

ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

Відділення "Інженерна інфраструктура та комп'ютерні науки"

Кафедра "Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка"

До захисту допущено
завідувач кафедру

Інна НЕЗДВЕЦЬКА

_____ "_____" _____ 2025 року

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту

освітньо-професійний ступінь: фаховий молодший бакалавр

спеціальність: 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

на тему: "Проект автоматизованої енергозберігаючої системи освітлення
квартирного приміщення на базі LED-технологій"

Виконав: студент IV курсу, групи Е-42

спеціальності

141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

_____ Артем ЄВСА

Керівник проєкту _____ Богдан АНТИПЧУК

Рецензент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

м. Житомир – 2025 року

ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

Відділення " Інженерна інфраструктура та комп'ютерні науки "
Кафедра "Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка"
галузь знань 14 "Електрична інженерія"
спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"
освітньо-професійний ступінь: фаховий молодший бакалавр

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри
Інна НЕЗДВЕЦЬКА

“ ____ ” _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ

Євсі Артему Володимировичу

- 1.Тема дипломного проєкту “ Проєкт автоматизованої енергозберігаючої системи освітлення квартирної приміщення на базі LED-технологій ” та керівник дипломного проєкту Антипчук Богдан Олександрович, затверджені наказом навчального закладу від 03 грудня 2024 року, №495-н.
2. Строк подання студентом проєкту “__” червня 2025 року.
3. Вихідні дані до роботи: план офісного приміщення.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
 - Вступ;
 - Огляд сучасних енергоефективних технологій у системах внутрішнього освітлення;
 - Автоматизована енергозберігаючої системи освітлення квартирної приміщення на базі Led-технологій;
 - Економічна частина;
 - Охорона праці;
 - Висновки.
5. Перелік візуального та графічного матеріалу:
 - Схема електрична принципова. Автоматизована енергозберігаюча система освітлення квартирної приміщення на базі LED-технологій;
 - Друкована плата. Автоматизована енергозберігаюча система освітлення квартирної приміщення на базі LED- технологій.

6. Консультанти розділів проєкту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Вступ	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 1	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 2	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 3	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Розділ 4	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
Висновки	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	
ГЧ та технічна документація	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	03 грудня 2024р.	

7. Дата видачі завдання “03” грудня 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Вступ	05.12.2024р.	
2.	Розділ 1	12.12.2024р.	
3.	Розділ 2	23.12.2024р.	
4.	Розділ 3	23.01.2025р.	
5.	Розділ 4	27.03.2025р.	
6.	Висновки	10.04.2025р.	
7.	Графічна частина та технічна документація	22.05.2025р.	

Студент: _____ Артем ЄВСА

Керівник проєкту: _____ Богдан АНТИПЧУК

“ Проєкт автоматизованої енергозберігаючої системи освітлення
квартирного приміщення на базі LED-технологій ”

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт складається з 91 листів пояснювальної записки, яка включає чотири розділи та графічну частину виконану на 2 листах формату A1 креслярського паперу.

У першому розділі дипломного проєкту аналізуються способи підвищення енергоефективності освітлювальних систем, порівнюється ефективність різних джерел світла та розглядаються енергоощадні технології, включаючи автоматизоване керування та підтримку продуктивності систем освітлення.

Другий розділ дипломного проєкту присвячений розробці автоматизованої енергозберігаючої системи освітлення квартирного приміщення на основі LED-технологій. Розглядаються вихідні дані проєкту, методи визначення оптимального рівня освітленості, а також планування освітлення з вибором відповідних світильників. Основна частина зосереджена на розробці структурної та принципової схем системи, включаючи сенсорні компоненти (ємнісні та фотоелектричні датчики), систему керування та живлення. Окремо розглядаються процеси програмування мікроконтролера та калібрування для забезпечення ефективної роботи системи.

У третьому розділі дипломного проєкту проведено оцінку економічної ефективності розробленої системи. В межах розрахунків визначено капітальні вкладення на впровадження системи, витрати на її експлуатацію та період окупності.

Четвертий розділ проєкту містить правила безпеки при роботі з електроустановками до 1000 В та алгоритм надання допомоги постраждалим від електроструму.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОГЛЯД СУЧАСНИХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМАХ ВНУТРІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ	10
1.1 Енергоефективність освітлювальних систем із різними видами джерел світла	10
1.2 Зіставлення ефективності використання різних типів джерел світла у системах внутрішнього освітлення приміщень	13
1.3 Енергоощадні заходи в освітлювальних системах	18
1.3.1 Впровадження світлодіодних та люмінесцентних джерел світла	19
1.3.2 Інтеграція електронних компонентів для запуску та керування освітлювальними системами	21
1.3.3 Використання світлової віддачі джерел світла	22
1.3.4 Автоматизовані системи управління освітленням, що адаптуються до змін зовнішнього середовища	23
1.3.5 Підтримка ефективності роботи системи освітлення	26
2 АВТОМАТИЗОВАНА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ КВАРТИРНОГО ПРИМІЩЕННЯ НА БАЗІ LED-ТЕХНОЛОГІЙ	28
2.1 Вихідні дані проєкту	28
2.2 Визначення рівня освітленості кімнат квартирного простору	29
2.3 Планування освітлення: вибір типу та кількості світильників для кожної кімнати квартири	42
2.4 Розробка структурної схеми автоматизованої енергозберігаючої системи освітлення квартирного приміщення на базі Led-технологій	48

					ДП.141.042.022.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Євса А.В.			ЗМІСТ			
Перевір		Антипчук Б.О.						
Н. Контр.		Антипчук Б.О.						
Затв.		Лавріщев О.О.						
						Літ.	Арк.	Аркушів
						У	6	91
						ЖАТФК, Гр. Е-42		

2.5 Розробка принципової схеми автоматизованої енергозберігаючої системи освітлення квартирної приміщення на базі Led-технологій	59
2.5.1 Розробка ємнісного датчика	59
2.5.2 Налаштування фотоелектричних датчиків та датчика освітлення	61
2.5.3 Розробка системи керування	62
2.5.4 Розробка схеми живлення	66
2.6 Програмування мікроконтролера	68
2.7 Калібрування	70
3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	72
3.1 Оцінка капітальних витрат на впровадження розробленої системи	72
3.2 Оцінка витрат на експлуатацію розробленої системи	75
3.3 Розрахунок терміну окупності розробленої системи	78
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	82
4.1 Техніка безпеки при використанні електроустановок напругою не більше 1000 В	82
4.2 Алгоритм надання допомоги постраждалим від електроструму	84
ВИСНОВКИ	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ	88
ДОДАТКИ	90

ВСТУП

На сьогоднішній день, через нестачу основних енергоресурсів, зростання витрат на їх видобуток і глобальні екологічні виклики, питання енергозбереження набуло особливої актуальності в усіх сферах діяльності людини.

За оцінками фахівців, освітлювальні установки є значними споживачами електроенергії у житловому секторі, комунальному господарстві, державних установах та офісних приміщеннях – вони можуть споживати від 50% до 90% загальної електроенергії. Завдяки їхньому широкому розповсюдженню в різних галузях, заходи щодо енергозбереження в цьому напрямку стають дедалі популярнішими.

Наприкінці XX століття частка електроенергії, витраченої на освітлення, у різних країнах була такою: Німеччина – 9%, Франція – 11%, Великобританія – 12%, Італія – 13%, Україна – 13%, Японія – 18%, США – 20%. Це свідчить про те, що ефективне використання освітлювальних систем має велике значення для зменшення загального енергоспоживання.

Системи енергозбереження в приватному секторі, на підприємствах і в організаціях, як правило, охоплюють кілька важливих заходів. До них належать контроль за режимом роботи освітлювальних приладів, встановлення захисних пристроїв для автоматичного відключення на силових ланцюгах, застосування реле часу, датчиків руху та переміщення. Крім того, значну роль відіграє модернізація електрообладнання – заміна застарілих пристроїв на сучасніші та енергоефективніші моделі.

Сучасний ринок пропонує широкий спектр енергозберігаючих технологій, які застосовуються в освітлювальних системах та сприяють зменшенню витрат підприємств і організацій. Дослідження наукових джерел

					ДП.141.042.022.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ВСТУП		
Розробив	Євса А.В.						
Перевір	Антипчук Б.О.						
Н. Контр.	Антипчук Б.О.						
Затв.	Лавріщев О.О.				ЖАТФК, Гр. Е-42		
					Літ.	Арк.	Аркушів
					У	8	91

та технічних рішень у цій сфері свідчать про існування кількох основних підходів до підвищення енергоефективності. Це включає удосконалення обладнання, оптимізацію режимів роботи освітлювальних пристроїв та впровадження автоматизованих систем керування.

У багатьох країнах світу, особливо серед членів Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), освітлення відіграє ключову роль у впровадженні заходів з енергоефективності. До основних стратегій зниження енергоспоживання належать: використання сучасних енергоефективних ламп із дотриманням нормативних вимог щодо освітлення; максимальне залучення природного світла протягом дня, з автоматичним регулюванням рівня штучного освітлення; використання високотехнологічної освітлювальної арматури, що забезпечує ефективний розподіл світлового потоку; оптимізація кольорової гамми приміщень і обладнання – фарбування поверхонь у світлі тони для підвищення коефіцієнта використання природного й штучного світла, що може зменшити енергоспоживання до 2,5%; використання електронної пускорегулюючої апаратури (ЕПРА), що підвищує ефективність роботи освітлювальних систем; впровадження автоматичних вимикачів для керування черговим освітленням у зонах тимчасового перебування персоналу; застосування таких заходів дозволяє значно скоротити витрати енергії та сприяє більш раціональному використанню ресурсів.

Для покращення енергоефективності освітлювальні прилади замінюють на сучасні, а системи керування автоматично регулюють освітлення, мінімізуючи зайві витрати енергії. Тому даний дипломний проєкт актуальний, адже його мета – створення автоматизованої енергоефективної освітлювальної системи для квартирної приміщення на основі сучасних технологій енергозбереження.

1 ОГЛЯД СУЧАСНИХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМАХ ВНУТРІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ

1.1 Енергоефективність освітлювальних систем із різними видами джерел світла

Надійність та ефективність роботи систем внутрішнього освітлення є запорукою безпеки та комфорту людини в умовах праці чи відпочинку. Водночас освітлювальні установки, незалежно від типу приміщення – промислового, житлового чи адміністративного – споживають значний обсяг електроенергії. Тому питання енергозбереження у сфері освітлення відіграє важливу роль у скороченні енергоспоживання. Актуальність забезпечення якісного та раціонального використання освітлювальних систем залишається незмінною.

Системою внутрішнього освітлення вважається освітлювальна мережа, що функціонує у поєднанні з освітлювальними пристроями. Енергоефективність такої системи передбачає мінімальне електроспоживання при забезпеченні необхідного рівня освітленості відповідно до вимог приміщення.

Сучасні джерела світла перетворюють електричну енергію на світлове випромінювання трьома способами: через нагрівання матеріалу електричним струмом, електричний розряд у газах та парах металів, або пропускання струму через напівпровідники. Відповідно до методу генерації світлового потоку, їх класифікують як теплові, розрядні та світлодіодні джерела освітлення.

Джерела світла характеризують за такими основними показниками: енергетичними, електричними, світлотехнічними та експлуатаційними.

					ДП.141.042.022.ПЗ		
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	<i>1 ОГЛЯД СУЧАСНИХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СИСТЕМАХ ВНУТРІШНЬОГО ОСВІТЛЕННЯ</i>		
Розробив	Євса А.В.						
Перевір	Антипчук Б.О.						
Н. Контр.	Антипчук Б.О.						
Затв.	Лавріщев О.О.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
					У	10	91
					ЖАТФК, Гр. Е-42		

Кожен із них визначає ключові параметри роботи освітлювальних приладів та їх ефективність у різних умовах використання.

Енергетичні показники джерел світла охоплюють такі параметри:

- енергетичний ККД:

$$\eta_{\text{ен.л.}} = \Phi_{\text{е.л.}} / P_{\text{л}} ; \quad (1.1)$$

де:

$\Phi_{\text{е.л.}}$ – повний потік випромінювання, Вт;

$P_{\text{л}}$ – потужність лампи, Вт;

- ефективний ККД потоку випромінювання:

$$\eta_{\text{еф.л.}} = \Phi_{\text{еф.л.}} / \Phi_{\text{е.л.}} ; \quad (1.2)$$

де:

$\Phi_{\text{еф.л.}}$ – ефективний потік випромінювання, Вт;

- ефективний ККД:

$$\eta_{\text{еф.л.}} = \Phi_{\text{еф.л.}} / P_{\text{л}} ; \quad (1.3)$$

- світловіддача (лм/Вт):

$$H = \Phi / P_{\text{л}} , \quad (1.4)$$

де:

Φ – спектральний склад випромінювання.

Електричні характеристики джерела світла визначаються такими технічними параметрами:

- номінальна (активна) потужність ($P_{\text{л}}$, Вт);
- реактивна потужність ($Q_{\text{л}}$, Вар);

- номінальна напруга ($U_{ном}$, В);
- коефіцієнт потужності ($\cos\varphi$);
- метод запалювання.

Світлотехнічні характеристики джерела світла охоплюють такі параметри:

- спектральний склад випромінювання ($\Phi(\lambda)$) – визначає розподіл енергії в спектрі світлового потоку;
- світловий (ефективний) потік (Φ , Лм) – відображає загальну кількість світлової енергії, що випромінюється;
- зміна світлового потоку – коливання його інтенсивності при живленні змінним струмом;
- колірна температура ($T_{кт}$) – визначає відтінок світла та його відповідність природному освітленню;
- пульсація світлового потоку – варіація яскравості, що впливає на зоровий комфорт;
- передача кольору – спроможність джерела світла відтворювати природні кольори предметів.

Експлуатаційні характеристики джерела світла включають:

- корисний та повний термін служби – тривалість ефективної роботи приладу;
- час роботи до виходу з ладу – період безперебійного функціонування;
- вплив напруги – залежність параметрів від її коливань;
- старіння та зниження світлотехнічних показників – погіршення характеристик у процесі експлуатації;
- періодичність обслуговування – регулярне чищення та заміна для підтримки якості освітлення.

Таким чином, при оцінці доцільності використання джерел світла важливо враховувати параметри, що визначають рівень освітлення, зокрема

світловий потік, світлову віддачу, колірну температуру та передачу кольору. З позиції енергоефективності ключовим показником є світлова віддача, що характеризує співвідношення між світловим потоком і споживаною електричною потужністю (див. вираз 1.4).

1.2 Зіставлення ефективності використання різних типів джерел світла у системах внутрішнього освітлення приміщень

Сучасні освітлювальні системи мають відповідати ключовим вимогам: енергоефективності, якісному освітленню робочого простору, раціональному споживанню енергії, зручному керуванню та екологічності.

Згідно з ДБН В.2.5–28–2018, для загального штучного освітлення рекомендовано використовувати розрядні джерела світла, оскільки вони мають вищу світлову віддачу та довший термін служби при однаковому рівні споживання енергії. Лампи розжарювання дозволяється застосовувати лише у випадках, коли використання розрядних ламп є неможливим або економічно недоцільним. Використання ксенонових ламп у приміщеннях не рекомендовано.

Для місцевого освітлення, крім розрядних джерел світла, також можна застосовувати лампи розжарювання, зокрема галогенні. У сучасних освітлювальних системах найпоширенішими є джерела світла, представлені на рисунку 1.1.

Розглянемо основні типи освітлювальних пристроїв, їхні переваги та недоліки, а також проведемо аналіз ефективності їх застосування. Для оцінки роботи джерел світла, що використовуються у внутрішніх освітлювальних системах, звернемося до раніше розглянутих характеристик.

Узагальнені дані щодо основних груп джерел світла наведені у таблиці 1.1.



Рисунок 1.1 – Класифікація джерел світла

Таблиця 1.1 – Основні групи джерел світла, які використовуються в системах внутрішнього освітлення приміщень

Технічні характеристики	Типи ламп												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	ЛР	ГЛР	ГЛ	ЛЛ	ДРЛ	КЛЛ	БКЛЛ	ДРІ	ДНаТ	ДКсТ	ЛТС	ІЛ	СД
Строк служби, тис.год	1	2-4	10-15	12-15	10-12	6-12	15	3-10	6-15	2	1	50	50
Світлова віддача (ефективність), Лм/Вт	10-20	22-30	60-100	47-104	50-70	48-75	48	74-100	80-125	120-150	0,2 - 1	80-90	120-140
Виділення тепла при світінні	вис	вис.	вис.	вис.	вис.	вис.	вис.	вис.	вис.	вис.	низ.	низ.	низ.
Можливість регулювання потужності, що споживається	-	-	-	+	-	+	-	-	+	-	-	+	+
Залежність від напруги живлення	вис	вис.	вис.	вис	вис.	низ.	низ.	низ.	вис.	низ.	низ.	низ.	низ.
Пульсація випромінювання	15-18	20	18	20	64-73	10	12	20-30	10	130	10	10	10
Індекс передачі кольору, Ra	≥95	≥90	≥90	40-59	40-59	60-90	60-90	≥90	≤40	60	0	40-59	60-95

Продовження таблиці 1.1

Технічні характеристики	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Спеціальна утилізація	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-
ККД світильника	0,1	0,7	0,7	0,65	0,85	0,65	0,7	0,85	0,85	0,85	0,65	0,9	0,95
Середня варт.	14	20	300	89	120	60	70	300	100	190	30	55	31

Провівши аналіз таблиці 1.1 з позиції енергоефективності систем внутрішнього освітлення та впровадження автоматизованих систем управління, ключовим фактором є здатність регулювати потужність джерел світла і відповідно змінювати рівень світлового потоку. Для подальшого аналізу обрані такі типи джерел світла: КЛЛ, ДНаТ, ІЛ, СД. У таблиці 1.2 представлено залежність світловіддачі цих джерел світла від їхньої потужності споживання.

Таблиця 1.2 – Залежність світловіддачі різних типів джерел світла від потужності їх споживання

Потужність, Вт	Лампи розжарення, Лм/Вт	Люмінесцентні лампи, Лм/Вт	Світлодіодні лампи Лм/Вт
5	10	60	105
10	13	77	120
15	15	92	129
25	17	105	141
50	20	124	156
80	23	137	167

На основі даних таблиці 1.2 буде створено порівняльний графік залежності, що дозволить наочно визначити, який тип джерел світла є оптимальним за відповідним показником. Графік представлений на рисунку 1.2.

