

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем

ШЕСТОПАЛКО Володимир Євгенович

Автоматизована система керування освітленням виробничих приміщень
підприємства / Automated lighting control system for the company industrial
premises

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКІТ-41

В.Є. Шестопалко

Науковий керівник

к.т.н., доцент І.Б. Албанський

Кваліфікаційну роботу допущено

до захисту:

«_____» _____ 2025р.

Завідувач кафедри

_____ А.І. Сегін

Тернопіль 2025

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"

Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри СКС

А.І.Сегін

“ ____ ” _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Шестоपालку Володимиру Євгеновичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Автоматизована система керування освітленням виробничих приміщень підприємства / Automated lighting control system for the company industrial premises.

Керівник роботи: к.т.н., доцент Албанський І.Б.

затверджені наказом по університету від «28» листопада 2024 р. № 938.

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи: 06.05.2025р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Особливості побудови автоматизованих систем керування освітленням виробничих приміщень підприємства.

2. Способи керування спеціалізованим обладнанням та освітлювальними засобами.

3. Технічні засоби автоматизації об'єкта управління.

4. Розрахункова ефективність системи автоматичного управління за допомогою ПІ-регулятора.

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Аналіз складової та технічних засобів автоматизованої системи керування освітленням виробничих приміщень підприємства.

2. Реалізація структури автоматизованої системи керування освітленням виробничих приміщень підприємства та обґрунтування вибору технічних засобів реалізації запропонованої системи.

3. Розробка функціональної схеми комплексу технічних засобів автоматизації.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

1. Структура автоматизованої системи керування освітленням виробничих приміщень підприємства.

2. Графічні залежності перехідних процесів та лінії Д-розбиття для цифрового ПІ-регулятора.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Албанський І.Б.		
2	Албанський І.Б.		
3	Албанський І.Б.		

7. Дата видачі завдання 28 листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу як об’єкта керування	12.2024р. – 01.2025р.	
2	Специфікація вибору технічних засобів автоматизації	02.2025р. – 03.2025р.	
3	Розрахунок системи автоматичного регулювання	04.2025р. – 05.2025р.	

Студент _____
(підпис)

Шестопалко В.Є.

Керівник роботи _____
(підпис)

к.т.н., доцент Албанський І.Б.

АНОТАЦІЯ

Шестопалко В.Є. Автоматизована система керування освітленням виробничих приміщень підприємства. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна (наукова) програма. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2025.

У роботі досліджено системи керування освітленням виробничих приміщень підприємства, тобто системи основне завдання яких підтримувати рівень освітлення виробничих зон враховуючи категорію точності зорових робіт, визначено функціональні, структурні та архітектурні особливості систем, що забезпечують рівень освітлення, і управління основними технічними засобами контролю, проаналізовано технічну базу та обґрунтовано вибір засобів автоматизації, реалізації запропонованої системи. Розроблено структуру та функціональну схеми комплексу технічних засобів, а також розраховано ПІ-регулятор автоматизованої системи.

ABSTRACT

Shestopalco V.E. Automated lighting control system for the company industrial premises. - Manuscript.

Research for obtaining a bachelor's degree in the specialty 151 "Automation and computer-integrated technologies", educational and professional (scientific) program. – West Ukrainian National University, Ternopil, 2025.

The work investigates lighting control systems for production facilities of the enterprise, i.e. systems whose main task is to maintain the level of illumination of production areas taking into account the category of accuracy of visual work, determines the functional, structural and architectural features of systems that provide the level of illumination and control of the main technical means of control, analyzes the technical base and justifies the choice of automation means, implementation of the proposed system. The structure and functional scheme of the complex of technical means are developed, and the PI regulator of the automated system is calculated.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ’ЄКТА КЕРУВАННЯ	8
1.1 Загальна характеристика систем керуванням освітленням виробничих приміщень промислових зон	8
1.2 Аналіз світлотехнічного обладнання та технічних засобів автоматизованої системи керування освітленням	15
1.3 Опис контура регулювання та особливостей складних АСКО	22
2. СПЕЦИФІКАЦІЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	27
2.1 Реалізація структури і компонентів автоматизованої системи керування освітлювальними засобами та функціональне представлення основних вузлів управління	27
2.2 Обґрунтування вибору модуля керування автоматизованої системи та периферійних пристроїв	31
2.3 Вибір сенсорних та виконавчих апаратно-технічних пристроїв функціонування освітлювальної системи промислового об’єкта	37
3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ	47
3.1 Розробка функціональної схеми комплексу технічних засобів	47
3.2 Розрахунок ПІ-регуляторів автоматизованої системи	50
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Шестопако В.Є.			Автоматизована система керування освітленням виробничих приміщень підприємства / Automated lighting control system for the company industrial premises	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Албанський І.Б.					4	61
Консульт.		Албанський І.Б.				ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		
Н. Контр.		Заставний О.М.						
Затверд.		Сегін А.І.						

