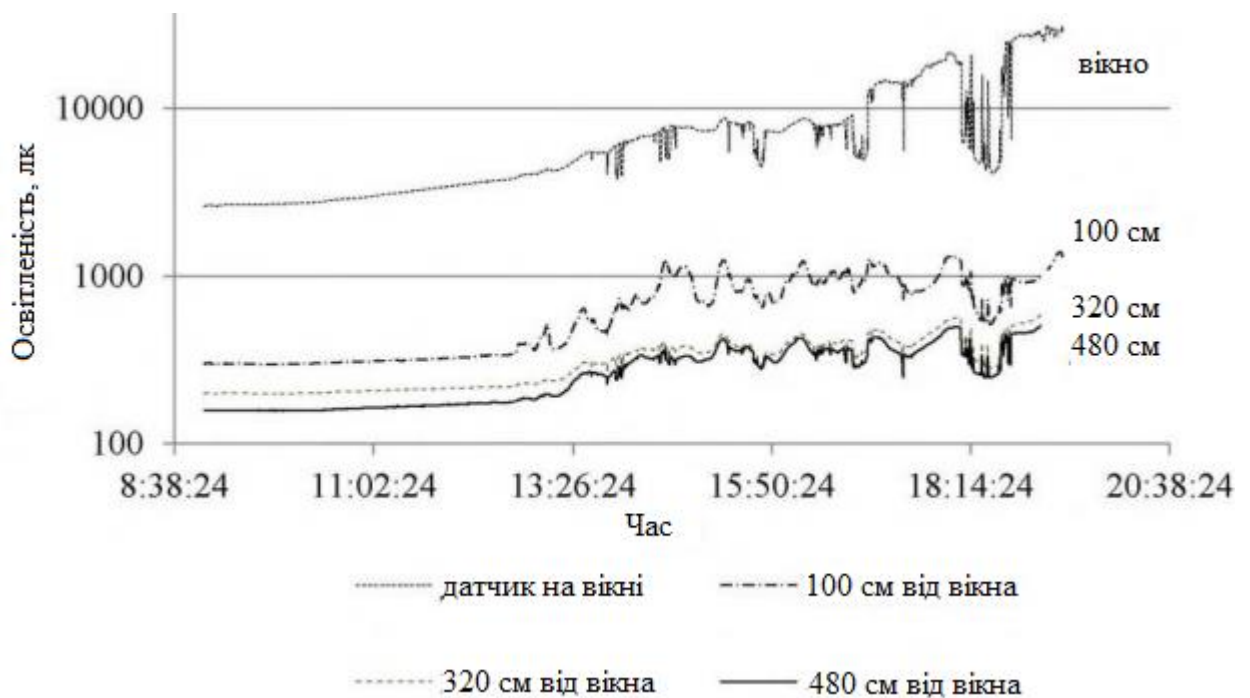


Рис. 4.14. Моніторинг освітленості за один день

4.2.7. Визначення взаємозв'язку зовнішнього та внутрішнього освітлення

Для визначення перехідних характеристик стельові світильники об'єднуються в групи і розташовуються паралельно світлонесучій стіні. До кожної групи світильників підключається реле. Це допомагає керувати світильниками незалежно один від одного. Реле підключаються до головного мікроконтролера, який включає по черзі групи світильників. Усе приміщення ділиться на зони:

- 1 зона – 0-2 м від світлового отвору;
- 2 зона – 2-4 м від світлового отвору;

- 3 зона – 4-6 м від світлового отвору.

Вимірюється рівень освітленості за допомогою датчиків. Всі виміри проходять за різного рівня природного світла в макеті приміщення. Один із датчиків встановлюється на вікно, решта на рівні робочої поверхні по всій площі офісу. Датчики розташовуються біля вікна, в центрі приміщення та біля стіни. Дані записуються файл на комп'ютері і далі аналізуються. Структура пристрою визначення взаємозв'язку зовнішнього та внутрішнього освітлення представлена на рис. 4.15, а розташування датчиків – на рис.4.16

