

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти бакалавр
на тему: «Розробка проєкту електричного освітлення промислового
підприємства»

КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти за освітньо-
професійною програмою
Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
спеціальності 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
ступеня вищої освіти «бакалавр» групи
141ЕЕбд_31[1] (3 р.)
Гордієнко В'ячеслав Євгенович
Керівник: канд. техн. наук, доцент
Басова Юлія Олександрівна

Полтава – 2026 рік

Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Освітньо-професійна програма «*Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка*»
Спеціальність 141 «*Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка*»
Ступінь вищої освіти *бакалавр*

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
механічної та електричної
інженерії,

канд. техн. наук, доцент,

_____ Станіслав ПОПОВ
03 грудня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ
ГОРДІЄНКО Вячеслав Євгенійович

1 Тема роботи: Розробка проєкту електричного освітлення промислового підприємства,

керівник роботи канд. техн. наук, доцент БАСОВА Юлія Олександрівна,
затверджено засіданням кафедри, протокол № 9 від 03 грудня 2025 р.

2 Строк подання здобувачем вищої освіти роботи – до 31 травня 2026 р.

3 Вихідні дані до роботи *план об'єкта, нормативні документи та довідкові матеріал*

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Розділ 1. *Огляд стану питання*

Розділ 2. *Світлотехнічна частина*

Розділ 3. *Електротехнічна частина*

Розділ 4. *Економіка та охорона праці*

5 Перелік графічного матеріалу: *план електричного освітлення об'єкта, електрична схема живлення об'єкта*

6 Консультанти розділів *кваліфікаційної роботи*

Розділ	Власне ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання отримав
Економіка	Ірина МИКОЛЕНКО, професор кафедри економіки та публічного управління		
Охорона праці	Наталія ПОПОВИЧ, доцент кафедри механічної та електричної інженерії		

7 Дата видачі завдання 03 грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з.п.	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір, затвердження теми роботи	До 03.12.2025 р.	
2	Складання, затвердження розгорнутого плану, завдання на кваліфікаційну роботу	15.12-28.12.2025 р.	
3	Опрацювання літературних джерел		
4	Збір, вивчення, обробка інформації, необхідної для виконання роботи		
5	Виконання розділів роботи, графічної частини	04.05-31.05.2026 р.	
6	Оформлення тексту роботи	02.06-06.06.2026 р.	
7	Попередній захист роботи на кафедрі	до 06.06.2026 р.	
8	Нормалізаційний контроль		
9	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень і пропозицій		
10	Захист кваліфікаційної роботи	10.06-12.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти _____ В'ячеслав ГОРДІЄНКО
(підпис)

Керівник роботи _____ Юлія БАСОВА
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 4 розділів, 5 додатки, 10 таблиць, 4 рисунки, 28 використаних джерел, 59 сторінки.

Мета роботи – розробка системи освітлення промислового підприємства із застосуванням світлодіодних джерел світла та системи керування освітленням.

Об'єкт дослідження – система електричного освітлення промислового підприємств.

Предмет дослідження – процес модернізації системи освітлення промислового підприємства із використанням сучасних світлодіодних світильників та автоматизованої системи керування освітленням.

Практична значимість та реалізація досліджень полягає у розробці енергоефективної системи освітлення для промислового підприємства, яка забезпечує нормативний рівень освітленості робочих зон, підвищує безпеку праці персоналу та дозволяє знизити споживання електричної енергії. Запропоновані технічні рішення дозволяють забезпечити нормативний рівень освітленості робочих зон та знизити витрати електричної енергії

У **першому** розділі проведено аналіз сучасних систем промислового освітлення, розглянуто нормативні вимоги до освітлення виробничих приміщень, особливості використання світлодіодних джерел світла та сучасних систем керування освітленням. Також проаналізовано принцип роботи систем керування освітленням.

У **другому** розділі виконано аналіз існуючої системи освітлення підприємства ТОВ «Лубнимаш», проведено аудит освітлення виробничих і адміністративних приміщень, визначено встановлену потужність освітлювальної установки та річне споживання електричної енергії.

У **третьому** розділі виконано вибір сучасних СВД-світильників, проведено світлотехнічний розрахунок системи освітлення методом коефіцієнта використання світлового потоку, розроблено систему автоматизованого керування освітленням, виконано вибір щитів освітлення, автоматичних вимикачів та пускорегулювальної апаратури.

У четвертому розділі проведено розрахунок економічної ефективності та терміну окупності проекту модернізації освітлення та розглянуто питання охорони праці на промисловому підприємстві.

Практичні результати роботи – розроблена система освітлення виробничих і адміністративних приміщень промислового підприємства із застосуванням СВД-світильників та автоматизованої системи керування.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – для модернізації систем освітлення промислових підприємств з метою зниження енергоспоживання.

Сфера застосування результатів роботи – промислові підприємства, виробничі цехи, складські та адміністративні приміщення.

Текст роботи пройшов перевірку на наявність текстових запозичень за допомогою системи "StrikePlagiarism" та є оригінальним на 97,91 %.

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання модернізації системи освітлення промислового підприємства. Проведено аналіз існуючої системи освітлення приміщень підприємства, визначено річне споживання електричної енергії та виконано аудит освітлення. У роботі виконано вибір сучасних світлодіодних світильників для різних типів приміщень, проведено світлотехнічний розрахунок системи освітлення та розроблено систему автоматизованого керування освітленням. Проведено техніко-економічний аналіз запропонованого рішення та визначено термін окупності проєкту. Результати роботи мають практичне значення для модернізації систем освітлення промислових підприємств та зниження витрат електричної енергії.

СВІТЛОДІОДНЕ ОСВІТЛЕННЯ, ПРОМИСЛОВЕ ОСВІТЛЕННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, СВД-СВІТИЛЬНИК, АВТОМАТИЗАЦІЯ ОСВІТЛЕННЯ, СВІЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК, ОХОРОНА ПРАЦІ.

ABSTRACT

The qualification work considers the modernization of the lighting system at the industrial enterprise. An analysis of the existing lighting system of the enterprise premises was carried out, the annual electricity consumption was determined, and a lighting audit was performed. The work includes the selection of modern LED luminaires for various types of premises, lighting calculations of the lighting system, and the development of an automated lighting control system. A technical and economic analysis of the proposed solution was conducted, and the payback period of the project was determined. The results of the work are of practical importance for the modernization of lighting systems at industrial enterprises and for reducing electricity consumption costs.

LED LIGHTING, INDUSTRIAL LIGHTING, DALI, ENERGY EFFICIENCY, LED LUMINAIRE, LIGHTING AUTOMATION, LIGHTING CALCULATION, OCCUPATIONAL SAFETY.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ТА ВИБІР СИСТЕМИ	
ОСВІТЛЕННЯ	9
1.1. Нормування освітлення промислового підприємства.....	9
1.2. Аналіз сучасних систем керування промисловим освітленням.....	13
Висновок до розділу 1	15
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВІ.....	
2.1. Опис приміщення та стан системи освітлення	16
2.2. Обладнання, необхідне для аудиту системи освітлення.....	18
2.3. Розрахунок річного споживання електроенергії системою освітлення	20
Висновок до розділу 2	27
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ НА	
ПІДПРИЄМСТВІ.....	28
3.1 Вибір джерел світла	28
3.2 Вибір системи освітлення	31
3.3 Вибір норм освітлення.....	35
3.4 Розрахунок загального освітлення методом коефіцієнта використання світлового потоку	36
3.5 Аварійне освітленням	37
3.6 Вибір щитка освітлення та розподіл навантаження за фазами	38
3.7 Розрахунок і вибір пускорегулювальної апаратури	42
Висновки до розділу 3	43

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].15.00.00.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Кваліфікаційна робота							
Виконав	Гордієнко В.С..									Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Басова Ю.О.									н	5	58
Керівник	Басова Ю.О.									ПДАУ, 2026 р.		
Н. контр.	Басова Ю.О.											
Затверд.	Попов С.В.											

РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	44
4.1 Розрахунок економії в натуральному еквіваленті та розрахунок окупності	44
4.2.Охорона праці.....	48
Висновки до розділу 4	50
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	52

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку промисловості одним із важливих напрямів підвищення енергоефективності підприємств є модернізація систем електричного освітлення. На багатьох промислових підприємствах України досі експлуатуються застарілі люмінесцентні системи освітлення, які характеризуються високим енергоспоживанням, низькою енергоефективністю та значними витратами на обслуговування. У зв'язку з постійним зростанням вартості електричної енергії та необхідністю забезпечення нормативних умов праці особливо актуальним є впровадження сучасних світлодіодних систем освітлення та автоматизованих систем керування освітленням.

Сучасні СВД-світильники мають значно вищу світлову ефективність, тривалий термін служби та низький рівень енергоспоживання порівняно з традиційними джерелами світла [1].

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розробка системи освітлення промислового підприємства із застосуванням світлодіодних джерел світла та системи керування освітленням.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі **завдання**:

- провести аналіз існуючої системи освітлення підприємства та дослідити нормативні вимоги до освітлення виробничих приміщень;
- виконати аналіз сучасних систем керування освітленням
- провести аудит системи освітлення та визначити річне споживання електричної енергії;
- здійснити підбір сучасних СВД-світильників;
- провести світлотехнічний розрахунок системи освітлення та розробити систему автоматизованого керування освітленням;
- виконати розрахунок економічної ефективності модернізації системи освітлення;
- розглянути питання охорони праці під час експлуатації системи освітлення.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єкт і предмет дослідження. Об'єктом дослідження є система електричного освітлення промислового підприємства. Предметом дослідження є процес модернізації системи освітлення промислового підприємства із використанням сучасних світлодіодних світильників та автоматизованої системи керування освітленням.

Методи дослідження. У процесі виконання роботи використано методи світлотехнічного розрахунку, метод коефіцієнта використання світлового потоку, методи аналізу енергоспоживання та нормативні методики оцінки параметрів освітлення.

Практичне значення роботи полягає у розробці енергоефективної системи освітлення для промислового підприємства, яка забезпечує нормативний рівень освітленості робочих зон, підвищує безпеку праці персоналу та дозволяє знизити споживання електричної енергії.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить таблиці і рисунки.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ТА ВИБІР СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ

1.1. Нормування освітлення промислового підприємства

Освітлення є одним із основних факторів забезпечення ефективного та безпечного функціонування промислового підприємства. Правильно спроектована система освітлення сприяє підвищенню продуктивності праці, зменшенню втоми працівників, покращенню умов праці та зниженню рівня виробничого травматизму. Для виробничих приміщень промислового підприємства система освітлення має особливе значення, оскільки на підприємстві виконуються роботи з механічної обробки металу, складання вузлів, контролю якості та фарбування металевих конструкцій. Недостатній рівень освітленості у виробничих зонах може призвести до погіршення якості продукції, збільшення кількості помилок персоналу та виникнення небезпечних виробничих ситуацій [1-3].

Нормування освітлення виробничих приміщень здійснюється відповідно до вимог будівельних норм та стандартів з освітлення промислових об'єктів. Освітлення виробничих приміщень поділяється на природне, штучне та суміщене.

