

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Управління енергетичними та економічними процесами

Інтелектуальні системи енергопостачання

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
магістра

на тему: Підвищення енергетичної ефективності об'єкта Б
за освітньою програмою Енергетичні та електромеханічні системи на транспорті
зі спеціальності: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Виконав: студент	групи <u>ЕЕ2221</u>	/	<u>Василь ХОВАВКО</u>	/
Керівник:		/	<u>доцент Тетяна ДРУБЕЦЬКА</u>	/
Нормоконтролер:		/	<u>доцент Ірина ПОТАПЧУК</u>	/

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Energy and economic process management

Intellectual power supply systems

Explanatory Note
to Master's Thesis

on the topic: Increasing the energy efficiency of the facility B

according to educational curriculum Energy and electromechanical systems in transport

in the Speciality: 141 Power engineering, electrical engineering and electromechanics

Done by the student of the group EE2221: / Khovavko Vasyl /

Scientific Supervisor: /Ass. Prof. Tetiana Drubetska /

Normative controller : / Ass. Prof. Iryna Potapchuk /

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Управління енергетичними та економічними процесами
Кафедра: Інтелектуальні системи енергопостачання
Рівень вищої освіти: Другий (магістерський)
Освітня програма: Електротехнічні системи електроспоживання
Спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІСЕ
 Дмитро БОСІЙ
Дата 15.01.24

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістр з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

студенту ХОВАВКО Василю Віталійовичу

1. Тема роботи: Підвищення енергетичної ефективності об'єкта Б

Керівник роботи: Друбецька Тетяна Ігорівна, к.т.н., доцент

затверджені наказом від "18" 01 2023 р. № 56ст

2. Строк подання студентом роботи: 08.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи:
план об'єкту Б.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Огляд існуючих енергоефективних рішень в системах освітлення.

4.2 Системи зовнішнього та внутрішнього освітлення.

4.3 Розробка енергоефективного управління внутрішнім освітленням.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Типи ламп 2. Варіанти виконання систем освітлення 3. Варіанти розміщення ламп 4. Характеристики ламп.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд існуючих енергоефективних рішень в системах освітлення	09.10.2023	
2	Системи зовнішнього та внутрішнього освітлення	06.11.2023	
3	Розробка енергоефективного управління внутрішнім освітленням	18.12.2023	
5	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	08.01.2024	
6	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	16.01.2024	

Студент

Василь ХОВАВКО

Керівник роботи

Тетяна ДРУБЕЦЬКА

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка має обсяг 76 сторінок, складається із 3 розділів та містить 8 ілюстрацій, 8 таблиць, 21 використаних джерела.

Метою роботи являється підвищення енергетичної ефективності об'єкта Б за рахунок впровадження якісної та енергоефективної системи освітлення.

В роботі проведено дослідження існуючих енергоефективних рішень в системах освітлення, розкрито характеристики сучасних систем зовнішнього та внутрішнього освітлення, та проведено розробку енергоефективного управління внутрішнім освітленням об'єкта Б.

Проаналізовано сучасні джерела світла, що використовуються в системах внутрішнього і зовнішнього освітлення та визначено найкращі з них для забезпечення енергоефективності та енергозбереження протягом усього періоду експлуатації при гарантуванні оптимального рівня освітлення та мінімізації шкоди навколишньому середовищу.

Визначено, що для ефективного способу зниження енерговитрат на освітлення існує необхідність в поєднанні енергоефективних світильників з енергоефективними системами керування освітленням та правильним плануванням освітлення у приміщеннях.

Важливими елементами при проектуванні сучасних систем енергоефективного освітлення є датчики руху, присутності та рівня освітленості. Визначено основні їх характеристики та варіанти ефективного застосування даних пристроїв.

Проаналізовано сучасні протоколи передачі даних для керування освітленням та визначено найперспективніші з них.

Проведено порівняння різних варіантів систем для забезпечення внутрішнього освітлення об'єкта Б та визначена найоптимальніша, яка являється енергоефективною та економічно обґрунтованою.

Ключові слова: ОСВІТЛЕНІСТЬ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЯСКРАВІСТЬ, СВІТЛОВИЙ ПОТІК, СВІТЛОВА ВІДДАЧА, ДЖЕРЕЛО СВІТЛА.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ В СИСТЕМАХ ОСВІТЛЕННЯ	10
1.1 Аналіз джерел світла, які застосовуються в освітлювальних установках...	10
1.1.1 Лампи розжарювання	12
1.1.2 Газорозрядні лампи низького тиску	14
1.1.3 Газорозрядні лампи високого тиску	16
1.1.4 Світлодіоди.....	21
1.2 Вибір джерела світла.....	25
1.3. Енергозберігаючі рішення в системах освітлення.....	28
2 СИСТЕМИ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ	33
2.1 Системи зовнішнього освітлення.....	33
2.2 Енергозберігаючі технології у системах внутрішнього освітлення.....	35
2.2.1 Датчики руху, присутності та освітленості.....	36
2.2.2 Протоколи управління освітленням.....	38
2.2.2.1 Аналогове управління.....	39
2.2.2.2 Управління електромережею.....	40
2.2.2.3 Стандарт керування освітленням DMX-512A.....	40
2.2.2.4 Протоколи керування освітленням двостороннього обміну.....	41
2.2.3 Способи керування внутрішнім освітленням засновані на ідентифікації рівня освітленості.....	44
2.2.4 Структура автоматизованої системи управління освітленням	47
3 РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ВНУТРІШНІМ ОСВІТЛЕННЯМ	51
3.1 Завдання для визначення оптимального варіанту системи освітлення	51

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Підвищення енергетичної ефективності об'єкта Б	Літ.	Арк.	Аркушів	
Розробник		Ховавко В.В.		15.01					
							5	76	
Керівник		Друбецька Т.І.		16.01					
Н. контр.		Потапчук І.		16.01					
Зав.каф		Босий Д.О.		15.01					
						УДУНТ, ІСЕ, гр. EE2221			

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка має обсяг 75 сторінок, складається із 3 розділів та містить 8 ілюстрацій, 8 таблиць, 21 використаних джерела.

Метою роботи являється підвищення енергетичної ефективності об'єкта Б за рахунок впровадження якісної та енергоефективної системи освітлення.

В роботі проведено дослідження існуючих енергоефективних рішень в системах освітлення, розкрито характеристики сучасних систем зовнішнього та внутрішнього освітлення, та проведено розробку енергоефективного управління внутрішнім освітленням об'єкта Б.

Проаналізовано сучасні джерела світла, що використовуються в системах внутрішнього і зовнішнього освітлення та визначено найкращі з них для забезпечення енергоефективності та енергозбереження протягом усього періоду експлуатації при гарантуванні оптимального рівня освітлення та мінімізації шкоди навколишньому середовищу.

Визначено, що для ефективного способу зниження енерговитрат на освітлення існує необхідність в поєднанні енергоефективних світильників з енергоефективними системами керування освітленням та правильним плануванням освітлення у приміщеннях.

Важливими елементами при проектуванні сучасних систем енергоефективного освітлення є датчики руху, присутності та рівня освітленості. Визначено основні їх характеристики та варіанти ефективного застосування даних пристроїв.

Проаналізовано сучасні протоколи передачі даних для керування освітленням та визначено найперспективніші з них.

Проведено порівняння різних варіантів систем для забезпечення внутрішнього освітлення об'єкта Б та визначена найоптимальніша, яка являється енергоефективною та економічно обґрунтованою.

Ключові слова: ОСВІТЛЕНІСТЬ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЯСКРАВІСТЬ, СВІТЛОВИЙ ПОТІК, СВІТЛОВА ВІДДАЧА, ДЖЕРЕЛО СВІТЛА.

3.2	Опис об'єкта дослідження	53
3.3	Світлотехнічний розрахунок.....	53
3.3.1	Метод коефіцієнта використання світлового потоку.....	53
3.3.2	Розрахунок освітлення офісного приміщення.....	56
3.4	Розрахунок систем керування освітленням.....	61
3.4.1	Рішення щодо застосування датчиків для різних типів приміщень...	61
3.4.2	Розрахунок із встановлення датчиків руху та присутності	62
3.5	Техніко-економічна оцінка варіантів освітлення.....	63
	ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	71
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73
	ДОДАТОК А.....	76

ВСТУП

Актуальність роботи. На сьогоднішній день при проектуванні, будівництві або визначенні стану існуючого об'єкту важливу роль відіграє оцінка його енергоефективності. Для підвищення енергоефективності будівель рекомендується зменшити потреби в енергії, використовувати поновлювані джерела енергії та оптимально використовувати енергію.

Освітлювальні установки є одними з найбільш поширених технічних пристроїв, застосовуваних у всіх сферах людської діяльності. На будь-якому виробничому підприємстві, в житловому і громадському секторі використовується безліч різноманітних світлових приладів, що забезпечують необхідну освітленість при відсутності або нестачі природного світла.

Збереження енергоресурсів, а також необхідність підтримання постійного рівня освітлення відповідно до санітарних норм у навчальних та виробничих приміщеннях є актуальним та важливим завданням. Найбільш важливим у рамках енергозбереження для систем освітлення є зниження базової питомої витрати електроенергії на освітлення при забезпеченні нормованих показників освітлення.

Для підвищення показників енергоефективності найчастіше замінюють застарілі освітлювальні установки на нові, з меншою потужністю споживання. Додатковий енергозберігаючий ефект дають системи керування освітленням.

Діючі системи керування рівнем освітленості в Україні є технічно не досконалими. Принципом їх роботи є ступеневе реагування на рівень освітлення, що не дає значної економії електроенергії, оскільки не оцінюється динаміка зовнішньої освітленості як найважливішого чинника доповнення недостатнього природного світла штучним залежно від змін зовнішньої освітленості протягом дня і пори року.

Тому необхідні системи які дозволяють не тільки вмикати та вимикати світло, коли це потрібно, але і знижувати потужність та світловий потік від

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

освітлювальних установок для підтримки рівня освітленості, необхідного за нормативами.

Очевидно, що розв'язати таке завдання можна лише завдяки розробленню автоматичної системи безперервного контролю за рівнем освітлення і залежно від його значення забезпечувати плавне керування рівнем штучного освітлення.

Важливим аспектом при застосуванні систем управління освітленням є зниження їх вартості. Один із шляхів вирішення цього питання – розробка алгоритмів управління, що дозволяють спростити систему регулювання.

В даний час актуальним є питання визначення методики, що дозволяє вибрати конфігурацію ефективної системи освітлення та обґрунтувати її вибір з техніко-економічної точки зору.

За сукупністю результатів дослідження може бути зроблено обґрунтований висновок про енергетичну та економічну ефективність застосування кращої системи освітлення, що дозволить при мінімальних фінансових витратах забезпечити високу енергоефективність об'єкта.

Зв'язок роботи з науковими напрямками діяльності кафедри. Обране дослідження безпосередньо пов'язані з виконанням науково-дослідних робіт у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Мета та задачі дослідження. Метою досліджень є можливість підвищення енергетичної ефективності об'єкта Б за рахунок впровадження енергоефективної системи освітлення.

Об'єкт дослідження – енергетична ефективність об'єкта Б.

Предмет дослідження – система освітлення об'єкта Б.

Методи дослідження – для вирішення поставлених завдань у роботі використовувалися: положення з теорій світлотехніки, метод коефіцієнта використання світлового потоку, положення з економічної теорії, програмно-технічні засоби.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Наукова новизна одержаних результатів. Створено методику оцінки проектних рішень для різних систем освітлення за техніко-економічними показниками з використанням діаграм капітальних та експлуатаційних витрат.

Розроблено алгоритм управління освітленням за рівнем освітленості у приміщенні із застосуванням одного датчика освітленості, що дозволяє знизити вартість системи регулювання освітленістю як рахунок зменшення кількості датчиків, так і рахунок скорочення кількості провідників.

Розроблена методика допоможе проектувальникам та виробникам обґрунтувати доцільність впровадження систем керування освітленням для підвищення енергетичної ефективності на проєктованих об'єктах.

Особистий внесок здобувача. Постановку мети та завдань дослідження виконано спільно з науковим керівником. Основні наукові положення, теоретичні дослідження, розрахунки, зіставлення та аналіз отриманих результатів, та формулювання висновків отримані здобувачем самостійно.

Апробація результатів роботи.

Основні положення роботи і результати досліджень доповідалися здобувачем і обговорювалися на науково-практичній конференції.

Публікації.

Ховавко В. В. , Щербина О. С. Підвищення енергоефективності об'єкта / Наука і сталий розвиток транспорту 2023: Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів і молодих учених 27 жовтня 2023 р. – Дніпро: УДУНТ, 2023. – 121 с.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ В СИСТЕМАХ ОСВІТЛЕННЯ

1.1 Аналіз джерел світла, які застосовуються в освітлювальних установках

Сучасну цивілізацію неможливо уявити без штучного освітлення. Освітлювальні установки є одними з найбільш поширених технічних пристроїв, застосовуваних у всіх сферах людської діяльності. На будь-якому виробничому підприємстві, в сільському господарстві, в житловому і громадському секторі використовується безліч різноманітних світлових приладів, що забезпечують необхідну освітленість при відсутності або нестачі природного світла. Сучасне освітлення є невід'ємною частиною благоустрою міст, що забезпечує комфортне середовище, в темну пору доби. Забезпечення світлового комфорту у вечірній і нічний час досягається шляхом раціонально обраних кількісних та якісних характеристик штучного освітлення, що регламентуються нормами.

Конструкції систем освітлення розвивалися протягом віків, відображаючи матеріали, що використовуються, і удосконалення виробничих методів. Ці технології постійно вдосконалювались і покращувались. Неперервно шукалися менш забруднюючі, практичніші та ефективніші концепції, які сприяли їх розвитку. Досягнення в хімії та фізиці привели до нових досягнень у покращенні вихідних величин. Близько початку XIX сторіччя прийшла ера електрики як потужного джерела, яка запропонувала нові можливості використання в системах освітлення.

В сучасних електричних джерелах світла електрична енергія перетворюється на світлове випромінювання трьома шляхами: шляхом нагрівання тіла електричним струмом, електричним розрядом в газах та парах металів і пропусканням електричного струму через напівпровідники. Перші джерела отримали назву теплових, другі – розрядних, треті – світлодіодних.

Найбільш поширеними джерелами світла, які застосовуються в освітлювальних установках, є лампи розжарювання, люмінесцентні лампи

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

низького тиску, дугові лампи високого тиску - ртутні люмінесцентні, ксенонові трубчасті, металогалогенні з випромінюючими добавками, натрієві трубчасті, а також світлодіодні лампи та інші (рис. 1.1).

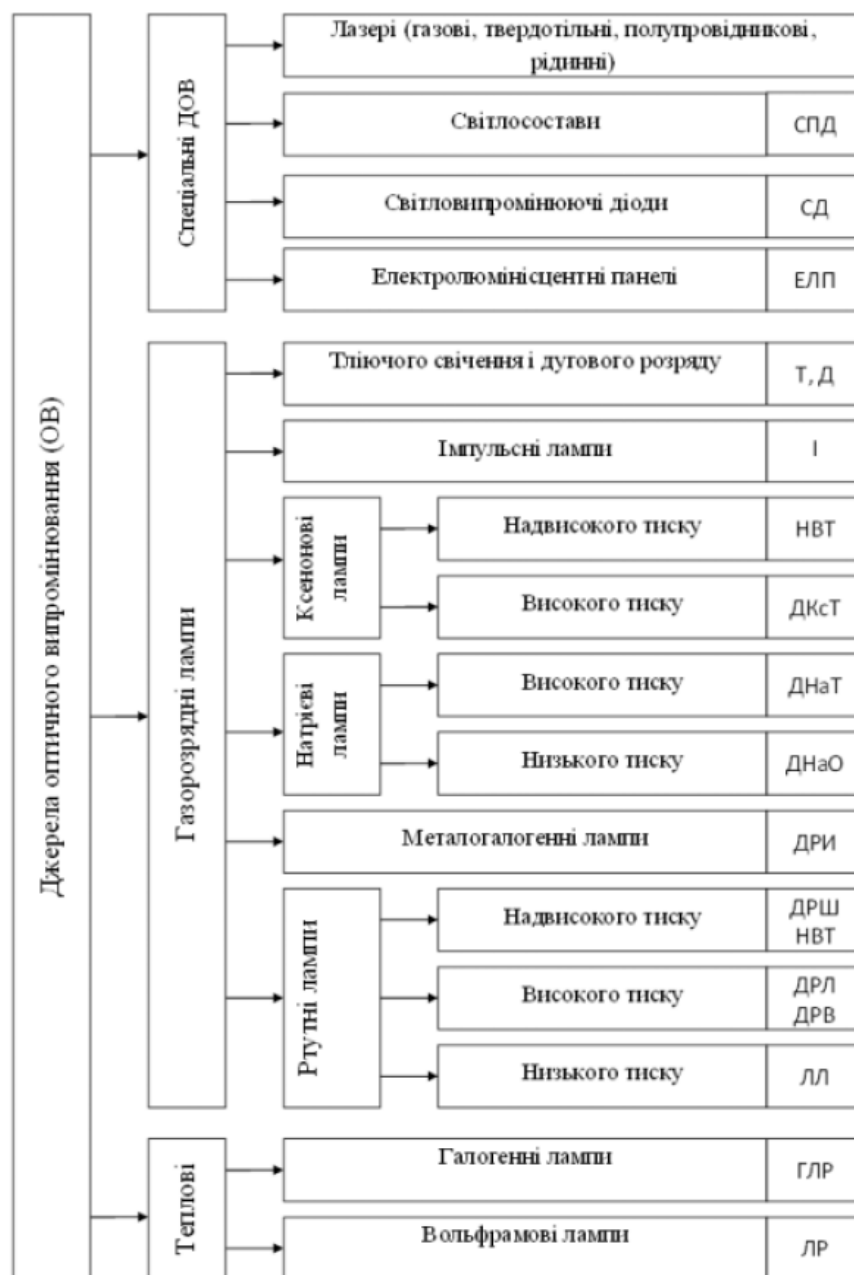


Рисунок 1.1 – Класифікація джерел світла

Основними вимогами, які висуваються до сучасного освітлення є: забезпечення найкращих умов для зорової роботи, забезпечення енергоефективності та енергозбереження протягом усього періоду експлуатації,

автоматичне керування освітленням, мінімізація шкоди навколишньому середовищу.