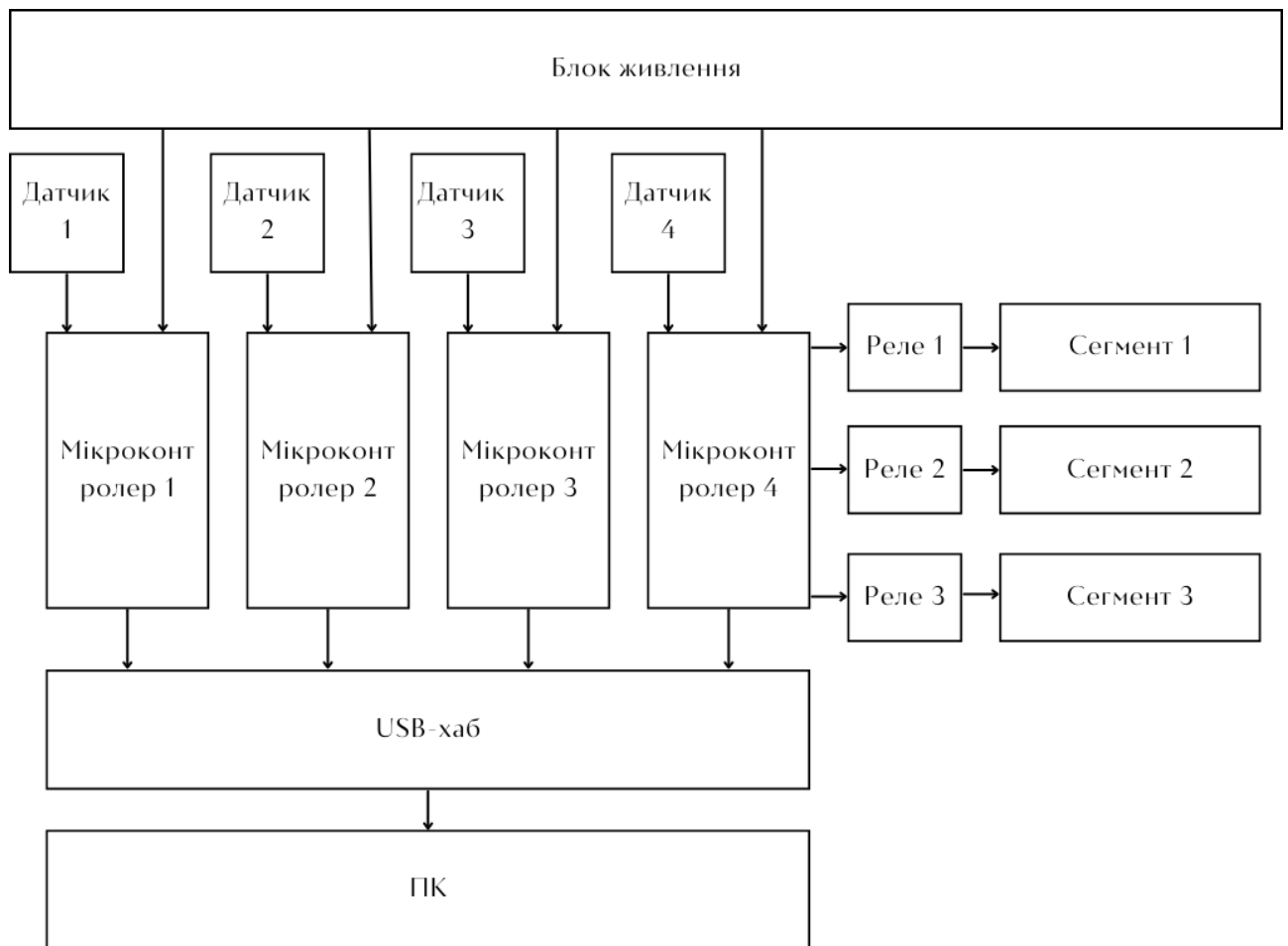


Рис. 4.15. Структура пристрою визначення взаємозв'язку зовнішнього та внутрішнього освітлення

У контролер Arduino UNO завантажується програма визначення перехідних характеристик. Дана програма дозволяє керувати групами світильників та вимірювати рівні освітленості у різних зонах приміщення. Лістинг програми представлений у додатку А.

При запуску відбувається ініціалізація програми, потім вимір рівня освітленості у трьох зонах приміщення. Перед передачею даних на комп'ютер виконується пауза. Робиться це для того, щоб виключити ймовірність помилки передачі даних від датчиків. Після передачі даних включається перша група світильників, датчики вимірюють рівень освітлення і після паузи передають дані на ПК. Так само з другою і третьою групою. Дані з кожного датчика освітленості потрапляють у файл на ПК, де:

- перший стовпець – рівень освітленості при вимкненому штучному світлі;
- другий стовпець – рівень освітленості з включеною першою групою світильників;
- третій стовпець – рівень освітленості із включеними двома групами світильників;
- четвертий стовпець – рівень освітленості із включеними трьома групами світильників;
- п'ятий стовпець – номер виміру.

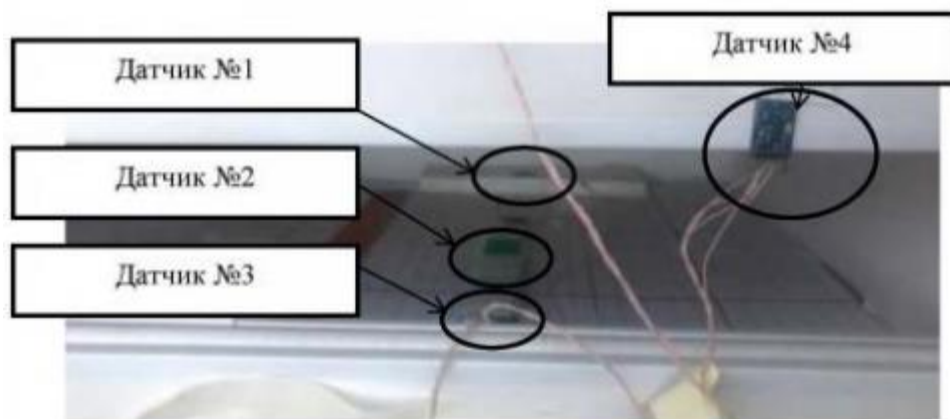


Рис. 4.16. Розташування датчиків освітлення

В даному експерименті зовнішнім освітленням є світло, яке проходить у світловий отвір. Датчики освітленості були розташовані в 3-х зонах: 1 м від вікна, 3,2 м від вікна та 4,8 м від вікна відповідно.