Як видно з графіка на рисунку 1.2, світлодіодні лампи демонструють найвищу світловіддачу при відповідній потужності споживання. Люмінесцентні джерела світла мають дещо нижчі показники, а лампи розжарення суттєво поступаються обом цим варіантам за рівнем енергоефективності.

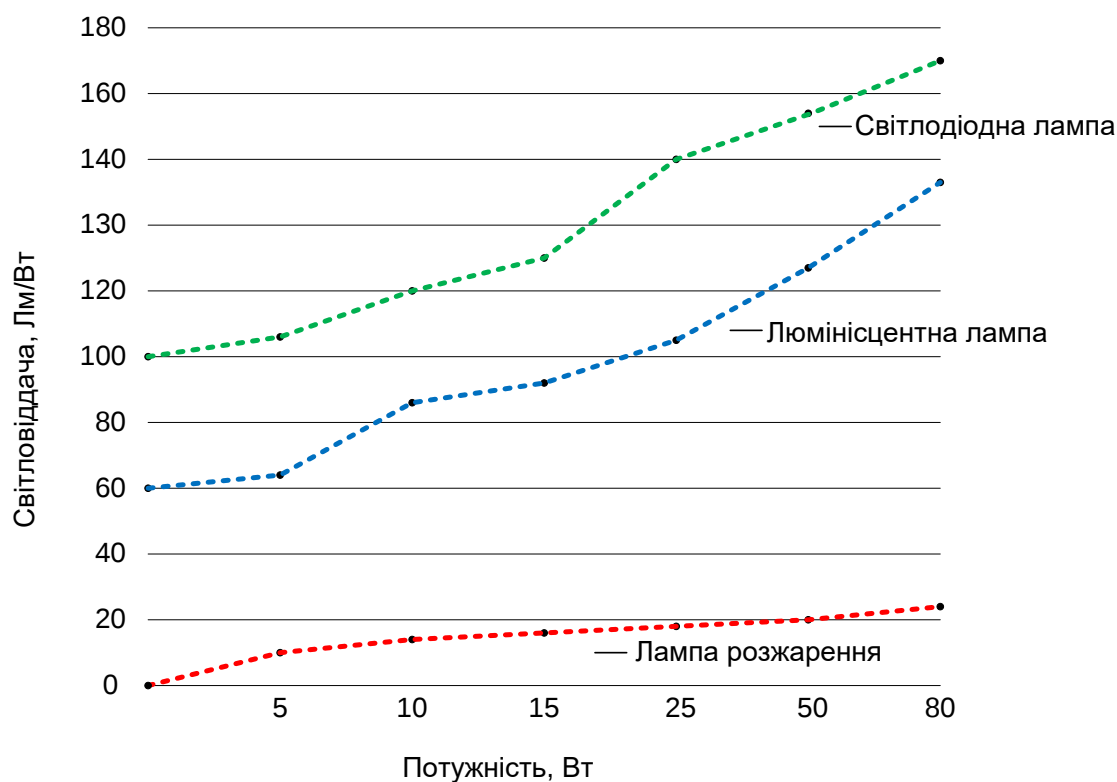


Рисунок 1.2 – Залежність світловіддачі різних типів джерел світла від потужності їх споживання

Наступним кроком стане порівняння витрат на електроенергію для обраних типів джерел світла (див. рис. 1.3). Для цього необхідно виконати розрахунок додаткових параметрів. Щоб отримати відповідні дані, буде сформовано таблицю порівняння світлового потоку обраних типів джерел світла (див. табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Взаємозв'язок між світловим потоком обраних типів джерел світла та їхньою споживаною потужністю

Потужність, Вт	Лампи розжарення, Лм/Вт	Люмінесцентні лампи, Лм/Вт	Світлодіодні лампи, Лм/Вт
5	10	60	105
10	13	77	120
15	15	92	129
25	17	105	141
50	20	124	156
80	23	137	167

На основі даних таблиці 1.3 побудуємо графік, що ілюструє залежність світлового потоку різних типів джерел світла від їхньої потужності (див. рис. 1.3). Це дозволить наочно оцінити ефективність кожного джерела світла наведеного в таблиці 1.3.

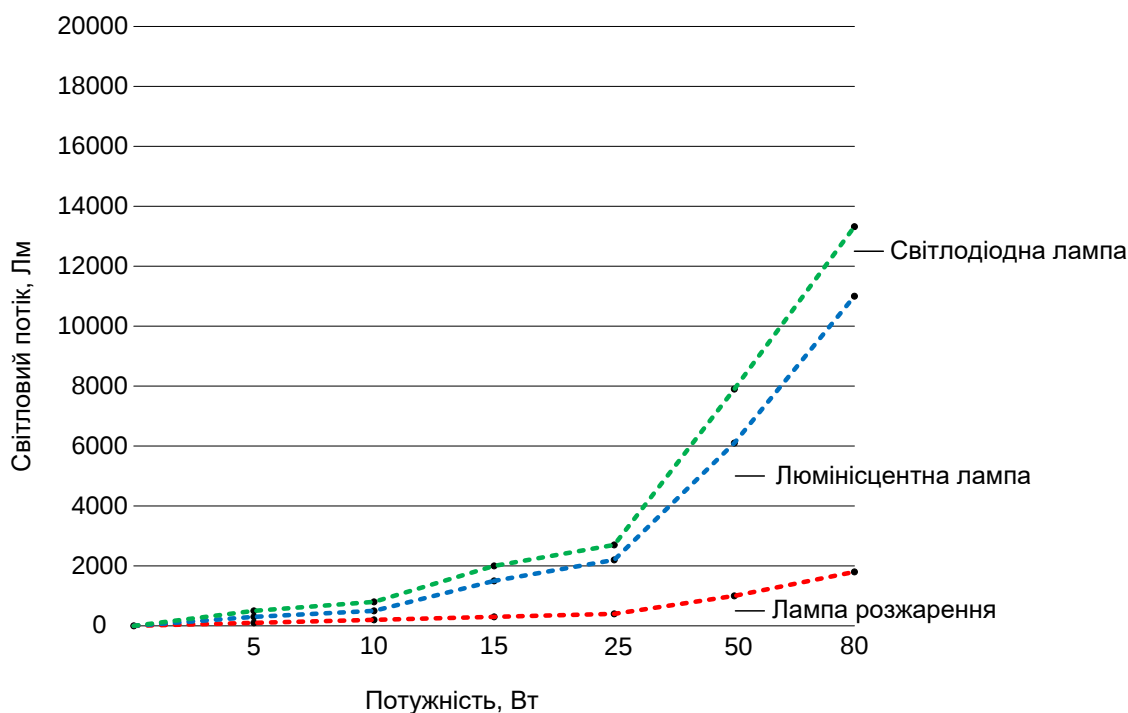


Рисунок 1.3 – Залежність світлового потоку різних типів джерел світла від потужності їх споживання

На основі аналізу джерел світла можна дійти висновку, що у процесі вдосконалення енергоефективності освітлювальних систем квартирних приміщень варто надавати перевагу світлодіодним лампам. Вони сприяють підвищенню ефективності завдяки високій світловіддачі та скороченню втрат електроенергії в освітлювальних мережах. Крім того, світлодіодні джерела світла мають розширені можливості для регулювання потужності споживання та світлового потоку.

1.3 Енергоощадні заходи в освітлювальних системах

Енергоспоживання в освітлювальних системах можна значно скоротити шляхом оптимізації роботи освітлювальних установок у режимі реального часу. Для підвищення енергоефективності освітлення ефективно застосовувати такі методи:

- розширення виробництва ефективних джерел світла та збільшення сфер їхнього застосування дозволяє зменшити споживання електроенергії щонайменше на 14%;
- зростання світлової віддачі джерел світла сприяє економії енергоресурсів на 6%;
- підвищення стабільності характеристик світлових приладів забезпечує додаткове скорочення витрат на 3%;
- оптимізація ККД освітлювальних установок дає змогу зменшити енерговитрати на 6%;
- покращення експлуатаційних характеристик освітлювальних приладів сприяє підвищенню їхньої ефективності на 3,5%;
- зниження енергоспоживання освітлювальних пристроїв за рахунок використання електронної пускорегулювальної апаратури (ЕПРА) дає можливість скоротити витрати на 1,5–2%.

Окрім цього, електроенергію можна заощадити шляхом удосконалення методів освітлення:

- розширення застосування системи загального локалізованого освітлення дозволяє досягти економії в межах 6,5%;
- впровадження систем регулювання загального освітлення залежно від рівня природного світла допомагає скоротити споживання електроенергії на 4,5 –7,5%;
- збільшення застосування комбінованого освітлення забезпечує додаткову економію до 4%.

Надалі розглянемо деякі із запропонованих рішень більш детально.

					ДП.141.042.022.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

1.3.1 Впровадження світлодіодних та люмінесцентних джерел світла

Для максимально ефективного використання ресурсів необхідно обирати такі джерела світла, які забезпечують найбільший світловий потік на 1 Вт споживаної електроенергії та відповідають вимогам освітлення приміщення. Світлова віддача кожного типу джерела світла може бути визначена на основі її характеристик і схеми включення (див. табл. 1.1). При проектуванні нової освітлювальної системи важливо порівнювати світлову ефективність різних джерел світла і надавати перевагу тим, що мають найкращі показники.

На сьогодні одним із найефективніших варіантів для систем освітлення є компактні люмінесцентні лампи. Завдяки сучасним технологіям їх вдалося зменшити до розмірів стандартної лампи розжарення, що дозволило їх активне використання в побутових умовах. Основні переваги люмінесцентних ламп: економія електроенергії до 80% при аналогічному рівні світлового потоку; термін служби в 9–13 разів довший у порівнянні з лампами розжарення; швидке та безмерехтливе запалювання (0,6 с); компактні габарити та легка вага, що полегшує монтаж та експлуатацію; висока якість передачі кольору, забезпечуючи комфортне освітлення.

Застосування сучасних високоефективних джерел світла сприяє зниженню витрат електроенергії та скороченню експлуатаційних витрат. Однак найбільш оптимальним рішенням залишаються напівпровідникові світлодіоди (СВД).

Вони відзначаються низьким енергоспоживанням, високою надійністю, сумісністю з інтегральними схемами керування, а також стійкістю до механічних і кліматичних впливів. Завдяки появі світлодіодів із чисто зеленим і синім випромінюванням, а також джерел світла зі світловіддачею понад 75 Лм/Вт (у порівнянні з 15 Лм/Вт у звичайних лампах розжарювання), світлотехнічна галузь і інформаційні технології зазнали значних змін, незважаючи на високі витрати.

В Україні вже налагоджено виробництво світлодіодів потужністю понад 25 Вт, які можна без проблем інтегрувати в існуючі освітлювальні системи.

Для флуоресцентних і газорозрядних джерел світла необхідні пускові пристрої (стартери) та компоненти для обмеження струму після запуску (дроселі). З метою підвищення коефіцієнта потужності та зменшення споживаного струму при фіксованій потужності часто застосовується конденсаторне підключення.

Звичайні дроселі, що є індукційними пристроями, виконують функцію регулювання струму ламп і стабілізації поданої напруги, проте мають високий рівень енергетичних втрат. Новітні моделі баластів допомагають мінімізувати втрати в конструкційних матеріалах, таких як залізо й мідь, а також підтримувати роботу ламп на номінальному рівні активної потужності.

У таблиці 1.4 наведено дані про активну потужність (мережа 220 В) для стандартної подвійної лампи (26 мм) з різними типами баластів.

Таблиця 1.4 – Втрати в різних типах баластів

Джерело світла (подвійне)	Звичайний баласт,Вт	Баласт з низьким рівнем втрат,Вт	Високочастотний баласт,Вт
2×18 Вт	54	48	40
2×36 Вт	90	82	72
2×58 Вт	140	132	100

Для підвищення ефективності роботи перемикачів і дроселів можна застосовувати дроселі з мінімальними втратами, які містять збільшену кількість міді. Вони відзначаються більшою масою, габаритами та вищою вартістю порівняно зі стандартними моделями. Ще одна група стартерів включає повністю електронні та частково електронно-баластні пристрої.

1.3.2 Інтеграція електронних компонентів для запуску та керування освітлювальними системами

На сьогодні в експлуатації залишається значна кількість люмінесцентних ламп, оснащених електромагнітними дроселями, які не забезпечують оптимальних режимів роботи та мають низькі експлуатаційні характеристики. Замість них активно впроваджується електронна пускорегулююча апаратура (ПРА), що суттєво покращує техніко-економічні параметри таких світильників.

Сучасні електронні баласты гарантують:

- швидке запалювання ламп без мерехтіння та шуму;
- стабільну освітленість, незалежну від коливань напруги;
- високу якість споживаної електроенергії;
- коефіцієнт потужності, близький до одиниці, завдяки споживанню синусоїдального струму без фазового зсуву.

Попри високу вартість, електронні пускорегулюючі апарати є надзвичайно економічними. Первинні витрати компенсуються завдяки зниженню енергоспоживання на 20–25% при збільшенні рівня освітлення на 10–12%. Крім того, зменшуються витрати на технічне обслуговування світильників, адже вони не потребують стартерів та конденсаторів. Термін служби джерел світла збільшується на 50% завдяки більш ефективному режиму роботи та запуску.

Електронні ПРА використовують напівпровідникові імпульсні схеми, що живлять люмінесцентні лампи напругою підвищеної частоти, що дозволяє покращити якість освітлення та одночасно зменшити енергоспоживання у порівнянні з традиційними електромагнітними баластами. Ці пристрої перетворюють струм мережі у струм підвищеної частоти, містять вузли оптимального запалювання, контролю працездатності ламп і захисту від аномальних режимів.

Сучасні розробки активно включають мікропроцесорні та спеціалізовані контролери для управління освітлювальними системами. Електронні баласты виробляються у країнах, які активно застосовують енергозберігаючі технології, і користуються значною популярністю серед виробників OSRAM, PHILIPS, GENERAL ELECTRIC, SYLVANIA, TRADONIC.

1.3.3 Використання світлової віддачі джерел світла

Щоб максимально ефективно використовувати світлову віддачу джерел світла, необхідно враховувати такі фактори:

- ККД світильника та його конструктивні особливості;
- особливості схеми освітлення та її проектування;
- наявність і рівень природного освітлення;
- коректне керування системою освітлення та регулювання режимів роботи.

Світильники виконують важливі функції, забезпечуючи підтримку та захист джерела світла, електричне підключення до мережі живлення, а також напрямки і регулювання світлового потоку.

Використання високоефективних рефлекторів значно покращує світловіддачу освітлювальних пристроїв. Завдяки спеціальному покриттю з дзеркальним сріблом, вони забезпечують максимальне відбиття світлового потоку та підвищують загальну ефективність освітлення.

Оптимізація світловіддачі за допомогою рефлекторів дозволяє збільшити коефіцієнт використання світлового потоку, що сприяє зменшенню необхідної кількості джерел світла майже вдвічі.

Важливу роль у підвищенні ефективності освітлення відіграють дизайн приміщення та його оздоблення. Світлі поверхні краще відбивають світло, тому вони є більш енергоефективними. Проте для збереження їхньої

ефективності потрібен регулярний догляд – фарбування, миття чи оновлення облицювання.

Підвищення коефіцієнта відбиття поверхонь на 20% дозволяє зменшити споживання електроенергії на 5–15%

1.3.4 Автоматизовані системи управління освітленням, що адаптуються до змін зовнішнього середовища

Принципи керування освітленням мають забезпечувати зручність у використанні, мінімальні витрати часу на увімкнення та вимкнення освітлення, а також максимальне використання природного світла з урахуванням режимів роботи технологічного обладнання виробничого приміщення.

Під автоматизованими системами внутрішнього освітлення розуміється регулювання характеристик світлових приладів – їхнього складу, кількості, потужності споживання та світлотехнічних параметрів – з метою адаптації до змінних умов експлуатації. Керування освітленням здійснюється через увімкнення та вимкнення джерел штучного світла, а також регулювання рівня освітленості у приміщенні.

Основні типи систем освітлення за способом керування:

- ручне увімкнення та регулювання;
- керування за допомогою інфрачервоних датчиків руху;
- освітлення, що активується через звукові (ультразвукові) датчики;
- автоматичне регулювання за допомогою датчиків освітленості;
- комбіновані системи керування освітленням.

Для найбільш точного врахування рівня природного світла, а також присутності людей у приміщенні, доцільно застосовувати автоматизовані системи управління освітленням. Контроль навантаження може здійснюватися двома способами:

- дискретне керування – повне або часткове вимкнення світильників;

					ДП.141.042.022.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

- плавне регулювання потужності – однакове для всіх або індивідуальне для кожного світильника.

Головна мета систем регулювання освітлення – забезпечення оптимальної інтенсивності світла у потрібному місці і на необхідний період часу.

Типи освітлювальних регуляторів:

- ручні регулятори, що дозволяють налаштовувати роботу окремих світильників або рядів освітлення;
- автоматичні регулятори – вони можуть бути фотоелектричними, безконтактними або з таймером.

Фотоелектричні регулятори автоматично вимикають штучне освітлення в сонячні дні або коли рівень природного освітлення достатній для комфортної роботи. Фотоелектричний датчик налаштовується таким чином, щоб реагувати лише на зміни зовнішньої освітленості, підтримуючи необхідні параметри освітлення.

У темний час доби регулятор вмикається автоматично через фотодіод, а включення або вимкнення освітлення здійснюється після сигналу від датчика руху, коли в його зоні дії з'являється об'єкт.

Однією з ключових особливостей схеми підключення датчика освітленості (див. рис. 1.3) є врахування його навантажувальної здатності. У випадку недостатньої комутаційної потужності використовують додаткове реле, яке відповідає необхідному рівню струму.

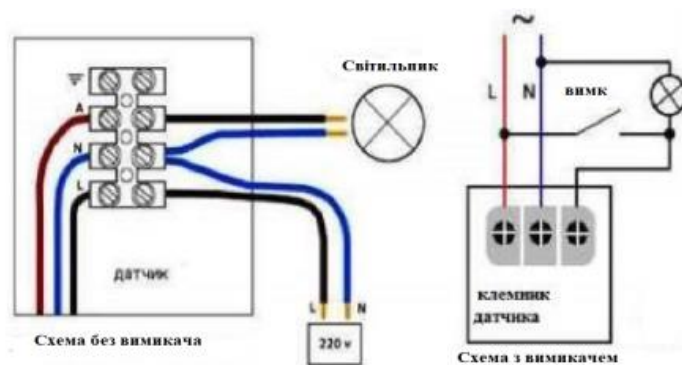


Рисунок 1.3 – Схеми підключення датчика освітленості

У складних освітлювальних системах фотодатчик через диммер поступово регулює рівень штучного освітлення, підтримуючи загальну освітленість приміщення на заданому рівні. Щоб система працювала коректно, необхідно виконати калібрування датчика освітленості.