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних умовах розвитку промисловості та зростаючої конкуренції між підприємствами дедалі більшої актуальності набувають питання енергоефективності, оптимізації виробничих процесів та підвищення рівня автоматизації. Одним із важливих напрямів цього розвитку є впровадження автоматизованих систем керування освітленням (АСКО) у виробничих приміщеннях. Системи такого типу дозволяють раціонально використовувати електроенергію, знижуючи витрати підприємства на освітлення без втрати якості умов праці.

Значна частка енерговитрат промислових підприємств припадає саме на освітлення. Використання АСКО забезпечує автоматичне регулювання рівня освітленості відповідно до природного освітлення, присутності персоналу, часу доби та виробничих потреб. Це дозволяє досягти суттєвої економії електроенергії, зниження навантаження на електромережу та подовження строку служби світлотехнічного обладнання.

Автоматизоване освітлення також позитивно впливає на умови праці – забезпечення оптимального рівня освітлення сприяє підвищенню продуктивності праці, зменшенню втомлюваності працівників та покращенню безпеки виробничих процесів. Завдяки точному керуванню, такі системи відповідають вимогам норм з охорони праці та санітарно-гігієнічних нормативів.

Інтеграція АСКО у загальні системи автоматизації підприємства (наприклад, у систему “розумного виробництва”) відкриває можливості для централізованого моніторингу, дистанційного керування та адаптивного налаштування режимів роботи освітлення. Це особливо важливо для підприємств із змінним графіком роботи або сезонними коливаннями виробничих навантажень.

Крім того, АСКО можуть враховувати аварійні ситуації, пожежну безпеку та інтегруватися з іншими системами безпеки, забезпечуючи

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

додаткову надійність експлуатації. У довгостроковій перспективі впровадження таких систем сприяє зниженню експлуатаційних витрат, скороченню викидів CO₂ та реалізації політики сталого розвитку підприємства.

Таким чином, автоматизовані системи керування освітленням не лише відповідають сучасним технічним та екологічним вимогам, а й стають важливим елементом у досягненні стратегічних цілей підприємства – енергоефективності, конкурентоспроможності та екологічної відповідальності.

Мета кваліфікаційної роботи. Актуалізація розробки автоматизованої система керування освітленням виробничих приміщень підприємства. У кваліфікаційній роботі розроблено та представлено автоматизовану систему керування освітленням виробничих цехів промислового об'єкта на основі програмно-технічних засобів, а також проведено вибір технічних засобів автоматизації (ТЗА) безпосередньо на об'єкті керування. Основним завданням створення автоматизованих систем освітлення з застосуванням інтегрованих технічних рішень «розумного виробництва» та промислових програмованих контролерів, що є невід'ємними для автоматизованих систем різного ступеня складності.

Основним завданням кваліфікаційної роботи є:

- аналіз систем освітлення промислових цехів та автоматизація освітлювальних засобів у енергоефективні системи як об'єкт керування;
- розробка структури автоматизованої системи керування освітлювальними засобами;
- специфікація вибору технічних засобів автоматизації;
- розрахунок системи автоматичного регулювання.

Автоматизовані системи керування освітлювальними засобами є актуальним рішенням сучасних виробничих цехів промислового об'єкта. Рішенням такої задачі є компоновка найновіших сучасних програмно-

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічних засобів автоматизації з принципово новими ідеями та алгоритмами безпеки.

Предметом дослідження є автоматизована система керування освітленням виробничих приміщень підприємства.

Об'єктом дослідження є автоматизована система керування освітлювальними засобами.

Методи дослідження – аналіз літературних джерел та електронних ресурсів, порівняння сучасних розробок в галузі промислового освітлення та освітлювальних засобів, програмно-технічних засобів автоматизації.

Практичне значення одержаних результатів. Базується на тому, що запропоновані практичні та теоретичні рекомендації по розробці та розрахунку систем автоматизованого управління, які дають можливість підвищити їх надійність та ефективність роботи в рази.