Групи світильників вмикалися по черзі і за допомогою отриманих характеристик було визначено залежності, графіки яких побудовані на рис. 4.17 (а-в).

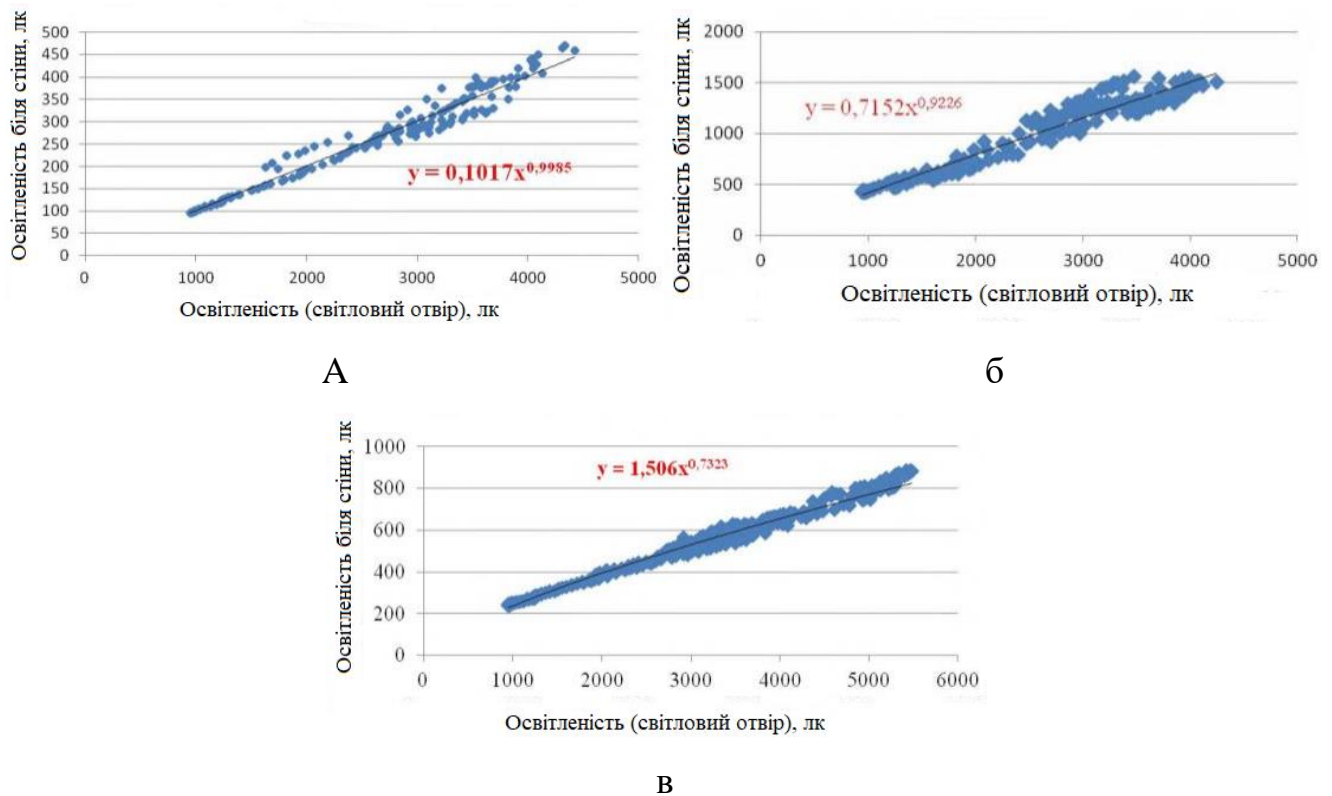


Рис. 4.17. Залежність освітлення: а) внутрішнього від зовнішнього; б) віконного від зовнішнього за наявності дальнього та середнього; в) всередині приміщення зовнішнього за наявності дальнього

За результатами експерименту було обчислено залежності, які були запрограмовані в контролер. Найбільша похибка, що дорівнює 4%, вийшла при обчисленні освітленості біля світлового отвору. При інших розрахунках похибка варіюється від 2,5% до 1,2%.

У проєктованій системі рівень освітленості встановлено в діапазоні від 300 лк до 400 лк. Це необхідно для того, щоб унеможливити низький рівень освітленості.

На рис. 4.18 наведено порівняння розрахованого значення освітленості з реальним значенням на датчику. Подані результати показали, що похибкою можна знехтувати.

У цьому експерименті показано, що світло в приміщенні розподіляється за суворими залежностями, якими можна скористатися в модулі управління освітленням. Таким чином є змога відмовитися від марного в такому випадку обладнання, щоб система стала дешевшою і вигіднішою у використанні.