Штучне освітлення використовується у виробничих приміщеннях підприємства для забезпечення необхідного рівня освітленості незалежно від часу доби та погодних умов. На промисловому підприємстві штучне освітлення реалізоване із застосуванням сучасних світлодіодних світильників промислового та офісного типу. Штучне освітлення поділяється на загальне освітлення; локалізоване освітлення; комбіноване освітлення.

Загальне освітлення призначене для рівномірного освітлення всього приміщення. Воно застосовується у виробничих цехах, складських приміщеннях, коридорах та адміністративних кімнатах підприємства. Загальне освітлення, у свою чергу, поділяється на:

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівномірне освітлення – світильники розташовуються рівномірно по площі приміщення та створюють однаковий рівень освітленості;

локалізоване загальне освітлення – світильники розміщуються з урахуванням розташування технологічного обладнання або робочих зон.

Комбіноване освітлення поєднує загальне та місцеве освітлення. Місцеве освітлення застосовується безпосередньо на робочих місцях для забезпечення підвищеного рівня освітленості під час виконання точних технологічних операцій, зокрема у лабораторії технічного контролю, на дільницях дрібноузлового складання та в зоні механічної обробки деталей. Використання лише місцевого освітлення у виробничих приміщеннях не допускається, оскільки це створює різкі перепади яскравості та підвищує втому зору працівників.

Природне освітлення на підприємстві забезпечується світлом небосхилу, яке проникає через віконні отвори та світлові прорізи. Рівень природного освітлення залежить від географічного розташування підприємства, орієнтації будівель, пори року, часу доби та погодних умов. Для виробничих цехів промислового підприємства використовується бокове природне освітлення через віконні отвори у зовнішніх стінах будівель.

Природне освітлення поділяється на: бокове – світло проникає через віконні прорізи у стінах; верхнє – освітлення через світлові ліхтарі або прорізи у покритті будівлі; комбіноване – поєднання бокового та верхнього природного освітлення [4].

У виробничих приміщеннях підприємства використовується переважно комбінована система освітлення, яка поєднує природне та штучне освітлення. Такий підхід дозволяє забезпечити нормативні значення освітленості робочих поверхонь протягом усього робочого часу.

Залежно від функціонального призначення освітлення поділяється на робоче, аварійне; евакуаційне, охоронне, чергове, бактерицидне, еритемне.

Основним видом освітлення на промислово підприємстві є робоче освітлення, яке забезпечує нормальні умови праці у виробничих, складських та адміністративних приміщеннях. Аварійне освітлення використовується для

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечення мінімально допустимого рівня освітленості у разі аварійного вимкнення основного електроживлення. Евакуаційне освітлення встановлюється у коридорах, проходах та на шляхах евакуації персоналу. Охоронне освітлення застосовується для освітлення території підприємства та постів охорони у нічний час.

Нормування освітленості виробничих приміщень залежить від характеру зорової роботи, контрасту об'єкта розрізнення з фоном та розміру об'єкта спостереження. Відповідно до норм, усі види робіт поділяються на категорії залежно від точності виконуваних операцій. Для робіт високої точності встановлюються підвищені вимоги до рівня освітленості.

Основними нормованими параметрами освітлення є: мінімальна освітленість робочої поверхні; коефіцієнт пульсації освітленості; показник засліпленості; рівномірність освітлення [1-3].

Для оцінювання ефективності системи освітлення у виробничих приміщеннях промислового підприємства проводяться вимірювання рівня освітленості за допомогою люксметра. Отримані результати порівнюються з нормативними значеннями для відповідних категорій зорових робіт. Це дозволяє визначити відповідність існуючої системи освітлення вимогам охорони праці та забезпечити безпечні умови праці для персоналу підприємства.

При застосуванні комбінованої системи освітлення частка загального освітлення повинна становити не менше 10 % від загального нормативного рівня освітленості робочої поверхні. При цьому рівень загального освітлення не повинен бути меншим ніж 150 лк для газорозрядних джерел світла та 50 лк для ламп розжарювання. Для виробничих приміщень промислового підприємства використовується комбінована система освітлення із застосуванням сучасних світлодіодних світильників, що дозволяє забезпечити нормативний рівень освітленості у виробничих, складських та адміністративних приміщеннях.

Однією з важливих вимог до систем виробничого освітлення є обмеження сліпучої дії світильників. Для запобігання виникненню відблисків та осліплення

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

працівників у виробничих приміщеннях нормується показник осліпленості. Його значення залежить від характеру та тривалості зорової роботи і, як правило, не повинно перевищувати 20–80 одиниць. Особливо важливим дотримання цієї вимоги є у механоскладальному цеху, на дільницях механічної обробки металу та в лабораторії технічного контролю, де працівники виконують роботи підвищеної точності.

Під час організації освітлення виробничих приміщень необхідно також враховувати коефіцієнт пульсації освітленості. Для більшості виробничих приміщень допустимий рівень пульсації становить 10–20 % залежно від характеру виконуваних робіт. Підвищена пульсація світлового потоку може створювати стробоскопічний ефект. У виробничих умовах цей ефект є особливо небезпечним, оскільки при збігу частоти пульсації освітлення з частотою обертання або руху деталей та механізмів може виникати візуальна ілюзія нерухомості або сповільненого руху обладнання. Це значно підвищує ризик виробничого травматизму, особливо у головному виробничому цеху та на дільниці різання профілів промислового підприємства.

Для визначення нормативного рівня освітленості необхідно враховувати умови праці, характер технологічного процесу, категорію зорової роботи та ймовірність виникнення виробничих травм. Підвищені значення освітленості передбачаються для приміщень, у яких виконуються зорові роботи I–IV категорій точності, а також для зон із підвищеною небезпекою травматизму. До таких приміщень на підприємстві належать лабораторія технічного контролю, механоскладальний цех, дільниця дрібновузлового складання та інженерно-конструкторський відділ.

У допоміжних та побутових приміщеннях, де персонал перебуває короткочасно, допускається зниження рівня освітленості з метою економії електричної енергії. Такий підхід дозволяє підвищити енергоефективність системи освітлення підприємства без погіршення умов праці.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Природне освітлення характеризується тим, що створюваний рівень освітленості змінюється залежно від часу доби, пори року та погодних умов. Для оцінювання ефективності природного освітлення використовується коефіцієнт природної освітленості (КПО). КПО визначається як відношення освітленості у певній точці всередині приміщення до одночасної зовнішньої горизонтальної освітленості, створеної світлом відкритого небосхилу, та виражається у відсотках.

Нормування коефіцієнта природної освітленості здійснюється окремо для бокового, верхнього та комбінованого природного освітлення. При боковому освітленні нормується мінімальне значення КПО у точках, найбільш віддалених від віконних прорізів. Для приміщень із комбінованим природним освітленням нормується середнє значення КПО у межах робочої зони.

На промисловому підприємстві у виробничих цехах використовується переважно бокове природне освітлення через віконні отвори у зовнішніх стінах будівель. У великих виробничих приміщеннях, зокрема у головному виробничому цеху та механоскладальному цеху, застосовується комбінована система освітлення, яка поєднує природне та штучне освітлення.

Комбіноване освітлення дозволяється застосовувати у виробничих приміщеннях, де виконуються зорові роботи високої точності, зокрема роботи I та II категорій. Така система освітлення забезпечує стабільний рівень освітленості робочих поверхонь та створює комфортні умови праці для персоналу підприємства.

1.2. Аналіз сучасних систем керування промисловим освітленням

На сучасному етапі розвитку промисловості системи освітлення є не лише засобом забезпечення нормативних умов праці, а й важливою складовою енергоефективності підприємства. Значне зростання вартості електричної енергії, підвищення вимог до умов праці персоналу та необхідність зниження експлуатаційних витрат обумовлюють активне впровадження сучасних автоматизованих систем керування освітленням. Особливо актуальним це питання

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

є для промислових підприємств, де освітлення функціонує протягом тривалого часу та характеризується значним рівнем енергоспоживання.

Однією з найбільш поширених систем цифрового керування освітленням є протокол DALI (Digital Addressable Lighting Interface). Дана система призначена для адресного керування світильниками, драйверами та іншими елементами освітлювальної установки. Використання протоколу DALI дозволяє здійснювати індивідуальне керування кожним світильником або об'єднувати їх у групи залежно від функціонального призначення приміщення та режиму роботи підприємства. Основною перевагою системи є можливість гнучкого налаштування освітлення, що забезпечує значне зниження споживання електричної енергії та підвищення ефективності роботи системи освітлення в цілому [4, 5].

Сучасні системи керування освітленням передбачають використання сценаріїв роботи освітлення. Сценарій освітлення являє собою попередньо налаштований режим роботи світильників, який визначає рівень освітленості, час роботи освітлювальних приладів та порядок увімкнення окремих груп світильників. Використання сценарного керування дозволяє адаптувати систему освітлення до конкретних виробничих процесів, забезпечити необхідні рівні освітленості в різних режимах роботи підприємства та мінімізувати витрати електроенергії. Для промислових підприємств найбільш поширеними є робочий, черговий, аварійний та енергозберігаючий режими освітлення. Реалізація сценаріїв є особливо ефективною при використанні LED-світильників та цифрових систем керування DALI [5].

Важливим напрямом розвитку сучасних освітлювальних систем є автоматизація процесів керування освітленням. Автоматизовані системи дозволяють здійснювати керування освітленням без постійного втручання обслуговуючого персоналу. Для цього використовуються датчики руху, датчики присутності, датчики освітленості, програмовані контролери та таймери. Автоматичне керування забезпечує увімкнення світильників лише за необхідності, що дозволяє суттєво скоротити витрати електроенергії. Особливо ефективним є

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використання автоматизації у виробничих цехах, складських приміщеннях, коридорах та допоміжних приміщеннях підприємств [6].

Система освітлення є одним із найбільших споживачів електричної енергії на промислових підприємствах. Значна частина існуючих освітлювальних установок базується на використанні застарілих люмінесцентних та газорозрядних ламп, які характеризуються високим рівнем енергоспоживання та низькою енергоефективністю. У зв'язку з цим одним із основних напрямів модернізації освітлювальних установок є впровадження світлодіодних джерел світла. Використання LED-світильників дозволяє значно знизити споживання електроенергії, підвищити якість освітлення та скоротити витрати на технічне обслуговування системи освітлення. Додаткову економію забезпечують системи димування, автоматичне регулювання рівня освітленості та сценарне керування світильниками [7].

Модернізація систем освітлення промислових підприємств є одним із найбільш ефективних заходів підвищення енергоефективності виробництва. Основною метою модернізації є заміна застарілих джерел світла сучасними LED-світильниками та впровадження автоматизованих систем керування освітленням. Це дозволяє забезпечити нормативні рівні освітленості відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018, підвищити комфорт та безпеку праці персоналу, а також суттєво скоротити витрати електроенергії. Для підприємств із цілодобовим режимом роботи модернізація освітлення має особливо важливе значення, оскільки система освітлення є одним із найбільших споживачів електроенергії [4, 8].