Безконтактні регулятори є локальними пристроями, що реагують на присутність людей у приміщенні. Для цього використовуються спеціальні датчики, переважно інфрачервоні (ІЧ) або високочастотні. Освітлення автоматично вмикається при виявленні руху або зміні хвильового сигналу, а вимикається, якщо активності не зафіксовано.

Підключення датчика до мережі та його взаємодія з системою освітлення можуть здійснюватися двома способами (див. рис. 1.4):

- пряме підключення до ламп, при якому пристрій працює відповідно до заводських налаштувань;
- додавання вимикача в ланцюг живлення – це дозволяє примусово вимикати світло разом із датчиком, забезпечуючи можливість ручного керування освітленням.

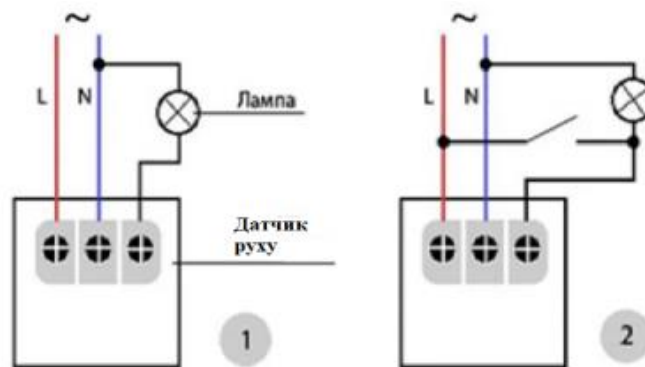


Рисунок 1.4 – Схеми підключення датчика руху

Регулятори освітлення з таймером ефективно застосовуються у приміщеннях із фіксованим графіком роботи. Наприклад, система освітлення може автоматично вимикатися із невеликим запізненням після завершення

робочого процесу. У таких випадках необхідно передбачити аварійне та охоронне освітлення для безпеки та комфорту.

Залежно від типу таймера, він дозволяє програмувати події в діапазоні від одного дня до року. Окремим різновидом таких пристроїв є астрономічні реле, які найчастіше використовуються для керування зовнішнім освітленням. Їхнє налаштування здійснюється шляхом введення географічних координат, на основі яких пристрій самостійно визначає оптимальний час увімкнення та вимкнення світла.

Зразок зовнішнього вигляду типового регулятора освітлення з таймером представлений на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Регулятор освітлення з таймером

Автоматизоване управління групами світильників оптимально підходить для освітлення просторих приміщень. Воно дозволяє вимикати окремі ряди освітлювальних пристроїв, коли природного світла достатньо, а також забезпечує зональний розподіл освітлення, сприяючи ефективному використанню електроенергії.

1.3.5 Підтримка ефективності роботи системи освітлення

Для забезпечення високої ефективності освітлювальної системи необхідно регулярно очищати світильники, замінювати пошкоджені або

застарілі лампи, підтримувати доступ природного світла через чистку вікон та забезпечувати чистоту повітря.

Практичний досвід використання освітлювальної техніки показує, що втрати світлового потоку складають: забруднення світильників – 16%; забруднення стін і стелі – 19,5%; старіння ламп – 13%; неправильне встановлення ламп і рефлектора – 4%; понаднормативні втрати напруги в мережі – 8%.

Використання джерел світла з ефективною світловою арматурою дозволяє скоротити витрати електроенергії в 1,5 рази у порівнянні з відкритими лампами.

Підвищення коефіцієнта потужності електромережі є одним із ключових заходів з енергозбереження, оскільки сприяє зниженню споживання реактивної потужності, а також мінімізує втрати в енергосистемі. Люмінесцентні джерела світла, зокрема, потребують додаткової корекції через невисокий коефіцієнт потужності (близько 0,5). Для їх стабільної роботи необхідно використовувати компенсаційні пристрої, такі як статичні конденсатори.

Стабільність рівня напруги в освітлювальній мережі відіграє критичну роль у запобіганні зайвим енергетичним втратам. Напруга на виводах джерел світла має бути в межах 85–105% номінального значення, оскільки навіть зниження на 1% може призвести до втрати світлового потоку.

Для мінімізації негативного впливу коливань напруги використовуються окремі трансформатори, компенсаційні пристрої та автоматичні системи регулювання напруги. У промислових освітлювальних мережах широко застосовується автоматичне регулювання напруги за допомогою підвищувальних трансформаторів та додаткових індуктивних елементів.

2 АВТОМАТИЗОВАНА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ КВАРТИРНОГО ПРИМІЩЕННЯ НА БАЗІ LED-ТЕХНОЛОГІЙ

2.1 Вихідні дані проєкту

Основою для розробки автоматизованої енергозберігаючої системи освітлення квартирної приміщення на базі Led-технологій у цьому дипломному проєкті є двокімнатне квартирне приміщення, схема планування якого представлена на рисунку 3.1. Помешкання складається із семи житлових зон, загальна площа яких становить 49,1 м².

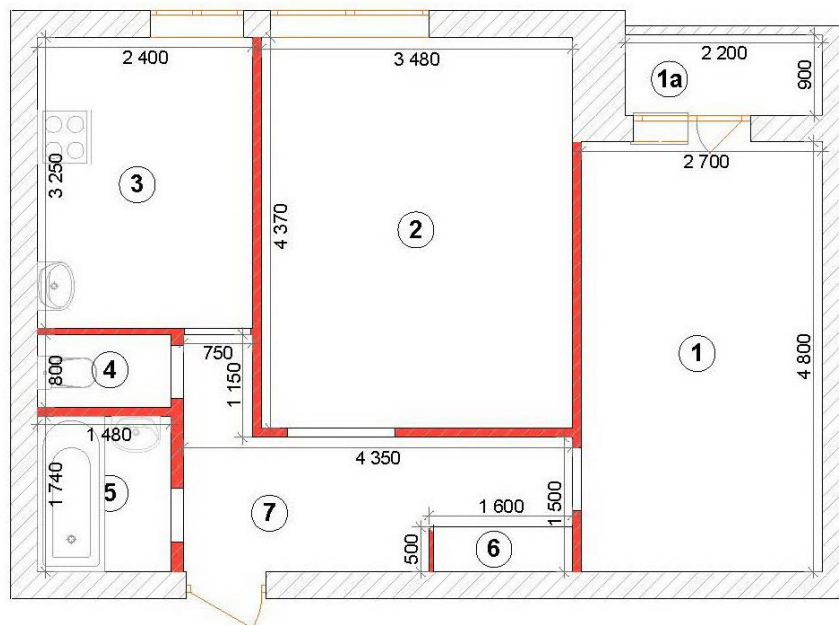


Рисунок 2.1 – План квартирної приміщення

Першим ключовим етапом у реалізації цього дипломного проєкту є розрахунок і визначення оптимальної освітленості кімнат квартири, а також підбір необхідної кількості світильників та джерел світла. Для зручності всі геометричні параметри житлового приміщення буде зведено в таблицю 2.1.

					ДП.141.042.022.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	2 АВТОМАТИЗОВАНА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ КВАРТИРНОГО ПРИМІЩЕННЯ НА БАЗІ LED- ТЕХНОЛОГІЙ		
Розробив	Євса А.В.						
Перевір	Антипчук Б.О.						
Н. Контр.	Антипчук Б.О.						
Затв.	Лавріщев О.О.						
					Літ.	Арк.	Аркушів
					У	28	91
					ЖАТФК, Гр. Е-42		

Таблиця 2.1 – Основні геометричні характеристики квартири

№	Назва приміщення	Площа, м ²		
		Житлова	Допоміжна	Літня
1	Спальна кімната	13,0	—	—
1а	Лоджія	—	—	1,9
2	Вітальня	15,2	—	—
3	Кухня	—	7,8	—
4	Туалет	—	1,2	—
5	Ванна кімната	—	2,6	—
6	Гардеробна кімната	—	0,8	—
7	Передпокій	—	6,6	—
Всього:		28,2	19,0	1,9
Загальна:		49,1		

При проведенні нижче наведених розрахунків будемо враховувати, що висота всіх приміщень є стандартною і дорівнює 2,5 м.

2.2 Визначення рівня освітленості кімнат квартирного простору

Рівень освітленості безпосередньо впливає на продуктивність та самопочуття людини. Державні стандарти враховують цей аспект і регламентують оптимальні параметри освітлення приміщень відповідно до їхнього призначення та специфіки робочих місць. На основі цих норм планується система освітлення об'єктів, що визначає вибір типів світильників і необхідну кількість ламп для встановлення.

У практиці розрахунку штучного освітлення застосовують три основні методи:

- метод світлового потоку (коефіцієнта використання) – використовується для визначення загального рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь.
- точковий метод – призначений для розрахунку локалізованого та комбінованого освітлення, а також для освітлення похилих площин.
- метод питомої потужності – найбільш простий, але менш точний метод, який застосовують для орієнтовних розрахунків освітлення.

Найбільш точним методом для оцінки загального рівномірного освітлення, що враховує прямий світловий потік світильників та відбиття світла від стін і стелі, є метод світлового потоку (коефіцієнта використання світлового потоку).

Основним розрахунковим рівнянням методу світлового потоку є:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot k_{\text{з}} \cdot z}{N \cdot n \cdot \eta}, \quad (2.1)$$

де:

$\Phi_{\text{л}}$ – розрахункове значення світлового потоку однієї лампи в кожному світильнику, Лм;

$E_{\text{н}}$ – нормоване значення освітленості, Лк;

S – площа освітлюваної поверхні, м²;

$k_{\text{з}}$ – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт мінімальної освітленості;

N – загальна кількість світильників;

n – кількість ламп у одному світильнику;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

З 2019 року набули чинності державні нормативи щодо природного та штучного освітлення – ГСН В.2.5-28:2018, які регламентують вимоги до експлуатації всіх освітлювальних пристроїв. У ДБН наведені конкретні показники яскравості для різних типів приміщень (див. таблицю 2.2).

Регламентовані норми враховують найважливіші особливості зорового сприйняття, фізіологічні процеси людини, а також чинники, що впливають на концентрацію та рівень зорового навантаження під час роботи чи відпочинку. До них належать, зокрема, контрастність освітлення, колір поверхні робочого столу, а також інші характеристики, що забезпечують комфортні умови для зору.

Таблиця 2.2 – Регламентовані показники освітленості згідно з ГСН В.2.5-28:2018

Приміщення	Норма, Лк
Вітальня (підлога)	150
Спальна кімната (підлога)	150
Кухня (стіл)	150
Дитяча кімната (підлога)	200
Кабінет та бібліотека (стіл)	300
Передпокій (підлога), лоджія	50
Ванна кімната, гардеробна, туалет (підлога)	50

Коефіцієнт нерівномірності освітлення z визначається як відношення середньої освітленості до мінімальної освітленості. Як правило, його значення становить:

- $z = 1,1$ для люмінесцентних ламп низького тиску та лінійних LED-світильників;
- $z = 1,15$ для ламп розжарювання (ЛР), газорозрядних ламп високого тиску та точкових LED-світильників.

У другому розділі цього дипломного проєкту ми вже визначили оптимальний тип джерел світла для нашої системи – LED-лампи. Вони мають низку переваг порівняно з іншими типами освітлювальних пристроїв як за економічними, так і за світлотехнічними характеристиками. Оскільки в кімнатах нашого квартирної приміщення буде переважно використовуватися точкове освітлення, приймаємо коефіцієнт нерівномірності освітлення $z = 1,15$.

Основні світлотехнічні параметри світильників визначаються двома характеристиками:

- Відношенням світлового потоку, що випромінюється світильником у нижню півсферу, до повного світлового потоку пристрою.
- Кривими сили світла, що графічно відображають розподіл світла у просторі.

Крива сили світла є однією з ключових фізичних характеристик LED-освітлення та представлена у вигляді графіка (див. рисунок 2.2).

Класифікація світильників за типом світлорозподілу наведена у таблиці 2.3, а їх розподіл відповідно до графіка кривої сили світла – у таблиці 2.4. Ці дані необхідні для подальшого розрахунку світлового потоку, вибору оптимального типу світильників та визначення кількості освітлювальних приладів у кожній кімнаті квартири.

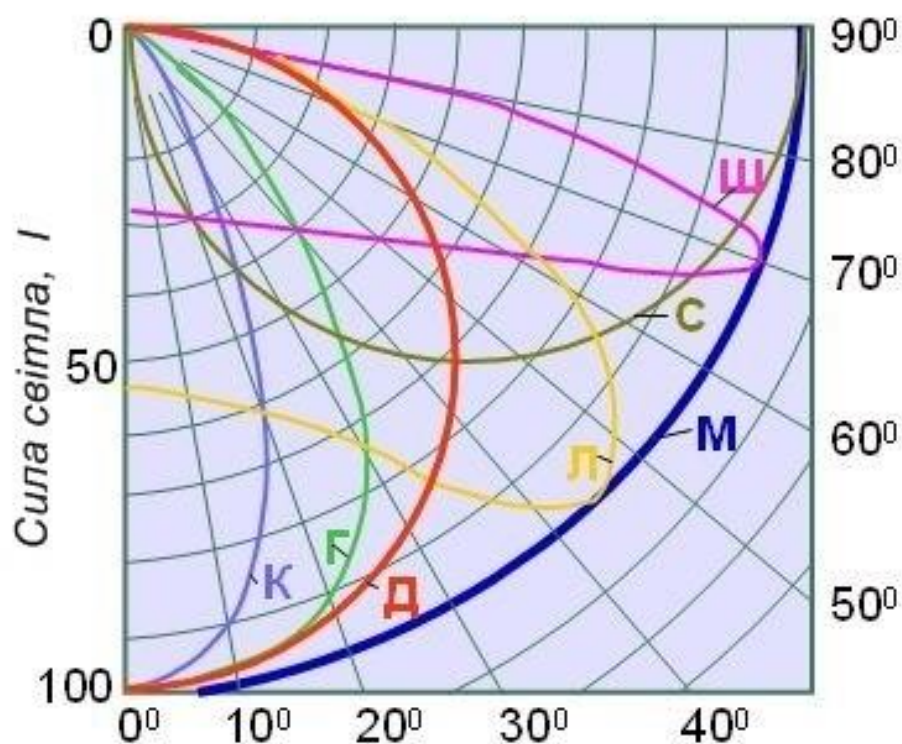


Рисунок 2.2 – Графічне представлення кривої сили світла

Таблиця 2.3 – Категоризація світильників за типом світлорозподілу

Клас світильника за світлорозподілом	Доля світлового потоку світильника, яка спрямована у нижню півсферу, %	Використання світильників визначеного класу
Прямого світла	понад 80	для приміщень, в яких стіни і стеля мають невисокий коефіцієнт відбитку
Переважно прямого світла	60-80	для приміщень, в яких стіни і стеля мають високий коефіцієнт відбитку
Розсіяного світла	40-60	для приміщень, де небажані різкі тіні і тіні взагалі
Переважно відбитого світла	20-40	
Відбитого світла	менше 20	

Таблиця 2.4 – Категоризація світильників за типом кривої сили світла

Тип кривої сили світла		Коефіцієнт світильника L/h
К	Концентрована	0,4 – 0,7
Г	Глибока	0,8 – 1,2
Д	Косинусна	1,2 – 1,6
Л	Напівширока	1,4 – 2,0
Ш	Широка	1,6 – 2,2
М	Рівномірна	1,8 – 2,6
С	Синусна	2,0 – 2,8

Коефіцієнт запасу k_z визначається залежно від висоти стелі приміщення, для якого виконується розрахунок. Основні співвідношення цього коефіцієнта щодо висоти стелі відповідно до ГСН В.2.5-28:2018 наведено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Регламентовані значення коефіцієнта запасу щодо висоти приміщення

Висота приміщення, м	Коефіцієнт запасу K_z
до 2,7	1
від 2,7 до 3	1,2
від 3 до 3,5	1,5
від 3,5 до 4	2

У нашому випадку, відповідно до даних таблиці 2.5, приймаємо коефіцієнт запасу $k_z = 1$, оскільки висота приміщень у квартирі становить 2,5 м.

Таким чином, розпочнемо розрахунок із визначення числового значення індексу кожної кімнати житлового приміщення за такою формулою:

$$i_{\text{приміщення}} = \frac{S}{h \cdot (A + B)}, \quad (2.2)$$

де:

$i_{\text{приміщення}}$ – індекс конкретної кімнати квартири;

S – площа освітлюваної поверхні в конкретній кімнаті квартири, м^2 ;

A – довжина конкретної кімнати квартири, м;
 B – ширина конкретної кімнати квартири, м;
 h – допустима висота розміщення світильників над робочою поверхнею в конкретній кімнаті квартири, м.

Як випливає з формули 2.2, для визначення індексу приміщення необхідно встановити висоту підвісу світильника над робочою поверхнею.

Для цього важливо визначити кількість рядів світильників у приміщенні. Щоб зробити це коректно, скористаємося даними таблиці 3.4 та формулою 2.3:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) \cdot [L/h]}, \quad (2.3)$$

де:

N_p – кількість рядів світильників в конкретній кімнаті квартири;
 H – висота конкретної кімнати квартири, м;
 h_p – висота робочої поверхні над підлогою в конкретній кімнаті квартири, м;
 B – ширина конкретної кімнати квартири, м;
 $[L/h]$ – числове значення коефіцієнта світильника (вибираємо із таблиці 3.4).

Оскільки більшість кімнат у нашому проєкті мають побутове призначення, а згідно з таблицею 2.2 основна концентрація світла повинна припадати на підлогу або робочу зону (наприклад, стіл чи аналогічні поверхні), приймаємо середнє значення коефіцієнта світильника для всіх приміщень: $[L/h] = 0,55$ – концентрований розподіл світла відповідно до типу кривої.

Щодо висоти умовної робочої поверхні над підлогою, то її стандартне значення, яке зазвичай приймають, дорівнює: $h_p = 0,8$ м.