Розглянемо основні характеристики найбільш поширених джерел світла, їх переваги та недоліки при використанні в системах освітлення.

1.1.1 Лампи розжарювання

Лампа розжарювання - найбільш розповсюджене і зручне джерело штучного освітлення. Спектр її випромінювання відрізняється від природного світла більшим вмістом червоних і оранжевих променів та відсутністю ультрафіолетових.

Лампа розжарювання складається зі скляної колби, всередині якої на гачках закріплена вольфрамова нитка. Напруга до нитки підводиться двома електродами, один з яких з'єднаний з центральною частиною, а інший - з різьбленням цоколя. При проходженні електричного струму нитка розжарюється і випромінює світло.

Для отримання видимого випромінювання в лампах розжарювання застосовується нагрівання тіла. Однак видиме випромінювання виникає тільки при високих температурах випромінюваного тіла (від 1500 до 5000 K).

У сучасних лампах розжарюваного в якості матеріалу тіла напруження широко використовується вольфрам, який є тугоплавким металом (його температура плавлення близько 3600 K) і володіє досить високою пластичністю і низькою швидкістю випаровування. При збільшенні температури тіла напруження світлотехнічні характеристики джерела світла поліпшуються, однак при цьому скорочується термін служби лампи, так як під впливом високої температури відбувається інтенсивне випаровування вольфрамового тіла напруження. Нитка розжарення при цьому стає тоншою, частинки вольфраму що випарувалися осідають на внутрішній поверхні колби, викликаючи її потемніння, при цьому знижується світловий потік і в кінцевому підсумку лампа перегорає. Тому температура тіла розжарення має значення нижче температури плавлення металу, з якого вона виготовлена, і підтримується в діапазоні

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

2400...2900 К. Для виключення окислення металу, лампи розжарювання виконуються вакуумними.

Для збільшення терміну служби та підвищення світлової віддачі лампи, а також стабільності її світлового потоку прагнуть знизити швидкість випаровування матеріалу тіла розжарення. З цією метою колби ламп розжарювання наповнюють аргон-азотною або криптон-ксеноною сумішшю (газонаповнені лампи). Тиск газів в наповнених колбах може досягати 0,08 МПа, але не перевищує 0,1 МПа. Крім того, для зменшення розпилення вольфраму і тепловіддачі зменшують розміри нитки, згортаючи її в щільну кручену спіраль (моноспіраль), а потім в біспіраль (спіраль, навиту з спіралі).

Лампи загального призначення випускаються потужністю до 1500 Вт на різні номінальні напруги від 12 до 230 В. Лампи розраховані на напругу в межах діапазону, зазначеного в типі лампи. При напрузі мережі, що відрізняється від заданого, експлуатаційні характеристики лампи погіршуються.

Лампи потужністю до 150 Вт можуть виготовлятися в матованих, молочних або опалінових колбах. Світлова віддача ламп основної серії лежить в межах 11...20 лм/Вт. Номінальний термін служби ламп 1000 год. Випромінювання ламп по кольоровості більш жовте в порівнянні з природним денним світлом ($T = 2400...2700$ К) і при їх застосуванні не забезпечується правильна передача кольору [1].

В освітлювальних установках часто застосовуються трубчасті лампи типу КГ (кварцові галогенні) потужністю 1...20 кВт. Лампи мають форму трубки з кварцового скла з цоколями або вступними провідниками по кінцях. Вони виключно компактні, наприклад, лампа потужністю 2 кВт має діаметр 10,5 мм і довжину 335 мм. Світлова віддача ламп 22 лм/Вт, термін служби 2500...4000 год. Світло ламп типу КГ більш біле, ніж світло звичайних ламп розжарювання ($T=3000$ К), і щодо передачі кольору визнається більш придатним для освітлення [2]. Однак галогенну лампу не можна чіпати руками, так як колба її зроблена з плавленого кварцу, який кристалізується під дією жиру, що

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

залишається на поверхні лампи при дотику. Це призводить до руйнування колби і перегорання лампи.

Простота схеми включення робить лампи розжарювання надійними джерелами світла. Їх невисока вартість, зручність і простота експлуатації, різноманітність конструкцій, напруг і потужностей обумовлюють широке застосування цього джерела світла.

Важливою перевагою ламп розжарювання є також низькі значення коефіцієнта пульсації світлового потоку (середнє значення становить близько 7...15%). Лампи практично нечутливі до змін умов зовнішнього середовища, включаючи температуру, але дуже чутливі до відхилень напруги, що підводиться. Відхиленню напруги від номінальної на $\pm 1\%$ відповідає зміна світлового потоку на $\pm 3,7\%$, потужності - на $\pm 1,5\%$, світлової віддачі - на $\pm 2,2\%$, терміну служби - на 14% [3]. Однак головним недоліком ламп розжарювання є їх низька ефективність при перетворенні електричної енергії в світлове випромінювання: їх світлова віддача не перевищує 20 лм/Вт. Суттєвим недоліком є невеликий термін служби ламп розжарювання у порівнянні з іншими.

1.1.2 Газорозрядні лампи низького тиску

Трубчасті люмінесцентні лампи низького тиску, що одержали широке застосування в освітлювальних установках, істотно відрізняються від ламп розжарювання за всіма своїми характеристиками. В основі дії люмінесцентних джерел світла лежать різні способи перетворення окремих видів енергії в оптичне випромінювання. У сучасних джерелах світла використовується електролюмінесценція (оптичне випромінювання атомів, іонів, молекул рідких і твердих тіл під дією ударів електронів, іонів, прискорених в електричних полях, до енергій, достатніх для збудження) і фотолюмінісценція (оптичне випромінювання, що виникає при поглинанні оптичного випромінювання іншого джерела).

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Люмінесцентна лампа являє собою запаяну з обох кінців скляну трубку, внутрішня поверхня якої покрита люмінофором (люмінофори - тверді або рідкі речовини, здатні випромінювати світло під дією різного роду збуджень). З трубки відкачано повітря, і вона заповнена аргоном при тиску 400 Па з додаванням крапельки ртуті (60...120 мг), яка при нагріванні перетворюється в ртутні пари.

Всередині трубки на її кінцях у скляних ніжках впаяні електроди з вольфрамовою біспіральною ниткою, покритою шаром оксидів лужноземельних металів (барію, кальцію, стронцію), що сприяють більш інтенсивному випромінюванню електронів.

Коли до протилежних електродів підводиться напруга певної величини, виникає електричний розряд в газовому середовищі лампи, з виділенням теплоти, під дією якої ртуть випаровується. Такий розряд супроводжується потужним ультрафіолетовим випромінюванням, частина якого люмінофор перетворює у видиме випромінювання. Вибором і якістю люмінофора визначається колір випромінюваного світла і ефективність роботи лампи.

Люмінесцентні лампи призначені для загального освітлення закритих приміщень, а також для зовнішніх установок, що живляться від мережі змінного струму напругою 230 В частотою не менш 50 Гц.

На сьогодні освоєно випуск люмінесцентних ламп, що володіють більш високою світловою віддачею (до 104 лм/Вт), терміном служби (до 16 тис.год), зниженим вмістом ртуті (3 мг) [4].

Компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ) працюють за таким же принципом, як і звичайні люмінесцентні лампи, але мають інше конструктивне виконання. Компактні люмінесцентні лампи типу КЛЛ призначені для безпосередньої заміни малоефективних ламп розжарювання, що дозволяє економити до 75% споживаної електроенергії. Вони мають вбудований пускорегулювальний апарат (ПРА) і забезпечені стандартним різьбовим цоколем Е27. Лампи типу КЛЛ працюють з виносним ПРА (типу КЛ).

					02.15.EE2221.MP.2023—ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Випускаються компактні люмінесцентні лампи потужністю від 5 до 57 Вт зі світловою віддачею комплекту «лампа - ПРА» від 30 до 75 лм/Вт і термінами служби від 6 до 12 тис.год. [4].

Для запалювання і горіння ламп необхідне включення послідовно з ними пускорегулювальних апаратів. Існують стартерні і безстартерні ПРА, причому в першому випадку початковий підігрів електродів забезпечується короточасним замиканням контактів стартера, включеного паралельно лампі, у другому - подачею на електроди напруги від спеціальних пристроїв, побудованих на базі схем множення напруги, нагальних трансформаторів і т. п. Стартерні схеми включення люмінесцентних ламп набули більшого поширення, оскільки досить прості, мають малі втрати потужності і меншу вартість у порівнянні з безстартерними схемами. Однак наявність стартера іноді може призводити до «миготіння» і виходу з ладу ламп. Крім того, при зниженій температурі, якщо електроди лампи не встигли як слід прогрітися, лампа може не запалитися.

Вплив відхилень напруги на роботу люмінесцентних ламп позначається менше, ніж на роботу ламп розжарювання, проте при зниженні напруги на 10 % лампа може не запалитися або ж її включення буде супроводжуватися багаторазовим миготінням.

Підвищення напруги, підведеної до затискачів лампи, полегшує процес запалювання, але знижує її світлову віддачу через збільшення споживаної потужності і термін служби (при підвищенні напруги на 20 % термін служби ЛЛ, що працюють в схемах з дроселем, зменшується до 50 %). Термін служби ЛЛ також визначається режимом роботи її електродів. Чим менше число включень, тим менше знос оксидного шару, що покриває електроди, а отже, більше число годин горіння лампи.

1.1.3 Газорозрядні лампи високого тиску

Лампи типу ДРЛ. Дугова ртутна люмінесцентна лампа складається з кварцової трубки (пальника), розташованої в скляній колбі, внутрішня поверхня якої покрита тонким шаром люмінофора, здатного перетворювати

					02.15.EE2221.MP.2023—ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ультрафіолетове випромінювання, що супроводжує дуговий розряд в трубці, у видиме світло, придатне для освітлення. У трубку, виконану з кварцового скла, впаяні два основних вольфрамових електрода, покритих активованим шаром і приєднаних до центральної частини цоколя лампи, і два додаткових електрода (запалюючі). У трубці є крапелька ртуті (25...165 мг). Після відкачування повітря для підтримки стабільності властивостей люмінофора колба заповнюється чистим інертним газом (аргоном).

При подачі певної величини напруги до електродів лампи в трубці виникає електричний розряд, що супроводжується ультрафіолетовим випромінюванням ртутної пари з синюватим відтінком. Зазначене випромінювання, впливаючи на люмінофор, викликає його світіння, що має червоний колір. Сумарний колір світлового випромінювання лампи складається з випромінювань ртутного розряду і люмінофора, наближаючись до білого.

Завдяки наявності зовнішньої колби, світлотехнічні характеристики лампи типу ДРЛ практично не чутливі до температури навколишнього повітря на відміну від люмінесцентних ламп низького тиску. Вони надійно працюють при температурі навколишнього повітря від -30 до +40 °С. Вплив температури навколишнього повітря позначається в основному на напрузі запалювання лампи і часу її запалення. Чотириелектродні дугові ртутні люмінесцентні лампи високого тиску з люмінофорним покриттям на колбі випускаються в межах потужностей 80...2000 Вт і мають світлову віддачу 50...70 лм/Вт [5]. Світлова віддача зростає із збільшенням одиничної потужності, але для найбільш вживаних в установках внутрішнього освітлення ламп потужністю 400...1000 Вт майже однакова.

Термін служби ламп дорівнює 10...12 тис.год, причому до кінця цього терміну світловий потік знижується до 70 % від початкового. Лампи включаються через індуктивні ПРА, втрати потужності в яких складають близько 10 % [5].

Перевагою ламп ДРЛ в порівнянні з люмінесцентними лампами низького тиску є їх компактність при високій одиничній потужності, істотним недоліком - погана передача кольору їх випромінювання, що дозволяє застосовувати лампи

					02.15.EE2221.MP.2023—ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДРЛ тільки при відсутності будь-яких вимог до розрізнення кольорів (при $T = 3800\text{ K}$, $R_a = 42$), а також значні пульсації світлового потоку (коефіцієнт пульсації 64...73%). Процес запалювання ламп після включення триває 5...7 хв.

У разі хоча б миттєвої перерви живлення лампи гаснуть і починають знову розпалюватися тільки після охолодження, коли пари ртуті сконденсуються і тиск в розрядній трубці впаде до первісного значення (протягом приблизно 10 хв). Як і люмінесцентні лампи, вони надійно працюють тільки при напрузі не менше 90 % від номінальної. Гігієнічні дослідження не виявили протипоказань для застосування ламп ДРЛ, але дозволили зробити висновок, що при зорових роботах високої точності застосування їх небажано.

Лампи типу ДРЛ з червоним відношенням 6 % рекомендується використовувати для освітлення вулиць, 10 % - для зовнішнього та внутрішнього освітлення промислових об'єктів з високим рівнем зорових робіт, 12 % і більше - для внутрішнього освітлення промислових підприємств.

Для освітлення приміщень виробничих і громадських будівель, в яких виконуються роботи, що потребують підвищених вимог по кольору, можуть застосовуватися лампи типу ДРЛ потужністю 50, 80 і 125 Вт, що мають частку червоного випромінювання 15 %.

Металогалогенні лампи (МГЛ) типу ДРІ (дугові ртутні з випромінюючими добавками) з'явилися в результаті розвитку та удосконалення ламп ДРЛ. Пристрій ламп типу ДРІ практично такий же, як і ламп типу ДРЛ. У прозорій колбі знаходиться розрядна трубка, з обох боків якої впаяні електроди. У підставі колби встановлено екран. В якості зовнішньої колби застосовується або стандартна колба лампи ДРЛ без люмінофорного покриття), або колба циліндричної форми.

У лампах типу ДРІ в розрядну трубку крім ртуті та аргону (або іншого інертного газу) додатково вводять галоїдні сполуки різних металів (зазвичай з йодом, так як йодиди металів практично не взаємодіють з кварцовим склом).

					02.15.EE2221.MP.2023—ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Ці сполуки в гарячій зоні розпадаються на атоми йоду і металу. З гарячої зони вони переміщуються в холодну до стінок і возз'єднуються в первинний стан. Таким чином, в лампі здійснюється замкнутий цикл.

Випромінюване світло залежить від використовуваного металу, що дозволяє відмовитися від люмінофора. Наприклад, введення йодиду талію дає зеленуватий колір, натрію - жовтуватий колір, а індію - голубуватий відтінок світла. У лампах типу ДРІ в якості галогенідів широко використовуються йодиди натрію.

Лампи ДРІ мають світлову віддачу до 100 лм/Вт, зовні відрізняються від ламп ДРЛ тільки відсутністю люмінофора на колбі і дають досить біле світло. Лампи включаються в мережу через ПРА, що складаються з дроселя і запалюючого пристрою, який генерує імпульси високої напруги. Коефіцієнт потужності при некомпенсованих ПРА дорівнює в середньому 0,5. Пульсації світлового потоку значно менше (коефіцієнт пульсації до 30 %), і розпалюються лампи ДРІ дещо швидше, ніж лампи ДРЛ. З точки зору застосування металогалогенні лампи поділяються на лампи для загального освітлення, лампи з поліпшеною якістю передачі кольору для загального і спеціального застосування, а також лампи для спеціальних застосувань.

Ксенонові лампи. У цих лампах дуговий розряд відбувається у важкому інертному газі ксеноні, в результаті чого випромінювані промені близькі до ультрафіолетової, видимої і близької до інфрачервоної областей спектра електромагнітного випромінювання.

Світло що випромінюється має рівний білий колір ($T = 6000 \text{ K}$) і гарну передачу кольору ($R_a = 98$). Розрізняють ксенонові лампи з природним і водяним охолодженням (трубчасті), а також надвисокого тиску з природним і примусовим повітряним або водяним охолодженням (кульові). При природному охолодженні лампа являє собою трубку з кварцового скла діаметром 22...42 мм і довжиною 640...2610 мм, заповнену ксеноном. По кінцях трубки впаяні вольфрамові активовані електроди. У лампах з водяним охолодженням пальник (трубка) розміщується коаксиально (співвісно) в скляному циліндрі, оснащеному

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

пристроєм для підведення дистильованої води. Такі лампи через краще відведення теплоти при однаковій одиничній потужності мають менші габарити. У порівнянні з лампами з природним охолодженням вони мають велику світлову віддачу (за винятком ламп потужністю 50 кВт). Світлова віддача ламп з природним охолодженням із збільшенням одиничної потужності зростає і становить 18...50 лм/Вт, а ламп з водяним охолодженням – 27...42 лм/Вт [4].