Апробація. Албанський І.Б., Шестопалко В.Є., Шидлівський Р.К., Голосай Ю.Л. Інтеграція вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів автоматизованих систем у технології інтернету речей IoT. – Збірник матеріалів проблемно-наукової міжгалузевої конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ-2025), Тернопіль, 2025. – 79-85с.

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1 Загальна характеристика систем керування освітленням виробничих приміщень промислових зон

Виробничий цех заводу або фабрики - приміщення підвищеної небезпеки, де функціонують технологічні механізми, конвеєрні лінії, рухається внутрішній транспорт. Працівники виробничого цеху повинні виконувати трудомісткі і високоточні операції. А втрачена увага або недостатня видимість призводять до виникнення небезпечних ситуацій аж до летального випадку. Тому виробничі цехи та приміщення повинні освітлюватися і в денний, і в нічний час. При виборі приладів освітлення, їх характеристик і точок розміщення враховуються види робіт, які потрібно проводити в приміщенні, конструктивні особливості обладнання та показники відбивання поверхонь.

Основними нормативними документами, які регулюють норми освітленості в цехах, є загальноприйняті правила, а тому будівельні норми, розроблені спеціально для промислових підприємств. Загальноприйняті правила для будівництва освітлювальної системи об'єкта регламентує значення MF, тобто коефіцієнт експлуатації. Цей параметр визначає роздільність між яскравістю світла світильника на початку його експлуатації і ближче до кінця терміну служби. При визначенні коефіцієнта MF можна дізнатися, наскільки знизиться освітленість приміщення по мірі зношення джерела світла, втрати відбиваючих можливостей відбивача або пропускну здатності розсіювача.

Допустимі коефіцієнти експлуатації [1]:

- для приміщень ливарних цехів, де кількість пилу і диму у повітрі перевищує 5 мг на кубометр від 0,5 до 0,63 в залежності від експлуатаційної групи світових приладів;

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

- для ковальських, складальних і інших цехів, де рівень запиленості і задимленості повітря знаходиться в межах від 1 до 5 мг на кубометрів – від 0,56 до 0,63;

- для складальних, інструментальних і технічних цехів, де кількість пилу і копоті у повітрі не перевищує 1 мг на кубометр - від 0,67 до 0,71;

- для приміщень, де виробляється електротехнічна апаратура або у повітрі присутні луки, щолоч, гази, кислоти коефіцієнт експлуатації повинен бути від 0,56 до 0,63.

Дійсні будівельні правила вимагають, щоб розробка систем освітлення для цехів велась з урахуванням категорій зорових робіт. Чим більшого зорового напруження вимагають операції, що виконуються, тим більш яскравішими повинні бути світильники. Для робіт розрядів від I до III КЕО встановлюються на рівні від 10% до 5% відповідно. Якщо у виробничому цеху роботи ведуться на автоматизованих лініях, необхідно передбачити достатнє освітлення для візуального контролю за роботою роботизованих механізмів. Для цього, крім загального освітлення, встановлюються місцеві освітлювальні прилади.

Ретельного підходу вимагає розробка освітлювальної мережі в цехах, де ведеться робота із матеріалами, що видають світло (світяться) або світло видають розігріті заготовки. У цьому випадку необхідно приймати до уваги наступні параметри [2]:

- контроль об'єкта і фону, на якому він розміщений;
- рівень освітленості;
- показник дискомфорту для працівника;
- рівень пульсації;
- КЕО для освітлення природним світлом і лампами, комбінованого.

Із загально прийнятих норм освітлення промислових цехів до уваги береться необхідність реалізації об'єднаної схеми освітлення у цехах із категоріями зорових робіт розряду I-III (рисунок 1.1). Для них відповідно застосовуються нормативні значення КЕО 10%, 7% та 5%.

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Організація освітлення виробничого цеху із категоріями зорових робіт розряду I-III

Не менш важливо при організації освітлення цехів промислових підприємств враховувати категорію точності зорових робіт, яка може бути (рисунок 1.2) [1-4]:

- найвищою (до 0,15);
- дуже високою (0,15-0,30);
- високою (0,30-0,50);
- середньою (0,5-1,0);
- малою (1,0-5,0);
- грубою (понад 5,0) точності.