Враховуючи всі вищенаведені параметри, переходимо до розрахунку за формулою 2.3, щоб отримати необхідні результати:

$$N_{p(\text{спальна кімната})} = \frac{2,7}{(2,5-0,8) \cdot 0,55} = 2,88 \approx 3 \text{ ряди ;}$$

$$N_{p(\text{лоджія})} = \frac{0,9}{(2,5 - 0,8) \cdot 0,55} = 0,95 \approx 1 \text{ ряд ;}$$

$$N_{p(\text{вітальня})} = \frac{3,48}{(2,5 - 0,8) \cdot 0,55} = 3,7 \approx 4 \text{ ряди ;}$$

$$N_{p(\text{кухня})} = \frac{2,4}{(2,5 - 0,8) \cdot 0,55} = 2,6 \approx 3 \text{ ряди ;}$$

$$N_{p(\text{туалет})} = \frac{0,8}{(2,5 - 0,8) \cdot 0,55} = 0,85 \approx 1 \text{ ряд ;}$$

$$N_{p(\text{ванна кімната})} = \frac{1,48}{(2,5 - 0,8) \cdot 0,55} = 1,58 \approx 2 \text{ ряди ;}$$

$$N_{p(\text{гардеробна кімната})} = \frac{0,5}{(2,5 - 0,8) \cdot 0,55} = 0,53 \approx 1 \text{ ряд ;}$$

$$N_{p(\text{передпокій})} = \frac{1,5}{(2,5 - 0,8) \cdot 0,55} = 1,6 \approx 2 \text{ ряди .}$$

Далі проведемо розрахунок максимальної допустимої відстані між рядами світильників для кожного приміщення, використовуючи відповідну формулу.

$$L_{max} = \frac{B}{N_p} , \quad (2.4)$$

де:

B – ширина конкретної кімнати квартири, м;

N_p – кількість рядів світильників в конкретній кімнаті квартири;

$L_{\max}$ – максимальна допустима відстань між рядами світильників в конкретній кімнаті квартири, м.

Отже матимемо, що:

$$L_{\max(\text{спальна кімната})} = \frac{2,7}{3} = 0,9 \text{ м};$$

$$L_{\max(\text{лоджія})} = \frac{0,9}{1} = 0,9 \text{ м};$$

$$L_{\max(\text{вітлальня})} = \frac{3,48}{4} = 0,87 \text{ м};$$

$$L_{\max(\text{кухня})} = \frac{2,4}{3} = 0,8 \text{ м};$$

$$L_{\max(\text{туалет})} = \frac{0,8}{1} = 0,8 \text{ м};$$

$$L_{\max(\text{ванна кімната})} = \frac{1,48}{2} = 0,74 \text{ м};$$

$$L_{\max(\text{гардеробна кімната})} = \frac{0,5}{1} = 0,5 \text{ м};$$

$$L_{\max(\text{передпокій})} = \frac{1,5}{2} = 0,75 \text{ м}.$$

Наступним етапом буде визначення висоти підвісу світильника над робочою поверхнею, використовуючи відповідну формулу для розрахунку:

$$h = \frac{L_{max}}{[L/h]}, \quad (2.5)$$

де:

L_{max} – максимальна допустима відстань між рядами світильників в конкретній кімнаті квартири, м.

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

h – допустима висота розміщення світильників над робочою поверхнею в конкретної кімнаті квартири, м.

Отже, матимемо наступні результати:

$$h_{\text{(спальна кімната)}} = \frac{0,9}{0,55} = 1,6 \text{ м};$$

$$h_{\text{(лоджія)}} = \frac{0,9}{0,55} = 1,6 \text{ м};$$

$$h_{\text{(вітальня)}} = \frac{0,87}{0,55} = 1,58 \text{ м};$$

$$h_{\text{(кухня)}} = \frac{0,8}{0,55} = 1,45 \text{ м};$$

$$h_{\text{(туалет)}} = \frac{0,8}{0,55} = 1,45 \text{ м};$$

$$h_{\text{(ванна кімната)}} = \frac{0,74}{0,55} = 1,34 \text{ м};$$

$$h_{\text{(гардеробна кімната)}} = \frac{0,5}{0,55} = 0,9 \text{ м};$$

$$h_{\text{(передпокій)}} = \frac{0,75}{0,55} = 1,36 \text{ м.}$$

Наступним етапом буде розрахунок висоти звисання світильника від стелі за відповідною формулою:

$$h_z = H - h_p - h, \quad (2.6)$$

де:

H – висота конкретної кімнати квартири, м;

h_p – висота робочої поверхні над підлогою в конкретній кімнаті квартири, м;

h – допустима висота розміщення світильників над робочою поверхнею в конкретній кімнаті квартири, м.

h_z – висоту звисання світильника від стелі в конкретній кімнаті квартири, м.

Матимемо:

$$h_{z(\text{спальна кімната})} = 2,5 - 0,8 - 1,6 = 0,1 \text{ м};$$

$$h_{z(\text{лоджія})} = 2,5 - 0,8 - 1,6 = 0,1 \text{ м};$$

$$h_{z(\text{вітальня})} = 2,5 - 0,8 - 1,58 = 0,12 \text{ м};$$

$$h_{z(\text{кухня})} = 2,5 - 0,8 - 1,45 = 0,25 \text{ м};$$

$$h_{z(\text{туалет})} = 2,5 - 0,8 - 1,45 = 0,25 \text{ м};$$

$$h_{z(\text{ванна кімната})} = 2,5 - 0,8 - 1,34 = 0,36 \text{ м};$$

					ДП.141.042.022.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$h_{\text{з(гардеробна кімната)}} = 2,5 - 0,8 - 0,9 = 0,8 \text{ м};$$

$$h_{\text{з(передпокій)}} = 2,5 - 0,8 - 1,36 = 0,34 \text{ м}.$$

Висота звисання світильника в кімнатах квартирної приміщення може бути обрана з урахуванням технологічної доцільності. Ми визначили максимально допустимі межі для встановлення світильників у кожному приміщенні, а фактичну висоту можна коригувати в межах від 0 до розрахованих за формулою 2.6 значень.

Тепер переходимо до визначення чисельного значення індексу кожної кімнати квартири за формулою 2.2:

$$i_{\text{(спальна кімната)}} = \frac{13}{1,6 \cdot (4,8 + 2,7)} = 1,08;$$

$$i_{\text{(лоджія)}} = \frac{1,9}{1,6 \cdot (2,2 + 0,9)} = 0,38;$$

$$i_{\text{(вітальня)}} = \frac{15,2}{1,58 \cdot (4,37 + 3,48)} = 1,23;$$

$$i_{\text{(кухня)}} = \frac{7,8}{1,45 \cdot (3,25 + 3,4)} = 0,8;$$

$$i_{\text{(туалет)}} = \frac{1,2}{1,45 \cdot (1,48 + 0,8)} = 0,36;$$

$$i_{\text{(ванна кімната)}} = \frac{2,5}{1,34 \cdot (1,74 + 1,48)} = 0,58;$$

$$i_{\text{(гардеробна кімната)}} = \frac{0,8}{0,9 \cdot (1,6 + 0,5)} = 0,42 ;$$

$$i_{\text{(передпокій)}} = \frac{6,6}{1,36 \cdot (4,35 + 1,5)} = 0,83 .$$

Тепер визначимо коефіцієнт використання світлового потоку η . Для цього необхідно врахувати такі параметри:

- тип джерела світла (у нашому проєкті – LED-лампи, вибрані у другому розділі);
- індекс приміщення, який визначено за формулою 2.2;
- коефіцієнти відбиття поверхонь приміщення (ρ_c , ρ_{cm} , ρ_n).

В залежності від рівня пилового забруднення приміщення поділяються на три категорії:

- світлі приміщення: $\rho_c=70\%$; $\rho_{cm}=50\%$; $\rho_n=30\%$;
- приміщення з незначним пиловим виділенням: $\rho_c=50\%$; $\rho_{cm}=30\%$; $\rho_n=10\%$;
- приміщення зі значним пиловим забрудненням: $\rho_c=30\%$; $\rho_{cm}=10\%$; $\rho_n=10\%$.

Оскільки всі приміщення у нашому проєкті є побутовими, приймаємо їх як світлі, тобто коефіцієнти відбиття будуть: $\rho_c=70\%$; $\rho_{cm}=50\%$; $\rho_n=30\%$.

Для остаточного визначення коефіцієнта використання світлового потоку η використаємо дані таблиці 2.6, яка містить його значення відповідно до індексу приміщення та коефіцієнтів відбиття.

Таблиця 2.6 – Значення коефіцієнта світлового розподілу відповідно до умов приміщення

ρ_c , %	ρ_{cm} , %	ρ_n , %	Коефіцієнт використання світлового потоку η , % при індексі приміщення i								
			0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,25	1,5
70	50	30	0,25	0,31	0,35	0,38	0,41	0,43	0,45	0,47	0,50
50	30	10	0,23	0,29	0,33	0,36	0,38	0,40	0,32	0,44	0,46
30	10	10	0,20	0,26	0,30	0,22	0,35	0,37	0,49	0,41	0,44

Враховуючи всі вищенаведені параметри та дані таблиці 2.6, визначимо значення коефіцієнта використання світлового потоку η для кожної кімнати нашої квартири.

Таким чином, отримуємо наступні обрані результати:

- спальна кімната $\eta = 0,45$;
- лоджія $\eta = 0,25$;
- вітальня $\eta = 0,47$;
- кухня $\eta = 0,38$;
- туалет $\eta = 0,25$;
- ванна кімната $\eta = 0,31$;
- гардеробна кімната $\eta = 0,25$;
- передпокій $\eta = 0,38$.

Тепер розрахуємо сумарний світловий потік освітлювальної системи для кожної конкретної кімнати квартири:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_z \cdot z}{\eta}, \quad (2.7)$$

де:

Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у конкретній кімнаті квартири, Лм;

E_n – нормоване значення освітленості для конкретної кімнати квартири, Лк;

S – площа освітлюваної поверхні в конкретній кімнаті квартири, м² ;

k_z – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт мінімальної освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку конкретної кімнати квартири.

Враховуючи дані таблиць 2.1, 2.2 та 2.5, виконаємо розрахунок відповідно до формули 2.7:

$$\Phi_{\Sigma \text{спальна кімната}} = \frac{150 \cdot 13 \cdot 1 \cdot 1,15}{0,45} = 4983 \text{ Лм ;}$$

$$\Phi_{\Sigma \text{лоджія}} = \frac{50 \cdot 1,9 \cdot 1 \cdot 1,15}{0,25} = 437 \text{ Лм ;}$$

$$\Phi_{\Sigma \text{вітальня}} = \frac{150 \cdot 15,2 \cdot 1 \cdot 1,15}{0,47} = 5579 \text{ Лм ;}$$

$$\Phi_{\Sigma \text{кухня}} = \frac{150 \cdot 7,8 \cdot 1 \cdot 1,15}{0,38} = 1346 \text{ Лм ;}$$

$$\Phi_{\Sigma \text{туалет}} = \frac{50 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1,15}{0,25} = 276 \text{ Лм ;}$$

$$\Phi_{\Sigma \text{ванна кімната}} = \frac{50 \cdot 2,5 \cdot 1 \cdot 1,15}{0,31} = 463 \text{ Лм ;}$$

$$\Phi_{\Sigma \text{гардеробна кімната}} = \frac{50 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1,15}{0,25} = 184 \text{ Лм ;}$$

$$\Phi_{\Sigma \text{передпокій}} = \frac{50 \cdot 6,6 \cdot 1 \cdot 1,15}{0,38} = 999 \text{ Лм .}$$

2.3 Планування освітлення: вибір типу та кількості світильників для кожної кімнати квартири

Визначення оптимальної кількості світильників для кожної кімнати квартири виконаємо на основі відповідної формули:

$$N^* = \frac{S}{L_{\max}^2}, \quad (2.8)$$

де:

N^* – кількість LED-світильників в конкретній кімнаті квартири, шт.;

S – площа освітлюваної поверхні в конкретній кімнаті квартири, м^2 ;

$L_{\max}$ – максимальна допустима відстань між рядами світильників в конкретній кімнаті квартири, м.

Отримаємо:

$$N^*_{\text{спальна кімната}} = \frac{13}{0,9^2} = 16 \text{ шт};$$

$$N^*_{\text{лоджія}} = \frac{1,9}{0,9^2} = 2 \text{ шт};$$

$$N^*_{\text{вітальня}} = \frac{15,2}{0,87^2} = 20 \text{ шт};$$

$$N^*_{\text{кухня}} = \frac{7,8}{0,8^2} = 12;$$

$$N^*_{\text{туалет}} = \frac{1,2}{0,8^2} = 2 \text{ шт};$$

$$N^*_{\text{ванна кімната}} = \frac{2,5}{0,74^2} = 5 \text{ шт};$$

$$N^*_{\text{гардеробна кімната}} = \frac{0,8}{0,5^2} = 3 \text{ шт};$$

$$N^*_{\text{передпокій}} = \frac{6,6}{0,75^2} = 12 \text{ шт.}$$

Наступним кроком скоригуємо число світильників та визначимо їх фактичну кількість, яка забезпечує рівномірне розміщення у кожному ряді. Це значення повинно бути кратним кількості рядів, що дозволить зберегти оптимальну схему освітлення приміщення.

$$N^*_{\text{ск.}} = \frac{N^*}{N_p}, \quad (2.9)$$

де:

$N^*_{\text{ск.}}$ – скорегована кількість LED-світильників в конкретній кімнаті квартири у відповідності до розрахованої за формулою 2.3 кількості рядів, шт./ряд;

N^* – кількість LED-світильників в конкретній кімнаті квартири, шт.;

N_p – кількість рядів світильників в конкретній кімнаті квартири.

Будемо мати, що:

$$N^*_{\text{ск. спальна кімната}} = \frac{16}{3} = 5,3 \rightarrow \text{приймаємо 6 шт./ряд};$$

$$N^*_{\text{ск. лоджія}} = \frac{2}{1} = 2 \rightarrow \text{приймаємо 1 шт./ряд};$$

$$N^*_{\text{ск. вітальня}} = \frac{20}{4} = 5 \rightarrow \text{приймаємо 8 шт./ряд};$$

$$N^*_{\text{ск. кухня}} = \frac{12}{3} = 4 \rightarrow \text{приймаємо 6 шт./ряд};$$

$$N^*_{\text{ск. туалет}} = \frac{2}{1} = 2 \rightarrow \text{приймаємо 1 шт./ряд};$$

$$N_{\text{ск. ванна кімната}}^* = \frac{5}{2} = 2,5 \rightarrow \text{приймаємо 2 шт./ряд};$$

$$N_{\text{ск. гардеробна кімната}}^* = \frac{3}{1} = 3 \rightarrow \text{приймаємо 1 шт./ряд};$$

$$N_{\text{ск. передпокій}}^* = \frac{12}{2} = 6 \rightarrow \text{приймаємо 6 шт./ряд}.$$

Оскільки площа приміщень лоджії, туалету та гардеробної є невеликою, найбільш доцільним рішенням буде встановлення одного потужного світильника замість більшої кількості, розрахованої за формулою 2.9.

На рисунку 2.3 наведено схему розташування точкових світильників, яка враховує проведені розрахунки. У ній враховано:

- кількість рядів світильників;
- необхідну кількість світильників;
- оптимальну відстань між ними у кожному ряду;

Ця схема відповідає поставленому завданню та вихідним даним дипломного проєкту.

Тепер залишається вибрати тип світильників у відповідності до розрахованого сумарного значення світлового потоку за формулою 2.7. Для зручності вибір точкових світильників для кожної із кімнат зведемо до таблиці 2.7.

Однак, при виборі точкових світильників також слід враховувати, що:

$$\Phi_{\Sigma} \leq \Phi_{\Sigma \text{ виб. світ. }} \quad (2.10)$$

де:

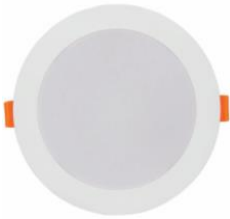
Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у конкретній кімнаті квартири, Лм;

$\Phi_{\Sigma \text{ виб. світ.}}$ – загальний світловий потік вибраних типів світильників у конкретній кімнаті квартири, Лм;

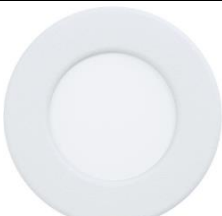
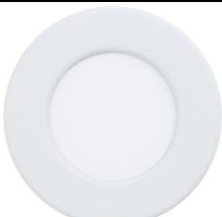
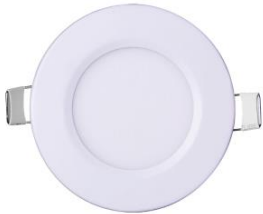


Рисунок 2.3 – План розміщення точкових світильників у кімнатах квартири з урахуванням виконаних розрахунків

Таблиця 2.7 – Оптимальний вибір типу світильників для кімнат квартирнього приміщення

Назва кімнати квартирнього приміщення	Розрахункове значення сумарного світлового потоку у приміщенні Φ_{Σ} , Лм	Тип обраного світильника, та його світловий потік, Φ світильника, Лм	Скорегована кількість світильників в кімнаті квартирнього приміщення $N_{ск}^*$, шт.	Загальний світловий потік вибраних типів світильників $\Phi_{\Sigma \text{ виб. світ.}}$, Лм
1	2	3	4	5
Спальна кімната	4983	 NOWODVORSKI Φ світильника = 850 Лм	6	5100

Продовження таблиці 2.7

1	2	3	4	5
Лоджія	437	 NOWODVORSKI Φ світильника = 500 Лм	1	500
Вітальня	5579	 BIT S Φ світильника = 700 Лм	8	5600
Кухня	1346	 ESTARES CLN-RT Φ світильника = 300 Лм	6	1800
Туалет	276	 AZZARDO Φ світильника = 300 Лм	1	300
Ванна кімната	463	 AZZARDO Φ світильника = 250 Лм	2	500
Гардеробна кімната	184	 JAZZWAY PPL-R Φ світильника = 200 Лм	1	200

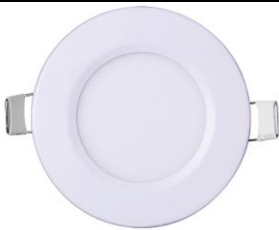
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.022.ПЗ

Аркуш

47

Продовження таблиці 2.7

1	2	3	4	5
Передпокій	999	 JAZZWAY PPL-R $\Phi_{\text{світильника}} = 200 \text{ Лм}$	6	1200

2.4 Розробка структурної схеми автоматизованої енергозберігаючої системи освітлення квартирної приміщення на базі Led-технологій

З точки зору економічної доцільності та логічної побудови схеми автоматичного керування Led-освітлення кімнат нашої квартири, автоматизувати освітлення будемо в тих кімнатах де мешканці квартири перебуватимуть найбільшу кількість свого часу. До таких кімнат відноситься: вітальня, кухня та спальня кімната.