Висновок до розділу 1

У розділі було розглянуто основні вимоги до організації систем освітлення промислових підприємств та проаналізовано сучасні підходи до керування освітлювальними установками. У розділі також проаналізовано сучасні системи керування промисловим освітленням.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВІ

2.1. Опис приміщення та стан системи освітлення

Промислове підприємство спеціалізується на виготовленні машин, металоконструкцій, запасних частин і технологічного обладнання для промисловості та агропромислового комплексу. Основними напрямками діяльності підприємства є механічна обробка металу, зварювання, складання вузлів і металевих конструкцій, фарбування готової продукції та проведення технічного контролю.

Виробничі та допоміжні приміщення підприємства поділені на окремі функціональні зони відповідно до технологічного процесу. На підприємстві функціонують механоскладальні цехи, дільниці металообробки, складські приміщення, лабораторії технічного контролю, адміністративні та побутові приміщення. План виробничих приміщень наведено на рис. 2.1. Характеристика приміщень підприємства і встановленого освітлювального обладнання наведена у табл. 2.1

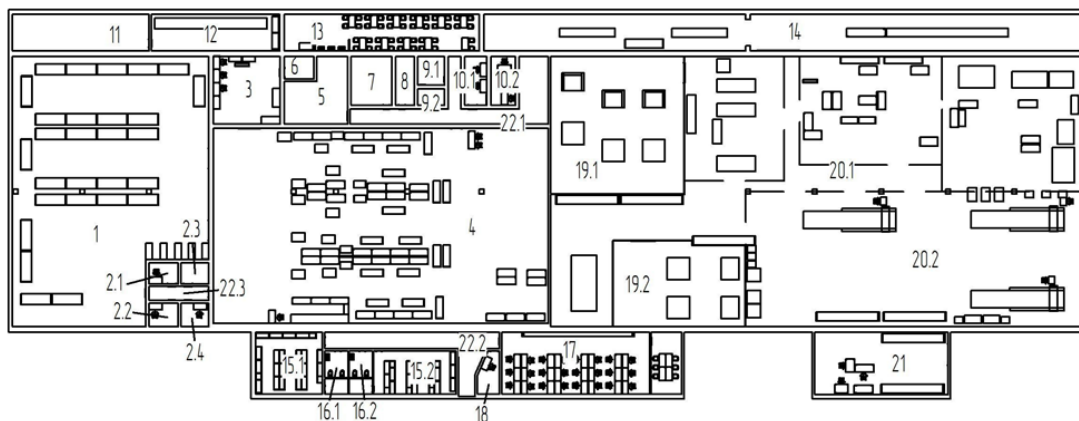


Рисунок 2.1 - Схема заводу

Таблиця 2.1 – Характеристика виробничих та допоміжних приміщень промислового підприємства

№ на схемі	Назва приміщення	Площа, м ²	Характеристика приміщення	Світильники
1	Склад металевих заготовок	400	Відсутні віконні прорізи, бетонна підлога та стеля, висота приміщення 6 м, встановлені металеві стелажі для зберігання заготовок	7 світильників INDUSTRY 454 X
2	Службові приміщення працівників складу	4×5	Адміністративні приміщення зі стелею типу «Армстронг», бетонною підлогою та побіленими стінами	Світильники SHINE 418 R IP20
3	Лабораторія технічного контролю	37	Приміщення для контролю якості деталей, вузлів та металоконструкцій	9 світильників SHINE 418 R IP20
4	Механоскладальний цех	530	Основна виробнича зона складання обладнання та металоконструкцій, висота стелі 6 м, наявні віконні прорізи	45 світильників INDUSTRY 154 X
5	Склад комплектуючих та інструменту	28	Приміщення для зберігання інструменту, кріплень та запасних частин	3 світильники SHINE 418 R IP20
6	Дільниця технічного контролю	4	Контроль та перевірка готової продукції	1 світильник SHINE 418 R IP20
7	Приміщення ізоляції бракованої продукції	16	Тимчасове зберігання бракованих деталей та вузлів	2 світильники SHINE 418 R IP20
8	Приміщення обліку браку	7,4	Допоміжне виробниче приміщення	2 світильники SHINE 418 R IP20
9	Кабінет головного механіка	10,3	Адміністративне приміщення технічного персоналу	2 світильники SHINE 418 R IP20
10	Кабінет начальника виробництва	16	Управління виробничими процесами підприємства	4 світильники SHINE 418 R IP20
11	Випробувальна дільниця	40	Проведення технічних випробувань вузлів та обладнання	1 світильник SHINE 418 R IP20
12	Дільниця дрібновузлового складання	38	Складання окремих механізмів та вузлів	14 світильників SHINE 418 R IP20
13	Їдальня для персоналу	58	Побутове приміщення для працівників підприємства	8 світильників SHINE 418 R IP20
14	Металообробний цех	179	Виконання токарних, фрезерних та свердлильних робіт	11 світильників INDUSTRY 180 X
15	Роздягальні персоналу	62	Чоловіча та жіноча роздягальні для працівників	8 світильників SHINE 418 R IP20

16	Санітарно-побутові приміщення	10	Санвузли та допоміжні приміщення підприємства	4 світильники SHINE 418 R IP20
17	Інженерно-конструкторський відділ	89	Робочі місця інженерно-технічного персоналу та конструкторів	18 світильників SHINE 418 R IP20
18	Пост охорони	7	Контроль доступу на територію підприємства	1 світильник SHINE 418 R IP20
19	Фарбувальна дільниця	238	Фарбування металевих конструкцій та готової продукції	15 світильників INDUSTRY 280 X
20	Головний виробничий цех	932	Механічна обробка металу, зварювання та складання великогабаритних конструкцій	20 світильників INDUSTRY 454 X
21	Дільниця різання профілів	67	Різання металевого профілю та заготовок	8 світильників SHINE 418 R IP20
22	Коридори та проходи	67	Допоміжні приміщення та проходи між виробничими зонами	11 світильників SHINE 418 R IP20

Основними споживачами електричної енергії на підприємстві є технологічне обладнання, системи вентиляції, компресорні установки та система освітлення. Значна площа виробничих цехів і тривалий режим роботи підприємства зумовлюють необхідність використання енергоефективної системи освітлення, яка повинна забезпечувати нормативний рівень освітленості робочих поверхонь, безпечні умови праці та мінімальне споживання електричної енергії.

2.2. Обладнання, необхідне для аудиту системи освітлення

Для проведення аудиту системи освітлення виробничих та адміністративних приміщень промислового підприємства використовувався цифровий люксометр Venetech GM1020, який широко застосовується в Україні під час проведення енергоаудиту, обстеження систем освітлення та контролю умов праці. Прилад призначений для вимірювання рівня освітленості, створеної природним, штучним або комбінованим освітленням.

Вимірювання освітленості виконувались відповідно до вимог нормативних документів щодо контролю параметрів виробничого освітлення [4, 9]. Для забезпечення достовірності результатів під час проведення вимірювань необхідно

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дотримуватись таких умов: температура навколишнього середовища – від +5 °С до +40 °С; відносна вологість повітря – не більше 80 %; атмосферний тиск – від 84 до 106 кПа; відсутність механічних пошкоджень фоточутливого елемента та сторонніх джерел засвічення.

Люксометр Venetech GM1020 має широкий діапазон вимірювання освітленості – від 0,1 до 200 000 лк, що дозволяє виконувати вимірювання як у виробничих цехах із високою освітленістю, так і у допоміжних приміщеннях підприємства [10]. Основна похибка вимірювання не перевищує $\pm 3-4$ %, що забезпечує достатню точність результатів при проведенні аудиту систем освітлення.

Прилад складається з таких основних елементів: електронного блоку обробки сигналу; цифрового дисплея; фотометричної головки з фоточутливим елементом; мікропроцесорного перетворювача сигналу; автономного джерела живлення.

Принцип роботи люксометра полягає у перетворенні світлового потоку, що потрапляє на фоточутливий елемент, у електричний сигнал. Після цього сигнал надходить до електронного перетворювача, де виконується його обробка та перетворення в цифрове значення освітленості. Отримані результати відображаються на дисплеї приладу у люксах.

Для отримання достовірних результатів вимірювання освітленості у виробничих приміщеннях промислового підприємства проводились на висоті 0,8 м від рівня підлоги, що відповідає рівню робочої поверхні. У виробничих цехах вимірювання виконувались безпосередньо у робочих зонах біля технологічного обладнання, а в адміністративних приміщеннях – у зоні розташування робочих місць персоналу.

Виробничі приміщення були умовно поділені на контрольні зони. У кожній зоні визначались контрольні точки вимірювання освітленості. Кількість точок залежала від площі приміщення, характеру технологічного процесу та розташування світильників.

Вимірювання освітленості здійснювались на рівні робочої поверхні: у виробничих цехах – на висоті 0,8 м від рівня підлоги; у складських приміщеннях –

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на рівні робочої зони; в адміністративних приміщеннях – на поверхні робочих столів [4, 9].

Фотометрична головка люксметра розташовувалась горизонтально у контрольній точці таким чином, щоб на неї не потрапляла тінь від оператора або сторонніх предметів. Після стабілізації показів приладу значення освітленості фіксувались у люксах.

У кожному приміщенні виконувалось декілька вимірювань у різних точках. За отриманими даними визначались: середня освітленість приміщення; мінімальне значення освітленості; максимальне значення освітленості; рівномірність освітлення [4, 9].

Рівномірність освітлення U_0 оцінювалась як відношення мінімальної освітленості до середньої (2.1)

$$U_0 = E_{min} / E_{сер} \quad (2.1)$$

де E_{min} – мінімальна освітленість, лк;

$E_{сер}$ – середня освітленість, лк.

Отримані результати порівнювались із нормативними значеннями освітленості для відповідних категорій зорових робіт. На основі проведених вимірювань оцінювався технічний стан системи освітлення, визначались зони з недостатнім рівнем освітленості та розроблялись рекомендації щодо модернізації освітлювальної установки підприємства.

2.3. Розрахунок річного споживання електроенергії системою освітлення

У сучасних умовах, коли вартість електричної енергії постійно зростає, великі промислові споживачі все частіше впроваджують різні заходи, спрямовані на зниження енергоспоживання. Одним із перших етапів підвищення

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергоефективності підприємства є проведення комплексного енергетичного аудиту [11, 12]. На основі даних, отриманих під час енергоаудиту, розробляються заходи щодо зменшення споживання електричної енергії окремими інженерними системами підприємства.

Заходи з енергозбереження розробляються індивідуально для конкретного споживача електричної енергії з урахуванням особливостей технологічного процесу, режиму роботи обладнання, площі приміщень, типу встановлених світильників та тривалості їх експлуатації протягом року.

Спочатку виконується аналіз усіх основних систем енергоспоживання підприємства, після чого розрахунок можливої економії здійснюється окремо для кожної системи. Однією з найбільш важливих систем енергоспоживання на промисловому підприємстві є система освітлення. У багатьох виробничих приміщеннях досі можуть використовуватися застарілі джерела світла або світильники з низькою енергоефективністю. Водночас упровадження сучасного світлодіодного освітлення у поєднанні з інтелектуальними системами керування дозволяє суттєво зменшити витрати електричної енергії на освітлення.