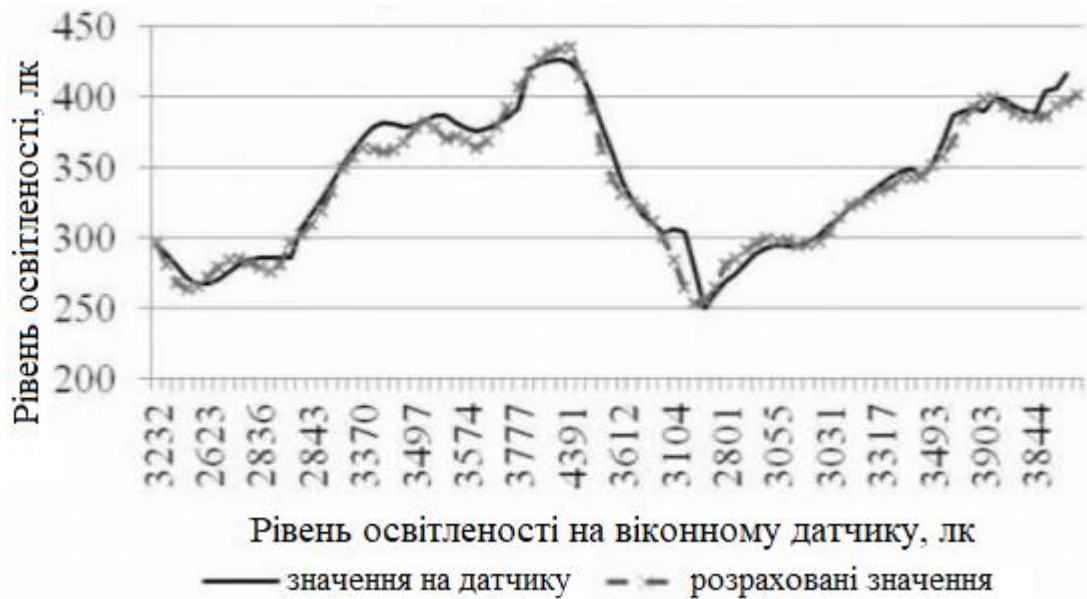


Рис. 4.18. Порівняння реального рівня освітленості на датчику з розрахованим значенням

4.3. Опис принципу роботи модуля

За підсумками всіх експериментів, створено модуль управління світильниками у офісних приміщеннях з одностороннім світловим отвором, схема якого представлена на рис. 4.19.

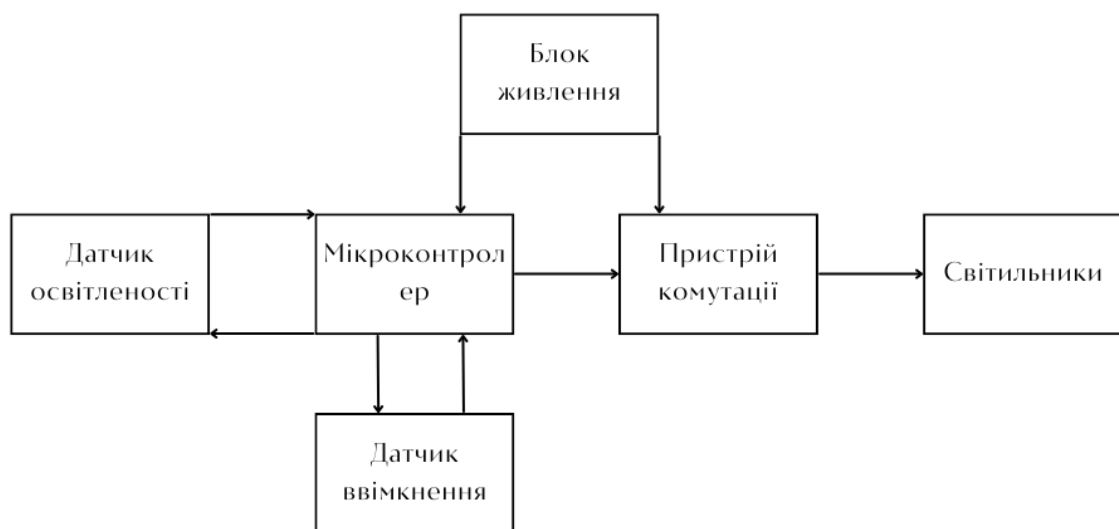


Рис. 4.19. Схема модуля управління освітленням

Для роботи розробленого модуля важливо, щоб світильники були об'єднані в групи, які будуть паралельні стіні з вікном.

Модуль управління освітленням складається з наведених нижче компонентів:

- цифровий датчик освітленості GY-30 (датчик освітленості);
- мікроперемикач з лапкою MSW-02B [18] (датчик включення);
- плата Arduino UNO (мікроконтролер);
- три модулі одноканального реле RobotDyn (пристрої комутації);
- блок живлення на 220В;
- світильники.

Розроблений модуль дозволяє керувати включенням світильників та проводити протоколювання рівня освітленості. У віконний отвір обов'язково встановлюється цифровий датчик. Датчик вимірює рівень природного освітлення. Рівень освітленості в різних точках приміщення визначається залежностями, які були розраховані раніше і вже закладені в програму. Якщо приміщення відрізняється за розмірами та наявністю світлових отворів, необхідно перераховувати залежності для кожного приміщення індивідуально і вносити їх у програму управління.

Включення стельових світильників здійснюється групами, в які вони були об'єднані, паралельно світлонесучій стіні. Якщо рівень освітлення нижче встановленої норми, вмикається найвіддаленіша від вікна група світильників. При цьому постійно прораховується, чи достатньо освітлення в приміщенні.

У вхідні двері встановлюється мікроперемикач, який відповідає за увімкнення модуля. Коли двері зачиняються, система вимикається і не витрачає електроенергію. При використанні модуля управління освітленням у людини залишається можливість керувати світильниками вручну.