Для побудови автоматизованої енергозберігаючої системи освітлення квартирної приміщення в зазначених вище кімнатах квартири ми будемо використовувати наступні датчики, а саме: ємнісний датчик присутності, фотоелектричний датчик руху та датчик освітленості.

Фотоелектричний датчик відстежуватиме рух об'єктів через дверний отвір та реєструватиме кількість осіб, які зайшли до приміщення, відображаючи цю інформацію на екрані.

Ємнісний датчик розпізнаватиме присутність людей у кімнаті, реагуючи на їхні рухи, що дозволить системі коригувати дані у випадку неточного визначення кількості осіб. Таким чином, система матиме актуальну інформацію про перебування людей у приміщенні та своєчасно оновлюватиме дані на екрані.

Датчик освітленості здійснюватиме контроль рівня світла в приміщенні, що дозволить системі активувати освітлювальні прилади лише тоді, коли освітленість опуститься нижче встановленого користувачем порогу.

Отже, автоматизована енергозберігаюча система освітлення квартирної приміщення для кожної із обраних вище кімнат квартири повинна мати такі основні частини: ємнісний датчик, фотоелектричні датчики (три пари «передавач-приймач»), датчик освітлення, система керування, блок керування, блок індикації, драйвер, блок живлення та стабілізатор (див. рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Структурна схема автоматизованої енергозберігаючої системи освітлення квартирної приміщення на базі Led-технологій

Ємнісний датчик представлений у вигляді металевого фольгового покриття, він розташовується на підлозі та визначає присутність однієї та більше людей у приміщенні. Для вимірювання його ємності застосовується генератор електричних коливань, частота якого змінюється відповідно до параметрів датчика. Вихідний сигнал надходить до системи керування, яка, працюючи в режимі частотоміра, відстежує зміну частоти, а значить і коливання ємності датчика. Тобто при появі об'єкта в зоні чутливості змінюється діелектрична проникність цього простору, що призводить до

зміни ємності конденсатора й викликає спрацювання датчика. В нашому випадку будемо використовувати ємнісний датчик ТТР223В (див. рис. 2.5). Кількість таких датчиків буде рівна кількості кімнат де ми будемо впроваджувати автоматизацію освітлення, тобто кількість ємнісних датчиків буде рівна: $n_{\epsilon Д} = 3$ шт. Схема блоку ємнісного датчика зображена на рисунку 2.6.



Рисунок 2.5 – Ємнісний датчик ТТР223В

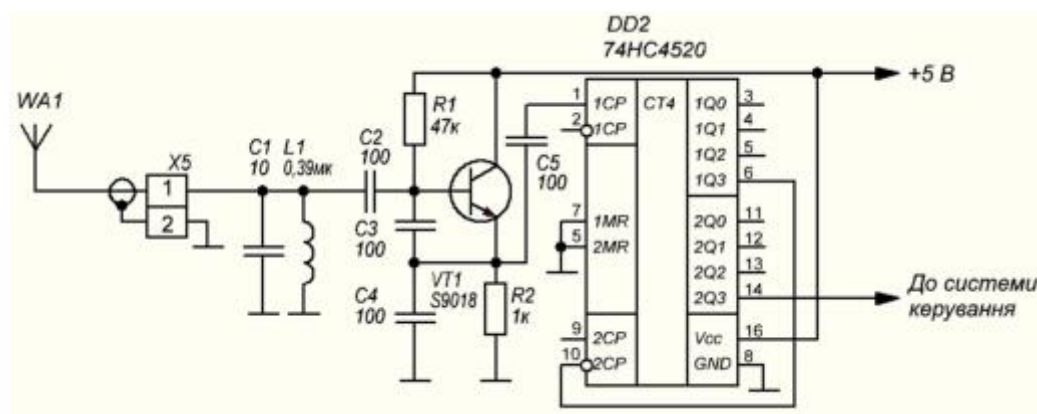


Рисунок 2.6 – Схема блоку ємнісного датчика

Як датчик освітлення у нашій системі будемо використовувати фоторезистор, який вимірює рівень зовнішнього освітлення. При цьому він буде розташований так, щоб на нього не впливало світло з приміщення (з керованого освітлювального пристрою), що дозволить отримувати коректні показники освітленості та забезпечувати точну роботу системи. Такі датчики будуть встановлені біля вікон кожної із обраних кімнат, а їх загальна

кількість становитиме: $n_{до} = 3$ шт. Схема блоку датчика освітлення зображена на рисунку 3.7.

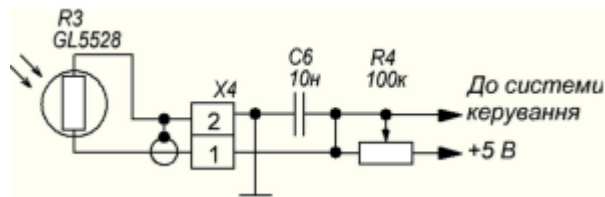


Рисунок 2.7 – Схема блоку датчика освітлення

Фотоелектричні датчики в нашій системі будуть представлені у вигляді заводських пристроїв, які монтуватимуться у дверному отворі. Вони складаються з передавача Datalogic S3Z-F01 та приймача Datalogic S3Z-PH-2-B01-NN (див. рис. 2.8), розташованих навпроти один одного, щоб світловий промінь від передавача безперешкодно досягав приймача.

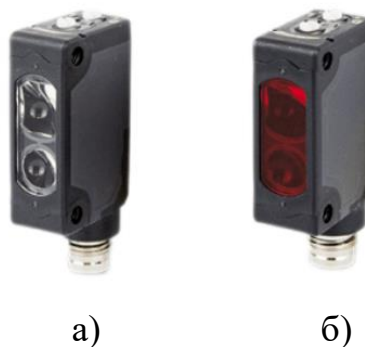


Рисунок 2.8 – Фотоелектричний датчик Datalogic:

а) – приймач Datalogic S3Z-PH-2-B01-NN; б) – передавач Datalogic S3Z-F01

Для точного визначення переміщення людей встановлюються три пари фотоелектричних датчиків Datalogic, розміщені в горизонтальному ряду. Під час проходження особи світлові промені поступово перериваються, що дозволяє системі коректно реєструвати кількість осіб, які заходять у приміщення.

Загальна кількість фотоелектричних датчиків Datalogic становитиме:

					ДП.141.042.022.ПЗ	Аркуш
						51
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_{\text{ФД}} = 3 \cdot n_{\text{дверей}}, \quad (2.11)$$

де:

$n_{\text{ФД}}$ – кількість фотоелектричних датчиків Datalogic, шт.;

$n_{\text{дверей}}$ – кількість дверних отворів у які будуть змонтовані фотоелектричні датчики, шт.

На рисунку 2.9 зображено схему підключення трьох фотоелектричних приймачів Datalogic S3Z-PH-2-B01-NN та передавачів Datalogic S3Z-F01.

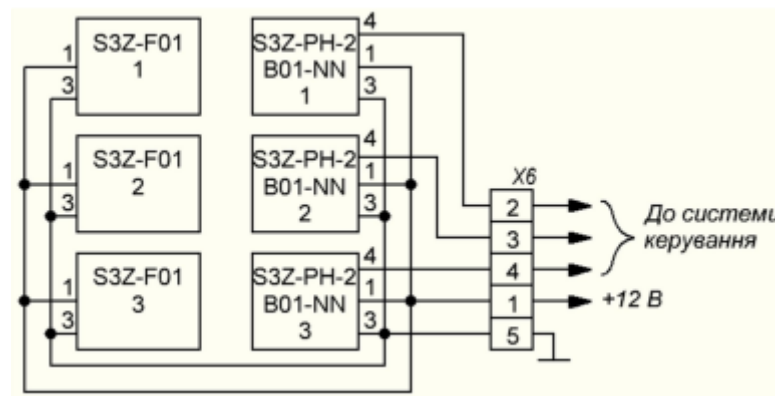


Рисунок 2.9 – Схема підключення трьох приймально-передавальних фотоелектричних пар (датчиків) Datalogic

Кількість дверних отворів в які будуть змонтовані фотоелектричні датчики становитиме значенню 3 шт., так як кімнати у яких буде автоматизоване освітлення три.

Отримаємо:

$$n_{\text{ФД}} = 3 \cdot 3 = 9 \text{ шт.}$$

Система керування приймає сигнали з датчиків, аналізує інформацію з них та керує освітлювальним пристроєм через драйвер. Система також може

відображати свій стан та давати можливість керувати нею за допомогою відповідної периферії.

Система керування будемо розробляти на основі мікроконтролера Atmega328P, так як даний мікроконтроллер має всі необхідні та важливі характеристики для реалізації нашої системи:

- 32 Кб внутрішньої програмної флеш-пам'яті;
- 2 Кб внутрішньої оперативної пам'яті;
- 1 Кб енергонезалежної внутрішньої пам'яті;
- два 8-бітні таймери-лічильники ;
- один 16-бітний таймер-лічильник;
- 8-канальний 10-бітний АЦП;
- 23 програмовані лінії вводу-виводу ; • робоча напруга від 2,7 В до 5,5 В;
- продуктивність дорівнює 16 мільйонам операцій за секунду при частоті 16 МГц.

Як видно із характеристик обраного мікроконтролера, напруга живлення його схеми складає 5 В, що є допустимим значенням для нормального функціонування МК та його взаємодії з іншими елементами схеми. Обсяги програмної та оперативної пам'яті відповідають потребам системи, оскільки її функціонування не передбачає обробку значних масивів даних, а закладений алгоритм є досить простим, що зумовлює невеликий об'єм програмного коду. Відтак, продуктивність мікропроцесора також є достатньою для виконання поставлених завдань.

На рисунку 2.10 представлено розпіновку мікроконтролера, що демонструє функціональні можливості його виводів. У процесі програмування кожен задіяний вивід отримує відповідну функцію відповідно до доступних варіантів налаштувань.

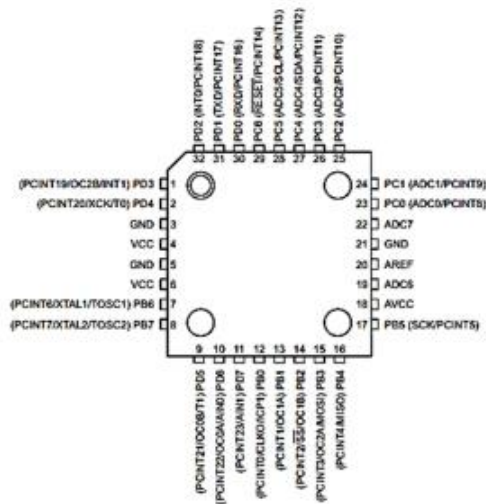


Рисунок 2.10 – Розпіновка мікроконтролера Atmega328 у корпусі LQFP32

Мікроконтролер має 23 програмовані лінії вводу-виводу, розташовані на трьох окремих портах. Ці лінії дозволяють мікропроцесору керувати підключеними пристроями через порти, встановлюючи логічні рівні «0» та «1» або зчитуючи їхні значення.

У розпіновці на рисунку 2.10 кожен вивід позначається, наприклад, як PB0, де B – це назва порту (B, C, D), а 0 – номер лінії (0 – 7). Загальна кількість ліній вводу-виводу забезпечує можливість підключення різних периферійних компонентів, таких як дисплеї, світлодіодні індикатори, кнопки, транзисторні ключі та датчики. Це гарантує достатню гнучкість для реалізації необхідної функціональності пристрою.

Фотоелектричні датчики формують на виході логічні сигнали «0» та «1», реагуючи на переривання або проходження світлового променя. Їхні стани можна зчитувати через лінії портів мікроконтролера, налаштовані на вхід, оскільки частота зміни сигналів у таких датчиках не є високою, що дозволяє мікропроцесору обробляти отримані дані без затримок.

Наявність у мікроконтролері інтегрованих модулів АЦП та таймерів відіграє важливу роль. АЦП забезпечує можливість зчитування аналогового сигналу з датчика освітлення, перетворюючи його у цифровий код для подальшої обробки. На розпіновці мікроконтролера (див. рис. 2.10) відповідні виводи позначені як ADC0, де 0 вказує номер каналу (0 – 7).

Ємнісний датчик використовує генератор для вимірювання ємності, що потребує визначення його робочої частоти. Оскільки ця частота може варіюватися від сотень кілогерц до десятків мегагерц, сам мікроконтролер не здатен безпосередньо рахувати таку кількість імпульсів за секунду, одночасно виконуючи інші завдання. Для розв'язання цієї проблеми застосовують таймери розрядністю 8 та 16 біт, які дозволяють ефективно підраховувати імпульси та забезпечують точність вимірювань.

Таймер – це модуль, який виконує підрахунок імпульсів (режим лічильника) та порівнює їхню кількість із заданим значенням (режим порівнювання). Імпульси можуть надходити як від внутрішнього тактового генератора, так і від зовнішніх пристроїв, підключених до відповідного виводу мікроконтролера. Таймер самостійно записує кількість імпульсів у спеціальний регістр, що дозволяє розвантажити мікропроцесор, зменшуючи навантаження на його основні обчислювальні ресурси.

Розрядність таймера визначає розмір регістра, в якому зберігається значення лічильника імпульсів. 8-бітний таймер здатний рахувати до 256 імпульсів, а 16-бітний – до 65536, перш ніж досягне переповнення. Мікроконтролер може зчитувати значення з регістра лічильника в будь-який момент, але якщо регістр переповнюється, дані анулюються, що може призвести до некоректних результатів. Таким чином, таймер з більшою розрядністю потребує менш частих звернень до регістра для зчитування та обнулення імпульсів, оптимізуючи роботу системи.

Щоб правильно перетворювати кількість імпульсів на значення частоти, регістр має зчитуватися через рівні проміжки часу. Це завдання виконує додатковий таймер, який перериває роботу основної програми та ініціює зчитування даних з регістра лічильника, забезпечуючи точність вимірювань. Такий підхід дозволяє уникнути втрати даних і покращити продуктивність системи.

У кінцевому варіанті система, що складається з двох таймерів, виконує функцію частотоміра, що дозволяє мікроконтролеру визначати частоту

генератора, а отже й ємність датчика. Входи лічильників таймерів на мікросхемі позначаються як T0, де 0 вказує номер таймера (0 або 1). Вихід генератора ємнісного датчика підключається до входу таймера T1 (вивід 9), забезпечуючи точність вимірювань.

Через порти вводу-виводу, аналогічно до фотоелектричного датчика, здійснюється зчитування сигналів із блоку керування, а також керування блоком індикації та драйвером.

Окрім стандартних виводів мікросхеми, які використовуються для обміну даними, існують спеціальні виводи: Vcc та AVcc – забезпечують живлення цифрової та аналогової частини мікроконтролера відповідно; GND – загальний провід (земля); XTAL – виводи для підключення кварцового резонатора, який стабілізує тактову частоту роботи пристрою.

Кількість мікроконтролерів необхідних для реалізації розроблюваної нами системи потрібно 3 шт., бо автоматизувати систему освітлення ми будемо в трьох кімнатах нашої квартири.

На рисунку 2.11 зображено схему підключення головного елемента системи керування – мікроконтролера Atmega328.

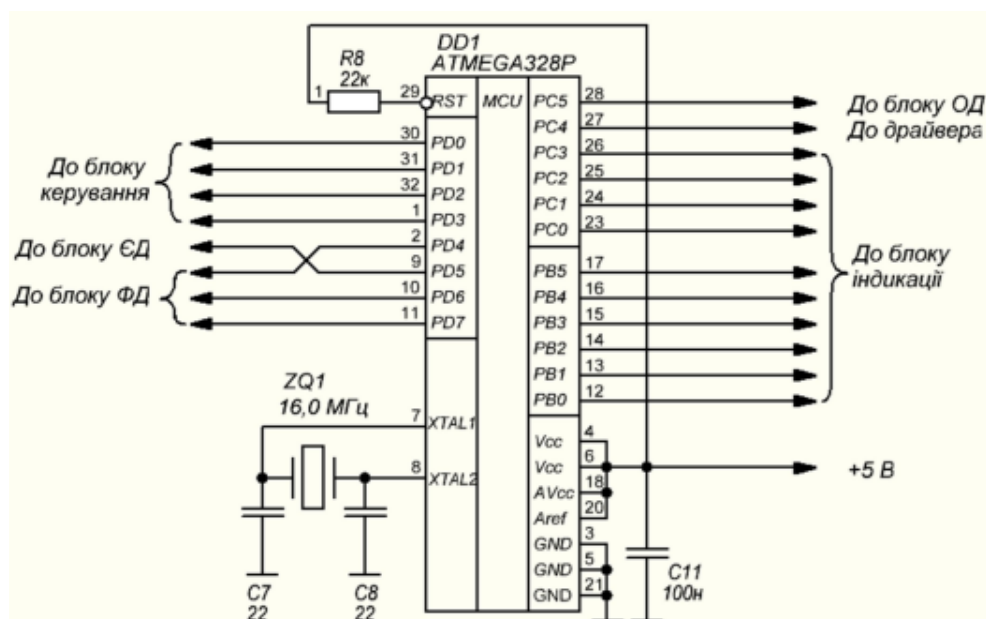


Рисунок 2.11 – Схема підключення мікроконтролера у системі керування

Блок керування нашою автоматизованою енергозберігаючою системою освітлення квартирної приміщення на базі Led-технологій в обраних кімнатах буде складатись із чотирьох кнопок, які виконуватимуть функції калібрування ємності та рівня освітлення, скидання лічильника осіб у приміщенні та управління у ручному режимі. На рисунку 2.12 зображено схему блоку керування.