Електричний дуговий розряд в ксеноновій лампі виникає при високій напрузі запалювання (до 50 кВ). При цьому час розгоряння лампи складає менше секунди, так як на відміну від ламп, в яких розряд відбувається в газах з парами ртуті або натрію, щільність ксенону залишається практично постійною при зміні теплового режиму.

З досить великої серії ксенонових ламп в освітлювальних установках отримали застосування дугові ксенонові трубчасті лампи з повітряним охолодженням типу ДКсТ і лампи з водяним охолодженням типу ДКсТВ. На відміну від інших газорозрядних ламп ці лампи працюють без баласту у вигляді ПРА, а запалюються за допомогою спеціального пускового пристрою.

Сортамент включає лампи потужністю 5, 10, 20 і 50 кВт (в невеликій кількості випускаються також лампи 100 кВт) [6]. Термін служби різних типів ламп має межі 300...750 год, але при стабілізації напруги, що забезпечує відхилення від номінального значення $\pm 2\%$, може досягати 3000 год. Лампи потужністю до 10 кВт включаються на напругу 230 В, більш потужні - в мережу напругою 400 В. Для ламп типу ДКсТ потужністю 10, 20 і 50 кВт положення горіння повинно бути горизонтальне з відхиленням від нього $\pm 30^\circ$, а для решти ламп - будь-яке. Область застосування ламп обмежується шкідливим для людей надлишком в їх спектрі ультрафіолетових випромінювань. Випускаються також лампи в колбі з легованого кварцу (лампи ДКсТЛ), в яких цей недолік усунуто. Пульсації світлового потоку у ламп ДКсТ особливо великі (коефіцієнт пульсації 130 %).

Крім великої одиничної потужності, перевагою ламп є той факт, що їх випромінювання по кольоровості найбільш близько до природного денного

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

світла, хоча по сфері застосування ламп ця перевага зазвичай не реалізується. Температура зовнішнього середовища не робить істотного впливу на запалювання і горіння лампи.

Натрієві лампи високого тиску типу ДНаТ представляють собою пальник з світлопропускаючої полікристалічної кераміки (окис алюмінію), порожнина якої заповнена ксеноном з добавками натрію, що додає випромінюєму світлу жовто-оранжевий відтінок, і ртуті у вигляді амальгами (амальгама - металева система, до складу якої в якості одного з компонентів входить ртуть). Пальник розміщений в колбі, яка має циліндричну або еліптичну форму і оснащений різьбовим цоколем. При роботі лампи дуговий розряд в пальнику здійснюється в парах ртуті і натрію, що сприяє його стабілізації.

Натрієві лампи високого тиску малочутливі до температури навколишнього середовища і працездатні при її зміні в діапазоні від -60 до +40 °С. Коливання напруги електричної мережі істотно позначаються на світлових і електричних параметрах натрієвих ламп. Крім того, ці лампи вимагають дотримання встановленого положення горіння: цоколем вгору або вниз з нормованим відхиленням від вертикального положення.

Світлова віддача ламп досягає 125 лм/Вт при терміні служби до 15000 год. Колірні характеристики натрієвих ламп високого тиску відносно невисокі: лампа випромінює світло жовто-оранжевого кольору ($T_c = 2000 \text{ K}$) і має погану передачу кольору ($R_a = 20 \dots 40$).

Поліпшення якості передачі кольору при використанні натрієвих ламп може бути досягнуто за рахунок їх спільного застосування з ртутними люмінесцентними лампами високого тиску.

Лампи включаються в мережу так само, як лампи ДРІ - через послідовно включений дросель, розрахований на робочий струм і напругу лампи. Маса дроселя приблизно на 30 % більше, ніж у дроселя для лампи ДРЛ тієї ж потужності через більший робочий струм. Запалювання стандартних ламп виконується за допомогою імпульсного запалюючого пристрою (ІЗП), що створює імпульси високої напруги (2...3 кВ), який підключається безпосередньо

					02.15.EE2221.MP.2023—ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

паралельно лампі або через частину обмотки дроселя. Коефіцієнт потужності комплекту «лампа - ПРА» в середньому 0,5. Пульсації світлового потоку досягають 70 %.

1.1.4 Світлодіоди

Світловипромінювальний діод (СД) - це мікромініатюрне напівпровідникове джерело світла, в якому випромінювання виникає на напівпровідниковому переході в результаті рекомбінації електронів і «дірок».

СД виготовляють з напівпровідникових матеріалів високої чистоти, додаючи незначну кількість домішок. Ці домішки створюють або надлишок електронів (тип «n»), або надлишок «дірок» (тип «р»). Заряд електрона - негативний, а «дірки» + позитивний. У місці контакту матеріалів «р» і «n» типів утворюється напівпровідниковий «р-n» перехід.

Якщо до цього переходу подати невелику напругу (декілька вольт) прямої полярності (до «n»-матеріалу – «мінус», а до «р»-матеріалу + «плюс»), то електрони і «дірки» будуть переміщатися назустріч один одному. У зоні контакту при рекомбінації вони будуть випускати фотони «світіння». Зазвичай випромінюване світло лежить у вузькому діапазоні спектра, його колір світіння визначається довжиною хвилі випромінення, яка залежить від хімічного складу речовини напівпровідника.

Енергія, споживана світлодіодом, частково перетворюється на світло, а частково в тепло, нагріваючи його. Збільшення на переході температури понад 80 °C призводить до різкого зниження світлового потоку, що вимагає тепловідведення. Тому в конструкції СД використовуються корпуси, що забезпечують хороший тепловідвід. Це дає змогу збільшити струм через діод і, отже, збільшити світловий потік. СД на відміну від звичайних ламп не перегорають, а поступово зменшують свою ефективність. Термін служби визначається падінням інтенсивності випромінення, наприклад, до 70 % від початкового значення.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Рекордні значення світлової віддачі білих СД досягли в 2011 р. – 210 лм/Вт, а в 2012 р. – 254 лм/Вт, значення для кращих комерційних СД досягло 140 лм/Вт [7].

Світлодіоди, мають значно більший термін служби, ніж інші лампи. Оцінка терміну служби СД при нормальних режимах дають значення 100 тис. годин [8].

Ще одна перевага СД – вібростійкість. Світлодіоди не містять ртуті, свинцю та інших важких металів, що важливо для безпечної експлуатації, та не вимагає утилізації пошкоджених приладів.

Важлива відмінність СД – живлення постійним струмом низької напруги. На одному СД за прямого струму падає напруга порядку контактної різниці потенціалів, тобто залежно від довжини хвилі випромінення, від 1,8 В до 3,5 В.

Зазвичай у лампах застосовується послідовне або послідовно-паралельне з'єднання декількох діодів. Напруга джерела живлення вибирається рівною 12–24 В. У приміщеннях із пожежної та вибухової небезпекою СД мають перевагу.

Площа кристалів СД становить близько 1 мм², це майже точкові джерела світла. Лінзи та відбивачі з СД створюють випромінення в заданому тілесному куті (3...120°). Це дає змогу ефективно використовувати світловий потік для освітлення необхідної частини простору.

При використанні світлодіодних пристроїв існує можливість керувати як інтенсивністю, так і спектром випромінення.

Люмінофори для білих СД, збуджені синім випроміненням кристала дають змогу створювати світлодіоди «холодного» (тобто яскравого денного) світла з корельованою колірною температурою $T \approx 6000$ К, «нейтрального» – з $T \approx 4000$ К, «теплого» (тобто вечірнього, близькому до кольору лампи розжарення з $T \approx 3000$ К).

До переваг основних показників світлодіодів, відносять їх високу надійність, ефективність, квантовий вихід, коефіцієнт корисної дії, світлова віддача та довговічність. Звичайно в СД освітленні є також і мінуси. Перш за все, це його ціна. В даний момент серед аналогів їх вартість більш висока. Але низька потреба

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

в потужності світлодіодних ламп і більш тривалий термін роботи майже повністю компенсують високі ціни.

Основні технічні характеристики джерел світла, що використовуються в системах внутрішнього освітлення представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння джерел світла

Технічні характеристики	Тип лампи								
	ЛР	ГЛР	ЛЛ	КЛЛ	ДРЛ	ДРИ (МГЛ)	ДНаТ	ДКсТ	СД
Строк служби, тис.год	1	2,5...4	12...16	8...12	10...12	3...10	6...15	2	50...100
Світлова віддача (ефективність), Лм/Вт	10...20	22... 30	47... 104	30...75	50...70	74 ... 100	80 ...125	43...50	110...140
Виділення тепла при горінні	велике	велике	велике	велике	велике	велике	велике	велике	низьке
Можливість регулювання потужності, що споживається	-	-	-	+	-	-	+	-	+
Залежність від напруги живлення	висока	висока	висока	висока	висока	низька	висока	низька	низька
Пульсація випромінювання, %	7...15	20	20	18	64...73	20...30	70	130	10
Індекс передачі кольору, Ra	>95	>90	40...59	40...59	40...59	>90	<40	90	60...95
Спеціальна утилізація	-	-	+	+	+	+	+	-	-
ККД світильника	0,1	0,65... 0,8	0,5...0,8	0,65... 0,8	0,85	0,85	0,85	0,85	0,95

Виходячи з проведеного аналізу джерел світла, можна зробити висновок про те, що при розробці методик підвищення енергетичної ефективності об'єкта Б слід по можливості віддавати перевагу світлодіодним джерелам світла, так як вони дозволяють підвищити енергоефективність не тільки за рахунок більш

високої світлової віддачі, а й за рахунок зниження втрат в освітлювальних мережах і більш широких можливостей по регулюванню потужності та світлового потоку.

1.2 Вибір джерела світла

Вибір типу джерела світла визначається такими основними факторами:

- електричними характеристиками (напругою, потужністю, родом струму, силою струму);
- функціональними світлотехнічними параметрами (світловим потоком, силою світла, колірною температурою, спектральним складом випромінювання);
- конструктивними параметрами (діаметром колби, повною довжиною ламп);
- середньою тривалістю горіння;
- стабільністю світлового потоку;
- економічністю (вартістю і світловою віддачею джерела світла).

Вибір джерел світла визначається їх характеристиками та вимогами до освітлення. Застосування газорозрядних ламп виключається, якщо живлення установки здійснюється від мережі постійного струму або якщо можливе пониження напруги більш ніж на 10 % від номінальної. Необхідність швидкого включення ламп після короткочасного зникнення напруги не дозволяє застосовувати лампи ДРЛ і ДРІ. При температурі навколишнього середовища нижче +5 °С освітлення за допомогою люмінесцентних ламп може виявитися неефективним.

Важливе значення у виборі джерел світла мають їх передача кольору і економічність. У деяких галузях промисловості для більшості приміщень, як правило, не висуваються жорсткі вимоги до перенесення кольорів. Основна вимога в даному випадку зводиться до розрізнення навколишніх предметів і облич людей, що працюють в приміщенні, а не до правильної передачі кольору. Тому в даному випадку при виборі ламп для освітлення вирішальну роль відіграють їх техніко-економічні характеристики.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Галогенні лампи розжарювання типу КГ забезпечують непогану передачу кольору і можуть за цим показником конкурувати з люмінесцентними лампами типу ЛХБ. Економічні показники газорозрядного освітлення в останні роки поліпшуються, чому сприяє зближення норм освітленості для газорозрядних ламп і ламп розжарювання. Витрата електроенергії при газорозрядних лампах значно менше, ніж при лампах розжарювання, а їхня підвищена вартість компенсується більш тривалим терміном служби.

В якості основного джерела світла для загального освітлення виробничих приміщень промислових об'єктів які мають, як правило, значну висоту, зазвичай застосовуються газорозрядні лампи високого тиску. У громадських будинках та службово-побутових приміщеннях промислових підприємств найчастіше застосовуються люмінесцентні лампи низького тиску. Лампи розжарювання зберігають своє значення в основному тільки для приміщень, де виробляються грубі роботи або здійснюється загальний нагляд за роботою обладнання, особливо якщо ці приміщення не призначені для постійного перебування людей.

Визначальне значення при виборі типу джерел світла мають висота приміщення і вимоги до перенесення кольорів. При використанні люмінесцентних ламп число світильників завжди значно більше, ніж при використанні ламп типу ДРЛ, і підвищена трудомісткість їх обслуговування особливо позначається у високих приміщеннях, змушуючи вже з однієї цієї причини віддавати перевагу лампам типу ДРЛ або ДРІ. З іншого боку, лампи типу ДРЛ мають високий коефіцієнт пульсації світлового потоку, а при малих висотах його зниження важко здійсненне. Застосування люмінесцентних ламп низького тиску може бути обґрунтовано в приміщеннях висотою не більше 6...8 м при підвищених вимогах до перенесення кольорів і при виконанні робіт високої точності, при яких лампи типу ДРЛ протипоказані.

Галогенні лампи розжарювання в установках промислового освітлення не отримали широкого застосування. Вони рекомендуються для високих приміщень за технічної неможливості застосування газорозрядних ламп, якщо необхідна одинична потужність лампи перевищує 1000 Вт, але можуть застосовуватися

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

також при підвищених вимогах до перенесення кольорів, якщо з якоїсь причини не можна використовувати люмінесцентні лампи низького тиску.

Газорозрядні лампи високого тиску типу ДРЛ і ДРІ використовуються для освітлення приміщень висотою 6...20 м, а також для зовнішнього освітлення.

Натрієві лампи типу ДНаТ внаслідок високої пульсації їх світлового потоку і специфічного спектру оптичного випромінювання, що має виражену жовто-помаранчеву складову, для внутрішнього освітлення на підприємствах застосовуються обмежено, в основному в поєднанні з лампами типу ДРЛ і ДРІ. Основна область використання натрієвих ламп - освітлення територій промислових об'єктів, вулиць, площ і т. п.

Ксенонові лампи призначені для освітлення великих відкритих просторів (кар'єрів, мостів, вантажно-розвантажувальних майданчиків), архітектурних споруд і т. д.

Загальне штучне освітлення приміщень, призначених для постійного перебування людей, повинно забезпечуватися розрядними або світлодіодними джерелами світла. Для місцевого освітлення крім розрядних джерел світла рекомендується використовувати лампи розжарювання, в тому числі галогенні, або світлодіодні світильники в залежності від економічної доцільності [9].

При виборі джерел світла для загальних приміщень необхідно керуватися рекомендаціями: віддавати перевагу лампам енергетично більш економічним і володіючим великим терміном служби; для зменшення початкових витрат на освітлювальні установки та витрат на їх експлуатацію необхідно по можливості використовувати лампи найбільшої потужності, але без погіршення при цьому якості освітлення.

Для освітлення приміщень електричні лампи поміщають в спеціальну арматуру різних типів. Арматура направляє світловий потік, одержуваний від електричних ламп, з найменшими втратами, а також захищає очі працівників від засліплюючої яскравості, а в деяких випадках змінює спектральний склад джерела світла. Арматуру разом з лампою прийнято називати світильником.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Конструкція світильника повинна надійно захищати джерело світла від пилу, води та інших зовнішніх факторів, забезпечувати електро -, пожежо - і вибухобезпечність, стабільність світлотехнічних характеристик в даних умовах середовища, зручність монтажу та обслуговування, відповідати естетичним вимогам.

В процесі експлуатації освітлювальних установок необхідно стежити за підтримкою постійної напруги та усувати причини, що викликають втрати чи коливання напруги.

1.3. Енергозберігаючі рішення в системах освітлення

Основним завданням енергоефективного управління освітленням є забезпечення оптимального рівня освітлення при мінімальному споживанні електроенергії.

Підвищення енергоефективності об'єкта Б, шляхом зменшення витрат на електроенергію для освітлення, може бути досягнуто за рахунок досягнення оптимальної роботи освітлювальної установки в кожен момент часу.

Для досягнення цього завдання необхідно використовувати енергоефективні лампи, такі як світлодіодні лампи, компактні люмінесцентні лампи та інші. Також важливим елементом є використання датчиків руху та світла, які дозволяють автоматично вимикати світло в приміщенні, коли його ніхто не використовує.

Для ефективного управління внутрішнім освітленням необхідно також враховувати особливості приміщення, такі як розмір, форма, призначення та інші. Наприклад, для приміщень з високими стелями можна використовувати світлодіодні лампи з вузьким кутом розсіювання світла, що дозволяє забезпечити оптимальний рівень освітлення на підлозі, не витрачаючи зайву електроенергію на освітлення стелі. В досягненні енергоефективного розміщення необхідно враховувати такі фактори, як розмір та форма приміщення, розташування вікон та дверей, наявність природного світла та інші.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наприклад, для приміщень з великою кількістю вікон необхідно використовувати світлодіодні лампи з низькою потужністю, що дозволяє зменшити споживання електроенергії в період денного світла. Також важливим елементом є правильне розміщення світильників, що дозволяє забезпечити оптимальний рівень освітлення.

Значні заощадження електроенергії має заміна світильників на ефективніші, з вищим коефіцієнтом корисної дії. Так, світильники з опаловими розсіювачами мають коефіцієнт корисної дії близько 50 % [9].