При відкритті дверей в офіс мікроконтролер завантажується і вмикаються всі групи світильників у приміщенні. Якщо двері відчинені, то ініціалізується розрахунок поточного рівня освітленості на датчику. Щоб уникнути помилкових спрацьовувань, була створена підпрограма, за допомогою якої розраховується рівень денного світла в приміщенні. Таким чином, вдається забезпечити раціональне включення або відключення світильників.

Розрахунок природної освітленості приміщення здійснюється так:

- модуль приймає рішення про увімкнення/вимкнення групи світильників раз на хвилину;
- протягом кожної хвилини відстежується рівень природного освітлення (вимірювання здійснюється раз на п'ять секунд);
- на певних інтервалах, а саме з першої по двадцяту секунду, з двадцять першої по сорокову та з сорок першої по шістдесятую секунду, обирається мінімальне значення рівня природного освітлення;
- серед мінімальних значень обирається максимальне, яким далі розраховується рівень освітленості у кожній точці приміщення;
- за допомогою отриманого значення рівня освітленості в даний момент, відбувається визначення освітленості в дальній точці відповідно до залежності, яку обчислено раніше і внесено до програми;
- прийняття рішення про увімкнення або вимкнення освітлення приймається за допомогою підпрограми Світло (i), де i -група світильників від першої до третьої.

Залежно від норми освітлення для конкретного приміщення визначаються необхідні пороги щодо відключення та включення світильників. Щоб уникнути постійного мерехтіння світла, необхідно задати грамотні пороги вимкнень/вмикань світильників.

Наприклад, якщо необхідний рівень освітленості приміщення дорівнює 350 лк, але зараз освітленість дорівнює 240 лк, пороги включення та відключення 300 лк та 400 лк відповідно. Тоді порівнюється поточний рівень освітленості із заданими порогоми. Так як поточне значення менше, ніж обидва пороги, вмикається група світильників.

Далі програма управління освітленням перевіряє, увімкнена або вимкнена перша група світильників, яка знаходиться біля стіни. Якщо світло не було увімкнено, то програма повертається на початок. Якщо ж цю групу світильників ввімкнено, відбувається прийняття рішення по другій групі i , якщо необхідно після перерахунків, то i по третій групі.

4.4. Первинне встановлення модуля

Перед первинним встановленням модуля необхідно виконати налаштування та визначити перехідні світлові характеристики. Обладнання, яке встановлюється для налаштування модуля:

- Arduino UNO із завантаженою раніше програмою – 4 шт.;
- датчик освітленості GY-30 – 4 шт.;
- USB-хаб або вільні порти USB у кількості 4 шт.;
- ПК чи ноутбук.

Порядок налаштування модуля управління освітленням:

- 1) Датчики необхідно розташувати на робочих поверхнях біля стіни.
- 2) Запустити програму СЗД зі зняттям світлових характеристик.
- 3) Визначити, у якій точці найменший рівень освітленості.
- 4) Датчик, який показав найменше значення зберігає своє положення, два інших треба встановити на робочі поверхні в середині або біля вікна, паралельно датчику біля стіни.
- 5) Четвертий датчик розмістити на вікно, паралельно іншим.
- 6) Керуючий контролер Arduino підключити до мережі та світильників.
- 7) Запустити програму зі зняттям перехідних світлових характеристик.
- 8) Обчислити залежності рівнів освітленості від зовнішнього освітлення кожної точки приміщення.
- 9) Завантажити отримані дані на платформу модуля.
- 10) Встановити готовий модуль у приміщення.

4.5. Перевірка рішення на ефективність

Використовуючи побудований макет, можна перевірити розроблений модуль управління освітленням на ефективність. Тестування системи проводилося 6 травня 2023 р., коли рівень природного освітлення був високим та 7 травня 2023 р., у цей день рівень природного освітлення був низьким. На рис. 4.20 (а, б) показано, як використовувалося штучне освітлення при тестуваннях.

Білим виділено відключення групи світильників, з чого можна зробити висновок про економію електроенергії.