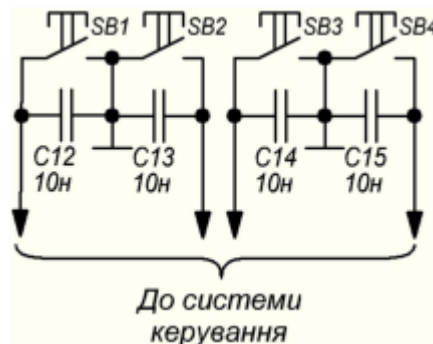


Рисунок 2.12 – Схема блоку керування

Блок індикації в кожній із обраних кімнат де ми будемо автоматизувати освітлення складатиметься з двоцифрового семисегментного дисплея MCD-3621A (див. рис. 2.13), який показуватиме поточну кількість осіб у приміщенні, а також трьох світлодіодних індикаторів: «Активація» – сигналізує про спрацювання датчиків і активацію освітлення; «Помилка» – вказує на некоректну роботу датчиків або неправильний підрахунок осіб у приміщенні; «Ручне керування» – активує можливість управління освітленням вручну за допомогою кнопок.

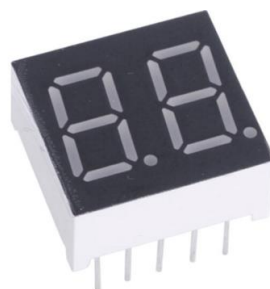


Рисунок 2.13 – Семисегментний дисплея MCD-3621A

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.022.ПЗ

Аркуш

57

Схема блоку індикації зображена на базі семисегментного дисплея MCD-3621A показано на рисунку 2.14.

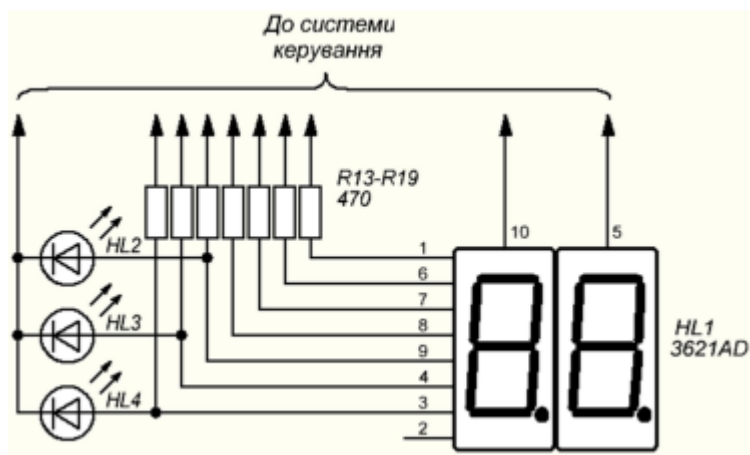


Рисунок 2.14 – Схема блоку індикації

Драйвер – це модуль, що відповідає за перетворення інформаційного сигналу в енергетичний. Тобто основне завдання даного блоку – це приймати сигнали з боку системи керування та на основі них керувати потужними освітлювальними приладами, де присутні значні напруги та протікають значні струми, оперувати якими мікроконтролер без додаткового перетворювача не може. Система керування подає на вхід драйвера сигнал, що відповідає за активацію приладу освітлення. Цей сигнал представляється у вигляді логічних станів «0» (вимкнено) та «1» (увімкнено). Таким чином відбувається керування силовою частиною схеми, яка в свою чергу комутує живлення освітлювального приладу без ризику виходу з ладу усієї схеми у випадку, якщо на виході драйвера сталася неполадка, що може привести до виходу зі строю одного або кілька силових елементів, які оперують підвищеними напругами.

При комутації змінної напруги доцільно використовувати симістори – елемент, який пропускає струм в обидва напрямки при прикладенні на керуючий електрод деякого струму як додатнього, так і від’ємного знаку. Симістор можна порівняти з комутатором та, на відміну від реле, він не має внутрішніх механічних контактів, перемикається швидше та тихіше і має

більш компактний корпус. Даний елемент може керувати навантаженням при змінній мережевій напрузі 220 В та струму у декілька ампер, в залежності від потужності симістора. В окремих випадках для запобігання його перегріву на нього ставлять радіатор. Тому в нашому випадку схему драйвера ми будемо реалізовувати якраз на симісторі. Схема блоку драйвера наведена на рисунку 2.15.

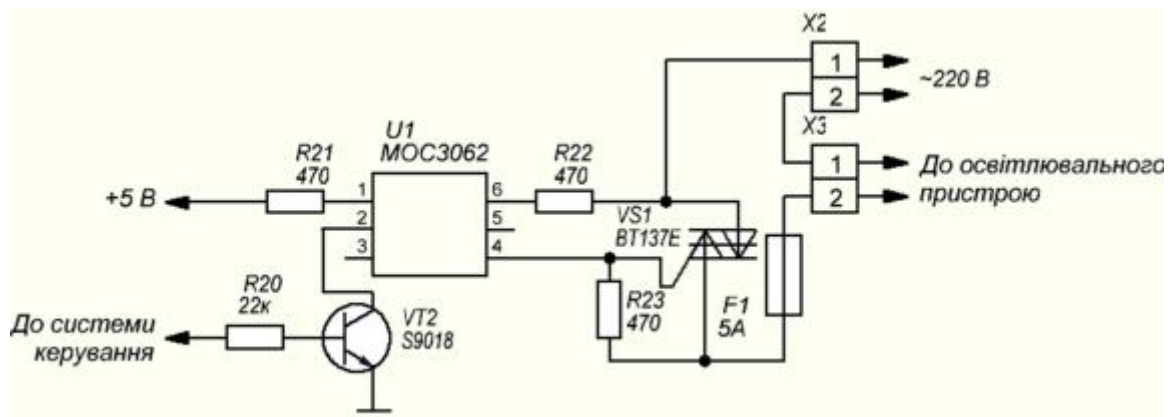


Рисунок 2.15 – Схема блоку драйвера

Блок живлення обиратимемо з існуючих на ринку, але він повинен відповідати наступним вимогам:

- напруга живлення – 12 В;
- струм живлення – від 1 А.

Цей компонент буде виконувати перетворення мережевої змінної напруги 220 В у стабільну постійну 12 В, враховуючи мінімальну напругу живлення фотоелектричних датчиків та максимально допустиму напругу мікросхеми стабілізатора.

Блок живлення забезпечує стабільну роботу фотоелектричних датчиків, які функціонують у діапазоні 10 В – 30 В, а також стабілізатора, для якого рекомендована напруга від 7 В до 12 В з метою уникнення надмірного нагріву.

Стабілізатор здійснює перетворення постійної напруги 12 В на стабільну 5 В, забезпечуючи живлення всієї решти системи. Він також

ефективно знижує пульсації вихідної напруги блоку живлення, підвищуючи її стабільність і запобігаючи можливим збоям у роботі пристрою.

Схема підключення блока живлення та стабілізатора зображена на рисунку 2.16.

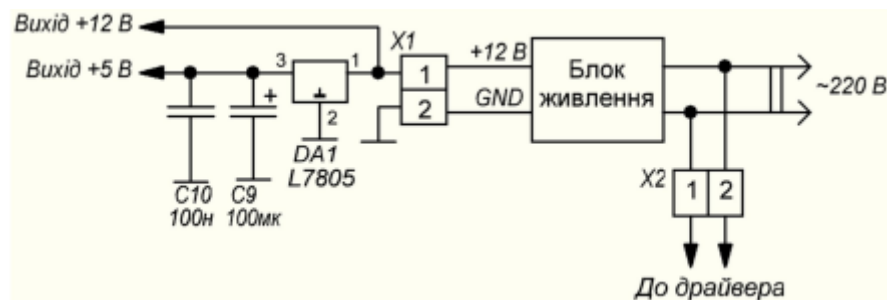


Рисунок 2.16 – Схема підключення блока живлення та стабілізатора

У системі, окрім блока живлення, мережевою напругою живиться також освітлювальні пристрої, а їх живлення керується драйвером через спеціальні комутаційні елементи. Це гарантує стабільну роботу освітлення та надійність у функціонуванні всієї системи кожної із обраних кімнат квартири де вона буде встановлена.

2.5 Розробка принципової схеми автоматизованої енергозберігаючої системи освітлення квартирному приміщенні на базі Led-технологій

2.5.1 Розробка ємнісного датчика

Ємнісний датчик (на принциповій схемі він позначений, як WA1) являє собою металеве покриття, розташоване під діелектричним матеріалом, таким як лінолеум або ковролін. Для його виготовлення використовується фольга, оскільки товщина металу не має критичного значення для детекції присутності, а тонкі шари значно простіше встановлювати та адаптувати до поверхні підлоги.

Покриття може бути не суцільним, а складатися з окремих відрізків. У такому випадку всі сегменти необхідно надійно з'єднати електрично по периметру, щоб забезпечити коректну роботу датчика.

До краю фольги припаюється провід, який підключається до входу генератора у системі.

Якщо використовується алюмінієва фольга, процес пайки слід виконувати з використанням активних (кислотних) флюсів. Вони ефективно розчиняють оксидну плівку на поверхні металу, забезпечуючи надійне з'єднання провідника з фольгою та якісне сплавлення її з припоєм.

Для зменшення сумарної номінальної ємності датчика та підвищення його чутливості, а також для захисту від зовнішніх електромагнітних перешкод, провід повинен бути екранованим. Оптимальним варіантом для цієї мети є коаксіальні кабелі, наприклад, марки RG-6.

Чутливий елемент, представлений у вигляді фольгового покриття, має фіксувати присутність у межах всієї площі приміщення, виключаючи помилкове визначення людей, що знаходяться за межами кімнати (наприклад, за дверима чи стінами).

Щоб запобігти хибному спрацюванню, при проектуванні розмірів чутливого елемента варто покривати майже всю площу приміщення, залишаючи невеликий відступ від стін. Хоча стіни мають екрануючу здатність, що сприяє захисту від сторонніх впливів, цього може бути недостатньо, тому додаткове коригування параметрів розташування буде доцільним.

Ємнісний датчик працює на основі генератора Клаппа (ємнісної трьох точкової схеми). Використовуючи формулу (2.12), можна визначити номінали котушки L_1 та конденсатора C_1 , знаючи необхідну робочу частоту.

Генератор налаштований на 38 МГц, відповідно:

- номінал котушки $L_1 = 0,39$ мкГн;
- номінал конденсатора $C_1 = 10$ пФ.

При підключенні датчика частота генератора буде визначатися з модифікованого виразу (2.12), що враховує паралельне підключення ємності датчика C_d до конденсатора C_1 :

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L_1 \cdot \left[\frac{1}{\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}} + C_1 + C_d \right]}} \quad (2.12)$$

Частота генератора при підключеному датчику залежить від наявності об'єктів у приміщенні та площі чутливого елемента. Вона може досягати кількох мегагерц, оскільки ємність датчика є значно меншою у порівнянні з конденсаторами $C_1 - C_4$.

2.5.2 Налаштування фотоелектричних датчиків та датчика освітлення

Обрані нами у попередньому підрозділі даного дипломного проекту фотоелектричні датчики – це датчики типу S3Z (див. рис. 2.8).

Ці датчики формують логічний вихідний сигнал, де «0» та «1» (0 В і 12 (5) В) відповідають звичайному стану та моменту спрацювання. Завдяки цьому їхні сигнали можна класифікувати як цифрові.

Пари передавач-приймач розміщуються в горизонтальному ряду у дверному проході на відповідній відстані одна від одної. Ця відстань має забезпечувати послідовне затінення приймачів у момент проходження людини крізь світлові промені, що дозволяє визначити напрямок руху об'єкта.

Оптимальна дистанція встановлення датчиків має бути такою, щоб одночасно затінювалися 1–2 приймачі, якщо це дозволяє товщина дверного проходу.

Як датчик освітлення (на принциповій схемі він позначений R3) використовується фоторезистор GL5528, який встановлюється у місці, де на нього потрапляє природне світло, але не впливає освітлення керованого освітлювального пристрою. Оптимальним варіантом розміщення є зона біля вікна, що дозволяє фоторезистору реєструвати рівень зовнішнього освітлення та вимірювати природну освітленість приміщення.

Фоторезистор змінює свій опір залежно від інтенсивності світла, що на нього потрапляє. Включивши його у схему резисторного дільника напруги, можна визначати його опір та оцінювати кількість світла, що на нього падає, шляхом вимірювання напруги на дільнику. Таким чином, вихідний сигнал цього датчика є аналоговим.

2.5.3 Розробка системи керування

Як говорилося раніше, система керування нашої автоматизованої енергозберігаючої системи освітлення квартирного приміщення на базі Led-технологій розроблена на основі мікроконтролера Atmega328P (на принциповій схемі він позначений DD1) у корпусі LQFP32 (поверхневий монтаж). Даний мікроконтролер має усі необхідні модулі для обробки сигналів з датчиків, а його кількість ліній вводу-виводу та швидкодія дозволяє коректно працювати з периферією та виконувати програмний код.

Датчики видають різні типи сигналів: ємнісний – частотно-модульований, фотоелектричний – цифровий логічний, датчик освітлення – аналоговий. Відповідно для кожного типу сигналу потрібен свій модуль обробки.

Для коректної роботи ємнісного датчика необхідний модуль вимірювання частоти (частотомір). Його функціональність можна реалізувати за допомогою таймерів T0 і T1, які інтегровані у мікроконтролер. Вони працюють паралельно з мікропроцесором, що дозволяє зменшити програмне навантаження на основний процесор. Таймер T1 функціонує як

лічильник, приймаючи на вхід вихідний сигнал генератора ємнісного датчика. Мікропроцесор з певною періодичністю опитує та скидає значення лічильника T1, запобігаючи його переповненню. Таймер T0 задає рівномірні проміжки часу, рахуючи імпульси від тактового генератора. При досягненні заданого значення або переповненні лічильника T0 надсилає сигнал переривання до мікропроцесора, після чого відбувається обробка даних лічильника T1. Сигнал від генератора ємнісного датчика спочатку надходить на дільник частоти, побудований на здвоєному 4-розрядному лічильнику 74НС4520 (DD2 на принциповій схемі нашої розробленої системи). Схема знижує частоту у 8 разів, оскільки T1 може працювати некоректно на частотах понад 5 МГц, тоді як власна частота генератора датчика становить 38 МГц. Таким чином, максимальна частота, що надходитиме на вхід лічильника T1, буде в 8 разів меншою. Дільник частоти підтримує роботу на частотах до 64 МГц, що забезпечує стабільне та коректне функціонування всієї системи.

Фотоелектричні датчики формують логічний сигнал із рівнями «0» та «1», що дозволяє безпосередньо подавати їх на лінії входів портів вводу-виводу для обробки. При спрацюванні датчики можуть видавати:

- 0 В (підключення до землі) – для датчиків типу NPN;
- 12 В (підключення до живлення датчика) – для датчиків типу PNP.

Якщо вихідний сигнал має рівень 12В, між датчиком та мікроконтролером слід встановити дільник напруги або струмообмежуючі резистори, щоб запобігти перевищенню напруги або струму на портах вводу-виводу, що може призвести до їхнього виходу з ладу.

Стосовно ж обробки сигналу датчика освітлення, то фоторезистор (R3) підключається до одного з плечей резисторного дільника напруги, що дозволяє знімати напругу, значення якої залежить від опору фоторезистора. Цей опір змінюється відповідно до кількості світла, що потрапляє на його чутливий елемент. Резистор у другому плечі дільника доцільно використовувати змінний, що дає можливість регулювати рівень зміщення

напруги. Це особливо важливо при заміщенні фоторезистора на інший із відмінним номінальним опором, а також для налаштування динамічного діапазону напруги, якщо виникають труднощі через занадто низький або високий рівень спрацювання. Вихідний сигнал схеми є аналоговим, тому для його обробки необхідний модуль АЦП, який здійснюватиме оцифровування сигналу.

Драйвер система керування нашої автоматизованої енергозберігаючої системи освітлення квартирної приміщення виконаний з використанням симістора BT-137E (див. рис. 2.15). Симістор VS1 вмикається в розрив живлення освітлювальних пристроїв кімнати квартири в ключовому режимі (аналогічно вимикачу). Живлення пристрою мережеве зі змінною напругою 220 В. Симістор має властивість пропускати струм в обох напрямках з прикладанням напруги до 500 В, та протіканням струму до 8 А, тому ним можна комутувати пристрої, що живляться мережевою напругою, струм яких не перевищує 8 А. Для уникнення перегріву даного елемента необхідно монтувати його на радіатор.

Оптосимістор МOC3062 (DA2) керує симістором, виконуючи функцію інтегральної схеми. Його вхідний елемент – світлодіод, який, при подачі сигналу, випромінює світло, що потрапляє на фотосимістор. У схемі передбачено модуль контролю переходу напруги через нуль, який керує фотосимістором лише при перетині нуля. Завдяки цьому симістор вмикається та вимикається саме у моменти переходу напруги через нуль, що дозволяє уникнути сильних електромагнітних завад при різкій подачі напруги на навантаження. Для активації оптосимістора необхідно забезпечити достатній рівень його освітлення, тобто світлодіод у схемі повинен світити з достатньою яскравістю. Для цього на нього слід подати струм у межах 15 мА – 20 мА. Лінії вводу-виводу мікроконтролера Atmega328P здатні пропускати не більше 20 мА. Тому, щоб уникнути перевищення допустимого струму, рекомендовано здійснювати подачу сигналу на світлодіод через транзистор (VT1), який виконуватиме підсилення сигналу з мікроконтролера.

При розробці блоку вводу інформації ми використовуватимемо набір тактильних кнопок. Кожна кнопка повинна паралельно вмикатися з конденсатором. Таке підключення знижує вплив явища «брязкоту контактів» – хаотичного замикання-розмикання контактів у момент комутації механічних контактів. Сигнал при цьому не переходить одразу у стійкий стан, а певний час змінюється з одного стану на інший. Мікроконтролер може опрацювати таку подію як багаторазове натиснення кнопки, що не є правильним. Конденсатори згладжують перепади напруги при комутації, внаслідок чого мікроконтролер не фіксує такі малі перепади сигналу під час комутації. Кнопки підключаються до ліній вводу-виводу, що налаштовані на вхід. Мікроконтролер поступово опитує стан кожної кнопки і таким чином відбувається ввід інформації. Лінії повинні бути підтягнуті до лінії живлення мікросхеми програмно за допомогою спеціальних регістрів при написанні коду, оскільки кнопки стягують виводи на землю.