Заміна опалових розсіювачів на призматичні збільшує коефіцієнт корисної дії люмінесцентних світильників до 75 %. Високим рівнем ефективності відзначаються світильники з відкритими люмінесцентними лампами. Відсутність екранних та розсіювальних елементів дозволяє збільшити ККД світильників до 85 % і більше [10].

Так, заміною дифузійних люмінесцентних світильників на дзеркальні можна зменшити до 30 % витрати електроенергії.

Для приміщень з епізодичним використанням освітлювальної установки там, де можливо знизити освітленість, можна одержати економію за рахунок зниження напруги на лампах розжарювання, люмінесцентних з компенсованим ПРА, ксенонових (типу ДКсТ) та ртутних (типу ДРЛ).

Для забезпечення ефективності системи освітлення необхідна: періодична чистка світильників, заміна пошкоджених та застарілих ламп, полегшення доступу природного освітлення шляхом регулярного чищення вікон.

Для автоматизації включення і виключення ламп освітлення можливо використовувати датчики рівня освітленості. Алгоритм роботи таких систем гранично простий: при зниженні рівня яскравості нижче заданого порогу лампи включаються, і вимикаються при перевищенні порога спрацьовування. Системи автоматичного керування даним освітленням зазвичай працюють під управлінням зонального контролера або сервера в залежно від алгоритму управління [11].

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Метою регуляторів освітлення є забезпечення ефективного освітлення в необхідному місці і протягом потрібного часу. За допомогою ручних регуляторів можливо отримати керування індивідуальними світильниками або ж освітленням для окремих груп систем освітлення.

У більш складних системах керування через фотодатчик з ручним диммером (світлорегулятором) можна плавно змінювати інтенсивність штучного освітлення і підтримувати загальну освітленість приміщення на заданому рівні протягом дня або у певний час. Для забезпечення коректної роботи системи управління, проводиться калібрування датчика освітленості.

Автоматичні регулятори бувають: фотоелектричні, безконтактні, регулятори з таймером.

Фотоелектричні регулятори забезпечують можливість відключення штучного освітлення в сонячні дні, або коли природного освітлення достатньо для створення необхідних умов освітлення. Фотоелектричний датчик налаштовується на спрацювання лише при зміні зовнішньої освітленості, для забезпечення необхідних умов освітленості робочого місця. Включення регулятора в робочий режим відбувається в момент зниження освітленості нижче необхідного рівня за допомогою фотодіода, а безпосереднє включення або виключення освітлення здійснюється після сигналів, які надходять від датчика руху в той момент коли в поле його дії потрапляє користувач.

Особливістю схеми підключення датчика освітленості вважається урахування навантажувальної здатності реле датчика. За необхідності (недостатнього навантаження) використовують додаткове реле з потрібним струмом комутації.

Безконтактні регулятори. Це локальні регулятори, які реагують на присутність (ефект близькості) в приміщенні людей. Присутність визначається за допомогою датчиків, зазвичай інфрачервоних (ІЧ) або високочастотних датчиків. Прилади освітлення вмикаються при фіксації руху в приміщенні або ж коливанні хвиль (включають та знову його відключають) коли руху не зафіксовано.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Регулятори з таймером. Серед переваг цього типу слід зазначити великий вибір доступних модифікацій з інтервальною настроюванням режимів роботи освітлення, безліч варіантів установки і монтажу, а також хороший рівень експлуатаційних показників. Регулятор високо цінується достатньою інформативністю заданих установок на дисплеї, можливість запису власних напрацювань у внутрішню пам'ять пристрою і їх збереження навіть при відсутності живлення. Зазвичай електронний таймер часу для освітлення дозволяє створювати навіть надкороткі діапазони перемикання тривалістю до однієї хвилини. Точність показань при цьому визначено вище, ніж у приладів з електромеханічним реле.

Зі стрімким розвитком цифрових електронних, мікропроцесорних та бездротових комунікаційних технологій почали виготовляти кращі, менші та функціональні датчики [11]. Бездротові сенсорні датчики широко використовуються для збору даних про навколишнє середовище в приміщеннях будівель. Процес даних надає інформацію, а знання є продуктом аналізу інформації, що призводить до розумної поведінки або дії датчиків.

Потреба одночасно оптимізувати споживання енергії та комфортні умови відповідно до уподобань мешканців, спонукало дослідників до впровадження технологій обчислювального інтелекту (CI). Технології CI, включаючи такі методи, як Fuzzy Logic, Artificial Neural Network та Generic Algorithm.

У деяких стратегіях інтелектуального керування необхідне обов'язкове налаштування. Наприклад, контролери з нечіткою логікою вимагають налаштування, щоб знайти оптимальні функції належності або коефіцієнти масштабування, які пов'язують вхідні та вихідні дані системи керування.

Автоматичне управління освітленням у порівнянні з ручним (по статистичним даним) дає економію електроенергії порядку 2...4 %.

В даному розділі виконано аналіз існуючих джерел освітлення. Визначено їх переваги, недоліки та сфери використання.

Визначено, що для ефективного способу зниження енерговитрат на освітлення існує необхідність в поєднанні енергоефективних світильників з

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергоефективними системами керування освітленням та правильним плануванням освітлення у приміщеннях.

Визначено перспективність створення автоматизованих систем для ефективного керування освітленням без безпосередньої участі людини. Така система дозволить забезпечити енергоефективність приміщень, кращі умови та продуктивність праці.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

2 СИСТЕМИ ЗОВНІШНЬОГО ТА ВНУТРІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ

2.1 Системи зовнішнього освітлення

На сьогоднішній день система зовнішнього освітлення представляє собою комплекс освітлювальних приладів, ліній електроживлення та засобів управління ними призначених для компенсації нестачі природного освітлення в темний час доби та покликане забезпечити комфортне та безпечне пересування людей.

У системах зовнішнього освітлення використовуються світильники різних типів, потужності і принципу дії. Найбільш широко застосовуються газорозрядні лампи типу ДРЛ. Також великий парк світильників зовнішнього освітлення становлять лампи розжарювання та люмінесцентні джерела світла. Лампи ДРЛ мають оптимальні характеристики для роботи у зовнішніх умовах, але вимагають спеціальної пускової апаратури. В даний час лампи ДНАТ (натрієві) і ЛВД (ртутні) найпоширеніші через свою невисоку вартість та високий рівень світловіддачі [5].

Але найефективнішим з енергозбереження видом вуличного освітлення є світлодіодні системи освітлення. Основна їхня перевага - це енергозбереження: витрати на електроенергію скорочуються більш ніж на 70%. Крім цього, монтаж світлодіодних світильників не потребує певних зусиль, на відміну від світильників із ДРЛ та ДНАТ. Світлодіодні світильники дуже рідко потребують заміни ламп і, як наслідок, витрати на обслуговування мінімальні.

Згідно з нормативними документами включення зовнішнього освітлення здійснюється при зниженні рівня природного освітлення до 20 лк, а відключення - при підвищенні до 10 лк [2].

Для управління мережами зовнішнього освітлення існує автоматизована система, яка дає змогу відстежувати та вимірювати поточні параметри та діагностувати поточний стан обладнання та лінії.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Системи дистанційного керування мережами зовнішнього освітлення передбачають керування комутаційними апаратами, що забезпечують роботу освітлення у вечірні та нічні години.

Дистанційне управління освітленням здійснюється за допомогою магнітних пускачів в лініях живильної та групової мереж.

Також використовуються автоматичне програмне або фотоавтоматичне керування. У системі встановлюються магнітні пускачі та програмне реле, фотореле або фотоелектричний автомат, який залежно від часу доби та рівня освітленості контролює освітлення.

У дистанційному управлінні освітленням існують два режими роботи освітлювальних установок – вечірній та нічний. Вечірній режим: увімкнено всі освітлювальні прилади, нічний режим: працює тільки частина освітлювальних приладів, оскільки інтенсивність падає. Дані системи управління зовнішнім освітленням мають низку недоліків з погляду енергозбереження. При телемеханічному управлінні відбувається перевитрата електроенергії, пов'язана з людським фактором, а також підвищується коефіцієнт нерівномірності освітлення через низькоефективне управління потужністю.

Новим напрямом інтелектуального енергозберігаючого освітлення є застосування світлодіодних світильників, датчиків руху та використання бездротового зв'язку між світильниками та диспетчерським пунктом.

Особливістю цієї системи є радіозв'язок між сусідніми світильниками, при появі об'єкта відбувається розгорання не тільки конкретного ліхтаря, що знаходиться в безпосередній близькості від об'єкта, але і наступних, таким чином в міру віддалення від них об'єкта відбувається неповне зниження освітленості та створюється зона безпеки.

При інтелектуальній системі керування зовнішнім освітленням можливі індивідуальні регулювання яскравості та включення/вимкнення світильників вуличного освітлення [12]. Існує можливість вибрати заздалегідь запрограмовані графіки, планувати графік самостійно або вручну керувати кожним вуличним

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

ліхтарем відповідно до необхідних потреб. Крім того, кожна лампа включається без мерехтіння, викликаного стрибками напруги.

Контролери інтелектуальної системи керування зовнішнього освітлення встановлюються всередині полюса або всередині лампи, тоді як пристрої зв'язку розміщуються у шафах живлення. Система здійснює передачу даних між лампами та шафами живлення з використанням будь-якого IP-рішення на основі наявних комунікацій між шафами та системними процесорами [13].

Один із різновидів автоматичного управління зовнішнім освітленням за допомогою системи глобального позиціонування. Для керування застосовується GPS-приймач і прилад, який обчислює час сходу та заходу сонця, відповідно до географічного розташування. За його допомогою освітлення включає контролер, за 15 хв до заходу сонця та настання сутінків, та вимикає за 10 хв до світанку, у будь-якій точці координат на земній кулі.

Автоматичне керування здійснюється за допомогою зонального контролера чи сервера. Контролер служить для формування сигналу для включення певної групи зовнішніх освітлювальних пристроїв або вуличних ліхтарів.

У цілому нині автоматизована система управління зовнішнього освітлення дозволяє вирішити такі важливі питання:

- повна автоматизація процесу управління освітленням та постійний контроль;
- економія електроенергії за рахунок чергування вечірнього, нічного та ранкового режимів управління в автоматичному режимі та за командами;
- економія коштів, оскільки система практично не вимагає обслуговування, а надійність компонентів дозволяє зберігати працездатність довгі роки.

2.2 Енергозберігаючі технології у системах внутрішнього освітлення

Основними вимогами при проектуванні штучного внутрішнього освітлення, є наступні: забезпечення найкращих умов зорової роботи при дотриманні встановлених норм рівня освітленості, керування освітленням безпосередньо із робочого місця, енергоефективність, енергозбереження протягом усього періоду

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

експлуатації та при мінімальній участі людини в процесі його роботи, мінімізація шкоди навколишньому середовищу.

У виборі штучних джерел освітлення до уваги приймаються показники, головними з яких є світловий потік, передача кольорів, розподіл яскравості.

На сьогоднішній день в системах внутрішнього освітлення для підвищення показників енергоефективності найчастіше замінюють застарілі освітлювальні установки на нові, з меншою потужністю споживання. Додатковий енергозберігаючий ефект дають системи керування освітленням.

Системи керування дозволяють не тільки вмикати та вимикати світло, коли це потрібно, але і, що важливо, знижувати потужність та світловий потік від освітлювальних установок для підтримки рівня освітленості, необхідного за нормативами.

Для систем внутрішнього освітлення існують чотири основні напрями підвищення енергоефективності [11]:

- 1) застосування люмінесцентних ламп (ЛЛ) діаметром 16 мм (Т5);
- 2) застосування електронних пускорегулюючих апаратів у світильниках з ЛЛ (ЕПРА);
- 3) застосування світлодіодних світильників (ЦД);
- 4) управління світильниками та регулювання світлового потоку за допомогою датчиків руху, присутності та освітленості.

2.2.1 Датчики руху, присутності та освітленості

Один із ефективних способів зниження споживання електроенергії є використання датчиків руху (ДР), присутності (ДП) та освітлення (ДО).

Сучасні датчики руху та присутності, які використовуються для управління освітленням залежно від присутності людей у контрольованій зоні, найчастіше реалізовані на технології пасивної інфрачервоної детекції (PIR-Passive Infrared).

Основою датчика є два ключові елементи - це пасивні інфрачервоні піроприймачі та лінза Френеля [14].

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Пасивні інфрачервоні піроприймачі або PIR-детектори призначені для виявлення переміщення теплової плями на постійному температурному тлі.

Піроприймач використовується спільно із зовнішньою оптичною системою, найчастіше з лінзою Френеля, що здійснює поділ простору на прозорі та непрозорі температурні сектори та фокусування інфрачервоного випромінювання на чутливий елемент. Людина послідовно перетинає ці сектори, у результаті формується змінний тепловий сигнал, що призводить до короткочасної зміни напруги на виходах PIR-елемента. Таким чином, сам PIR-елемент датчика реагує не на температуру тіла, а саме на різку зміну інтенсивності інфрачервоного випромінювання, що потрапляє на нього [15].

Якісна робота сучасного датчика руху (присутності) неможлива без блоку обробки сигналів піроприймача. Блок обробки сигналів повинен забезпечувати надійне розпізнавання корисного сигналу від людини, що рухається на тлі різних перешкод. Сигнал на виході від людини є майже симетричним двополярним сигналом. Перешкодні сигнали здебільшого є несиметричними або мають відмінну від корисних сигналів тривалість.

З метою зниження кількості помилкових спрацьовувань у простих датчиках використовується метод лічби імпульсів, коли підраховується, скільки разів сигнал перевищив поріг [16].

Датчики присутності фіксують навіть мінімальні рухи людини. Їх встановлюють у приміщеннях, де переважає робота людей з мінімальними переміщеннями та де є достатнє природне освітлення (офіси, навчальні класи, санвузли). ДП постійно стежать за присутністю людей у приміщенні [2].

За способом встановлення датчики поділяються на настінні та стельові. Діаграми зони чутливості в них будуть різні.

Коли датчик встановлюють вище за рекомендовану висоту, чутливість датчика знижується пропорційно квадрату перевищення. Тому другим важливим фактором є висота установки датчика [17].

Існують 3 зони чутливості датчиків:

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

- зона надчуткої чутливості, у ній уловлюються дрібні рухи людини, такі як моргання повік або дрібна моторика пальців;
- зона чіткої чутливості, у цій зоні вловлюються невеликі рухи людини, такі як рухи руками;
- зона детекції руху людини, у цій зоні виявляються великі рухи людини, такі як ходьба.

Датчики руху конструктивно простіше, розраховані на визначення явних рухів: електроніка датчика фільтрує дрібні рухи для виключення хибних спрацьовувань. ДД немає зони надчуткої детекції та його основна функція – включення/відключення освітлення за присутності людей.

При застосуванні ДП і ДР необхідно враховувати тип джерела світла, яким планується керувати, і навіть схеми живлення ламп.

Управління ЛЛ можливе лише за наявності спеціальних регульованих ЕПРА з теплим пуском (з попереднім прогріванням електродів). При використанні ЕмПРА та ЕПРА з холодним пуском (запалювання лампи відразу після включення) у системах регулювання термін служби ламп та самих ПРА сильно падає [7].

Датчик освітленості (ДО, сутінковий датчик) являє собою пристрій із вбудованим сенсором освітленості та реле для комутації навантаження. ДО не фіксує переміщення людей, а призначений для включення та вимикання груп світильників за змінним ступенем освітленості всередині та зовні будівлі.

Також датчики освітленості здатні фіксувати рівень освітленості в заданій точці - і посылати керуючий сигнал, що змінює потужність (напругу) світлового приладу залежно від даних про освітленість.

2.2.2 Протоколи управління освітленням

Енергозбереження в освітлювальних установках з керованими ЕПРА з люмінесцентними лампами досягається завдяки тому, що зі зменшенням світлового потоку ламп зменшується потужність системи «лампа+ЕПРА». Потужність системи зменшується прямо пропорційно зменшенню світлового

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

поток ламп. При зменшенні світлового потоку до 1% від номінального, потужність системи становить близько 13% від номінальної [15].

Для управління світловим потоком люмінесцентних ламп випускаються спеціальні ЕПРА з можливістю управління (найпоширенішими сигналами управління є аналоговий 1...10 В та цифровий DALI).

2.2.2.1 Аналогове управління

Управління силою світла за допомогою зміни напруги - один із найперших і найпростіших методів. З часом найпоширенішими стали рівні 0–10 В. Сила світла змінюється пропорційно до напруги [13].

Перевага цього методу - простота виконання. Потрібні всього дві лінії: зовнішній сигнал керування і загальний зворотний провід.

Інший варіант аналогового управління розрахований на отримання сигналу, що управляє, за допомогою внутрішнього світлодіодного драйвера і зовнішнього потенціометра [17].

Недоліком аналогового підходу при керуванні десятками і більше сотнями освітлювальних приладів є велика кількість ліній управління, що робить даний метод непридатним для складних систем з кількома сотнями освітлювальних приладів. Система стає надто дорогою. Крім того, в ній важко проводити діагностику та усувати несправності.

Другий недолік пов'язаний із загасанням сигналу на довгих лініях. Сигнал, прийнятий джерелом світла, може виявитися слабшим за вихідний, що призведе до більш темного освітлення або нерівномірності випромінювання в системах з декількома освітлювальними приладами.