Хоча модернізація системи освітлення потребує певних капітальних вкладень, у довгостроковій перспективі це рішення є економічно доцільним, оскільки забезпечує зниження експлуатаційних витрат, підвищення надійності освітлювальної установки та покращення умов праці персоналу.

Застосування сучасних систем автоматичного керування освітленням дозволяє забезпечити роботу джерел світла лише тоді, коли це необхідно. Наприклад, використання датчиків руху дає змогу вмикати освітлення тільки у тих зонах, де перебувають працівники. Датчики освітленості дозволяють регулювати світловий потік залежно від рівня природного освітлення, погодних умов та часу доби, підтримуючи необхідний рівень освітленості у робочій зоні.

Система освітлення є значним споживачем електричної енергії, особливо у виробничих, складських, адміністративних та побутових приміщеннях

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

промислового підприємства. Тому розрахунок річного споживання електроенергії системою освітлення є важливим етапом енергетичного аудиту.

Для виконання розрахунку необхідно мати такі вихідні дані:

- кількість світильників у кожному приміщенні;
- кількість ламп або світлодіодних модулів у кожному світильнику;
- потужність одного джерела світла;
- тип світильників;
- режим роботи освітлювальної установки;
- тривалість роботи освітлення протягом доби та року;
- наявність систем автоматичного керування освітленням;
- коефіцієнти втрат у пускорегулювальній апаратурі;
- коефіцієнт використання світлового потоку;
- періодичність очищення світильників;
- фактичний рівень освітленості у приміщеннях.

Під час аудиту системи освітлення промислового підприємства необхідно виміряти фактичну освітленість у виробничих та допоміжних приміщеннях і порівняти її з нормативними значеннями. Це дозволяє визначити, чи відповідає існуюча система освітлення вимогам безпеки праці та енергоефективності.

На досліджуваному промисловому підприємстві використовуються різні типи світильників для виробничих, складських, адміністративних та побутових приміщень. До них належать промислові світлодіодні світильники, світильники типу High Bay для цехів із великою висотою підвісу, LED-панелі для офісних приміщень, а також вологозахищені світильники для санітарно-побутових і технічних приміщень.

Оскільки відома кількість світильників і потужність установлених джерел світла, можна визначити встановлену потужність освітлювальної установки для кожного приміщення. Якщо у світильниках застосовуються газорозрядні лампи, додатково враховуються втрати у пускорегулювальній апаратурі. Для сучасних

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

світлодіодних світильників ці втрати зазвичай уже враховані у паспортній потужності світильника.

Потужність світильників одного типу в окремому приміщенні визначається за формулою (2.2)

$$P_i = P_l \cdot K_{ПРА} \cdot N_l \quad (2.2)$$

Де P_i – сумарна потужність світильників одного типу в i -му приміщенні, Вт;

P_l – потужність однієї лампи або одного світильника, Вт;

$K_{ПРА}$ – коефіцієнт втрат у пускорегулювальній апаратурі;

N_l – кількість ламп або світильників одного типу в i -му приміщенні, шт.

Якщо у приміщенні встановлено кілька типів світильників, тоді загальна встановлена потужність освітлення визначається як сума потужностей усіх груп світильників (2.3)

$$P_{\Sigma i} = \sum_{j=1}^n P_{sj} \quad (2.3)$$

де $P_{\Sigma i}$ – загальна встановлена потужність освітлення в i -му приміщенні, Вт;

P_{ij} – потужність j -ї групи світильників в i -му приміщенні, Вт;

n – кількість груп світильників у приміщенні.

Для переведення потужності з ватів у кіловати використовується формула (2.4)

$$P = P_{\Sigma i} / 1000 \quad (2.4)$$

де P – встановлена потужність освітлення, кВт;

$P_{\Sigma i}$ встановлена потужність освітлення, Вт.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Річне споживання електроенергії системою освітлення для окремого приміщення визначається за формулою (2.5)

$$W_i = P \cdot t_p \quad (2.5)$$

де W_i – річне споживання електроенергії освітленням в і-му приміщенні, кВт·год;

t_p – річна тривалість роботи освітлення, год.

Річна тривалість роботи освітлення визначається за формулою (2.6)

$$t_p = t_d \cdot D \quad (2.6)$$

де t_d – середня тривалість роботи освітлення протягом доби, год;

D – кількість робочих днів на рік.

Загальне річне споживання електроенергії системою освітлення підприємства визначається як сума споживання електроенергії всіма приміщеннями (2.7)

$$W_\Sigma = \sum_{i=1}^m W_i \quad (2.7)$$

де W_Σ – загальне річне споживання електроенергії системою освітлення підприємства, кВт·год;

W_i – річне споживання електроенергії освітленням в і-му приміщенні, кВт·год;

m – кількість приміщень підприємства.

Таким чином, розрахунок річного споживання електроенергії системою освітлення дозволяє оцінити фактичні витрати електричної енергії на освітлення промислового підприємства.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для визначення встановленої потужності системи освітлення промислового підприємства необхідно розрахувати потужність світильників, які використовуються у виробничих, адміністративних та допоміжних приміщеннях підприємства.

Потужність світильника P_{cv} визначається за формулою (2.8)

$$P_{cv} = P_l \cdot K_\delta \cdot N_l \quad (2.8)$$

де P_l – потужність одного джерела світла, Вт;

K_δ – коефіцієнт втрат у драйвері або пускорегулювальному обладнанні;

N_l – кількість джерел світла у світильнику.

Для сучасних світлодіодних світильників коефіцієнт втрат драйвера приймається $K_\delta = 1,05$. Потужність промислових світильників розрахована у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Потужність промислових світильників

№	Тип світильника	Номинальна потужність, Вт	Коефіцієнт втрат драйвера	Розрахункова потужність світильника, Вт
1	VARTON Strong 150W	150	1,05	157,5
2	Eurolamp High Bay 100W	100	1,05	105
3	VARTON Industrial 120W	120	1,05	126
4	Philips CoreLine RC132V	36	1,05	37,8
5	Videx 36W	36	1,05	37,8
6	Maxus Highbay 100W	100	1,05	105

Сумарна потужність світильників у приміщенні визначається за формулою (2.9)

$$P_{cv,i} = P_{cv} \cdot N_{cv} \quad (2.9)$$

де $P_{cv,i}$ – сумарна потужність світильників у приміщенні, Вт;

P_{cv} – потужність одного світильника, Вт;

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$N_{св}$ – кількість однотипних світильників у приміщенні.

Для приміщення №1 «Склад металевих заготовок» встановлено 7 світильників типу VARTON Strong 150W. Тоді сумарна потужність освітлення приміщення становить

$$P_1=241,92 \cdot 7=1102,5 \text{ Вт}=1,69 \text{ кВт}$$

Інші розрахунки сумарної потужності у приміщеннях підприємства наведена у додатку В. Загальна встановлена потужність системи освітлення

$$\sum P_{св}=23,62 \text{ кВт}$$

Далі необхідно розрахувати коефіцієнт використання електричної потужності K_i світильників за формулою (2.10)

$$K_i=T_{вик} / T_{повн} \quad (2.10)$$

Де $T_{вик}$ – фактичний час використання світильника протягом робочого дня, год;

$T_{повн}$ – повна тривалість робочого дня, год.

Коефіцієнт використання електричної потужності світильників для приміщення №1 «Склад металевих заготовок» визначається так

$$K_i=8 / 9=0,88$$

Інші розрахунки коефіцієнту використання електричної потужності світильників у приміщеннях підприємства наведена у додатку В (табл В.2).

Наступним етапом є розрахунок річного споживання електричної енергії W_{ei} системою освітлення (2.11)

$$W_{ei}=P_{св.i} \cdot T_{ei} \cdot K_i \quad (2.11)$$

де $P_{св.i}$ – сумарна потужність світильників у приміщенні, кВт;

T_{ei} – річна кількість годин роботи системи освітлення приміщення, год;

Річне споживання електроенергії світильниками у приміщенні №1 «Склад

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

металевих заготовок» визначається так:

$$W_I = 1,69 \cdot 2520 \cdot 0,88 = 3755,37 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Інші розрахунки споживання електроенергії світильниками на підприємстві наведені у додатку В (табл. В.3) Загальне річне споживання електроенергії системою освітлення $W_{\Sigma} = 80023,62 \text{ кВт} \cdot \text{год}$.

Висновок до розділу 2

У розділі було проведено аналіз системи освітлення промислового підприємства, розглянуто характеристику виробничих, адміністративних та допоміжних приміщень, а також визначено особливості існуючої освітлювальної установки. Для проведення аудиту системи освітлення було обрано цифровий люксометр Venetech GM1020. Результати дозволили оцінити відповідність фактичного рівня освітленості нормативним вимогам та визначити необхідність модернізації системи освітлення. У розділі також виконано розрахунок річного споживання електричної енергії системою освітлення підприємства.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3
РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ НА
ПІДПРИЄМСТВІ

3.1 Вибір джерел світла

На даний час на підприємстві для освітлення виробничих, складських та адміністративних приміщень використовуються люмінесцентні світильники. Для освітлення виробничих приміщень і складських зон застосовуються світильники типу INDUSTRY 454 X, INDUSTRY 154 X, INDUSTRY 180 X та INDUSTRY 280 X. Для адміністративних і побутових приміщень використовуються світильники SHINE 418 R IP20. У зазначених світильниках встановлені люмінесцентні лампи серій Philips Master TL5 та Philips Master TL-D Super 80.

Відповідно до сучасних тенденцій енергозбереження та вимог нормативних документів України поступово відбувається відмова від використання малоефективних люмінесцентних джерел світла. Згідно з вимогами Директив Європейського Союзу з екодизайну та положеннями Технічного регламенту енергетичного маркування джерел світла в Україні, використання застарілих люмінесцентних ламп поступово обмежується через їх низьку енергоефективність та негативний вплив на навколишнє середовище [13, 14].

Одним із суттєвих недоліків люмінесцентних ламп є наявність у їх конструкції ртуті. Кількість ртуті в одній лампі може становити від 1 до 70 мг. Ртуть належить до першого класу небезпеки, тому пошкодження або неправильна утилізація люмінесцентних ламп можуть становити небезпеку для здоров'я людини та навколишнього середовища. У зв'язку з цим сучасні системи освітлення промислових підприємств дедалі частіше базуються на використанні світлодіодних джерел світла.

Найбільш енергоефективним сучасним джерелом світла є світлодіод. На сьогодні існують світлодіоди зі світловою ефективністю понад 200 лм/Вт, що

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє значно зменшити споживання електричної енергії системою освітлення. Світлодіод є напівпровідниковим елементом, у якому випромінювання світла виникає під час проходження електричного струму у прямому напрямку. Конструкція світлодіода містить два напівпровідникові шари: один із надлишком електронів, інший – із так званими «дірками». Під час проходження постійного струму через р-n перехід відбувається рекомбінація носіїв заряду, у результаті чого виділяються фотони світла.