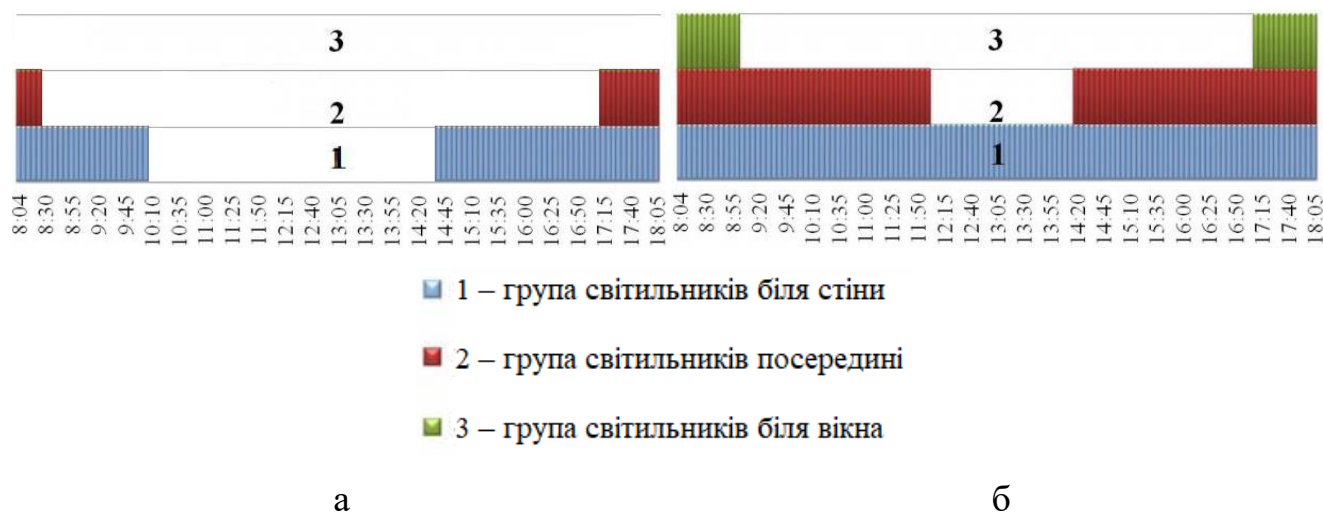


Рис. 4.20. Час використання штучного освітлення у розрізі за групами світильників:
а) 10 червня 2023 р.; б) 11 червня 2023 р.

В таблиці 4.1 представлено порівняння витрати електроенергії із застосуванням модуля управління освітленням та без.

Таблиця 4.1

Порівняння витрати електроенергії із застосуванням модуля управління освітленням та без

Зона	Витрати електроенергії без застосування модуля управління освітленням		Витрати електроенергії із застосуванням модуля управління освітленням	
	Час роботи, год	Витрата електроенергії, кВт·год	Час роботи, години	Витрата електроенергії, кВт·год
Біля стіни	10	1,5	10	1,5
Середня	10	1,5	10	1,2
Біля вікна	10	1,5	10	0,3
Разом:		4,5	Разом:	3,0

Без використання автоматизованого управління джерелами світла, при недостатньому освітленні в одній із зон, потрібно включення всіх сегментів, що призводить до більшої витрати електроенергії в тих зонах, де це не потрібно.

Виграш у СУО становить 1,5 кВт·год . Коли така система встановлена повсюдно, вона може заощаджувати велику кількість витрат на електроенергію.

4.6. Висновки до розділу 4

У цьому розділі була проведена побудова СУО. Спочатку був створений макет приміщення, який дозволив візуалізувати концепцію системи. Далі проводився вибір елементів і структури СУО.

У розділі детально розглянуті різні елементи системи, включаючи плату Arduino UNO, вимірювальний перетворювач, систему збору даних та науково-експериментальну установку. Кожен з цих елементів був обраний з урахуванням їхніх технічних характеристик і можливостей.

Після цього було визначено порядок увімкнення світильників, що дозволяє ефективно використовувати енергію та забезпечувати оптимальне освітлення приміщення. Також був встановлений взаємозв'язок між зовнішнім та внутрішнім освітленням.

Далі було детально описано принцип роботи модуля управління освітленням. Після виготовлення модуля він був встановлений в аудиторії для проведення перевірки його ефективності. Проведені вимірювання та аналіз даних дозволили зробити висновки про ефективність розробленої СУО.

Отже, розділ зосереджений на побудові СУО, виборі необхідних елементів, описі принципу роботи модуля та його перевірці на ефективність. Результати досліджень показали, що розроблена СУО ефективно регулює рівень освітленості в приміщенні відповідно до потреб користувачів. Вона забезпечує оптимальну якість освітлення, сприяє збереженню енергії шляхом автоматичного вимкнення світильників при відсутності/присутності людей, а також враховує зовнішні умови для досягнення комфортного освітлення.

ВИСНОВКИ

В рамках дослідження з автоматизованої системи освітлення офісного приміщення були поставлені та вирішені наступні завдання.

Було проведено дослідження поняття СУО, її функцій, методів та видів існуючих рішень. Виявлено, що СУО включає в себе комплекс технічних засобів та програмне забезпечення для забезпечення оптимального рівня освітленості в приміщенні. СУО автоматично контролюють рівень освітленості у приміщенні і регулюють яскравість та колір освітлення відповідно до потреб користувача, часу доби і погодних умов. Однією з основних переваг СУО є можливість зниження споживання енергії в будівлях. Ефективне використання цих систем передбачає врахування потреб і вимог користувачів, а також застосування передових технологій і методів управління освітленням.

Здійснено аналіз різних систем освітлення з метою вибору найбільш підходящої для офісного приміщення. Зокрема було проведено аналіз різних типів джерел світла, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Серед них можна виділити світлодіодні лампи, що виявилися беззаперечними лідерами, характеризуються високою енергоефективністю, довговічністю та широким спектром кольорів. А також було розглянуто різні варіанти побудови СУО, серед яких: централізована, децентралізована, бездротова, мережева системи та система «розумний будинок».

Проведено дослідження освітлення виробничих приміщень та вимог до нього, під час якого було розглянуто значення освітлення робочого місця для працездатності та здоров'я та ергономічні вимоги до робочого місця. Отримані дані дозволили визначити оптимальні параметри освітлення для офісного середовища, зокрема, яскравість, контрастність та рівномірність освітлення.

Розроблено та побудовано СУО для офісного приміщення. Були використані датчики руху та світла для автоматичного регулювання освітлення в залежності від присутності людей та рівня природного освітлення. Система була

протестована в робочому приміщенні та продемонструвала свою ефективність та здатність до адаптації до змінних умов.