Аналоговий сигнал схильний до зовнішніх перешкод, шумів і перебоїв на лінії заземлення, особливо при передачі на великі відстані [14].

Даний метод управління поширений, але не забезпечує достатньої стабільності і не дозволяє отримувати дані з мережевого контролера.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

2.2.2.2 Управління електромережею

Управління освітленістю електромережами застосовується в комерційних і житлових приміщеннях. Напруга мережі надходить на освітлювальний прилад і обмежується амплітудою відповідно до необхідної величини світлового потоку [17].

Зазвичай цей підхід застосовується для регулювання сили світла ламп розжарювання. Регулятори освітлення можна розділити на дві групи: в одних обмеження напруги мережі проводиться по передньому фронту, в інших - по задньому [14].

Цей протокол практично не використовується для світлодіодних систем освітлення з кількох причин:

- 1) через несумісність за потужністю;
- 2) драйвер світлодіода може мати високий пусковий струм, якщо контролер керує декількома джерелами світла;
- 3) коли світлодіодне джерело випромінює слабе світло, його корисна вихідна потужність зменшується, може з'явитися помітне оку мерехтіння;
- 4) оскільки світлодіодні драйвери з керуванням по електромережі виготовляються з одноступінчастою топологією, у них часто виникають пульсації струму другої гармоніки, що призводить до скорочення терміну служби освітлювального приладу;
- 5) регулювання сили світла залежить від якості регулятора [14].

2.2.2.3 Стандарт керування освітленням DMX-512A

Цей стандарт був розроблений для цифрових мереж передачі даних, що використовуються для керування світлодіодними джерелами світла та іншими пристроями. Фізично в цьому протоколі використовуються диференціальні сигнали EIA-485 і пакетна передача. Обмін можливий лише в одному напрямку та не передбачає перевірки та виправлення помилок [17].

Широке поширення протоколу DMX-512A пояснюється кількома причинами:

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

- простота виконання;
- висока надійність;
- можливість керування кількома мережами світильників за трьома проводами;
- невисока вартість елементної бази;
- інтерфейс керування ізольований від світильника, тобто захищений.

Максимальна кількість пристроїв – 512. Подальше нарощування можливе лише за умови використання додаткових портів DMX.

Стандарт EIA485 призначений лише для систем із послідовно включеними світильниками. У кожному сегменті може бути до 32 пристроїв, загальна довжина сполучного дроту – 1 км.

Кожен порт DMX передає до 512 8-розрядних значень каналу. На передачу повного пакета потрібно 23 мс, що відповідає частоті оновлення 44 рази на секунду. Така частота підходить більшості застосувань і сприймається оком.

Єдиний недолік протоколу DMX – одностороння передача від контролера до джерела світла. Відповідно, неможливо проводити моніторинг стану світильників та відстеження збоїв.

2.2.2.4 Протоколи керування освітленням двостороннього обміну

Серед багатьох двонаправлених протоколів управління освітленням міжнародне визнання отримали.

- Digital Addressable Lighting Interface (DALI),
- Remote Device Management (RDM),
- Architecture for Control Networks (ACN)
- KNX [18].

Протокол керування освітленням RDM.

Цей протокол є модернізацією протоколу DMX512, що дозволяє отримувати дані від джерела світла стандартними лініями DMX. Можливі конфігурування, моніторинг статусу, управління RDM-пристроями, зчитування основних показників (споживаний струм, робоча температура, час роботи, напруга в

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

мережі, індекс кольору та ін.), - і все це, не заважаючи основній роботі стандартних DMX-пристроїв, які не підтримують RDM [18].

Велика перевага RDM полягає в тому, що він сумісний з DMX, що дозволяє використовувати існуючу інфраструктуру [18].

Системи освітлення RDM мають такі переваги:

1) можливість встановлювати базову адресу світильника, що прискорює встановлення освітлювальних приладів та позбавляє необхідності присвоювати DMX-адреси вручну;

2) керування окремими пристроями чи групою;

3) одночасне керування всіма пристроями у мережі;

4) передача статусних повідомлень (наприклад, про збій) від одного, декількох або всіх пристроїв мережі;

5) автоматичне розпізнавання освітлювальних приладів;

6) простий принцип утворення груп світильників;

7) автоматичне затемнення всіх приладів відповідно до обраної сцени;

8) елементи інтелектуальної системи (індивідуальна адреса, розбиття на групи, встановлені сцени, час згасання тощо);

9) можливість встановлення швидкості згасання;

10) ідентифікація типу пристрою.

Незважаючи на всі переваги, протокол не набув широкого поширення через деякі недоліки:

1) висока вартість електронних схем;

2) брак контролерів, здатних використовувати додаткову потужність RDM-пристроїв, як наслідок – висока ціна;

3) невелика кількість світлодіодних драйверів, які підтримують RDM.

Протокол керування освітленням DALI.

Стандарт DALI – відкритий стандарт для люмінесцентних ламп з баластом. Наприкінці 2009 р. стандарт було розширено. Зокрема, з'явилася можливість керування світлодіодними інсталяціями. Протокол передбачає передачу даних двома лініями [19].

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Переваги DALI:

- 1) керування 64 пристроями по одній шині;
- 2) на одному просторі можна утворювати до 16 варіантів сцен;
- 3) керуючі дроти підключаються до баласту або схеми управління безпосередньо, що спрощує підключення, коли є багато зон або груп;
- 4) теоретична межа нелінійного затемнення до 0,1%;
- 5) можливість плавного керування;
- 6) висока поширеність за рахунок простоти побудови систем.

Мінусом DALI є висока ціна контролерів.

IP-системи для керування освітленням.

Багато сучасних пристроїв обмінюються даними через інтернет. Поступово дана технологія проникає і в системи освітлення [18]. Переваги використання протоколів TCP/IP [20]:

- низька вартість інфраструктури;
- масштабованість - можливість з'єднання практично нескінченної кількості мереж;
- сумісність із мережевими та інтернет-протоколами дозволяє керувати освітленням дистанційно;
- простота конфігурування;
- висока швидкість передачі;
- стійкість до появи помилок.

Протокол керування освітленням KNX.

KNX – протокол для управління будівлею загалом. При використанні даного протоколу силова електропроводка прокладається тільки між виконавчими пристроями (реле, регуляторами і т.д.) і споживачами, а всі системні елементи (датчики, контролери) вимагають об'єднання тільки сигнальним кабелем (шиною управління). Завдяки цьому силова частина виконується без обхідних шляхів. Це зменшує витрати силового кабелю, кількість з'єднань, втрати і, як наслідок, знижує ймовірність виникнення пожежі та підвищує надійність силового ланцюга, спрощує електромонтажні роботи. [18].

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Мережа в даному випадку – це децентралізована система, яка не потребує центрального управління як персонального чи спеціалізованого комп'ютера. У разі зміни функціонального призначення обладнання або перепланування приміщень забезпечується швидка адаптація системи. Порухення роботи одного чи кількох пристроїв не призводить до порушення роботи всієї системи. Цим забезпечується висока надійність та зручність експлуатації, оскільки заміна приладів здійснюється без відключення живлення.

Система дозволяє здійснювати функції охорони об'єкта та активний режим економії електричної та теплової енергії, що робить її самоокупною. Всі ці важливі переваги наочно ілюструють простоту та доступність проектування та управління системою.

Передача даних може здійснюватися за кількома середовищами: кручена пара (9600 біт/с); електромережа (1200 біт/с); радіоканал (16,384 кбіт/с, 868 МГц, 25 мВт); лінії Ethernet. Протокол KNX не прив'язаний до апаратної платформи [20].

2.2.3 Способи керування внутрішнім освітленням засновані на ідентифікації рівня освітленості

На сьогоднішній день існує два перспективних напрямки з управління освітленням всередині приміщення:

- 1) керування на підставі ідентифікації рухів (датчики руху (ДР), датчики присутності (ДП));
- 2) управління виходячи з відстеження рівня освітленості.

Датчики першої групи часто використовуються для управління освітленням. Економія від застосування очевидна. При не вимкненні світла, відбувається збільшення спожитої електроенергії за день. І, якщо це відбувається постійно, то перепащується значна сума за освітлення. І ДР та ДП сприяють тому, щоб уникнути цього.

Однак, незважаючи на всю простоту розуміння, в чому конкретно полягає економія, значно складніше цю економію розрахувати. Різниця в споживанні при використанні датчиків і без них залежить в першу чергу від людських факторів,

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що слабо прогножуються: в першу чергу від культури людей економити електроенергію.

Тому розрахункова економія у споживанні електроенергії у разі носить більш імовірнісний характер і може насправді сильно відрізнятись.

З іншого боку, розрахунок економії від датчиків освітленості хоч і базується на математичній моделі (яка має свої похибки), все ж таки дозволяє більш-менш достовірно оцінити її.

Інше питання, яке постає при проектуванні та виборі системи освітлення – це капітальні витрати та можливості їх зниження.

Як відомо, найбільшу вартість мають системи керування освітленням. Будь-який споживач зацікавлений, з одного боку, заплатити якнайменше, з іншого боку, мати дієздатну та ефективну систему.

Управління освітленням, засноване на ідентифікації рівня освітленості, що надходить через віконні отвори, може здійснюватися трьома основними способами:

1) Застосування на кожну групу (ряд) світильників свого датчика, спрямованого вертикально вниз на горизонтальну поверхню (рис.2.1).

Такий варіант дозволяє підтримувати необхідний рівень освітленості незалежно від старіння та забруднення світильників, а також забруднення вікон. Він є дорогим, але підходить для великих приміщень.

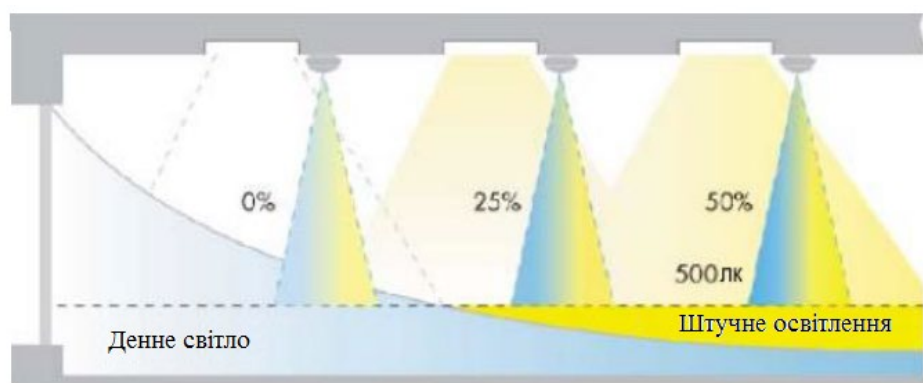


Рисунок 2.1 – Варіант застосування на кожну групу світильників – свого датчика

2) Встановлення слідкуючого фотоелемента (зовні приміщення або всередині приміщення з орієнтацією датчика на віконний отвір).

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Такий датчик діє на всі групи світильників одночасно. Датчик спрямований на віконні отвори і відстежує природне світло, що надходить через них, з урахуванням КЕО (рис. 2.2).

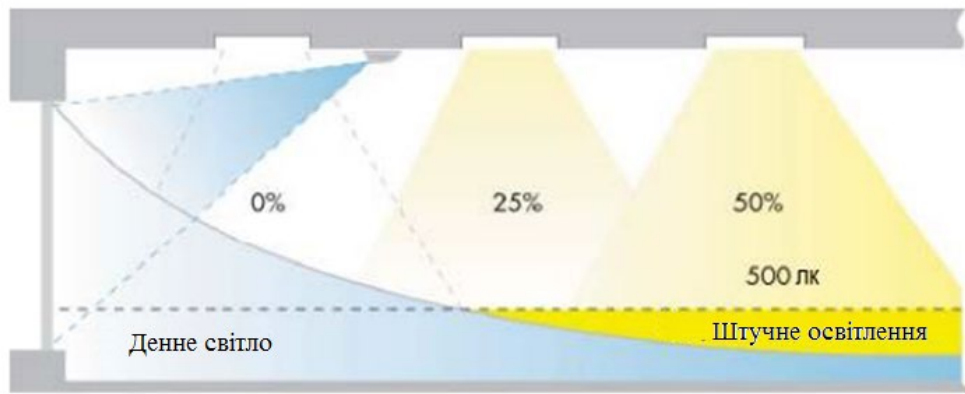


Рисунок 2.2 – Встановлення фотонаслідуючого елемента

Така орієнтація датчика тягне за собою з одного боку, здешевлення системи керування, з іншого, старіння та забруднення світильників та віконних отворів може призвести до помилок керування. Також потрібно як мінімум відстеження положення жалюзі.

3) Використання одного датчика на приміщення.

Цей спосіб відрізняється від попереднього тим, що ми більшою мірою відстежуємо не світло, що не надходить, а рівень освітленості в деякій точці, яка складається з суми природної складової та штучної (рис. 2.3).

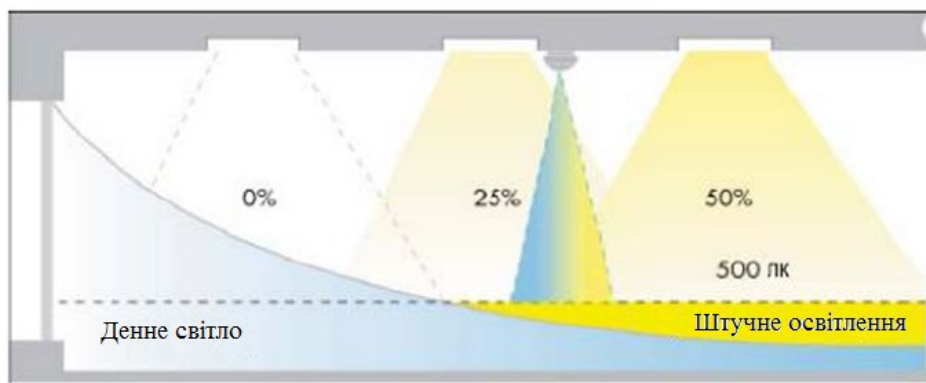


Рисунок 2.3 – Використання одного датчика на приміщення

Для такого способу важливо відстежувати зміни світлового потоку від світильників через їхнє старіння. Використовувати його можна для невеликих приміщень. Варіант неточний, але відносно дешевий.

Якщо використовувати на кожен ряд свій датчик освітленості, тоді можна досить точно визначити необхідний рівень освітленості. З іншого боку, споживач переплачує за кожен датчик.

Тому використання одного датчика для керування освітленням представляє великий інтерес. Однак потрібен алгоритм, яким управління буде здійснюватися.

Також способи управління природним освітленням можна розділити на плавне, коли освітленість у приміщенні регулюється зі зміною природної складової, і ступінчасте, коли освітленість від світильників знижується (або зростає) стрибком при досягненні деякого критичного значення природної складової.

У роботі представлено алгоритм для плавного управління освітленням при встановленні датчика всередині приміщення з орієнтацією на робочу поверхню (рис. 2.4).

2.2.4 Структура автоматизованої системи управління освітленням

Сучасна система управління внутрішнім освітленням побудована за блок-схемою представленою на рисунку 2.5. В її склад входять регулятори світлового потоку, регульовані джерела світла, датчики сумарної освітленості, присутності та реального часу, іноді включаються програматори, в яких заздалегідь встановлюється програма зміни освітленості на певний період (робочий день, тиждень, рік).