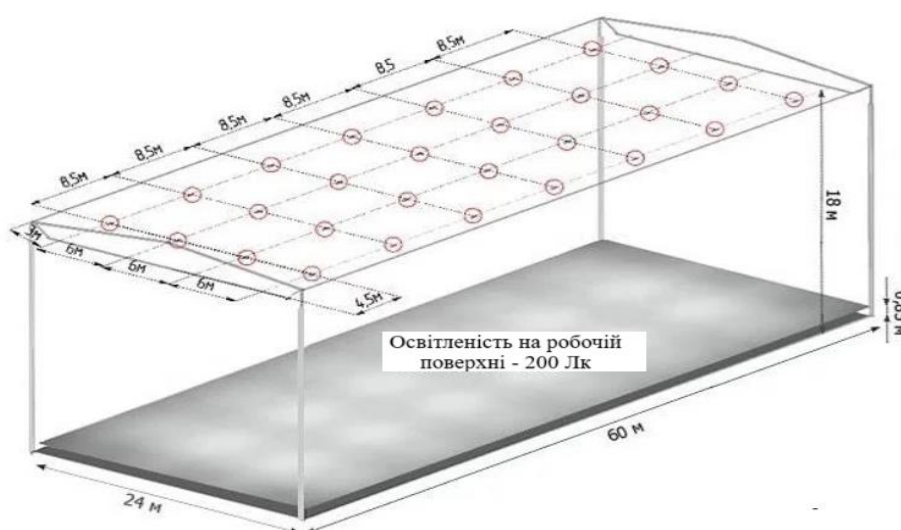


Рисунок 1.2 – Організація освітлення промислових цехів для категорії зорових робіт високої точності

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Додатково у нормативних документах, що регламентують норми та стандарти щодо промислового освітлення містяться вимоги до освітленості приміщень (адміністративних та побутових) та відкритих майданчиків промислових об'єктів. У сучасних умовах все частіше у виробничих цехах використовують LED-світильники. Вони безпечні, служать понад 50 тис. годин, не вимогливі в обслуговуванні і мають низьке енергоспоживання.

Розрахунок освітлення цеху із світлодіодними світильниками ведеться за вказаними вище нормами. Вже на працюючому підприємстві легко можна зробити перерахунок із заміни джерел світла, що використовується, на світлодіодні. У них є ще одна важлива перевага - високий індекс кольору, що важливо при виконанні складних, небезпечних або високоточних робіт.

Якість роботи на виробництві залежить від зорово-моторної координації. Саме тому вибір типу освітлення та метод складання дуже важливі. За способом використання та технології виробництва промислове освітлювальне обладнання можна розділити на декілька груп:

- герметичні світильники;
- металогалогенні прожектори;
- промислові світильники з високими прольотами;
- стерильні рамки;
- каналні фітинги.

При виборі світла необхідно враховувати умови робочого середовища. Якщо на виробництві підвищена вологість, надається перевага світильникам із відповідним ступенем захисту IP, який забезпечить належну стійкість до погодних умов. Важливим є і матеріал, з якого виготовлений корпус. В умовах виробництва найчастіше використовуються корпуси з АБС-пластику та алюмінію.

У високих приміщеннях (наприклад, багатоярусні склади) користуються попитом світильники типу High Bay, широко відомі як промислові ковші. Їх підвішують на спеціальних тросах, регулюючи висоту кріплення. Приміщення з підвищеними санітарними вимогами (лікарняні

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

палати, кабінети, лабораторії) потребують використання стерильної арматури. Канальні моделі добре працюватимуть на складах. Для спеціальних завдань у майстернях стануть у нагоді лампи на подовжувачі або довгому кабелі. При класифікації механічної міцності (ІК) слід враховувати ступінь захисту від ударів.

Виробничий зал (цех) освітлюється за допомогою природних та штучних джерел світла. При знаходженні працівників у залі понад 4 години на добу приміщення освітлюється природним способом за допомогою віконних решіток або мансардних вікон. Згідно з діючими нормами, відношення загальної площі вікон та світлових люків до площі підлоги має бути 1:8. Приклад штучного освітлення у промислових цехах – світлодіодні лампи у вигляді світлових ліній між полицями або світильники High-Bay, що випромінюють широкий потік світла [5].

На складах від світла залежить не тільки комфорт та безпека співробітників, а й якість робіт. Недостатня інтенсивність світла може спричинити помилки та інші побутові проблеми. Освітленість у логістичних об'єктах має опускатися нижче 100-200 лк (люксів). Для усвідомлення 1 люкс=1 лм/м² (люмен на квадратний метр). У місцях, де потрібне зчитування інформації з етикеток чи посилок, цей рівень має досягати 300 лк. Важливе завдання при проектуванні – забезпечення освітлення багатопрогенових залів, де вузькі проходи та високі полиці заважають природному потоку світла.