Світлодіоди поділяються за колірною температурою. Для отримання білого світла різної колірної температури використовується люмінофор. Більшість світлодіодів первинно випромінюють синє світло, яке після проходження через шар люмінофора перетворюється на біле світло необхідного відтінку.

У сучасних світлодіодних світильниках переважно використовуються світлодіоди типу SMD (Surface Mounted Device). Такі світлодіоди монтуються безпосередньо на поверхню друкованої плати, що дозволяє значно зменшити габаритні розміри світильників, покращити тепловідведення та підвищити надійність роботи освітлювального обладнання. SMD-світлодіоди є найбільш поширеними компонентами у сучасних світильниках. Корпус світлодіода може виготовлятися з пластику або кераміки. Керамічні корпуси використовуються переважно у потужних промислових світильниках, оскільки під час роботи світлодіодів виділяється значна кількість тепла

Одним із факторів, що впливають на ефективність світлодіода, є величина струму, який проходить через нього (рис. 3.1). Кожен світлодіод має допустимі межі робочого струму. У разі перевищення допустимого значення струму світлодіод починає деградувати значно швидше, що призводить до зменшення світлового потоку та скорочення терміну служби.

Основною проблемою при експлуатації світлодіодів є забезпечення ефективного тепловідведення. Близько 70 % спожитої електричної енергії перетворюється на тепло, і лише близько 30 % – у світлове випромінювання. При недостатньому тепловідведенні спостерігається не лише зниження яскравості

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

світильника, а й зміна колірних характеристик світла [1, 17, 18].

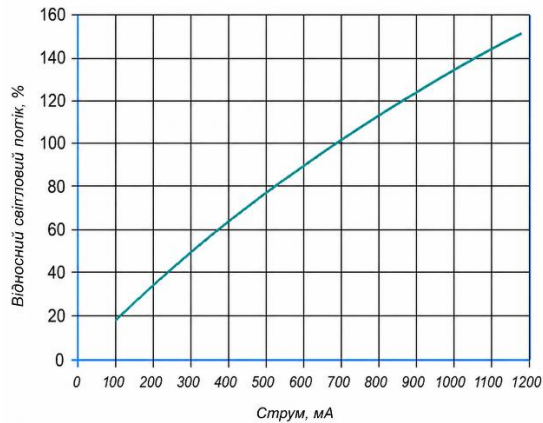


Рисунок 3.1 – Залежність світлового потоку від струму [15, 16]

Ефективність світлодіода також залежить від температури кристала. При підвищенні температури світловий потік світлодіода зменшується, що негативно впливає на енергоефективність та стабільність роботи системи освітлення (рис 3.2) [15, 16].

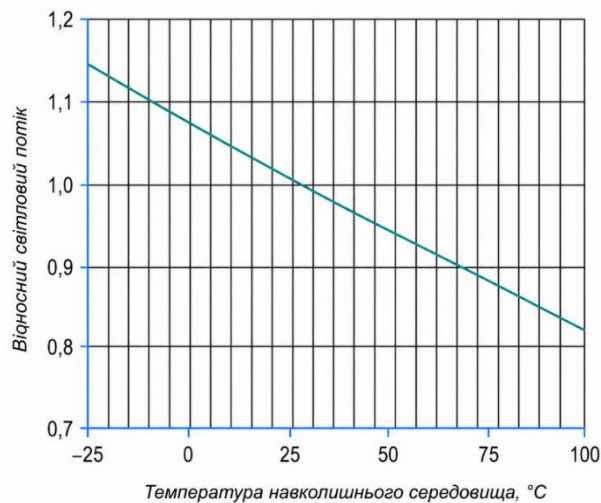


Рисунок 3.2. – Залежність світлового потоку від температури на корпусі

З огляду на високі показники енергоефективності світлодіодних джерел світла для модернізації системи освітлення на промисловому підприємстві були обрані сучасні LED-світильники. Для складських приміщень та виробничих зон із великою висотою підвісу передбачено використання промислових світильників типу VARTON Strong та Eurolamp High Bay. Для адміністративних приміщень обрано

LED-панелі Philips CoreLine та Videx, а для виробничих приміщень – промислові світильники VARTON Industrial і Maxus Highbay. Для локального освітлення робочих зон можуть використовуватися світлодіодні світильники спрямованого освітлення.

3.2 Вибір системи освітлення

Для підвищення енергоефективності існуючої системи освітлення підприємства, окрім використання сучасних світлодіодних джерел світла, доцільно застосовувати автоматизовані системи керування освітленням [6, 19]. На підприємстві пропонується впровадження керованої системи освітлення, під якою розуміють інтелектуальну мережу, що забезпечує необхідний рівень освітлення у визначеній зоні та у потрібний проміжок часу.

Для реалізації системи керування освітленням використовуються різні типи датчиків: датчики руху, датчики присутності та датчики освітленості. Датчики руху можуть бути мікрохвильовими, ультразвуковими та інфрачервоними.

Мікрохвильові датчики руху працюють за принципом радіолокації. Датчик випромінює електромагнітні хвилі та реагує на зміну параметрів відбитого сигналу. Перевагою такого типу датчиків є можливість виявлення руху навіть через деякі перешкоди, однак це може також спричинити помилкові спрацювання.

Ультразвукові датчики працюють на основі звукової локації. Генератор датчика створює ультразвукові коливання, які не сприймаються людиною, але відбиваються від об'єктів та повертаються до приймача. Зміна частоти відбитого сигналу визначається за ефектом Доплера, що дозволяє фіксувати рух у контрольованій зоні.

Інфрачервоні датчики руху функціонують на основі визначення температурного випромінювання об'єкта. Для спрацювання датчика необхідна наявність руху об'єкта та відмінність його температури від температури навколишнього середовища. Теплове випромінювання викликає зміну електричного

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потенціалу PIR-сенсора, після чого система аналізує зміну температури контрольованої зони та формує сигнал керування.

У системах керування освітленням також використовуються датчики освітленості [19]. Такі датчики дозволяють автоматично вмикати або вимикати освітлення залежно від рівня природного освітлення. Принцип роботи датчика базується на зміні опору фоторезистора: зі зменшенням природної освітленості опір фоторезистора збільшується, у результаті чого зростає напруга на вході реле та відбувається вмикання освітлення.

Для створення сучасної системи освітлення необхідно обрати протокол керування світильниками. На сьогодні існує значна кількість протоколів керування освітленням, серед яких найбільш поширеними є DMX-512A, 0–10 В, RDM, KNX та DALI.

Протокол DMX-512A розроблений для цифрових мереж керування світлодіодними світильниками та іншими освітлювальними пристроями. У даному протоколі використовується пакетна передача даних та диференціальний сигнал стандарту EIA-485. Недоліком DMX є односторонній обмін інформацією. Передача даних здійснюється послідовно, а для передавання інформації по 512 каналах потрібно близько 23 мс. У разі необхідності швидшого оновлення даних кількість каналів зменшується.

Популярність протоколу DMX-512A пояснюється простотою реалізації, високою надійністю та невеликою вартістю обладнання. Протокол дозволяє керувати різними групами світильників за допомогою трьох провідників. Максимальна кількість пристроїв без використання додаткових повторювачів становить до 512 світильників. Однією з особливостей стандарту EIA-485 є необхідність послідовного підключення обладнання. У межах одного сегмента може використовуватись до 32 світильників при загальній довжині лінії до 1 км.

Стандарт керування 0–10 В є одним із перших аналогових протоколів керування освітленням. Регулювання освітлення здійснюється шляхом зміни напруги в межах від 0 до 10 В, де 0 В відповідає вимкненому стану світильника, а

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10 В – 100 % яскравості. Основними перевагами цього стандарту є простота реалізації та невисока вартість. Однак для забезпечення стабільної роботи необхідно використовувати екрановані лінії керування для захисту від електромагнітних завад.

Недоліком системи 0–10 В є значна кількість кабельних ліній, оскільки для керування кожним світильником необхідно використовувати окремі провідники. При великій кількості освітлювальних приладів це призводить до збільшення вартості системи освітлення та ускладнення монтажу. Також на великих відстанях можливе погіршення якості передавання сигналу.

До протоколів із двостороннім обміном інформацією належать DALI, KNX та RDM. Протокол RDM є модернізованою версією DMX та дозволяє отримувати інформацію від світильників по стандартних лініях DMX. При використанні RDM забезпечується можливість конфігурування, моніторингу та керування світильниками, а також зчитування параметрів роботи: споживаного струму, температури, часу роботи, індексу кольоропередачі та напруги мережі.

Протокол RDM має низку переваг: сумісність із мережею DMX, можливість індивідуального або групового керування світильниками, автоматичне визначення обладнання та зручне формування груп освітлювальних приладів. Проте через високу вартість обладнання та обмежену кількість драйверів із підтримкою RDM даний протокол поки що не набув широкого застосування у промислових системах освітлення.

Протокол KNX базується на стандартах EHS, VatiBUS та EIB. Він відзначається високою надійністю та простотою організації мережі. Особливістю KNX є те, що силова проводка використовується лише для виконавчих пристроїв, а всі контролери, датчики та системні елементи об'єднуються окремою шиною керування. Це дозволяє зменшити кількість силових кабелів та електричних з'єднань.

На сьогодні найбільш поширеним стандартом керування системами освітлення є протокол DALI (Digital Addressable Lighting Interface). Даний протокол був розроблений як сучасна заміна аналогового керування 0–10 В. Система DALI

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє здійснювати адресне керування окремими світильниками або їх групами, забезпечує двосторонній обмін інформацією, контроль параметрів роботи та гнучке налаштування освітлювальної системи. Завдяки високій надійності, масштабованості та енергоефективності протокол DALI доцільно використовувати при модернізації системи освітлення на підприємстві.

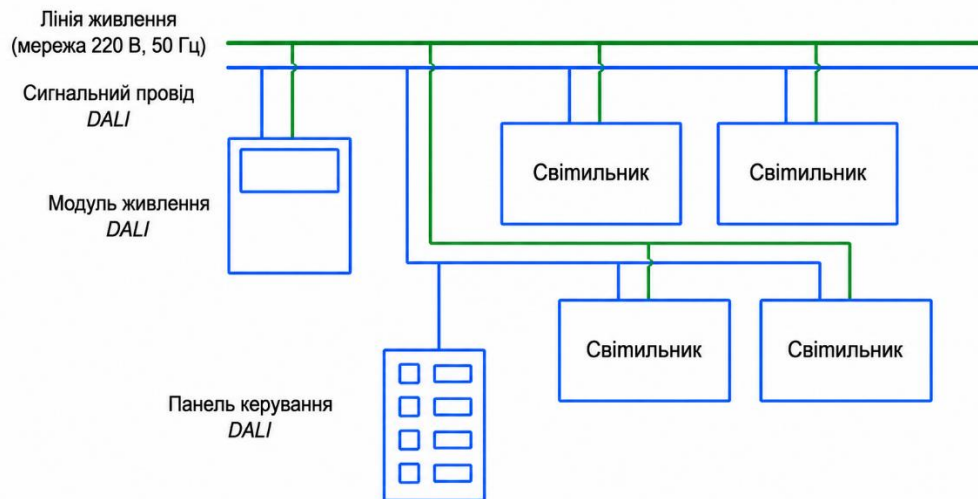


Рисунок 3.3 – Передавання даних мережею DALI

За протоколом DALI можливе керування 64 пристроями за допомогою однієї шини керування [5]. На відміну від протоколу 1–10 В, сигнальну проводку не потрібно екранувати, оскільки електромагнітні завади практично не впливають на стабільність роботи системи освітлення. Також завдяки протоколу DALI в межах однієї зони можливо реалізувати до 16 різних сценаріїв освітлення. Керувальна проводка підключається безпосередньо до системи керування світильниками, що значно спрощує монтаж систем освітлення з великою кількістю груп та зон освітлення.