Методами безпосереднього керування освітлювальною установкою є дискретне включення або відключення всіх світильників або деякої їх частини за командами керуючих сигналів, а також поетапне або плавне зниження потужності освітлення в залежності від цих же сигналів.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

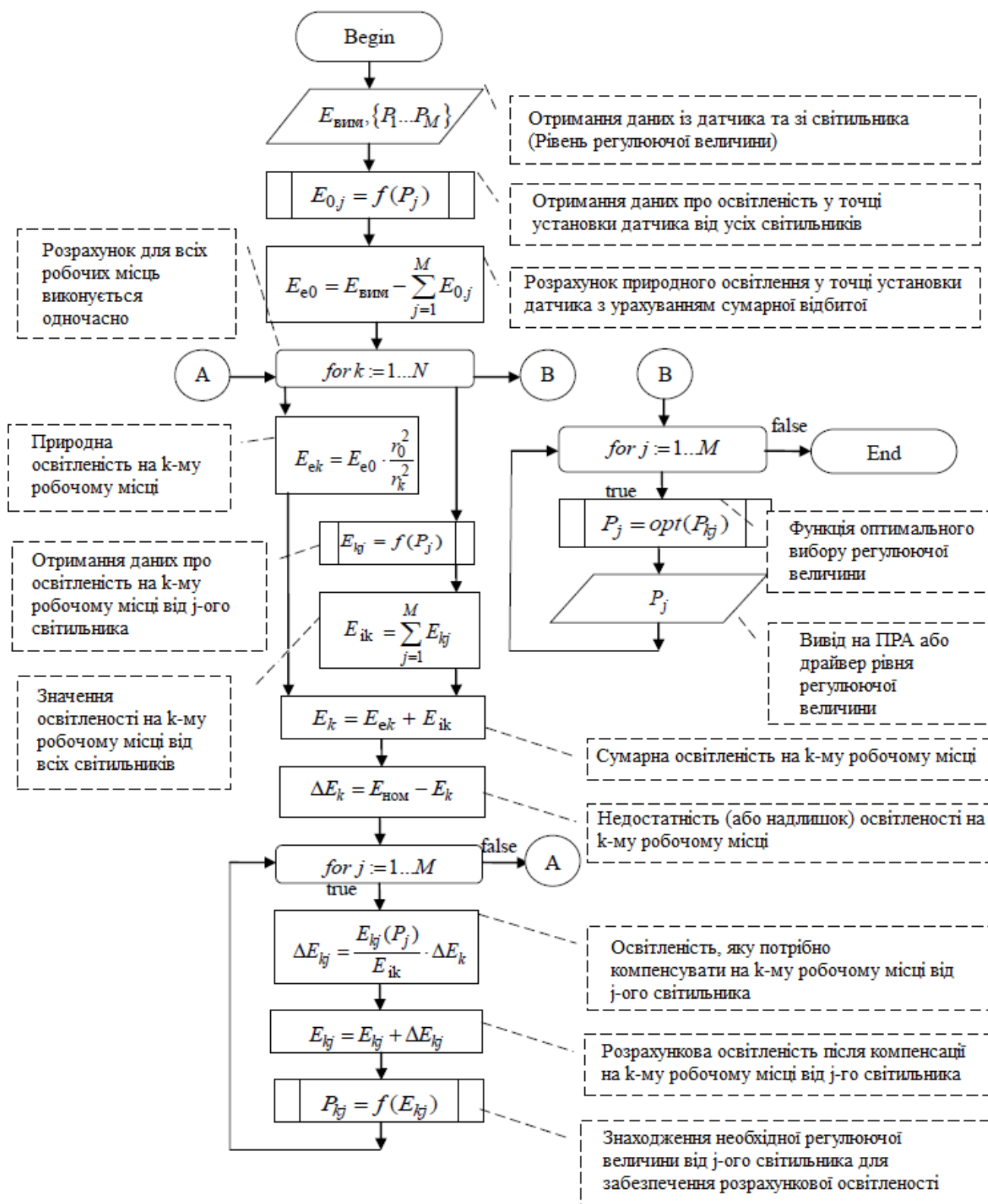
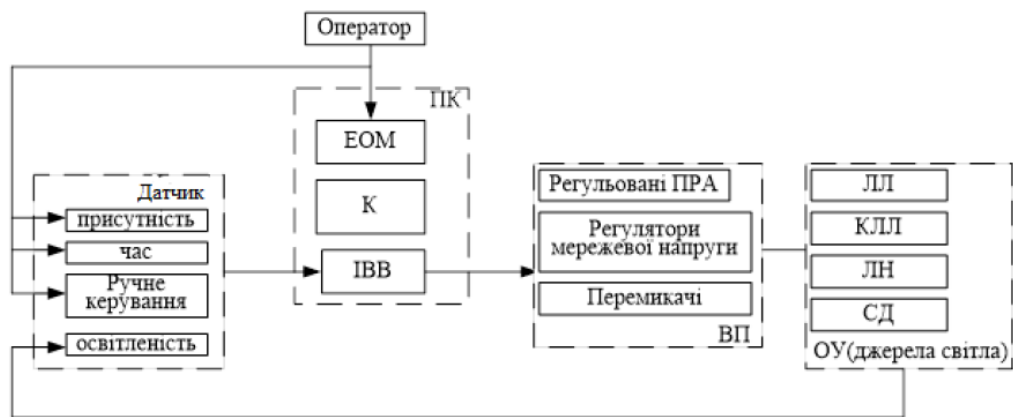


Рисунок 2.4 – Алгоритм управління при встановленні датчика всередині приміщення з орієнтацією на робочу поверхню



ПК – пристрій керування, ВП – виконавчі пристрої, ОУ – об’єкт управління, К – контролер локальної системи управління, ІВВ – інтерфейс вводу/виведення

Рисунок 2.5 – Структурна схема автоматизованої системи управління освітленням

Основні модулі системи автоматизованого освітлення складаються з двох компонентів: керуючий та виконавчий пристрій. У якості виконуючих модулів виступають датчики та освітлювальні прилади. Для побудови енергоефективної системи датчики повинні визначати присутність людей у приміщенні та визначати поточний рівень освітленості. Інформаційні дані з відповідних датчиків надходять в контролер. У відповідності з закладеним алгоритмом, контролер аналізує керуючий сигнал (регулювання, включення, відключення), який надходить на виконавчі пристрої, що визначають режим роботи освітлювального обладнання.

При створенні автоматизованої системи управління освітленням перспективним є використання сучасних комбінованих датчиків Tridonic DALI MSensor 02 5DPI 41, які можуть підтримувати постійний рівень освітленості в робочій зоні та виявляти присутність людини. Ці датчики мають можливість індивідуального налаштування параметрів за допомогою конфігураційного програмного забезпечення.

Засоби управління з аналоговими інтерфейсами, не забезпечують гнучкість і здатність адресного управління індивідуальними джерелами світла, що обмежує функціональні можливості системи освітлення, тому для створення

високоєфективної системи управління внутрішнім освітленням віддається перевага цифровим системам. Основна перевага останніх – це комунікація, зв'язок між окремими пристроями які об'єднанні в систему. У цифрових системах для зв'язку не потрібно окремі дроти. Переважна більшість цифрових пристроїв можуть використати для передачі інформації силові кабелі. Цифрові системи управління освітленням можна легко інтегрувати в інші системи автоматизації та управління.

Аналізуючи приведені схеми управління внутрішнім освітленням можна зробити висновок, що найбільш широко використовуваним та доступним є протокол управління DALI завдяки простоті побудови мережі, можливості двостороннього, паралельного обміну даними з кінцевими пристроями, та можливості якісного регулювання світлового потоку від різних типів світильників. Даний протокол дає можливість забезпечувати взаємодію на функціональному, комунікаційному та конструктивному рівнях між контролерами і кінцевими пристроями, виробленими різними виробниками. Тобто даний протокол є універсальним і дає можливість стандартизувати взаємодію світлового обладнання між собою, незалежно від виду пристрою і фірми виробника.

Основне питання яке необхідно вирішити при застосуванні сучасних систем автоматичного управління освітленням для підвищення енергозбереження та покращення енергетичної ефективності об'єкта А – це визначення економічної доцільності та порівняння різних варіантів, так як вартість даних систем може складати значну величину.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

3 РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ВНУТРІШНІМ ОСВІТЛЕННЯМ

3.1 Завдання для визначення оптимального варіанту системи освітлення

Існує безліч технологій в електроосвітленні, які дозволяють зменшити споживання електроенергії. Виробники світлотехнічного обладнання заявляють, що заміна світильників з лампами типу Т8 на світильники з лампами типу Т5 дає економію 30% без погіршення показників освітлення. Використання додатково датчиків руху, освітленості або комбінування ідентифікації присутності і функції виявлення природного освітлення дає економію 45%, 50% і 65% відповідно [9].

Енергозберігаючі світильники, будь то світлодіодні або люмінесцентні з ЕПРА на базі ламп типу Т5, як правило, коштують дорожче за аналогічні світильники з меншою енергоефективністю. При вирішенні застосування системи управління освітленням капітальні витрати можуть зрости на порядок. Тому постає питання про доцільність використання цих рішень. На нього можна відповісти, порівнявши співвідношення капітальних витрат і експлуатаційних витрат.

Однак попередньо для цього потрібне вирішення кількох великих завдань.

1) Проведення світлотехнічного розрахунку для визначення потужності, числа освітлювальних приладів у кожному приміщенні та вибору світильників з найбільш підходящою кривою сили світла і, як наслідок, визначення капітальних витрат на системи освітлення без урахування систем управління.

На цьому етапі використовують або метод коефіцієнта використання світлового потоку, або програмні засоби типу DIALUX.

Важливим моментом на цьому етапі є вибір деякого базового варіанта, який характеризується найменшими капітальними витратами, але найбільшим споживанням (цим варіантом є система зі світильниками з ЛЛ типу Т8 і ЕмПРА, які не мають функції управління).

Також потрібно розрахувати «енергоефективні» системи, які відрізнятимуться від базового варіанта вищими капітальними вкладеннями, але

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

при цьому більшим потенціалом до енергозбереження. Іншими словами, мати меншу потужність споживання як одного світильника, так і групи світильників (у тому числі за рахунок зниження числа світлових приладів) та/або можливість керування тим чи іншим способом (що також задається на першому етапі при виборі в освітлювальній установці ПРА або драйвера).

2) Вибір системи управління.

На цьому етапі для кожного варіанту, для якого передбачена система автоматичного управління освітленням, в залежності від типу приміщення вибирається кількість датчиків руху, присутності та освітленості, а також інше необхідне обладнання та матеріали (контролери, інтерфейси, блоки живлення).

Для цих варіантів вибирається алгоритм керування залежно від способу керування:

- включення/вимкнення ОУ за певних умов;
- ступінчасте регулювання за рівнем освітленості;
- димування світлового потоку за рівнем освітленості.

Для тих варіантів, для яких на першому етапі не передбачалося автоматичне регулювання, слід вважати, що освітлення керується вручну через вимикач кнопки.

Підсумком цього етапу повинні бути сумарні капітальні витрати за кожним варіантом, які включатимуть як вкладення на систему освітлення із системою управління, так і витрати на монтаж, налагодження та налаштування.

3) Розрахунок експлуатаційних затрат.

На цьому етапі важливо врахувати максимальну кількість витрат, що виникають під час експлуатації освітлювальних приладів.

Насамперед потрібно спрогнозувати споживання електроенергії на освітлення з урахуванням потужності ОУ, способу управління та динаміки зміни освітлення протягом доби та протягом року.

Важливо врахувати витрати на ремонт та обслуговування, у тому числі заміну ламп.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Необхідно також вирішити питання, які витрати можна прийняти постійними чи несуттєвими для всіх варіантів.

Сумарні експлуатаційні витрати потрібно привести до деякого нормованого терміну окупності. З практики енергетичного обстеження такий термін зазвичай приймається рівним 5 років. Однак він може бути й іншим залежно від цілей: наприклад, або отримання економічної вигоди у найкоротші терміни, або підвищення енергетичної ефективності у довгостроковій перспективі.

На виході після вирішення цих трьох завдань матимемо масив даних із капітальних та експлуатаційних витрат деякої кількості варіантів. Якщо кількість варіантів досить велика, щоб порівняти їх чисельно, застосовується методика вибору економічно ефективного варіанта, яка дозволяє визначити найбільш доцільні варіанти для кожного приміщення та надалі вибрати загальну систему освітлення для всієї будівлі.

3.2 Опис об'єкта дослідження

Розрахунок системи освітлення необхідно провести у 5-ти поверховому офісному будинку, поверховий план типового поверху наведено в Додатку А.

На кожному поверсі розташовується по два симетричні офіси. Офіси, розташовані один під одним, мають також подібне планування. Виходячи з цього, розрахунок проводиться тільки для одного офісу, а для решти – розрахункові значення приймаються рівними.

Стелі у будівлі переважно підвісні, білого кольору. Стіни у приміщеннях також мають світлі тони.

3.3 Світлотехнічний розрахунок

3.3.1 Метод коефіцієнта використання світлового потоку

Метою світлотехнічного розрахунку є визначення типу, числа та потужності світильників, необхідних для забезпечення необхідної освітленості.

Для розрахунку загального рівномірного освітлення застосовується метод коефіцієнта використання [21].

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Розрахункове значення світлового потоку світильника даним методом визначається за формулою (3.1):

$$\Phi_p = \frac{E_n \cdot K_z \cdot F \cdot z}{N \cdot \nu_{oy}}, \quad (3.1)$$

де E_n – нормоване значення освітленості, лк;

K_z – коефіцієнт запасу;

F – освітлювана площа, м²;

z – відношення середньої освітленості до мінімальної;

ν_{oy} – коефіцієнт використання світлового потоку ОУ;

N – кількість світильників.

Коефіцієнт z характеризує нерівномірність освітленості. Він приймається рівним 1,15 для точкових та 1,1 для лінійних джерел світла.

Загальна кількість світильників при цьому визначається за формулою (3.2):

$$N = R \cdot N_R, \quad (3.2)$$

де R – число рядів світильників, визначається за формулою (3.3);

N_R – число світильників у ряді, визначається за формулою (3.4).

$$R = \frac{B - 2l}{L} + 1. \quad (3.3)$$

$$N_R = \frac{A - 2l}{L} + 1. \quad (3.4)$$

У формулах (3.3) та (3.4):

A – довжина прямокутного приміщення;

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

B – ширина прямокутного приміщення;

L – відстань між сусідніми світильниками в ряду або рядами світильників;

l – відстань від крайніх світильників чи рядів світильників до стін.

Розподіл освітленості по поверхні, що освітлюється визначається типом кривої сили світла (КСС) і відношенням відстані між сусідніми світильниками або рядами до висоти їх установки (L/H_p).

H_p – розрахункова висота від умовної робочої поверхні до світильника, обчислюється за формулою (3.5).

$$H_p = H - h_c - h_p, \quad (3.5)$$

де H – висота приміщення, м;

h_p – висота розрахункової поверхні над підлогою, м (якщо невідома, приймається висота умовної робочої поверхні 0,8 м);

h_c – відстань від світильника до перекриття (звіс світильника), м (приймається в діапазоні 0...1,5 м).

Знаючи H_p і задавшись КСС можна знайти L , а потім R , N_R . Отримані значення R та N_R округляються до найближчого цілого числа, після чого перераховуються відстань між рядами світильників L_B (3.6) та між центрами світильників у ряді L_A (3.7).

$$L_B = \frac{B - 2l}{R - 1}, \quad (3.6)$$

$$L_A = \frac{A - 2l}{N_R - 1}. \quad (3.7)$$

Для прямокутних приміщень перевіряється умова (3.8):

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$1 \leq L_A / L_B \leq 1,5. \quad (3.8)$$

Якщо $L_A / L_B \leq 1$, необхідно зменшити кількість світильників у ряду або збільшити число рядів.

Якщо $L_A / L_B \geq 1,5$, то необхідно збільшити кількість світильників у ряду або зменшити кількість рядів світильників.

При розрахунку освітлення з люмінесцентними лампами слід стежити, щоб сумарна довжина світильників одному ряду не перевищувала довжини приміщення.

Також існує обернена задача, при якій, знаючи світловий потік світильника, визначають кількість світильників у приміщенні (3.9).

$$N = \frac{E_n \cdot K_z \cdot F \cdot z}{\Phi_{cv} \cdot \nu}. \quad (3.9)$$

3.3.2 Розрахунок освітлення офісного приміщення

У таблиці 3.1 наведено основні відомості для розрахунку.

Таблиця 3.1 – Основні характеристики приміщення

Тип приміщення	Площа, м ²	Висота приміщення (H), м	Довжина приміщення (A), м	Ширина приміщення (B), м	Нормована освітленість, лк	Висота розрахункової поверхні, м
1. Офісне приміщення	14,00	3	3,50	4,00	400	0,8
2. Офісне приміщення	14,00	3	3,50	4,00	400	0,8
3. Офісне приміщення	13,30	3	3,80	3,50	400	0,8
4. Офісне приміщення	13,30	3	3,80	3,50	400	0,8
5. Коридор	15,25	3	6,1	2,5	75	0
6. Санвузол	2,28	3	1,20	1,90	75	0

A – відстань вздовж віконних отворів (умовно приймаємо, що ряди розташовані вздовж довжини), B – відстань перпендикулярна до віконних отворів.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			56

Першим кроком розраховується H_p . Далі знаходиться попередня кількість світильників. Для цього використовуються (3.2)-(3.9). Так як величини H_p/L і l задаються діапазоном чисел, то значення L , R і N_R отримуємо у вигляді діапазонів. Далі з них вибирається число рядів і число світильників так, щоб виконувалася умова (3.8) (при цьому перераховується відстані між світильниками в ряду, відстані між рядами і відстані між стіною і світильниками). Виходить кількість світильників у приміщенні (Таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Розрахунок відстаней та попередня оцінка числа світильників

Приміщення	Число рядів світильників, R , шт.	Число світильників у ряду, N_r , шт.	Відстань між першими світильниками рядів та стіною, l_b , м	Відстань між першим рядом та стіною, l_a , м	Між рядами світильників L_b , м	Між центрами світильників у ряду, L_a , м
1	2	3	4	5	6	7
1. Офісне приміщення	2	2	1,00	0,50	2,10	2,10
2. Офісне приміщення	2	2	1,00	0,50	2,10	2,10
3. Офісне приміщення	2	2	0,60	0,60	2,30	2,60
4. Офісне приміщення	2	2	0,60	0,60	2,30	2,60
5. Коридор	1	3	1,52	1,25	-	1,52
6. Санвузол	2	1	0,45	0,60	1,00	-

Зважаючи на те, що санвузли мають маленькі розміри, установка в них квадратних світильників недоцільна, тому застосовуються точкові світильники.

Наступним кроком методом коефіцієнта використання знаходиться світловий потік одного світильника і загальний світловий потік.

За знайденими розрахунковими значеннями світлового потоку окремого світильника ($\Phi_{св}$) і орієнтовним значенням загального світлового потоку ($\Phi_{заг}$) підбираються світильники з близькими значеннями світлового потоку ($\Phi_{св}$) і шукається розрахункова кількість світильників.