Призначення аварійних світлових приладів – освітлення шляху для швидкого та безпечного виходу з будівлі у разі основного освітлення. Відповідно до чинних норм аварійне освітлення використовується при відключенні електроенергії, пожежі. Ця категорія пристроїв включає два види світла - резервний та евакуаційний (відповідає за освітлення шляхів евакуації).

Чергове освітлення використовується для охорони будівель та прилеглих територій у нічний час. Створює певний рівень видимості на

					ДП.АКТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

об'єкті та попереджає проникнення сторонніх осіб. Виділяють два види освітлювального обладнання – охоронне освітлення приміщень та периметра (зовнішній варіант). Перший застосовується для нагляду за внутрішніми об'єктами.

Виробниче зовнішнє (фасадне) освітлення, призначене для зовнішнього застосування, має відповідати низці вимог та стандартів безпеки та якості. Від вибору відповідної світлотехнічної продукції багато в чому залежить безпека людей. Ефективні яскраві лампи допоможуть знизити ризик ударів або випадкового пошкодження виробничої інфраструктури. Для зовнішнього освітлення використовують прожектори. Ці пристрої універсальні і можуть використовуватися на різних локаціях. Відрізняються гарною світловіддачею, енергоефективністю, високою стійкістю до низьких та високих температур, атмосферних опадів та забруднення.

Освітлення для небезпечних зон – це освітлювальні прилади, які можна безпечно використовувати у місцях, де є ймовірність виникнення пожежі. На ринку представлені різні вибухозахищені освітлювальні пристрої. При підборі обладнання необхідно враховувати критерії:

- характеристики вибухонебезпечного середовища, що зазначені відповідним кодом сертифікації (температурний клас, група газу, зона);
- кількість та тип освітлювальних приладів;
- умови (наприклад, підвищена вологість).

Світлодіодна технологія забезпечує підвищену стійкість до суворих умов використання.

При підвищеній вологості чи запиленості приміщення використовують герметичні світильники. Ступінь захисту пристрою визначається двозначним символом (кодом) IP. Перша цифра вказує на ступінь захисту внутрішньої частини світильника від твердих предметів, включаючи пил, інструменти та частини тіла. Друга – ступінь захисту від проникнення води. Промислові світильники, призначені для експлуатації в особливо складних кліматичних

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

умовах, включаючи запилені або вологі приміщення, повинні мати ступінь захисту не нижче IP65.

Світлодіодне освітлення – технологія майбутнього. Світильник працює дуже швидко - відразу після включення живлення ми отримуємо повний світловий потік. Кількість пусків мало впливає на термін служби приладу. Світлодіодні прожектори – альтернатива галогенному освітленню. Характеризуються тривалим терміном служби та підвищеною стійкістю до погодних умов. Системи такого типу часто використовуються в сучасних виробничих цехах.

При встановленні промислового освітлення у виробничому цеху враховуються наступні фактори [6]:

- вид діяльності;
- висота приміщення;
- освітлення робочих місць;
- рівень пилу;
- високі температури.

Ці дані часто визначають спосіб встановлення світильників на виробництві та вибір відповідних джерел світла. Попередньо проводиться світлотехнічний аудит.

При заміні світильників на промислових об'єктах найважливіше враховувати безпеку. Це стосується як людей, які здійснюють монтаж освітлення цеху, так і самих працівників, які знаходяться на об'єкті. Фактори ризику повинні бути зведені до мінімуму, монтаж повинні виконувати спеціалісти з досвідом. План робіт – важливий документ та допоміжний інструмент при встановленні світла на підприємстві. Деякі галузі потребують особливого підходу до модернізації освітлення. Установка світильників у виробничих цехах такого типу пов'язана з багатьма труднощами. Іноді установникам доводиться працювати з технікою альпінізму та використовувати спеціальні костюми для безпечного встановлення.

					ДП.АКТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

1.2 Аналіз світлотехнічного обладнання та технічних засобів автоматизованої системи керування освітленням

Апаратно-технічні засоби автоматизованих систем керування освітленням (АСКО) у виробничих цехах призначені для ефективного управління світловими приладами з метою економії електроенергії, підвищення рівня безпеки праці, зручності обслуговування та дотримання норм освітлення згідно з вимогами типу зорової роботи.