За допомогою протоколу DALI можливо реалізувати плавне регулювання яскравості світильників до рівня 0,1 %. На рисунку 2.4 представлена крива димування світильників. Проте більшість сучасних драйверів поки що не дозволяють повністю реалізувати потенціал протоколу DALI, оскільки мінімальний робочий струм становить близько 5–6 мА.

У протоколі DALI використовується кодування Манчестера, яке забезпечує

корекцію помилок під час передавання даних. Максимальна довжина сегмента мережі залежить від перерізу кабелю. Для кабелю перерізом 1,5 мм² довжина сегмента може досягати 300 м, для кабелю перерізом 0,5 мм² – до 100 м, а при перерізі 0,75 мм² – до 150 м.

На сьогодні протокол DALI є одним із найбільш поширених і затребуваних стандартів керування освітленням. Зважаючи на його переваги, надійність, простоту реалізації та доступність обладнання на ринку України, для модернізації системи освітлення на підприємстві доцільно використовувати саме протокол DALI.

3.3 Вибір норм освітлення

Штучне освітлення використовується для доповнення природного освітлення у приміщеннях, де рівень природної освітленості є недостатнім або відсутній доступ сонячного світла.

Від рівня освітленості безпосередньо залежать працездатність персоналу, рівень втоми, стан здоров'я та стійкість працівників до зорового навантаження і стресових факторів. Якість зорового сприйняття значною мірою визначається рівнем освітленості робочої поверхні, тому під час проектування систем освітлення необхідно суворо дотримуватися встановлених нормативних вимог [1-4].

На сьогодні в Україні діють нормативні документи, відповідно до яких здійснюється вибір освітлювального обладнання та нормування освітленості виробничих приміщень. Основним нормативним документом є ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» [4]. Даний документ враховує сучасні вимоги до енергоефективності, безпеки праці та якості освітлення під час проектування систем освітлення промислових і адміністративних будівель.

Для визначення нормативного значення освітленості робочої поверхні необхідно насамперед встановити мінімальний розмір об'єкта розрізнення під час виконання зорової роботи. На основі цього визначається розряд зорової роботи.

Після визначення розряду зорової роботи необхідно встановити підрозряд

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зорової роботи. Підрозряд визначається залежно від контрасту об'єкта з фоном, на якому він розташований, а також від характеристик самого фону.

Наступним етапом є визначення нормативного значення мінімальної освітленості робочої поверхні відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018 [4] для конкретного типу виробничого або адміністративного приміщення промислового підприємства.

Для даного промислового підприємства були встановлені вимоги до освітлення згідно з ДБН В.2.5-28:2018 [4], які наведені у додатку Д.

3.4 Розрахунок загального освітлення методом коефіцієнта використання світлового потоку

Проведемо попередній розрахунок загального освітлення методом коефіцієнта використання світлового потоку [4, 9, 20]. Даний метод дозволяє враховувати відбиття світлового потоку від поверхонь підлоги, стін та стелі приміщення.

Коефіцієнт використання світлового потоку залежить від кількох факторів: геометричних розмірів приміщення; висоти підвісу світильників; кольору та коефіцієнтів відбиття стін, стелі та підлоги.

Індекс приміщення визначається за формулою (3.1)

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} \quad (3.1)$$

де a – довжина приміщення, м;

b – ширина приміщення, м;

h – висота, м.

Величину коефіцієнта використання визначаємо за.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі отриманого значення індексу приміщення за довідковими таблицями ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення [4] визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку. Значення коефіцієнта є табличним та залежить від типу світильника, індексу приміщення та коефіцієнтів відбиття поверхонь.

Далі визначаємо необхідну кількість світильників (3.2)

$$N = \frac{E \cdot k \cdot z \cdot S}{\eta \cdot \Phi \cdot n} \quad (3.2)$$

де Φ – світловий потік ламп, лм;

E – нормоване значення освітленості, лк;

k – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, 1-1,2;

S – площа приміщення, м²;

η – коефіцієнт використання;

n – кількість ламп в одному світловому приладі, шт.

Коефіцієнт, що враховує нерівномірність освітлення, приймається $Z=1,1$.

Метод коефіцієнта використання світлового потоку широко застосовується при проектуванні систем загального освітлення виробничих приміщень, оскільки дозволяє врахувати реальні умови експлуатації освітлювальної установки та особливості геометрії приміщення.

Розрахована кількість світильників наведена на у додатку Г та рис. А.2.

3.5 Аварійне освітленням

Аварійне освітлення використовується для забезпечення безпечної евакуації персоналу з приміщень у разі зникнення живлення робочого освітлення. Основним призначенням аварійного освітлення є забезпечення нормативного рівня освітленості шляхів евакуації та зон безпечного пересування працівників

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підприємства.

Відповідно до вимог ДБН В.2.5-28:2018 [4] та ДСТУ EN 1838:2017 [21], освітленість шляхів евакуації повинна забезпечувати безпечне пересування персоналу при аварійному відключенні електропостачання. Освітленість на шляхах евакуації повинна становити не менше 10 % від нормованої освітленості робочої зони або відповідати мінімальним нормативним значенням для евакуаційного освітлення.

Для системи освітлення на промисловому підприємстві передбачається використання світильників із вбудованими блоками аварійного живлення. Такі світильники забезпечують автоматичне ввімкнення аварійного режиму роботи у разі зникнення напруги в мережі.

Блок аварійного живлення складається з акумуляторної батареї, блоку керування, схеми контролю заряджання та перемикачів режимів роботи. Блок аварійного живлення взаємодіє з драйвером світильника та при зникненні напруги мережі автоматично переводить світильник у режим аварійного освітлення. У цьому режимі світильник продовжує працювати приблизно на 10 % своєї номінальної потужності протягом 3 годин.

У проєкті модернізації системи освітлення промислового підприємства передбачається використання світильників із вбудованими блоками аварійного живлення типу EMLED. Загалом на підприємстві встановлюється 29 світильників, оснащених блоками аварійного живлення. Дані світильники забезпечують нормативний рівень освітленості шляхів евакуації, проходів, виходів із виробничих приміщень та зон безпечного пересування персоналу.

3.6 Вибір щитка освітлення та розподіл навантаження за фазами

Для живлення системи освітлення на промисловому підприємстві використовується напруга 230 В. Освітлювальне навантаження поділяється на декілька груп [22]. Таке рішення дає змогу рівномірно розподілити навантаження

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

між фазами та зменшити ймовірність виникнення несиметрії трифазної мережі.

На підприємстві передбачається встановлення трьох щитів освітлення.

- перший щит освітлення встановлюється у приміщенні №4 – механоскладальний цех.
- другий щит встановлюється у приміщенні №18 – пост охорони.
- третій щит освітлення розміщується у головному виробничому цеху, у зоні лазерного різання.

У кожному щиті освітлення передбачається живлення трьох груп світильників. Групи формуються таким чином, щоб забезпечити рівномірний розподіл навантаження за фазами, а також врахувати територіальне розміщення приміщень в одній частині виробничої будівлі.

До щита освітлення №1 підключаються приміщення №1, №2, №3, №4, №5, №6, №7, №8, №9, №10, №11, №12, №13 та №22. До групи 1 щита освітлення №1 входять приміщення №4 та №22. До групи 2 входять приміщення №1, №2 та №12. До групи 3 входять приміщення №3, №5, №6, №7, №8, №9, №10, №11 та №13.

Після формування груп необхідно визначити струм кожної групи та розрахункове навантаження для щита освітлення №1. Отримані значення використовуються для вибору автоматичних вимикачів, перерізу кабельних ліній та перевірки рівномірності розподілу навантаження між фазами.

Розрахункове навантаження групи освітлення визначається за (3.3)

$$P_{\text{розр}} = K_c \cdot P_{\text{уст}} \quad (3.3)$$

де K_c – коефіцієнт попиту; для освітлювальних установок приймається $K_c=1$;

$P_{\text{уст}}$ – встановлена потужність світильників групи, Вт.

Після визначення розрахункової потужності виконується розрахунок струму групи освітлення (3.4)

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{розр}} = P_{\text{розр}} / (U \cdot \cos \varphi) \quad (3.4)$$

де $P_{\text{розр}}$ – розрахункова потужність групи, Вт;

U – напруга мережі, В;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності.

Для системи освітлення приймаємо $U=230$ В, $\cos \varphi=0,97$

Таблиця 3.1 – Розрахунок навантаження щита освітлення №1

Група	Приміщення	Розрахункова потужність, Вт	Розрахунковий струм, А
1	Механоскладальний цех, коридори та проходи	1379	6,5
2	Склад металевих заготовок, службові приміщення складу, дільниця дрібновузлового складання	1362	6,4
3	Лабораторія, склад комплектуючих, дільниця технічного контролю, приміщення браку, кабінети, їдальня	1341	6,3

До щита освітлення №2 підключаються: №15 – роздягальні персоналу; №16 – санітарно-побутові приміщення; №17 – інженерно-конструкторський відділ; №18 – пост охорони; коридори та проходи. У даному щиті розподіл навантаження за окремими групами не виконується, оскільки щит використовується не лише для системи освітлення, а також для живлення розеткової мережі.

Таблиця 3.2 – Розрахунок навантаження щита освітлення №2

Група	Приміщення	Розрахункова потужність, Вт	Розрахунковий струм, А
1	Роздягальні, санвузли, ІКВ, пост охорони, коридори	1103	5,2

До щита освітлення №3 підключаються: №20 – головний виробничий цех; №19 – фарбувальна дільниця; №21 – дільниця різання профілів; №14 – металообробний цех. Розподіл навантаження між групами здійснюється з урахуванням потужності освітлювальних приладів та розташування виробничих зон. До групи 1 входять: зона гнуття металу; зона фосфатування; проходи виробничого цеху. До групи 2 входять: фарбувальна дільниця №19.1; зона лазерного

різання. До групи 3 входять: дільниця різання профілів; металообробний цех; фарбувальна дільниця №19.2.

Таблиця 3.3 – Розрахунок навантаження щита освітлення №3

Група	Приміщення	Розрахункова потужність, Вт	Розрахунковий струм, А
1	Зона гнуття металу, фосфатування та проходи	1208	5,6
2	Фарбувальна дільниця №19.1 та зона лазерного різання	1150	5,4
3	Дільниця різання профілів, металообробний цех, фарбувальна дільниця №19.2	1145	5,4

Отримані результати використовуються для вибору автоматичних вимикачів, перерізу кабельних ліній та перевірки симетричності навантаження фаз системи освітлення підприємства.