Для порівняння розглядаються 7 варіантів:

1) з люмінесцентними лампами Т8 та ЕмПРА (для санвузла – з лампою розжарювання 60 Вт);

2) з люмінесцентними лампами Т8 та ЕПРА:

а) без можливості керування світловим потоком (для санвузла – з КЛЛ із цоколем Е27),

б) з можливістю регулювання за протоколом DALI (для санвузла – світильник з лампою розжарювання та вбудованим датчиком руху);

3) з люмінесцентними лампами Т5 та ЕПРА:

а) без можливості керування світловим потоком,

б) з можливістю регулювання за протоколом DALI (для санвузла датчик руху – вбудований);

4) зі світлодіодними світильниками:

а) без можливості керування світловим потоком,

б) з можливістю регулювання за протоколом DALI (для санвузла – датчик руху вбудований);

Результати розрахунку наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати вибору світильників

Приміщення	Найменування	Вартість, грн.	Потужність світильника, Вт	Число світильників
1	2	3	4	5
1. Світильники на базі ЛЛ Т8 + ЕмПРА				
1. Офісне приміщення	ARS/R 418	1164,2	80	4
2. Офісне приміщення	ARS/R 418	1164,2	80	4
3. Офісне приміщення	ARS/R 418	1164,2	80	4
4. Офісне приміщення	ARS/R 418	1164,2	80	4

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
5. Коридор	ARS/R 418	1164,2	80	3
6. Санвузол	CD 160 с ЛН	700,1	60	2

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ			Арк.
								58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

2а. Світильники на базі ЛЛ Т8 + ЕПРА без керування				
1. Офісне приміщення	ARS/R 418 HF	1360,0	72	4
2. Офісне приміщення	ARS/R 418 HF	1360,0	72	4
3. Офісне приміщення	ARS/R 418 HF	1360,0	72	4
4. Офісне приміщення	ARS/R 418 HF	1360,0	72	4
5. Коридор	ARS/R 418 HF	1360,0	72	3
6. Санвузол	CD 160 с КЛЛ	1492,9	12	2
2б. Світильники на базі ЛЛ Т8 + ЕПРА з керуванням по DALI				
1. Офісне приміщення	ARS/R 418 + Tridonic PCA 4x18 T8 ECO lp xitec	3065,2	72	4
2. Офісне приміщення	ARS/R 418 + Tridonic PCA 4x18 T8 ECO lp xitec	3065,2	72	4
3. Офісне приміщення	ARS/R 418 + Tridonic PCA 4x18 T8 ECO lp xitec	3065,2	72	4
4. Офісне приміщення	ARS/R 418 + Tridonic PCA 4x18 T8 ECO lp xitec	3065,2	72	4
5. Коридор	ARS/R 418 + Tridonic PCA 4x18 T8 ECO lp xitec	3065,2	72	3
6. Санвузол	CD 160 в встроеном датчиком, с ЛН	1721,0	60	2
3а. Світильники на базі ЛЛ Т5 + ЕПРА без керування				
1. Офісне приміщення	ARS/R 414 HF	1696,2	56	4
2. Офісне приміщення	ARS/R 414 HF	1696,2	56	4
3. Офісне приміщення	ARS/R 414 HF	1696,2	56	4
4. Офісне приміщення	ARS/R 414 HF	1696,2	56	4
5. Коридор	ARS/R 414 HF	1696,2	56	3
6. Санвузол	CD 218 HF	2006,0	36	1

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
3б. Світильники на базі ЛЛ Т5 + ЕПРА з керуванням по DALI				

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Офісне приміщення	ARS/R 414 + Tridonic PCA 4x14/24 T5 ECO Ip xitec	3258,6	56	4
2. Офісне приміщення	ARS/R 414 + Tridonic PCA 4x14/24 T5 ECO Ip xitec	3258,6	56	4
3. Офісне приміщення	ARS/R 414 + Tridonic PCA 4x14/24 T5 ECO Ip xitec	3258,6	56	4
4. Офісне приміщення	ARS/R 414 + Tridonic PCA 4x14/24 T5 ECO Ip xitec	3258,6	56	4
5. Коридор	ARS/R 414 + Tridonic PCA 4x14/24 T5 ECO Ip xitec	3258,6	56	3
6. Санвузол	CD 218 HF MS	2285,7	36	1

4а. Світильники на базі світлодіодів + драйвер без керування

1. Офісне приміщення	ARS/R UNI LED	2495,2	33	3
2. Офісне приміщення	ARS/R UNI LED	2495,2	33	3
3. Офісне приміщення	ARS/R UNI LED	2495,2	33	3
4. Офісне приміщення	ARS/R UNI LED	2495,2	33	3
5. Коридор	ARS/R UNI LED	2495,2	33	2
6. Санвузол	CD LED 18	2228,6	18	1

4б. Світильники на базі світлодіодів + драйвер з керуванням по DALI

1. Офісне приміщення	ARS/R UNI LED 595 HFD	2676,2	33	3
2. Офісне приміщення	ARS/R UNI LED 595 HFD	2676,2	33	3
3. Офісне приміщення	ARS/R UNI LED 595 HFD	2676,2	33	3
4. Офісне приміщення	ARS/R UNI LED 595 HFD	2676,2	33	3
5. Коридор	ARS/R UNI LED 595 HFD	2676,2	33	2
6. Санвузол	CD LED 18 MD	2228,6	18	1

Вибір світильників та їх числа ґрунтується на наступних умовах:

- 1) для кожного варіанта по одному приміщенню світильники вибираються одного типу для простоти порівняння;
- 2) у всіх приміщеннях, передбачені вбудовані світильники;
- 3) у санвузлі встановлюються накладні світильники;

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

4) коефіцієнт передачі кольору для офісних приміщень повинен бути $R_a = 80 \dots 85$, колірна температура $2700 \dots 4500$ К.

Вибір продукції здійснюється з допомогою довідника [22]. Приклад розміщення світильників для базового варіанта наведено в додатку А.

3.4 Розрахунок систем керування освітленням

3.4.1 Рішення щодо застосування датчиків для різних типів приміщень

Рішення про використання того чи іншого датчика залежить від типу приміщення, висоти стелі, наявності вікон у приміщенні.

Для офісних приміщень та приміщень, де люди працюють тривалий час, передбачається природне освітлення, а значить, має сенс встановлювати або датчики освітленості, або датчики присутності (які, як правило, мають функцію відстеження рівня освітленості).

Кількість у цьому випадку залежатиме від цілей використання датчика.

Якщо стоїть завдання відключати світло кожного разу, коли люди відсутні в приміщенні, тоді число датчиків потрібно знаходити в зоні дії датчика. Іншими словами, потрібно забезпечити таке їхнє розташування, щоб будь-яка точка приміщення, де можлива присутність людини, знаходилася в зоні чіткої ідентифікації.

Якщо потрібно лише керувати рівнем освітленості, кількість датчиків залежить від кількості рядів світильників. Також можна використовувати один датчик на приміщення.

Для коридорів, зазвичай, встановлюють датчики руху. При висоті стель $3 \dots 4$ метри - установка стельових датчиків. При висоті близько $2,5$ метрів – настінна. Пов'язано це з висотою установки, що рекомендується.

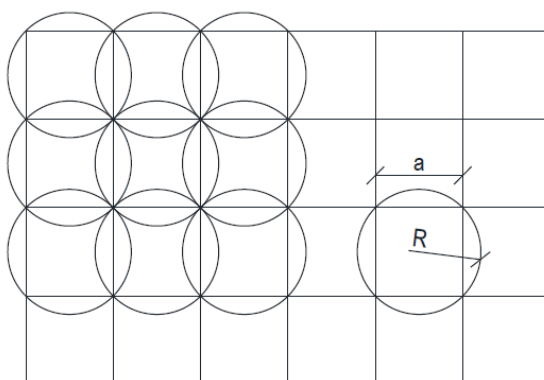
Якщо в коридорі є вікна, то є сенс встановити один датчик освітленості, який відключатиме всі світильники при досягненні необхідної освітленості, при цьому датчики руху перестають подавати сигнал на включення при виявленні в області своєї дії людини.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

У санвузлах найчастіше датчики руху вбудовують у світильник (через маленьку площу приміщення).

3.4.2 Розрахунок із встановлення датчиків руху та присутності

Для розрахунку із встановлення датчиків руху та присутності спочатку проводиться розбивка кожного приміщення на квадрати, вписані в колі, радіус яких дорівнює радіусу зони чіткої чутливості, як показано на рисунку 3.1.



a – сторона квадрата, R – радіус описаного кола

Рисунок 3.1 – Визначення числа датчиків руху

При такому розбитті можна стверджувати, що все приміщення потраплятиме до зони високої чутливості.

Далі розраховується, скільки таких квадратів можна розбити приміщення. Для цього загальна площа поділяється на площу кожного квадрата (3.10).

$$N_p = \frac{F}{S_{\text{кв}}} = \frac{F}{2R^2}, \quad (3.10)$$

де F – площа прямокутного приміщення, м^2 ;

$S_{\text{кв}}$ – площа вписаного квадрата, м^2 .

Отримане значення є розрахунковим числом датчиків, які потрібно встановити для охоплення всієї площі. Його слід округлити у найближчу більшу сторону.

Однак варто враховувати і мінімальну розрахункову кількість датчиків. Вона виходить шляхом поділу площі приміщення на площу кола, коло якого є зоною високої чутливості датчика.

Якщо число датчиків буде менше, тоді в приміщенні будуть спостерігатися області, в яких рух людини вловлюються з меншою точністю. Тому датчики важливо встановлювати так, щоб сліпі зони потрапляли туди, де люди знаходяться рідко і протягом короткого часу.

До того ж у приміщеннях, довжина або ширина яких більша за радіус зони чіткої ідентифікації, варто узгоджувати довжину приміщення та радіус ідентифікації датчика.

У нашому випадку застосовуються комбіновані датчики Tridonic DALI MSensor 02 5DPI 41. Для функціонування системи управління на базі DALI потрібне джерело живлення (в даному випадку Tridonic DALI PS2) та контролер (для спрощення системи використовується інтерфейс підключення до ПК Tridonic DALI USB).

На кожен офіс, зважаючи на те, що кількість DALI-пристроїв менше 64, достатньо одного набору з джерела живлення та інтерфейсу підключення. Зважаючи на це вартість одного комплекту з проводами розділяємо між усіма приміщеннями одного офісу, де використовуються DALI-пристрої, та між усіма поверхами.

Підсумкові результати представлені у таблиці 3.4.

3.5 Техніко-економічна оцінка варіантів освітлення

Обґрунтуванням вкладення будь-яких коштів є техніко-економічний розрахунок. Доцільність використання будь-якої системи освітлення: чи то з системою управління, з будь-якими енергоефективними джерелами, ґрунтується на співвідношенні капітальних вкладень та експлуатаційних витрат (переважно, витрат на електроенергію).

Таблиця 3.4 – Розрахунок числа датчиків

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приміщення	Назва	Радіус ідентифікації, м	Кількість	Вартість датчика, грн.	Загальна вартість системи управління, грн.
1. Офісне приміщення	Tridonic DALI MSensor 02 5DPI 41	3,50	1	1646,3	2110,8
2. Офісне приміщення	Tridonic DALI MSensor 02 5DPI 41	3,50	1	1646,3	2110,8
3. Офісне приміщення	Tridonic DALI MSensor 02 5DPI 41	3,50	1	1646,3	2110,8
4. Офісне приміщення	Tridonic DALI MSensor 02 5DPI 41	3,50	1	1646,3	2110,8
5. Коридор	Tridonic DALI MSensor 02 5DPI 41	3,50	1	1646,3	2110,8
6. Санвузол	ДД вбудований у світильник				

З досвіду роботи в галузі енергозбереження відомо, що найбільш перспективними є заходи з терміном окупності менше п'яти років, який розраховується за укрупненими (капітальними) та найбільш значущими експлуатаційними витратами за формулою (3.11).

$$T = \frac{K_k - K_1}{E_1 - E_k}, \text{ років,} \quad (3.11)$$

де K_1 – капітальні витрати під час впровадження базової системи освітлення, тис. грн.;

K_k – капітальні витрати при впровадженні енергоефективної системи освітлення замість базового варіанта, тис. грн.;

E_1 – експлуатаційні витрати для базового варіанта за рік, тис. грн./рік;

E_k – експлуатаційні витрати з впровадженням енергоефективної системи за рік, тис. грн. / рік.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

У наведеному розрахункові не враховуються:

- витрати на монтаж (вважатимемо, що вони постійні для будь-якого варіанту);
- вартість на обслуговування та заміну ламп у світильниках (через низьку вартість ламп по відношенню до ОУ та слабкий вплив управління освітленням на термін окупності при виборі відповідних для регулювання світловим потоком ПРА);
- витрати на ремонт (оскільки термін служби світильників і систем управління вище термінів окупності).

Під базовим варіантом мається на увазі деяка система освітлення з найменшими капітальними витратами на купівлю обладнання, але разом з тим з найбільшим річним споживанням електроенергії. В нашому випадку це система на базі люмінесцентних світильників з лампами Т8 та ЕмПРА без автоматичних систем керування освітленням. Однак базовим варіантом може бути будь-який інший варіант, який спочатку закладається в проектну документацію та з яким потрібно порівняти інші пропозиції.

Капітальні витрати складаються із суми вартості світильників, ПРА, датчиків та загалом системи управління освітленням. А також повинні включати витрати на монтаж та налагодження.

Значну частку в експлуатаційних витратах займають витрати на електроенергію. Значення витрат на оплату електроенергії за рік визначаються за формулою (3.12) та залежить як від річного споживання електроенергії, так і від тарифу на електроенергію:

$$E_1 = c \cdot W_1. \quad (3.12)$$

У загальному випадку споживання електроенергії за рік можна розрахувати за формулою (3.13):

$$W_{рік} = k \cdot P_{\Sigma} \cdot T_{рік}, \quad (3.13)$$

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де P_{Σ} – загальна потужність освітлювальної установки в приміщенні;

$T_{рік}$ – кількість годин на рік;

k – коефіцієнт, що враховує нерівномірність споживання.

Коефіцієнт k враховує:

1) зменшення споживання за рахунок управління освітленням;

2) графік роботи людей;

3) наявність вихідних та святкових днів, коли освітлення не потрібно взагалі або використовується лише чергове освітлення;

4) інші особливості використання приміщення (наприклад, включення освітлення на короткий час, як це буває у санвузлах, у складських приміщеннях).

Для спрощення приймається, що:

- без автоматичного керування освітленням, штучне освітлення використовується весь час, коли люди знаходяться в офісі (тобто протягом часу від початку до кінця робочого дня), при цьому поза даним періодом, освітлення відсутнє;

- значення коефіцієнта використання датчиків береться за даним постачальників систем управління: застосування датчиків руху, освітленості або комбінування ідентифікації присутності та функції виявлення природного освітлення дає економію 45%, 50% та 65% відповідно [7] (тобто, коефіцієнт дорівнюватиме 0,55, 0,5, 0,35 відповідно).

Враховуючи дані припущення виходять значення споживання електроенергії по кожному приміщенню які приведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Значення споживання електроенергії

Приміщення		Споживання за рік, кВт·год/рік							
		1	2а	2б	3а	3б	4а	4б	
1. Офісне приміщення		794,24	714,82	250,19	555,97	194,59	245,72	86	
2. Офісне приміщення		794,24	714,82	250,19	555,97	194,59	245,72	86	
3. Офісне приміщення		794,24	714,82	250,19	555,97	194,59	245,72	86	
4. Офісне приміщення		794,24	714,82	250,19	555,97	194,59	245,72	86	
					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ				Арк.
									66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

5. Коридор	595,68	536,12	187,64	416,98	145,94	163,81	57,33
6. Санвузол	297,84	59,57	163,81	89,35	49,14	44,68	24,57

При виборі доцільного варіанта, потрібно задатися умовою, за якою визначається найбільш підходяща система освітлення. Наприклад:

- 1) найменший термін окупності;
- 2) найменші капітальні витрати при меншому, ніж у базовому варіанті, споживанні;
- 3) варіант із найменшими експлуатаційними затратами.

Розрахунок капітальних витрат та експлуатаційні витрат за всіма варіантами зведено в таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 – Зведена Таблиця за витратами

Варіант	Параметри	1. Офісне приміщення	2. Офісне приміщення	3. Офісне приміщення	4. Офісне приміщення	5. Коридор	6. Санвузол	Разом
1	К, тис. грн	4,66	4,66	4,66	4,66	3,49	1,4	23,53
	Е, тис. грн/5 років	10,48	10,48	10,48	10,48	7,86	3,93	53,71
2а	К, тис. грн	5,44	5,44	5,44	5,44	4,08	2,99	28,83
	Е, тис. грн/5 років	9,44	9,44	9,44	9,44	7,08	0,79	45,63
2б	К, тис. грн	14,37	14,37	14,37	14,37	11,31	3,44	72,23
	Е, тис. грн/5 років	3,3	3,3	3,3	3,3	2,48	2,16	17,84
3а	К, тис. грн	6,78	6,78	6,78	6,78	5,09	2	34,21
	Е, тис. грн/5 років	7,34	7,34	7,34	7,34	5,5	1,18	36,04
3б	К, тис. грн	15,15	15,15	15,15	15,15	11,89	2,29	74,78
	Е, тис. грн/5 років	2,57	2,57	2,57	2,57	1,93	0,65	12,86
4а	К, тис. грн	7,49	7,49	7,49	7,49	4,99	2,23	37,18
	Е, тис. грн/5 років	3,24	3,24	3,24	3,24	2,16	0,59	15,71
4б	К, тис. грн	10,14	10,14	10,14	10,14	7,46	2,23	50,25
	Е, тис. грн/5 років	1,14	1,14	1,14	1,14	0,76	0,32	5,64

За результатами таблиці 3.6 побудовані діаграми витрат на рисунку 3.2. На діаграмах:

- 1 - базовий варіант з ЛЛ Т8 та ЕМПРА;
- 2а - ОУ з ЛЛ Т8 та ЕПРА без можливості управління;
- 2б - ОУ з ЛЛ Т8 та ЕПРА з можливістю управління по DALI;
- 3а - ОУ з ЛЛ Т5 та ЕПРА без можливості управління;

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ			Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				67

3б - ОУ з ЛЛ T5 та ЕПРА з можливістю управління по DALI;

4а - ОУ з СД без можливості управління;

4б - ОУ з СД з можливістю управління DALI.