Як говорилося раніше в даному дипломному проєкті при розробці блоку індикації, ми обрали двох-розрядний семисегментний дисплей MCD-3621A, що має схему підключення зі спільним катодом, тобто сегменти світяться при подачі на них додатної напруги через струмообмежуючі резистори. У цьому дисплеї використовуються всі сегменти, за винятком «крапки». Як світлові індикатори застосовуються світлодіоди, які працюють аналогічно сегментам дисплея, але виконують функцію третього розряду. Яскравість світлових елементів залежить від тривалості їх свічення та номіналів струмообмежуючих резисторів. Резистори підбираються так, щоб миттєвий струм через кожен світлоелемент був близько 10 мА. У схемі реалізовано динамічну індикацію, де кожен розряд розділений на сегменти, що світяться лише у момент активації відповідного розряду. Це дає змогу зменшити кількість ліній вводу-виводу, оскільки однакові сегменти підключаються разом.

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.022.ПЗ

Аркуш

65

Доступ до кожного сегмента здійснюється за двомірною адресацією: номер розряду та номер сегменту. Для рівномірної яскравості всіх розрядів рекомендується встановлювати однаковий час їх свічення.

Частоту перемикання слід вибирати такою, щоб людське око не помічало змін розрядів. Зазвичай для цього достатньо кількох сотень перемикань на секунду.

2.5.4 Розробка схеми живлення

Наша розроблювана схема має два входи живлення: X1 (12 В) та X2 (~220 В). Вхід X2 забезпечує живлення освітлювальні пристрої в конкретній кімнаті квартири, а його комутація здійснюється драйвером. Рекомендовано, щоб напруга не перевищувала 400 В, причому використовується лише змінний струм. На рисунку 2.17 представлено схему розподілу живлення нашої розроблюваної автоматизованої системи керування освітленням.



Рисунок 2.17 – схема живлення автоматизованої енергозберігаючої системи освітлення квартирного приміщення

Вхід X1 використовується для підключення джерела постійної напруги 12 В. У цій ролі застосовується імпульсний блок живлення із рекомендованим струмом не менше 500 мА. Зазначена напруга забезпечує живлення фотоелектричних датчиків та слугує входною напругою для стабілізатора.

Стабілізатор виконаний з використанням мікросхеми L7805 (DA1) у корпусі SOT-252. Елемент приймає на вході напругу з блока живлення та перетворює її з 12 В на 5 В. На виході стабілізатора підключені електролітичний конденсатор великої ємності та керамічний малої ємності. Перший згладжує низькочастотні, а другий високочастотні пульсації, що у певній мірі все ж присутні після стабілізації (рис. 2.18).

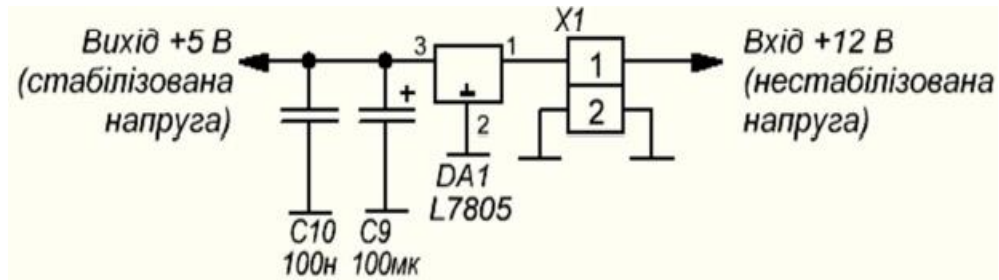


Рисунок 2.18 – схема стабілізатора напруги

Лінія живлення 5 В є основним джерелом для забезпечення роботи системи керування. Однією з ключових переваг лінійної стабілізації є відсутність високочастотних пульсацій, що притаманні імпульсним стабілізаторам. Це особливо важливо для даної схеми, оскільки в ній виконуються операції аналого-цифрового перетворення. Для коректної роботи АЦП необхідне стабільне джерело порівняльної напруги, оскільки саме відносно нього відбувається процес перетворення аналогового сигналу на цифровий. Чим стабільнішою буде напруга цього джерела, тим точнішим стане перетворення. Вивід Aref використовується для порівняльної напруги, AVcc підключений до аналогової частини мікроконтролера, а Vcc слугує для живлення решти мікросхеми. Усі ці живлячі виводи можна з'єднати між собою та підключити до лінії 5 В. Щоб мінімізувати високочастотні пульсації та уникнути збоїв у роботі мікроконтролера, рекомендується встановити керамічний конденсатор малої ємності якомога ближче до мікросхеми між живильними виводами та землею (GND).

2.6 Програмування мікроконтролера

Мікроконтролер програмується за допомогою AVRISP програматора, який оснащений USB-інтерфейсом для підключення до персонального комп'ютера, а також ISP-інтерфейсом, що використовується для передачі даних та стерання мікроконтролерів і мікросхем пам'яті виробництва Atmel. Програмний код, що записується у пам'ять мікросхеми, називається прошивкою. Вона пишеться у програмному середовищі на визначеній мові програмування – у даному випадку мовою C. Для написання та відлагодження коду використовується Atmel Studio 6.

Перед початком програмування слід налаштувати конфігураційні біти, відомі як ф'юз-біти (FUSE, від англ. "перемичка"). На рисунку 2.19 показано вікно програми AVRDUDE 2.3, де у вкладці Fuses відображені всі конфігураційні біти для мікроконтролера Atmega328P. Для даної прошивки необхідно зняти галочку з параметра CKDIV8, який відповідає за ділення частоти, що надходить на мікропроцесор, на 8. У цьому випадку тактова частота задається кварцовим резонатором і становить 16 МГц. Чим вища тактова частота мікропроцесора, тим краща його швидкодія. Для Atmega328P рекомендовано використовувати частоту у діапазоні 16 МГц – 20 МГц. Всі інші ф'юз-біти залишаються без змін, як показано на рисунку.

Рисунок 2.19 – Конфігурація фюз-бітів для мікроконтролера Atmega328P в програмі AVRDUDE 2.3

Прошивка містить функції обробки сигналів із датчиків, аналізу даних, введення та виведення інформації, а також управління освітленням.

До основних функцій програмного коду належать:

- ініціалізація мікроконтролера;
- зчитування інформації з кнопок;
- вивід даних на дисплей та індикатори;
- обробка сигналів від датчиків;
- калібрування;
- читання та оновлення конфігурації;
- збільшення та зменшення лічильника присутності;
- обробка помилок;
- увімкнення та вимкнення освітлювального пристрою.

Програмний процес складається з двох основних етапів:

1. «Ініціалізація» – включає скидання та налаштування системних регістрів, ініціалізацію периферії, очищення оперативної пам'яті, створення змінних та завантаження конфігураційних даних;
2. «Основний цикл» – виконується у безкінечному режимі та містить всі необхідні функції для управління системою.

На рисунку 2.20 представлено алгоритм програми у вигляді блок-схеми, що демонструє основні функції та послідовність виконання програмного коду.

Після написання та відлагодження коду у Atmel Studio 6 прошивка компілюється, а отриманий вихідний файл завантажується у середовище моделювання Proteus 8 Demo, де здійснюється перевірка роботи всієї схеми.

Якщо симуляція проходить успішно, прошивка записується у пам'ять мікроконтролера за допомогою програматора, з попередньо налаштованими ф'юз-бітами.

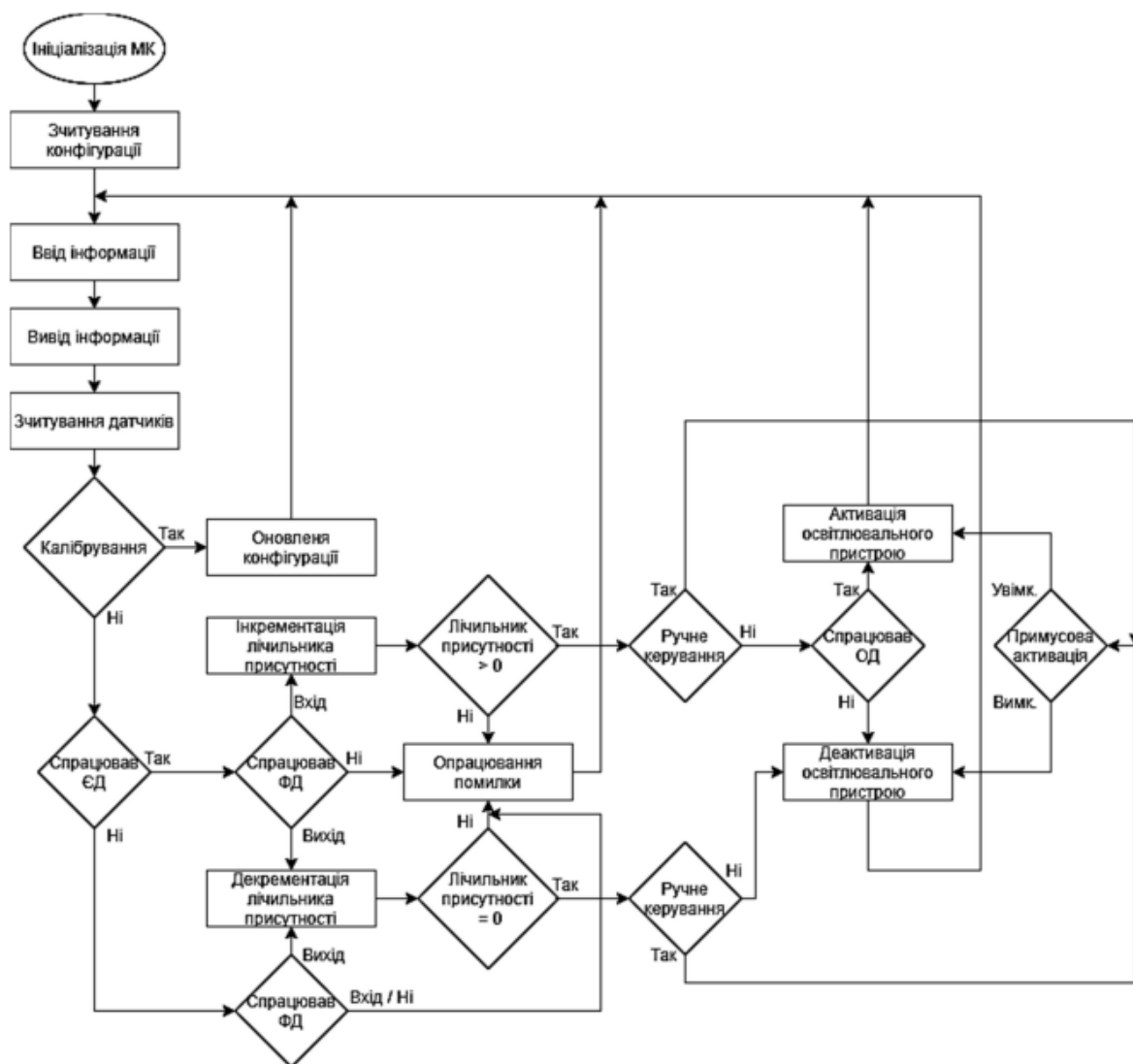


Рисунок 2.20 – Алгоритм роботи програми автоматизованої енергозберігаючої системи освітлення квартирної приміщення на базі Led-технологій

2.7 Калібрування

Калібрування передбачає визначення граничних значень ємності та освітленості для правильного функціонування відповідних датчиків.

Процедура калібрування ємнісного датчика необхідна у випадку перестановки великих предметів або занесення/винесення об'єктів із приміщення, оскільки такі зміни впливають на номінальну ємність датчика.

Після внесення змін у розташування предметів необхідно зафіксувати нові параметри, щоб забезпечити коректну роботу датчика.

Для калібрування ємнісного датчика необхідно, щоб у контрольованому приміщенні не було людей, окрім користувача. Калібрування запускається натисканням кнопки «Калібрування присутності», після чого система фіксує поточну частоту генератора. Надалі саме за цим значенням визначатиметься присутність у приміщенні.

Калібрування датчика освітленості необхідне у випадку зміни місця його установки, що впливає на рівень природного світла, яке на нього потрапляє.

Процес калібрування активується натисканням кнопки «Калібрування освітленості». Перед цим потрібно перевести систему в режим ручного керування, натиснувши «Ручне керування», а освітлювальний пристрій повинен бути вимкнений.

Освітленість приміщення у момент калібрування має відповідати умовам, при яких необхідна активація освітлення. Значення, отримане від фоторезистора, записується у пам'ять, після чого використовується для порівняння з поточним рівнем освітленості, щоб визначити необхідність увімкнення або вимкнення освітлювального пристрою.

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Оцінка капітальних витрат на впровадження розробленої системи

У межах цього дипломного проекту розроблено автоматизовану енергозберігаючу системи освітлення квартирної приміщення на базі LED-технологій. Важливим етапом є визначення капітальних та експлуатаційних витрат на впровадження даної системи, розрахунок її терміну окупності, а також аналіз економічної ефективності.

Економічна оцінка включає аналіз вартості обладнання та витрат на його обслуговування протягом повного періоду експлуатації, який становить 15 років. Для автоматизованої енергозберігаючої системи передбачено, що витрати на технічне обслуговування складатимуть 1% від вартості устаткування.

Під час кошторисного аналізу першочергово розраховується загальна річна вартість системи адаптивного освітлення (Total Annualized Cost – TAC) за відповідною формулою:

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

де:

TLCC (Total Life Cycle Cost) – сукупна вартість системи протягом усього терміну її функціонування;

CPWF (Cumulative Present Worth Factor) – сукупний коефіцієнт актуальної вартості.

					ДП.141.042.022.ПЗ			
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Євса А.В.			3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА			
Перевір		Антипчук Б.О.						
Н. Контр.		Антипчук Б.О.						
Затв.		Лавріщев О.О.						
						Літ.	Арк.	Аркушів
						У	72	91
						ЖАТФК, Гр. Е-42		

Капітальні вкладення – це кошти, що спрямовані на створення та придбання основних фондів і нематеріальних активів, які підлягають амортизації. Вони є необхідними для впровадження запропонованої системи та становлять ключовий показник при оцінці її економічної ефективності.

У Таблиці 3.1 наведено всі капітальні витрати, передбачені для реалізації розробленої у рамках цього дипломного проєкту автоматизованої енергозберігаючої системи освітлення квартирної приміщення на базі LED-технологій.

Таблиця 3.1 – Капітальні витрати проєкту

№	Назва технічних матеріалів	кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Точкові LED-світильники				
1	NOWODVORSKI 850 Лм	6	1000	6000
2	NOWODVORSKI 500 Лм	1	760	760
3	BIT S 700 Лм	8	500	4000
4	ESTARES CLN-RT 300 Лм	6	250	1500
5	AZZARDO 300 Лм	1	330	330
6	AZZARDO 250 Лм	2	270	540
7	JAZZWAY PPL-R 200 Лм	7	250	1750
Ємнісні датчики				
8	TTP223B	3	20	60
Датчики освітлення				
9	Фоторезистор GL5528	3	4	12
Фотоелектричні датчики руху				
10	Datalogic S3Z (приймач + передавач)	9	1200	10800
Мікроконтролери				
11	Atmega328P	3	80	240
Семисегментні дисплеї				
12	MCD-3621A	3	18	54
Тактильні кнопки				
13	Розмір 6x6x5	12	4	48
Симістори				
14	BT-137E	3	18	54
15	МОС3062	3	21	63
Мікросхеми				
16	L7805	3	7	21
Кабелі та інші матеріали				
17	-----	----	-----	2000
Всього				28232

Розрахунок вартості монтажних-налагоджувальних робіт здійснюється за формулою:

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

де:

C_i – кількість працівників i -го розряду, необхідних для здійснення певного обсягу монтажних чи налагоджувальних робіт, чол.;

a – оплата праці за одну годину для працівників i -го розряду за встановленою тарифною ставкою, грн.;

t_i – тривалість часу, потрібна для завершення заданого обсягу монтажних або налагоджувальних робіт, год.;

$K_d = 1,1 \dots 1,5$ – коефіцієнт, що відображає величину додаткових виплат та надбавок;

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

$K_{PP} = 1,1 \dots 1,5$ – коефіцієнт, що враховує додаткові витрати, пов'язані зі здійсненням монтажних або налагоджувальних робіт.

Вартість монтажно-налагоджувальних робіт визначатиметься на основі основних договірних цін і розцінок промислової групи компанії «Prozhektor», яка спеціалізується на монтажі та налагодженні систем освітлення.

Отже, можна розрахувати, що:

$$K_{MH} = 2 \cdot 247,28 \cdot 20 \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,1 = 14601,4 \text{ грн.}$$

Витрати на транспортування розраховуються відповідно до тарифів перевізника ТОВ «UTC-Cargo», з урахуванням маси вантажу та відстані до складів постачальника. Згідно з розрахунками компанії, доставка 6 вантажних місць загальною вагою до 500 кг коштуватиме 1500 грн.

Отже, визначимо капітальні витрати на автоматизовану енергозберігаючу систему освітлення квартирної приміщення на базі LED-технологій, яка розроблена в цьому дипломному проєкті, відповідно до формули:

$$K = K_{OB} + K_{TP} + K_{MH} , \quad (3.3)$$

де:

K_{OB} – вартість технічного оснащення розробленої системи без врахування ПДВ., грн.;

K_{TP} – транспортно-заготівельні й складські витрати необхідні для впровадження розробленої системи, грн.;

K_{MH} – вартість монтажних і пусконаладжувальних робіт устаткування розробленої системи, грн.

Отримаємо:

$$K = 28232 + 1500 + 14601,4 = 44333,4 \text{ грн.}$$

3.2 Оцінка витрат на експлуатацію розробленої системи

Експлуатаційні витрати – це регулярні фінансові затрати, пов’язані з використанням та обслуговуванням об’єкта проектування протягом певного періоду.

Основні складові витрат на електротехнічне устаткування включають: амортизаційні відрахування (C_a), вартість спожитої електроенергії (C_e); основну та додаткову заробітну плату обслуговуючого персоналу та відрахування на соціальні заходи (C_z), витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт устаткування (C_T) та інші витрати ($C_{ін}$). Їх можна визначити за формулою:

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

Розроблена в цьому проєкті енергозберігаюча автоматизована система освітлення квартири функціонує автономно та не потребує постійної участі

					ДП.141.042.022.ПЗ	Аркуш
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оператора чи обслуговуючого персоналу, тому планові роботи з технічного обслуговування виконуватиме власник квартири. Відповідно, витрати за статтями C_3 та $C_{ін}$ дорівнюють нулю.