Проведено аналіз отриманих результатів використання автоматизованої системи освітлення. Встановлено, що система дозволяє знижувати споживання електроенергії шляхом автоматичного вимкнення світла при відсутності людей у приміщенні, а також оптимізувати рівень освітленості відповідно до потреб користувачів. Застосування автоматизованої СУО дозволяє покращити комфортність робочого середовища, забезпечити раціональне використання електроенергії та знизити витрати на оплату електроенергії.

Висновки підтверджують, що автоматизована система освітлення офісного приміщення є ефективним та перспективним рішенням для досягнення оптимального освітлення та енергоефективності. Результати дослідження та практичного застосування системи свідчать про її потенціал для впровадження в різні офісні середовища з метою поліпшення якості освітлення, зниження витрат електроенергії та створення комфортних умов для працівників. Додатково система може сприяти зменшенню впливу на навколишнє середовище шляхом зменшення викидів парникових газів та споживання природних ресурсів.

Отже, розробка та впровадження автоматизованої СУО є актуальною та перспективною задачею, яка сприяє створенню енергоефективних офісних середовищ зы сталим розвитком. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення системи шляхом впровадження додаткових функцій, наприклад, автоматичного регулювання кольорної температури світла або інтеграцію з системами «розумного будинку». Такі покращення допоможуть ще більше підвищити ефективність та зручність використання СУО.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Безугла Я. В. Автоматична система керування освітленням : bachelor's thesis. 2019. 70 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/28933> (дата звернення: 24.05.2023).
2. Глечик А. О. Енергоефективне освітлення : thesis. 2018. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/11768> (дата звернення: 24.05.2023).
3. Крашевський А. С. Методика вивчення систем автоматизованого проектування освітлення приміщень. *New computer technology*. 2013. Т. 5. С. 55. URL: <https://doi.org/10.55056/nocote.v5i1.76> (дата звернення: 24.05.2023).
4. Хапченко О. В. Розумне освітлення : thesis. 2018. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/11079> (дата звернення: 24.05.2023).
5. Дослідження характеристик сучасних електричних джерел світла / М. О. Гошко, С. М. Хімка, К. М. Василів, І. М. Дробот // Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження. – 2015. – № 16 (дата звернення: 25.05.2023).
6. Вплив світла на організм людини. *Моя освіта*. URL: <https://moyaosvita.com.ua/fizuka/vpliv-svitla-na-organizm-lyudini/> (дата звернення: 28.05.2023).
7. Kumar S. Ergonomics for Beginners: A quick reference guide. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 1994. Vol. 13, no. 2. P. 165. URL: [https://doi.org/10.1016/0169-8141\(94\)90083-3](https://doi.org/10.1016/0169-8141(94)90083-3) (date of access: 28.05.2023).
8. Природне і штучне освітлення : Держ. Буд. Норми від 03.10.2018 р. № ДБН В.2.5-28:2018.
9. Принципи зорової ергономіки. Освітлення робочих систем усередині приміщень : ДСТУ від 26.12.2003 р. № ДСТУ ГОСТ ИСО 8995:2003.

10. Чорнобай Б. В. Розрахунок системи електропостачання та освітлення навчально-виробничої майстерні : master's thesis. 2019. URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/76193> (дата звернення: 29.05.2023).
11. Світлодіодна стрічка B-LED 3528-60 W IP65 біла, характеристики. 5WATT. URL: <https://5watt.ua/uk/svetodiodnaya-lenta-b-led-3528-60-ip65-germetichnaya-1m-1171.html> (дата звернення: 30.05.2023).
12. RobotDyn. MiniBoard. URL: https://miniboard.com.ua/22_robotdyn (date of access: 30.05.2023).
13. NI ELVIS – National Instruments. Dixi Education. URL: <https://dixi.education/shop/ni-elvis-national-instruments/> (date of access: 30.05.2023).
14. Arduino UNO. Arduino в Україні. URL: <https://doc.arduino.ua/hardware/Uno> (date of access: 31.05.2023).
15. Кузьменко А. К. Система розумного освітлення (smart lighting) : thesis. 2019. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/13737> (дата звернення: 31.05.2023).
16. Модуль GY-30 (BH1750FVI) цифровий датчик освітленості. 3V3. URL: https://3v3.com.ua/product_8729.html (дата звернення: 01.06.2023).
17. Люксметр ST-1301. arsmt. URL: <https://arsmt.com.ua/postav-products/laboratory-equipment/luxometers/st-1301-lyuksmetr/> (дата звернення: 02.06.2023).
18. Мікроперемикач. radiostore. URL: <https://radiostore.ua/products/mikropereklyuchatel-on-on-5a-125250vac-msw-02b-kw3-0z-2-2> (дата звернення: 07.06.2023).