Таблиця 3.4 – Розподіл навантаження освітлення за фазами

Номер щита освітлення	Група	Приміщення	Фаза	$P_{розр}$, Вт	$\cos \varphi$	$I_{розр}$, А
ЩО-1	1	№4 – механоскладальний цех; коридори	L1	1379	0,97	6,5
ЩО-1	2	№1 – склад металевих заготовок; №2 – службові приміщення складу; №12 – дільниця дрібновузлового складання	L2	1362	0,97	6,4
ЩО-1	3	№3 – лабораторія; №5 – склад комплектуючих; №6 – дільниця технічного контролю; №7–8 – приміщення браку; №9 – кабінет головного механіка; №10 – кабінет начальника виробництва; №11 – випробувальна дільниця; №13 – їдальня	L3	1341	0,97	6,3
ЩО-2	1	№15 – роздягальні; №16 – санвузли; №17 – інженерно-конструкторський відділ; №18 – пост охорони; коридори	L1	1103	0,97	5,2
ЩО-3	1	№20 – зона гнуття та проходи виробничого цеху	L1	1208	0,97	5,6
ЩО-3	2	№19.1 – фарбувальна дільниця; зона лазерного різання	L2	1150	0,97	5,4
ЩО-3	3	№21 – дільниця різання профілів; №14 – металообробний цех; №19.2 – фарбувальна дільниця	L3	1145	0,97	5,4

Для встановлення у системі освітлення промислового підприємства обрано щит освітлення виробництва АВВ типу ЩРН-П-12.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики щита освітлення АВВ ЩРн-П-12

Марка щита	Номинальний струм	Кількість модулів	Висота, мм	Ширина, мм	Глибина, мм
АВВ ЩРн-П-12	63 А	12	305	200	95

3.7 Розрахунок і вибір пускорегулювальної апаратури

Для керування світильниками, оснащеними драйверами з підтримкою протоколу DALI, обрано контролер Arlight DALI-TIMER-DIN (DALI-BUS, RTC). Контролер монтується на DIN-рейку в електричному щиті освітлення.

До одного такого контролера може бути підключено до 64 пристроїв DALI. Контролер має такі габаритні розміри: довжина – 87 мм, ширина – 36 мм, висота – 60 мм. Ступінь захисту корпусу становить IP30. Робоча частота мережі – 45–65 Гц. Гарантійний строк експлуатації контролера – 2 роки.

Для керування системою освітлення на промисловому підприємстві передбачається застосування двох контролерів DALI, які будуть встановлені у щитах освітлення ЩО-1 та ЩО-3. Перший контролер встановлюється у щиті освітлення ЩО-1. Він забезпечує керування світильниками таких приміщень: №1 – склад металевих заготовок; №4 – механоскладальний цех; №13 – їдальня для персоналу. За допомогою контролера здійснюється керування 43 світильниками відповідно до заданих сценаріїв, які наведені у табл. 3.4. У зазначених сценаріях передбачено автоматичне керування групами світильників залежно від режиму роботи приміщень, наявності персоналу, виробничого графіка та рівня природного освітлення. У щиті освітлення ЩО-3 встановлюється контролер №3, який забезпечує керування освітленням приміщень: №14 – металообробний цех; №19 – фарбувальна дільниця; №20 – головний виробничий цех.

Загалом до контролера підключається 62 світильники. Для вибору сценаріїв роботи системи освітлення обрано сенсорну панель керування Intelligent arlight dali-223-4g-dim-in (bus). Дана панель встановлюється поряд із щитами освітлення ЩО-1

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та ЩО-3 і дозволяє оперативно перемикає сценарії роботи освітлення. Панель підтримує керування до 7 сценаріїв освітлення.

Наступним етапом є вибір ввідного автоматичного вимикача та однофазних автоматичних вимикачів для кожної групи освітлення.

Автоматичні вимикачі вибираються за умовою (3.4)

$$I_p < I_{ном} < I_{відкл} \quad (3.4)$$

Де I_p – розрахунковий струм лінії;

$I_{ном}$ – номінальний струм автоматичного вимикача;

$I_{відкл}$ – струм спрацювання автоматичного вимикача.

Струм спрацювання автоматичного вимикача повинен перевищувати розрахунковий струм захищеної ділянки приблизно на 20–30 %. Для щитів освітлення ЩО-1 та ЩО-3 обрано однофазні автоматичні вимикачі Schneider Electric EASY9 C10 4.5 кА.

Ввідний автоматичний вимикач вибирається з урахуванням трикратного струму найбільш навантаженої фази. Найбільш навантаженою фазою є фаза L1. Для щитів освітлення ЩО-1 та ЩО-3 обрано ввідний автоматичний вимикач Schneider Electric EASY9 C20 4.5 кА.

Висновки до розділу 3

У розділі було розроблено енергоефективну систему освітлення для промислового підприємства. На основі аналізу сучасних джерел світла обґрунтовано доцільність заміни люмінесцентних світильників на сучасні світлодіодні LED-світильники. Для системи освітлення підприємства обрано сучасні промислові та офісні LED-світильники, а також систему цифрового керування освітленням на базі протоколу DALI.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Розрахунок економії в натуральному еквіваленті та розрахунок окупності

Для оцінювання економічної ефективності проекту модернізації системи освітлення промислового підприємства необхідно визначити строк окупності запропонованих заходів [23, 24]. Для цього спочатку розраховується економія електричної енергії в натуральному еквіваленті.

Під час розрахунку річного споживання електроенергії світлодіодними світильниками враховується фактичний час їх роботи відповідно до сценаріїв керування за протоколом DALI. Отримані значення річного споживання електроенергії порівнюються з витратами електроенергії існуючої системи освітлення.

Далі визначена економія електроенергії переводиться у паливний еквівалент. Це необхідно для оцінювання енергетичної ефективності проекту та визначення показників зниження споживання первинних енергоресурсів.

Наступним етапом є розрахунок капітальних витрат на впровадження проекту та визначення строку окупності модернізації системи освітлення.

Для оцінювання економічної ефективності та розрахунку строку окупності модернізації системи освітлення розрахуємо річне споживання електроенергії світлодіодними світильниками за формулою:

$$W_{ei} = P_{ce} \cdot n \cdot T_{\text{раб.д}} \cdot N_d \quad (4.1)$$

де W_{ei} – річне споживання електроенергії освітленням і-го приміщення, кВт·год;

P_{ce} – потужність одного світильника, кВт;

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

N – кількість світильників у приміщенні або групі, шт.;

$T_{роб.д}$ – тривалість роботи світильника протягом робочого дня, год;

$N_д$ – кількість робочих днів у році.

Річне споживання електроенергії світильниками у приміщенні №1 «Склад металевих заготовок» розраховується з урахуванням використання датчиків руху та системи керування DALI. Сумарне річне споживання складається зі споживання електроенергії окремими групами світильників:

$$W_{гр 1}=0,151 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 315=761,04 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$W_{гр 2}=0,151 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 315=761,04 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$W_{гр 2}=0,151 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 315=114,16 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Загальне річне споживання електроенергії для приміщення №1 становить:
 $W_{г1}=761,04+761,04+114,16=1636,24 \text{ кВт} \cdot \text{год}$

Загальний розрахунок річного споживання електроенергії модернізованою LED-системою освітлення на промисловому підприємстві наведений у додатку Д.

Загальне споживання електроенергії на освітлення - 32106,8 кВт·год

Для оцінювання економічної ефективності та розрахунку строку окупності необхідно визначити економію електроенергії в натуральному еквіваленті за рік.

Економія електроенергії визначається за формулою (4.2)

$$E_n=W_{исн.}-W_{модерн} \quad (4.2)$$

де E_n – економія електроенергії в натуральному еквіваленті, кВт·год;

$W_{исн.}$ - річне споживання електроенергії люмінесцентною системою освітлення, кВт·год;

$W_{модерн}$ – річне споживання електроенергії світлодіодною системою освітлення, кВт·год.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, після модернізації системи освітлення промислового підприємства річна економія електроенергії становить $E_n = 79995,68 - 32106,80 = 47888,88 \text{ кВт} \cdot \text{год}$

Відносна економія електроенергії становить:

$$\eta = 47888,88 / 79995,68 = 59,86\%$$

Отже, впровадження світлодіодної системи освітлення з керуванням за протоколом DALI дозволяє знизити річне споживання електроенергії системою освітлення підприємства майже на 60 %.

Для визначення економічної ефективності модернізації системи освітлення необхідно виконати розрахунок капітальних витрат на реалізацію проєкту. До складу капітальних витрат входить вартість світлодіодних світильників, елементів системи керування освітленням, датчиків руху та освітленості, а також допоміжного обладнання. Вартість обладнання наведена у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вартість обладнання системи освітлення

Обладнання	Кількість, шт	Ціна за 1 шт, грн	Загальна вартість, грн
LED світильник VARTON Strong 150W	14	9000	126000
LED панель Philips CoreLine RC132V	47	1700	79900
LED світильник Eurolamp High Bay 100W	24	2700	64800
LED світильник VARTON Industrial 120W	46	2500	115000
LED світильник Direct Line 35W	24	2500	60000
LED панель Videx 36W	5	1700	8500
LED світильник Maxus Highbay	14	1500	21000
Панель керування Arlight DALI-223-1G-8SC-IN	2	4200	8400
Контролер Arlight DALI-TIMER-DIN	3	17000	51000
Датчик руху Navigator 70965	7	500	3500
Датчик присутності Orbis Isimat	6	2300	13800
Датчик освітленості Camelion LX-20B	4	500	2000

Загальні капітальні витрати $K_3 = 553900$ грн.

Для оцінки економічної ефективності модернізації системи освітлення виконується розрахунок терміну окупності проєкту. Розрахунок виконується на основі річної економії електричної енергії після впровадження СВД-світильників та системи автоматизованого керування освітленням. Річна економія коштів

визначається як різниця між витратами на електроенергію до та після модернізації системи освітлення (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Розрахунок окупності проєкту

Рік	Капітальні витрати, грн	Річна економія, грн	Залишок, грн
2026	553900	194544	359356
2027	–	194544	164812
2028	–	194544	-29732

Отже, термін окупності проєкту становить приблизно 3 роки. При цьому гарантійний термін служби світлодіодних світильників складає близько 70000 годин, що забезпечує тривалий період експлуатації системи освітлення без значних витрат на обслуговування.

Для оцінки ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів визначається індекс енергоефективності I_{ee} (4.3)

$$I_{ee} = K_3 / E_2 \quad (4.3)$$

де K_3 – капітальні витрати, грн;

E_2 – річна економія паливно-енергетичних ресурсів, т у.п.

Розрахований індекс енергоефективності становить $I_{ee} = 553900 / 16507 = 33,5$ грн/т у.п.