Амортизаційні відрахування розраховуються, виходячи з тривалості використання системи, очікуваного економічного ефекту, технічних характеристик, ступеня фізичного зносу, а також інших факторів, що можуть вплинути на її експлуатацію. Термін якісного функціонування обладнання становить 15 років. Норма амортизації, обчислена за прямолінійним методом, залишається незмінною протягом усього амортизаційного періоду і визначається за такою формулою:

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

де:

T_n – амортизаційний період;

K – капітальні витрати на розроблену систему, грн.

Отже, отримаємо:

$$H_a = \frac{44333,4}{44333,4 \cdot 15} \cdot 100\% = 6,6 \, \%$$

Розрахунок річних амортизаційних відрахувань розробленої системи виконаємо за наступною формулою:

$$C_a = \frac{K \cdot H_a}{100}, \quad (3.6)$$

де:

K – капітальні витрати на розроблену систему, грн.

H_a – норма амортизації, %.

Тоді будемо мати, що:

$$C_a = \frac{44333,4 \cdot 6,6}{100} = 2926 \text{ грн.}$$

Далі визначимо щорічні затрати на технічне обслуговування та поточний ремонт нашої розробленої енергозберігаючої системи автоматизації освітлення квартири. До цих витрат входять матеріали, запасні частини та заробітна плата працівників, відповідальних за ремонт, що загалом складає 1% від капітальних вкладень:

$$C_m = 0,01 \cdot K, \quad (3.7)$$

де:

C_t – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт устаткування розробленої системи, грн.;

K – капітальні витрати на розроблену систему, грн.

Отримаємо:

$$C_m = 0,01 \cdot 44333,4 = 443,3 \text{ грн.}$$

Далі розрахуємо річні експлуатаційні витрати для розробленої системи відповідно до виразу 3.4, їх величина складе:

$$C = 2926 + 0 + 0 + 443,3 = 3369,3 \text{ грн.}$$

3.3 Розрахунок терміну окупності розробленої системи

У цьому підрозділі проведемо аналіз доцільності впровадження розробленої автоматизованої енергозберігаючої системи освітлення квартирному приміщенню на базі LED-технологій шляхом визначення її терміну окупності. Для цього здійснимо порівняння рівня споживання електроенергії між розробленою системою та традиційною системою освітлення на лампах розжарення, яка раніше використовувалася в квартирі. Порівняльні дані наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняльна характеристика типів систем освітлення

Типи системи освітлення	Стандартна система освітлення	Система адаптивного LED-освітлення
Тип освітлювальної лампи	Лампа розжарення	LED-лампа
Кількість світильників	8 шт.	31 шт.
Кількість ламп	23 шт.	31 шт.
Режим роботи (годин на добу)	8 год./доб.	8 год./доб.
Режим роботи (годин на добу) за наявності адаптивного керування	-----	4 – 6 год./доб.
Режим роботи (днів)	365 днів	365 днів
Середня потужність лампи системи освітлення, Вт	75 Вт	6,5 Вт
Потужність системи освітлення, кВт	1,725	0,202
Тариф на електроенергію грн/кВт·год.	4,32 грн./кВт·год.	4,32 грн./кВт·год.

Першим кроком буде визначення економічної вигоди від впровадження розробленої автоматизованої енергозберігаючої системи освітлення квартирному приміщенню на базі LED-технологій замість традиційної системи в квартирі. Для цього аналізуємо споживання електроенергії обома системами за добу:

$$P_{\text{СОдоба}} = P_{\text{СО}} \cdot n_{\text{год}} , \quad (3.8)$$

де:

$P_{\text{СОдоба}}$ – електрична потужність споживання системи освітлення за цілу добу, кВт·год;

$P_{\text{СО}}$ – електрична потужність споживання системи освітлення за одну годину роботи, кВт;

$n_{\text{год.}}$ – загальна кількість робочих годин на добу, год.

Отримаємо:

$$P_{\text{СОдоба стандарт. сис.}} = 1,725 \cdot 8 = 13,8 \text{ кВт} \cdot \text{год} ;$$

$$P_{\text{СОдоба розроб. сис.}} = 0,202 \cdot 4 = 0,808 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Оцінимо енергоспоживання обох систем за річний період:

$$P_{\text{СОрік}} = P_{\text{СОдоба}} \cdot n_{\text{роб.днів}} , \quad (3.9)$$

де:

$P_{\text{СОрік}}$ – річний рівень споживання електричної потужності системи освітлення, кВт·год.

$P_{\text{СОдоба}}$ – електрична потужність споживання системи освітлення за цілу добу, кВт·год;

$n_{\text{роб.днів}}$ – кількість робочих днів системи освітлення на рік, шт.

Будемо мати, що:

$$P_{\text{СОрік стандарт. сис.}} = 13,8 \cdot 365 = 5037 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$P_{\text{СОрік розроб. сис.}} = 0,808 \cdot 365 = 294,92 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Розрахуємо річну вартість електроенергії для обох систем, виражену в гривнях:

$$M_{\text{т.СО}} = E_{\text{о.п.}} \cdot P_{\text{СОрік}} , \quad (3.10)$$

де:

$M_{\text{т.СО}}$ – річна вартість електроенергії системи освітлення, грн.;

$E_{\text{о.п.}}$ – тарифна ставка за електроенергію, грн./кВт·год.

Отримаємо, що:

$$M_{\text{т.СО стандарт. сис.}} = 4,32 \cdot 5037 = 21759,84 \text{ грн.};$$

$$M_{\text{т.СО розроб. сис.}} = 4,32 \cdot 294,92 = 1274,1 \text{ грн.}$$

Економічний ефект (прибуток) від впровадження розробленої автоматизованої енергозберігаючої системи освітлення квартирної приміщення на базі LED-технологій можна розрахувати за такою формулою:

$$Y = M_{\text{т.СО стандарт. сис.}} - M_{\text{т.СО розроб. сис.}} \quad (3.11)$$

Будемо мати, що:

$$Y = 21759,84 - 1274,1 = 20485,74 \text{ грн.}$$

Розрахуємо термін окупності нашої розробленої автоматизованої енергозберігаючої системи освітлення відповідно до формули:

$$T = K/Y , \quad (3.12)$$

де:

K – капітальні витрати на розроблену систему, грн.;

					ДП.141.042.022.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

Y – річний прибуток від розробленої системи, грн.

Отримаємо:

$$T = \frac{44333,4}{20485,74} = 2,2 \text{ роки.}$$

					ДП.141.042.022.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Техніка безпеки при використанні електроустановок напругою не більше 1000 В

Під час обслуговування електроустановок з напругою до 1000 В необхідно виконувати профілактичні ремонти, випробування ізоляції електричних машин, апаратів та кабельних ліній, а також налаштування електроприводів, релейного захисту та інших превентивних заходів. Крім того, до цих робіт належить усунення дрібних несправностей і профілактика аварійних ситуацій.

Електричні установки або їх окремі елементи, що перебувають під дією електричної напруги, включають як струмопровідні частини, що готові до роботи, так і ті, що можуть опинитися під напругою у будь-який момент.

Залежно від засобів безпеки, роботи в діючих електроустановках поділяються на три категорії:

- роботи із повним зняттям напруги;
- роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах;
- роботи без зняття напруги на віддалених від струмопровідних частин ділянках.

Роботи, які виконуються із зняттям напруги, проводяться в електроустановках, де напруга повністю відключена на всіх струмопровідних елементах.

Роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах передбачають застосування технічних та організаційних заходів, спрямованих на запобігання небезпечному наближенню до елементів, що проводять струм. Виконання таких робіт вимагає використання ізолюючих захисних засобів та

					ДП.141.042.022.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Євса А.В.			4 ОХОРОНА ПРАЦІ		
Перевір		Антипчук Б.О.					
Н. Контр.		Антипчук Б.О.					
Затв.		Лавріщев О.О.					
						Лім.	Арк.
						У	82
						Аркушів	
						91	
						ЖАТФК, Гр. Е-42	

спеціального інструменту.

Роботи без зняття напруги на віддалених від струмопровідних частин ділянках можна здійснювати за умови повного виключення випадкового наближення до електропровідних компонентів, що знаходяться під напругою. У таких випадках немає потреби у застосуванні додаткових організаційних чи технічних заходів для запобігання небезпечному зближенню.

Перед початком ремонтних або налагоджувальних робіт, а також у процесі їх виконання, відповідальні особи та працівники повинні дотримуватись технічних і організаційних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки персоналу.

Серед технічних заходів передбачено:

- відключення установки з комплексом дій, що запобігають помилковому поданню напруги до місця проведення робіт;
- встановлення огорожень та розміщення спеціальних попереджувальних плакатів;
- перевірку наявності чи відсутності напруги;
- встановлення заземлення.

В електроустановках з напругою до 1000 В відключення повинно здійснюватися таким чином, щоб ділянка, на якій проводяться роботи, була повністю відокремлена від струмопровідних частин за допомогою комутаційних апаратів або знятих запобіжників.

Для запобігання подачі напруги до місця робіт через ефект трансформації, слід відключити всі пов'язані з установкою трансформатори, включаючи силові, вимірювальні та спеціальні трансформатори як з боку високої, так і низької напруги.

Струмопровідні частини, на яких планується виконання робіт, а також ті, що можуть бути доступні для дотику, необхідно відключити. Якщо такі частини можна захистити спеціальними ізолюючими накладками, їх відключення не є обов'язковим.

Після перевірки відсутності напруги, відключені частини слід заземлити за допомогою переносного заземлення, щоб захистити працівників від можливого ураження електричним струмом.

Якщо конструкція електроустановки не дозволяє накладення заземлення, під час підготовки робочого місця необхідно застосувати додаткові заходи безпеки, зокрема:

- замикання приводу роз'єднувача на замок;
- ізоляція ножів або верхніх контактів роз'єднувачів за допомогою гумових ковпаків чи жорстких накладок зі спеціального ізоляційного матеріалу.

4.2 Алгоритм надання допомоги постраждалим від електроструму

Широке використання електроенергії потребує дотримання правил безпеки, оскільки порушення норм електробезпеки може спричинити серйозні травми, аж до летальних наслідків. Доведено, що при напрузі 42 В електричний струм, що проходить крізь людське тіло, не є небезпечним, а при напрузі понад 50 В виникає тепловий та електролітичний ефект.

Найпоширенішими причинами електротравм є недотримання заходів безпеки при роботі з електричними пристроями, як у побутових, так і у виробничих умовах. Ризик ураження струмом може виникнути як у власному домі, так і на відкритому просторі.

Виявити пошкоджений або оголений провід, що перебуває під напругою, надзвичайно складно – ні за звуком, ні за запахом, ні візуально він не відрізняється від проводу, який не підключений до електромережі.

Людина, що зазнала ураження електричним струмом, не може самостійно покликати на допомогу або звільнитися від предмета, через який відбулося удар струмом. У більшості випадків контакт зі струмопровідними частинами призводить до судом м'язів, що обмежують рухливість та здатність говорити. Ознаками того, що постраждала особа у небезпеці,

можуть бути раптове падіння, неприродне відкидання від джерела струму, втрата свідомості, судоми, мимовільне скорочення м'язів, опіки з чіткими межами.

У разі електротравми першочерговим завданням є звільнення потерпілого від контакту зі струмопровідними частинами обладнання. Слід негайно відключити ту частину електроустановки, до якої доторкнулася людина. Будь-яке зволікання під час надання допомоги може призвести до летального наслідку.

Під час звільнення постраждалого слід вимкнути струм, використовуючи сухий одяг, палицю, дошку, головний убір, діелектричні рукавиці або рукав одягу. Для перерізання проводів застосовують інструменти з ізольованими ручками, а для перерубування – сокиру з сухим дерев'яним топорищем.

Потерпілого можна відтягнути від струмопровідних частин, схопивши його за сухий одяг. При цьому той, хто допомагає, повинен уникати контакту з металевими предметами поблизу, а також не торкатися відкритих частин тіла постраждалого.

Якщо потерпілого відтягують за ноги, слід уникати дотику до взуття, оскільки воно може бути вологим і стати провідником електричного струму. Для захисту рятувальник повинен одягнути діелектричні рукавиці або обмотати руки шарфом, використати рукав піджака чи пальта. Додаткову ізоляцію можна забезпечити, ставши на гумовий килимок, суху дошку або інший ізолюючий матеріал.

Після звільнення постраждалого від дії електроструму необхідно негайно надати йому першу медичну допомогу. Слід терміново викликати екстрену медичну службу, а у разі відсутності ознак життя розпочати серцево-легеневу реанімацію, яка включає:

- непрямий масаж серця;
- штучне дихання.

Якісне проведення непрямого масажу серця передбачає натискання в нижній половині грудини на глибину 5-6 см з частотою 100-120 натисків за хвилину, уникаючи зайвих переривань. Важливо дозволяти грудній клітці повністю випрямитися після кожного стиснення, не спиратися на грудну клітку та виконувати реанімаційні заходи на твердій поверхні.

Штучне дихання – це метод серцево-легеневої реанімації, який включає серію з 30 натискань на грудну клітку, чергуючи їх із двома вдихами. Якщо штучна вентиляція легенів неможлива, необхідно здійснювати безперервні натискання на грудну клітку.

Своєчасне та якісне виконання цього комплексу заходів може врятувати життя постраждалій особі, що зазнала ураження електрострумом.

ВИСНОВКИ

В даному дипломному проєкті було розроблено автоматизовану енергозберігаючу систему освітлення квартирного приміщення на базі LED-технологій.

У ході виконання даного дипломного проєкту було проведено детальний аналіз наявних технічних рішень та сучасних технологій, на основі яких можна реалізувати розроблювану систему. У процесі дослідження проаналізовано типи джерел світла і встановлено, що LED-лампи мають найкращі енергетичні та світлотехнічні характеристики порівняно з іншими варіантами, які могли бути використані в квартирному приміщенні.

У рамках дипломного проєкту було виконано повний світлотехнічний розрахунок енергозберігаючої системи освітлення, що дозволило визначити оптимальну кількість LED-світильників, їх типи та моделі відповідно до потрібних параметрів світлового потоку в кожній кімнаті квартирного приміщення. Окрім цього було розроблено систему автоматичного керування освітлювальними приладами для наступних кімнат квартири: вітальня, кухня та спальна кімната, так як в цих кімнатах особи, які проживають в квартирі перебуватимуть більшість свого часу. Дана система автоматичного керування базується на роботі трьох типів датчиків, а саме: ємнісного датчика присутності, фотоелектричного датчика руху та датчик освітленості. Контроль за освітленістю та вмиканням вимиканням освітлювальних приладів в обраних кімнатах квартири здійснюватиме мікроконтролер Atmega328P на основі отриманої інформації від вище зазначених датчиків.

Розрахований термін окупності розробленої системи становить 2,2 роки, що підтверджує її економічну доцільність при довготривалій експлуатації.

					ДП.141.042.022.ПЗ							
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата								
Розробив	Євса А.В.				ВИСНОВКИ					Лім.	Арк.	Аркушів
Перевір	Антипчук Б.О.									У	87	91
										ЖАТФК, Гр. Е-42		
Н. Контр.	Антипчук Б.О.											
Затв.	Лавріщев О.О.											

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрійчук В. А. Світлотехніка й електротехніка: історія, проблеми й перспективи. Праці II міжнародної науково-технічної конференції, приуроченої 160-річчю видатного українського фізика, піонера в галузі світлотехніки і електротехніки професора Івана Пулюя. Тернопіль, 2005. 170с.
2. Природне і штучне освітлення. Технічні норми. ДБН В.2.5-28:2018 (Чинні з 28.02.2019). К., 2018. 33с.
3. Іоффе К. І., Черкашина О. Л. Конспект лекцій з дисципліни «Системи керування світлотехнічними пристроями». Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 56с.
4. Бомчик О. С, Парамуд Я. С. Комп'ютерна система управління багатоканальними освітлювальними пристроями. Львів, 2018. 24 с.
5. Електротехніка у будівництві : навч. посібник / А. Є. Ачкасов, В. А. Лушкін, В. М. Охріменко [та ін.]. Харків : ХНАМГ, 2009. 363 с.
6. Напівпровідникові прилади : підручник / Л. Д. Васильєва, Б. І. Медведенко, Ю. І. Якименко . К. : Кондор, 2008. 556 с.
7. Єгорова О. Ю. Перспективи використання світла (діодних джерел світла) / О. Ю. Єгорова, О. О. Аблецов. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил*. 2010. Вип. 3. С. 152—156.
8. Енергоефективні світлодіодні освітлювальні системи : монографія / З. Готра, В. Корнага, В. Мартіросова, Г. Нікітський, І. Пастух, А. Рибалочка, В. Сорокін, В. Щиренко ; ред. В. Сорокін ; НАН України, Ін-т фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова, Нац. ун-т «Львівська політехніка», НАМН України, Ін-т медицини праці. Київ : Авіцена, 2016. 334 с.

					ДП.141.042.022.ПЗ									
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ				Лім.		Арк.	Аркушів		
Розробив	Євса А.В.									У		88	91	
Перевір	Антипчук Б.О.													
Н. Контр.	Антипчук Б.О.								ЖАТФК, Гр. Е-42					
Затв.	Лавріщев О.О.													

9. Довідникова книга для проектування електричного освітлення. 2-е вид. / Г. М. Кноррінг, Н. М. Фадін, В. Н. Сидоров. Спб : Енергоатомвид, 1992. 448 с.
10. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. / О. І. Соловей, В. П. Розен, П. Г. Плешков [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Кіровоград. нац. техн. ун-т. Черкаси : Чабаненко Ю., 2015. 316 с.
11. Пилипчук Р. В. Проблема енергозбереження в освітлювальних установках / Р. В. Пилипчук, Р. Ю. Яремчук. Світлолюкс. 2003. № 2. С. 10-13.
12. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. ДСН 3.3.6.042-99. Постанова Гол. Держ. сан. лікаря України від 01.12.1999 № 42
13. Правила улаштування електроустановок. ПУЕ. Розділ 6: Електричне освітлення. Київ : Мін-во енергетики та вугільної пром. України, 2017. 617 с.
14. Основи охорони праці : підручник для студентів вищ. навч. закладів / за ред. М. П. Гандзюка. К. : Каравела, 2003. 408 с.
15. Березюк О. В., Є. Г. Креготень. Перспективність використання світлодіодних ламп для освітлення виробничих приміщень. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2018/paper/3416>

[illegible]