Лістинг програми визначення перехідних характеристик світла

```
#include <Wire.h>
#include <SD.h>
#define GY30_ADDRESS 0x23
#define SD_CS_PIN 10
const char* fileName = "light_data.csv";
File dataFile;
const int group1Pin = 2; // Пін для першої групи світильників
const int group2Pin = 3; // Пін для другої групи світильників
const int group3Pin = 4; // Пін для третьої групи світильників
int illuminance1, illuminance2, illuminance3;
int measurementCount = 1;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  SD.begin(SD_CS_PIN);
  // Відкриття файлу для запису даних
  dataFile = SD.open(fileName, FILE_WRITE);
  if (dataFile) {
    // Запис заголовків стовпців у файл
    dataFile.println("Рівень освітленості при вимкненому штучному світ-
лі,Рівень освітленості з включеною першою групою світильників,Рівень освіт-
леності з включеними двома групами світильників,Рівень освітленості з вклю-
ченими трьома групами світильників,Номер виміру");
    // Закриття файлу
    dataFile.close(); }
  // Ініціалізація пінів для управління групами світильників
  pinMode(group1Pin, OUTPUT);
```

```

pinMode(group2Pin, OUTPUT);
pinMode(group3Pin, OUTPUT);
digitalWrite(group1Pin, LOW);
digitalWrite(group2Pin, LOW);
digitalWrite(group3Pin, LOW); }
void loop() {
// Вимір рівня освітленості у трьох зонах приміщення
illuminance1 = readIlluminance();
delay(1000); // Пауза перед наступним виміром
illuminance2 = readIlluminance();
delay(1000); // Пауза перед наступним виміром
illuminance3 = readIlluminance();
delay(1000); // Пауза перед записом даних
// Відкриття файлу для додавання даних
dataFile = SD.open(fileName, FILE_WRITE);
if (dataFile) {
// Запис значень освітленості у файл
dataFile.print(illuminance1);
dataFile.print(",");
dataFile.print(illuminance2);
dataFile.print(",");
dataFile.print(illuminance3);
dataFile.print(",");
dataFile.print(illuminance1); // Рівень освітленості з включеною першою
групою світильників
dataFile.print(",");
dataFile.print(illuminance1 + illuminance2); // Рівень освітленості з включе-
ними двома групами світильників
dataFile.print(",");

```

```

dataFile.print(illuminance1 + illuminance2 + illuminance3); // Рівень освітленості з включеними трьома групами світильників
dataFile.print(",");
dataFile.print(measurementCount); // Номер виміру
dataFile.println();
// Закриття файлу
dataFile.close();
// Вивід значень освітленості в Serial Monitor
Serial.print("Освітленість у зоні 1: ");
Serial.print(illuminance1);
Serial.println(" люкс");
Serial.print("Освітленість у зоні 2: ");
Serial.print(illuminance2);
Serial.println(" люкс");
Serial.print("Освітленість у зоні 3: ");
Serial.print(illuminance3);
Serial.println(" люкс");
// Включення першої групи світильників
digitalWrite(group1Pin, HIGH);
delay(1000); // Пауза перед виміром з включеною першою групою світильників
// Вимір рівня освітленості з включеною першою групою світильників
illuminance1 = readIlluminance();
delay(1000); // Пауза перед записом даних
// Відкриття файлу для додавання даних
dataFile = SD.open(fileName, FILE_WRITE);
if (dataFile) {
// Запис значень освітленості у файл
dataFile.print(illuminance1);
dataFile.print(",");

```

```

dataFile.print(illuminance2);
dataFile.print(",");
dataFile.print(illuminance3);
dataFile.print(",");
dataFile.print(illuminance1 + illuminance2);
dataFile.print(",");
dataFile.print(illuminance1 + illuminance2 + illuminance3);
dataFile.print(",");
dataFile.print(measurementCount);
dataFile.println();
// Закриття файлу
dataFile.close(); }
// Включення другої групи світильників
digitalWrite(group2Pin, HIGH);
delay(1000); // Пауза перед виміром з включеною другою групою світиль-
ників
// Вимір рівня освітленості з включеною другою групою світильників
illuminance2 = readIlluminance();
delay(1000); // Пауза перед записом даних
// Відкриття файлу для додавання даних
dataFile = SD.open(fileName, FILE_WRITE);
if (dataFile) {
// Запис значень освітленості у файл
dataFile.print(illuminance1);
dataFile.print(",");
dataFile.print(illuminance2);
dataFile.print(",");
dataFile.print(illuminance3);
dataFile.print(",");
dataFile.print(illuminance1 + illuminance2);

```



```

dataFile.print(",");
dataFile.print(illuminance1 + illuminance2 + illuminance3);
dataFile.print(",");
dataFile.print(measurementCount);
dataFile.println();
// Закриття файлу
dataFile.close(); }

// Включення третьої групи світильників
digitalWrite(group3Pin, HIGH);
delay(1000); // Пауза перед виміром з включеною третьою групою світи-
льників

// Вимір рівня освітленості з включеною третьою групою світильників
illuminance3 = readIlluminance();
delay(1000); // Пауза перед записом даних
// Відкриття файлу для додавання даних
dataFile = SD.open(fileName, FILE_WRITE);
if (dataFile) {
// Запис значень освітленості у файл
dataFile.print(illuminance1);
dataFile.print(",");
dataFile.print(illuminance2);
dataFile.print(",");
dataFile.print(illuminance3);
dataFile.print(",");
dataFile.print(illuminance1 + illuminance2);
dataFile.print(",");
dataFile.print(illuminance1 + illuminance2 + illuminance3);
dataFile.print(",");
dataFile.print(measurementCount);
dataFile.println();

```

```
// Закриття файлу  
dataFile.close(); }  
  
// Збільшення лічильника вимірів  
measurementCount++; }
```