Отримані результати наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати впровадження проєкту

Економія у грошовому вираженні, грн	Економія в т у.п.	Капітальні витрати, грн	Індекс енергоефективності	Термін окупності, років	Економія електроенергії, кВт·год
194544	16507	553900	33,5	3	47917

Проведені розрахунки підтверджують доцільність модернізації системи освітлення промислового підприємства. Використання світлодіодних світильників та системи керування освітленням дозволяє суттєво знизити споживання

електричної енергії, скоротити експлуатаційні витрати та підвищити енергоефективність підприємства.

4.2. Охорона праці

Охорона праці на промислових підприємствах є важливою складовою організації виробничого процесу, оскільки від забезпечення безпечних умов праці залежить здоров'я працівників, рівень виробничого травматизму та ефективність роботи підприємства в цілому. На підприємстві під час виконання виробничих процесів працівники можуть піддаватися дії різних небезпечних та шкідливих виробничих факторів, серед яких підвищений рівень шуму, недостатня освітленість робочих зон, можливість ураження електричним струмом, а також дія пилу та вібрації. У зв'язку з цим важливим завданням є забезпечення нормативних умов праці відповідно до чинного законодавства України та вимог нормативних документів [25].

Під час експлуатації систем освітлення особливу увагу необхідно приділяти електробезпеці. Освітлювальні установки підприємства живляться від мережі змінного струму напругою 230/380 В, що становить потенційну небезпеку для обслуговуючого персоналу. Для захисту працівників від ураження електричним струмом усі металеві корпуси світильників, щитів освітлення та електротехнічного обладнання повинні бути заземлені відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) [22]. Також у системі освітлення передбачено використання автоматичних вимикачів, які забезпечують захист мережі від перевантаження та короткого замикання.

Під час виконання монтажних та ремонтних робіт в освітлювальних мережах необхідно дотримуватись вимог безпеки під час роботи в електроустановках. Перед проведенням будь-яких робіт мережа повинна бути відключена від живлення, а на комутаційних апаратах необхідно вивішувати попереджувальні плакати. Роботи

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повинні виконуватись лише справним інструментом із ізольованими ручками та із застосуванням засобів індивідуального захисту [26].

Одним із важливих факторів безпеки праці на підприємстві є забезпечення нормативного рівня освітленості робочих місць. Недостатня освітленість призводить до підвищеної втоми працівників, зниження продуктивності праці та збільшення ризику виробничого травматизму. Саме тому під час модернізації системи освітлення особлива увага приділялась дотриманню вимог ДБН В.2.5-28:2018 та ДСТУ EN 12464-1:2016 щодо норм освітленості виробничих приміщень [4, 9].

У проєкті передбачено використання сучасних світлодіодних світильників, які характеризуються низьким рівнем пульсації світлового потоку та високою енергоефективністю. Це дозволяє покращити умови праці персоналу та знизити негативний вплив освітлення на органи зору працівників. На відміну від люмінесцентних ламп, світлодіодні джерела світла не містять ртуті, що підвищує екологічну безпеку підприємства та спрощує процес утилізації відпрацьованих світильників. У виробничих приміщеннях підприємства також необхідно забезпечувати безпечні умови праці під час виконання робіт на висоті. Обслуговування світильників, розташованих у виробничих цехах та складських приміщеннях, виконується із застосуванням драбин або підйомних механізмів. Під час проведення таких робіт працівники повинні використовувати запобіжні пояси та інші засоби захисту відповідно до вимог нормативних документів з охорони праці [27].

Важливим елементом системи безпеки є аварійне освітлення. На підприємстві передбачено встановлення світильників із вбудованими блоками аварійного живлення, які забезпечують освітлення шляхів евакуації у разі зникнення напруги в основній мережі. Аварійне освітлення дозволяє забезпечити безпечну евакуацію персоналу та зменшити ризик виникнення нещасних випадків у надзвичайних ситуаціях. Освітленість шляхів евакуації повинна відповідати вимогам ДБН В.2.5-28:2018 [4].

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для підтримання безпечних умов праці на підприємстві необхідно регулярно проводити контроль параметрів освітлення. Вимірювання освітленості виконуються за допомогою люксметра відповідно до вимог нормативних документів. Під час проведення вимірювань визначаються рівень освітленості робочих поверхонь, рівномірність освітлення та відповідність фактичних параметрів установленим нормам [9].

Отже, реалізація заходів з модернізації системи освітлення дозволяє не лише знизити споживання електроенергії, а й забезпечити безпечні та комфортні умови праці для персоналу підприємства. Використання сучасних LED-світильників, систем автоматизованого керування освітленням та аварійного освітлення сприяє підвищенню рівня електробезпеки, зниженню виробничого травматизму та покращенню умов праці працівників.

Висновки до розділу 4

Під час економічних розрахунків визначено річне споживання електроенергії системою освітлення після модернізації та розраховано економію електричної енергії у натуральному еквіваленті.

Також у розділі розглянуто основні вимоги охорони праці під час монтажу та експлуатації системи освітлення. Визначено небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що можуть виникати під час виконання електромонтажних робіт, а також наведено заходи щодо забезпечення електробезпеки, пожежної безпеки та безпечних умов праці персоналу.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано розробку проєкту електричного освітлення промислового підприємства. У процесі виконання роботи було проаналізовано існуючу систему освітлення підприємства, досліджено особливості виробничих та допоміжних приміщень, а також визначено основні напрями підвищення енергоефективності освітлювальної установки.

У роботі проведено аналіз нормативних вимог до освітлення виробничих приміщень, розглянуто сучасні системи керування освітленням та обґрунтовано доцільність використання цифрового протоколу DALI. Встановлено, що впровадження автоматизованої системи керування дозволяє забезпечити ефективне використання електричної енергії та підвищити гнучкість керування освітленням.

На основі проведеного світлотехнічного розрахунку виконано вибір сучасних світлодіодних світильників для виробничих, адміністративних та допоміжних приміщень підприємства. Розраховано необхідну кількість світильників, виконано розподіл навантаження за фазами, обрано щити освітлення та пускорегулювальну апаратуру. Також розроблено систему аварійного освітлення для забезпечення безпечної евакуації персоналу.

У роботі проведено розрахунок річного споживання електроенергії системою освітлення та визначено економічний ефект від модернізації освітлювальної установки. Отримані результати підтвердили, що застосування світлодіодних джерел світла та системи керування DALI дозволяє суттєво знизити витрати електроенергії та підвищити енергоефективність підприємства.

Розроблена система освітлення відповідає вимогам ДБН В.2.5-28:2018, забезпечує нормативний рівень освітленості робочих поверхонь, безпечні умови праці персоналу та є технічно й економічно доцільною для впровадження на промисловому підприємстві.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Електричне освітлення та опромінення : навч. посіб. Київ : Технопринт, 2018. 256 с.
2. Войнаровський В.М. Світлотехніка : підручник. Київ : Каравела, 2016. 328 с.
3. Основи світлотехніки : електронний навчальний посібник. Луцьк : Луцький НТУ. Режим доступу: <https://surl.li/habssy>
4. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення : Державні будівельні норми України. Київ : Мінрегіон України, 2018. 90 с.
5. Що потрібно знати про управління освітленням DALI. URL: 5watt.ua (дата звернення: 24.05.2026).
6. Кислиця Д. В., Басова Ю. О., Кислиця С. Г., Кожушко Г. М. Системи автоматичного керування освітленням – ефективний шлях економії електроенергії та підвищення якості освітлення // Системи управління, навігації та зв'язку. 2024. №4(78). С. 31–38.
7. Бойко В. С., Даниленко В. Г. Енергозберігаючі системи освітлення промислових підприємств. Харків : ХНУМГ, 2020.
8. Шеховцов В. П. Освітлювальні установки та системи керування освітленням : навчальний посібник. Київ : Каравела, 2021.
9. ДСТУ EN 12464-1:2016. Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Внутрішні робочі місця (EN 12464-1:2011, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 108 с.
10. Люксометр Venetech GM1020. Інструкція з експлуатації. URL: [Інструкція GM1020 PDF](#) (дата звернення: 24.05.2026).
11. Практичний посібник з енергетичного аудиту промислових підприємств. Київ, 2021. URL: [Практичний посібник з енергетичного аудиту](#) (дата звернення: 24.05.2026).

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Посібник із енергоаудиту. URL: [Посібник із енергоаудиту UAMAP](#) (дата звернення: 24.05.2026)

13. Кожушко Г.М., Басова Ю.О., Губа Л.М. Розвиток енергоекономічного освітлення через механізми системи технічного регулювання. *Комунальне господарство міст : науково-технічний вісник*. 2014. Вип. 118 (1). С. 80–83. <https://khgts.kname.edu.ua/index.php/khgts/article/view/4946>

14. Басова Ю.О., Губа Л.М. Сучасні вимоги ЄС до екодизайну та енергетичного маркування освітлювальних приладів. *Нові технології і обладнання харчових та переробних виробництв*: матеріали I Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф., м. Полтава, 19-20 квіт. 2023 р. Полтава, 2023. С. 143-146. URL: <http://surl.li/jdcaed>

15. Кожушко Г.М., Басова Ю.О., Губа Л.М. Порівняння динаміки світлових та колірних характеристик компактних люмінесцентних та світлодіодних ламп в процесі строку служби. *Технологический аудит и резервы производства*, 2016. 4 (1). С. 60-63. URL: <http://surl.li/ucluzy>

16. Сорокін В.М., Кожушко Г.М., Басова Ю.О. Динаміка електричних, світлових та колірних параметрів світлодіодних ламп в процесі строку служби. *Сучасне матеріалознавство та товарознавство: теорія, практика, освіта* : матеріали 2-ої Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., м. Полтава, 25–26 берез. 2015 р. Полтава, 2015. С. 228–232.

17. Промислова світлотехніка : навчальний посібник / уклад. Я. О. Гаран. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 269 с.

18. Освітлення промислових об'єктів : навчальний посібник / П. П. Говоров, Р. В. Пилипчук, А. І. Токмань та ін. – Тернопіль : Джура, 2008. – 388 с.

19. Юффе К. І. Системи керування світлотехнічними пристроями : навч. посіб. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 554 с.

20. Салтиков В. О., Поліщук В. М., Коляда О. Ю. Проектування, монтаж і експлуатація освітлювальних установок : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 95 с.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

21. ДСТУ EN 1838:2017. Світлотехніка. Аварійне освітлення (EN 1838:2013, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 17 с.
22. Правила улаштування електроустановок. Електричне освітлення. Київ : Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2017. 617 с.
23. Мельник Л. Г., Сотник І. М. Економіка енергетики : підручник. Суми : Університетська книга, 2015. 431 с.
24. Стахурський В. О. Економіка енергетики та організація виробництва : конспект лекцій. Київ : НУХТ, 2012. 95 с.
25. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 04.05.2025)
26. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
27. НПАОП 0.00-1.15-07. Правила охорони праці під час виконання робіт на висоті.
28. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи за освітньо-професійною програмою «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти / відпов. за випуск Попов С., Басова Ю., Семенов А., Бичков Я. Полтава: ПДАУ, 2022. 32 с.

					КРБ.141ЕЕбд_31[3].03.00.00.000 ПЗ	Арку
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		