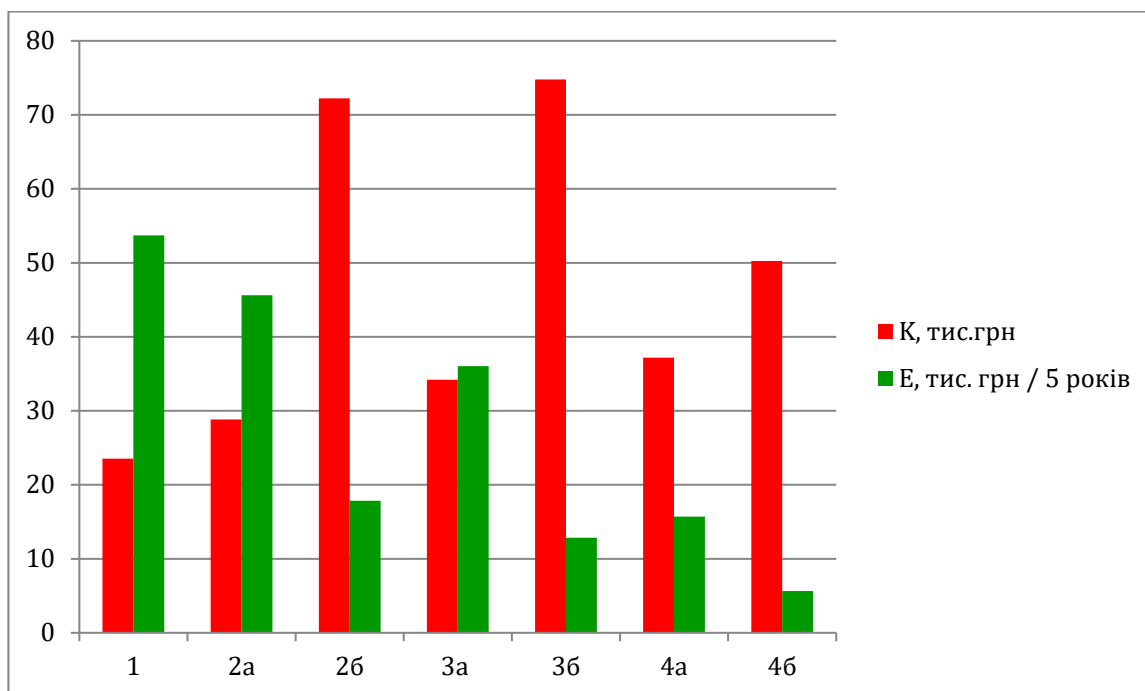


Рисунок 3.2 – Діаграми витрат по кожному варіанту системи освітлення

Як видно з діграми на рисунку 3.2 найбільше зниження експлуатаційних витрат виходить при варіанті системи освітлення 4б, проте даний варіант вимагає значних капіталовкладень. При даному варіанті найбільше зниження споживання електроенергії, тобто найвища енергетична ефективність розрахункового об'єкта Б.

Для визначення економічної ефективності застосування розрахункових систем освітлення необхідно розрахувати термін окупності кожного варіанту за формулою (3.11).

Розрахунок терміну окупності для варіантів освітлення наведені у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Терміни окупності систем освітлення для кожного приміщення об'єкту, років

Варіант	1. Офісне приміщення	2. Офісне приміщення	3. Офісне приміщення	4. Офісне приміщення	5. Коридор	6. Санвузол	Разом
2а) Т8 з ЕПРА	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	2,5	3,3
2б) Т8 з ЕПРА + авт.	6,8	6,8	6,8	6,8	7,3	5,8	6,8
3а) Т5	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	1,1	3,0
3б) Т5 + авт.	6,6	6,6	6,6	6,6	7,1	1,4	6,3
4а) СД	2,0	2,0	2,0	2,0	1,3	1,2	1,8
4б) СД + авт. упр	2,9	2,9	2,9	2,9	2,8	1,1	2,8

Після аналізу отриманих даних зроблені висновки, що найменший термін окупності відносно базового варіанту має варіант з світлодіодним лампами, та складає 1,8 років. Виходить це за рахунок скорочення числа світильників для варіантів з СД через більше значення світлового потоку кожного світильника.

Варіант з світлодіодним світильниками та можливістю регулювання за протоколом DALI є менш вигідним у зв'язку зі значною вартістю системи автоматичного керування освітленням. Проте, так як в даному варіанті найменше споживання електроенергії та найменші експлуатаційні витрати, то на більш довгому проміжку часу можливо розрахувати термін окупності відносно нового базового варіанту з світлодіодним лампами, тобто отримаємо:

$$T_1 = \frac{50,25 - 37,18}{15,71 - 5,64} = 6,5 \text{ років.}$$

Тобто, на протязі 1,8 року система зі світлодіодними світильниками та з можливістю регулювання за протоколом DALI може бути використана для підвищення енергоефективності, а на протязі 6,5 років система являється найефективнішою як енергетичної так і з економічної точки зору.

В подальшому, при збільшенні вартості електроенергії термін окупності при застосуванні даного варіанту освітлення буде знижуватись.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ		Арк.
							69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

В результаті проведеного аналізу видно, що вибір того чи іншого варіанту залежатиме або від найбільшої економії електроенергії, або від доступних капітальних вкладень (наприклад, при адаптивному управлінні освітленням).

Можна підібрати такі світильники та системи управління, які б окупалися за менший проміжок часу. Наприклад:

- для коридорів можна вибрати простіші датчики та дешевші світильники, які керуються не за допомогою DALI, а більш простим способом;
- в цілому систему освітлення можна підібрати простіше і дешевше, проте, в такому випадку управління буде ступінчастим та значно грубішим.

Як результат, алгоритм застосування методики вибору енергоефективного варіанта виглядатиме таким чином:

1) Розраховуються суттєві капітальні та експлуатаційні витрати для кожного варіанту (у першому наближенні експлуатаційні витрати можна прийняти рівними витратам на електроспоживання системами освітлення) для кожного приміщення окремо.

2) За отриманими значеннями оцінюється відповідність варіантів необхідному терміну окупності щодо прийнятого базового варіанта. Вибраний варіант з найменшим терміном окупності приймається як новий базовий.

3) Вибирається варіант який має найменші експлуатаційні витрати.

4) Розраховується термін окупності відносно нового базового варіанту.

Прийнята система з світлодіодними світильниками, комбінованими датчиками Tridonic DALI MSensor 02 5DPI 41 та з можливістю регулювання за протоколом DALI, для забезпечення внутрішнього освітлення дослідного об'єкта Б, являється енергоефективною та економічно обґрунтованою.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У магістерській роботі виконано дослідження можливості підвищення енергетичної ефективності об'єкта Б за рахунок впровадження енергоефективної системи освітлення.

Розглянувши основні характеристики найбільш поширених джерел світла та їх переваги та недоліки при використанні в системах освітлення, показано, що при розробці методик підвищення енергетичної ефективності по можливості необхідно віддавати перевагу світлодіодним джерелам світла, так як вони дозволяють підвищити енергоефективність не тільки за рахунок більш високої світлової віддачі, а й за рахунок зниження втрат в освітлювальних мережах і більш широких можливостей по регулюванню потужності та світлового потоку.

Визначено, що для ефективного способу зниження енерговитрат на освітлення існує необхідність в поєднанні енергоефективних світильників з енергоефективними системами керування освітленням та правильним плануванням освітлення у приміщеннях.

Значне підвищення енергоефективності досягається завдяки використанню в системах освітлення сучасних датчиків руху, присутності та рівня освітленості.

Управління освітленням, засноване на ідентифікації рівня освітленості, що надходить через віконні отвори, може здійснюватися трьома основними способами. Визначено найоптимальніший спосіб установки датчика та розроблено алгоритм плавного управління освітленням при використанні одного датчика освітленості, встановленого всередині з орієнтацією світлочутливого елемента у бік робочої поверхні. Розроблені алгоритми управління з використанням одного датчика освітленості дозволяє знизити вартість системи регулювання освітленості як за рахунок зменшення числа датчиків, так і за рахунок скорочення кількості провідників.

Важливим також є протокол передачі даних при керуванні внутрішнім освітленням. Найбільш широко використовуваним та доступним є протокол управління DALI завдяки простоті побудови мережі, можливості

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

двостороннього, паралельного обміну даними з кінцевими пристроями, та можливості якісного регулювання світлового потоку від різних типів світильників. Даний протокол дає можливість забезпечувати взаємодію на функціональному, комунікаційному та конструктивному рівнях між контролерами і кінцевими пристроями, виробленими різними виробниками. Тобто даний протокол є універсальним і дає можливість стандартизувати взаємодію світлового обладнання між собою, незалежно від виду пристрою і фірми виробника.

Для підвищення енергетичної ефективності об'єкта можливо використання багатьох варіантів сучасних систем освітлення. Основне питання яке вирішено при застосуванні даних систем – це визначення економічної доцільності різних варіантів, так як вартість автоматичного управління освітленням складає значну величину.

Запропоновано методику, що дозволяє провести аналіз великої кількості варіантів систем освітлення з системами управління з різними капітальними та експлуатаційними витратами за діаграмами витрат з метою вибору з них одного або кількох доцільних з точки зору окупності.

В роботі визначено, що система з світлодіодними світильниками, комбінованими датчиками Tridonic DALI MSensor 02 5DPI 41 та з можливістю регулювання за протоколом DALI, для забезпечення внутрішнього освітлення дослідного об'єкта, являється енергоефективною та економічно обґрунтованою.

Застосування даної системи освітлення на об'єкті Б є перспективний і виправданий з погляду енергетичної ефективності захід.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Назаренко Л. А. Штучне зовнішнє освітлення: навч. посібник / Л. А. Назаренко, К. І. Іоффе; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 88 с.
2. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Технічні норми. – Чинні з 28.02.2019. – К.: 2018. – 133 с.
3. Говоров П. П. Освітлювальні електричні системи та мережі / П. П. Говоров, В. О. Перепечений, В. П. Говоров. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 227 с.
4. Назаренко Л.А. Штучне зовнішнє освітлення: Навчальний посібник з курсу «Освітлення міст» посібник / Л. А. Назаренко, Іоффе К.І. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 122 с.
5. Види ламп і їх основні технічні характеристики. [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mirsveta.com.ua/ua/a228780-vidy-lamp-osnovnye.html>.
6. Освітлення виробничих приміщень – види промислових світильників [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://stolb.com.ua/osvitlennya-virobnichikh-primishchen-vidi-promislovikh-svitilnikiv>.
7. Економія електроенергії на підприємстві: основні способи. [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eenergy.com.ua/energoeffektivnist/ekonomiya-elektroenergiyi-na-pidpryyemstvi>.
8. Энергоефективное освещение, как конкурента перевага [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://itw-systems.com/ru/blog/energoeffektivnoe-osveshhenie-kak-konkurentnoe-preimushhestvo>.
9. Тетри Е. Економія електроенергії завдяки енергозбереженню в освітленні / Світлотехніка № 5, 2009. – с. 58-64.
10. Іоффе К. І. Конспект лекцій з дисципліни «Системи керування світлотехнічними пристроями», навчальний посібник / К. І. Іоффе, О. Л. Черкашина. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 57 с.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

11. Автоматичне керування освітленням, проектування, встановлення [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dardali.com/uk/poslugi-ta-rishennya/rishennya-dlya-domu/upravlinnya-osvitlenniam>.

12. Система автоматичного керування освітленням: Сучасні технології для комфорту та ефективного використання енергії. [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.0462.ua/list/446578>.

13. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка: підручник. – Львів: Афіша, 2001. – 424 с.

14. Вступ до засобів керування освітленням [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lightingcontrolsassociation.org/2017/07/21/introduction-to-lighting-controls>.

15. Автоматизація світла [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://yasalighting.com/avtomatyzatsiya-svitla>.

16. Системи управління освітленням: види, призначення та особливості [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://itw-systems.com/ru/blog/sistemy-upravleniya-osveshheniya-vidy-naznachenie-i-osobennosti>.

17. Сучасні протоколи управління світлом – як можливість економії часу та засобів [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eurhythmics.com.ua/ru/modern-lighting-control-protocols>.

18. Управління світильниками по протоколу DALI. [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://habr.com/ru/post/321888>.

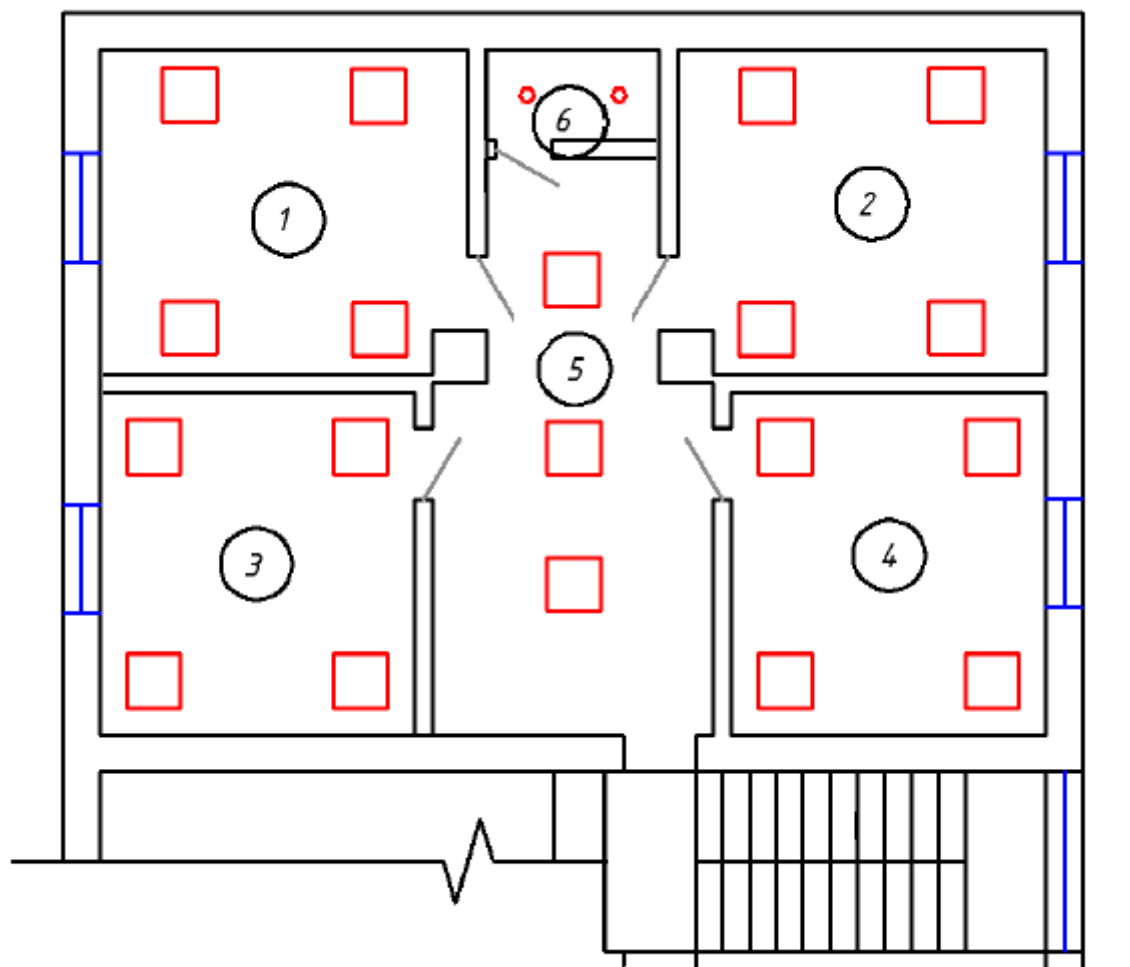
19. Бомчик О. С. Комп'ютерна система управління багатоканальними освітлювальними пристроями/ О. С. Бомчик, Я.С. Парамуд.– Львів, 2018.–124 с.

20. Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення офісних та адміністративно-побутових приміщень методом світлового потоку. [електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zp.edu.ua/sites/default/files/konf/zavdannya_na_kr_oop_praktyka.pdf.

21. Офісні світильники [електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://agart.ua/22138573-ofisnye-svetilniki>.

					02.15.EE2221.MP.2023–ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

ДОДАТОК А



План поверху з розташованими світильниками