Склад апаратно-технічних засобів АСКО освітлення [7]:

- контролери освітлення (центральний елемент системи, що керує вмиканням/вимиканням світильників відповідно до сигналів з сенсорів або за заданим алгоритмом, прикладом таких контролерів є Schneider Electric LMC058, Siemens LOGO!, Zelio Logic);

- світлові сенсори (сенсори освітленості / люкметри) (вимірюють рівень природного освітлення та передають сигнал контролеру для адаптації штучного освітлення, прикладом таких сенсорів є ELSYS Lux Sensor, Theben theLuxa);

- сенсори руху / присутності (автоматично вмикають освітлення при виявленні присутності людини або руху, прикладом таких сенсорів є Steinel IS 3180, Schneider Argus);

- джерела світла з підтримкою димування (димовані LED-світильники) (освітлювальні прилади з можливістю регулювання яскравості залежно від часу доби, присутності людей чи завдань, прикладом таких джерел світла є Philips CoreLine, Osram DALI LED);

- інтерфейси зв'язку та шлюзи (для обміну даними між контролерами та диспетчерським пунктом, часто реалізовані на базі протоколів DALI, KNX, BACnet, Modbus, прикладом таких засобів є DALI Gateway, KNX Interface.

- панелі керування / сенсорні дисплеї/ програмовано-логічні контролери (ПЛК) (дають змогу вручну керувати освітленням або переглядати

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інформацію про стан системи, прикладом таких засобів є HMI Siemens Basic Panel, Schneider Harmony);

- програмне забезпечення SCADA/BMS (дозволяє візуалізувати, керувати, реєструвати та оптимізувати роботу системи освітлення з центрального персонального комп'ютера ПК або через хмару).

АСКО у виробничих приміщеннях дозволяють гнучко та ефективно регулювати освітлення відповідно до умов роботи, наявності персоналу, рівня природного світла та графіка виробничих процесів. Це забезпечує як енергозбереження, так і комфорт та безпеку праці.

Контролер освітлення в автоматизованій системі керування освітленням виконує ключову роль у забезпеченні ефективного, адаптивного та енергоощадного керування світлотехнічними приладами у виробничих приміщеннях (рисунок 1.3). Його основне завдання — збір, обробка та аналіз інформації з сенсорів освітленості, руху та присутності, а також формування відповідних команд на вмикання, вимикання або регулювання яскравості світильників. Контролер постійно контролює рівень освітлення в різних зонах цеху, забезпечуючи дотримання встановлених нормативів (наприклад, згідно з ДСТУ або СНіП).

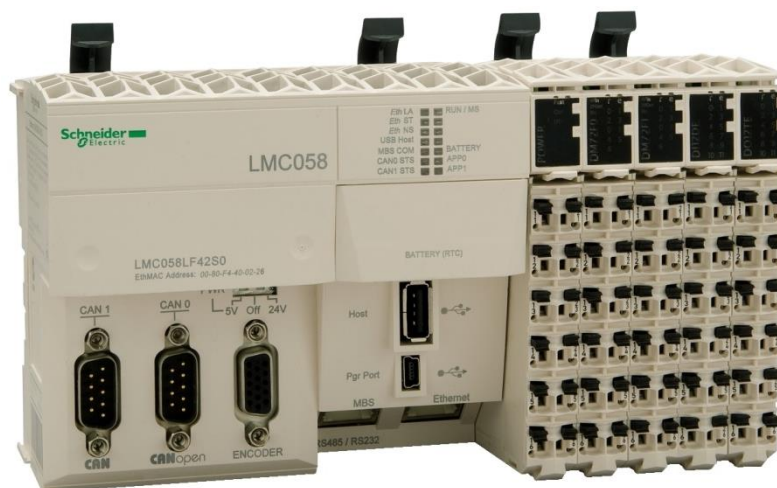


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд контролера освітлення Modicon LMC058

ПЛМ також враховує наявність персоналу, час доби, природне освітлення з вікон або світлових ліхтарів, збої у мережі живлення, графіки

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

роботи обладнання. У більш складних системах контролер виконує взаємодію з іншими автоматизованими підсистемами (наприклад, охоронною, вентиляційною, протипожежною). Він може працювати за заздалегідь заданими сценаріями освітлення (денний, нічний режим, обслуговування, аварія). Також контролер веде журнал подій, виявляє несправності, контролює навантаження в мережі та інтерфейси зв'язку (наприклад, DALI, KNX, Modbus).

Основні характеристики контролерів АСКО включають [8]:

- кількість керованих каналів – визначає, скільки зон або світильників може контролювати пристрій (наприклад, 4, 8, 16 каналів і більше);
- тип інтерфейсу зв'язку – підтримка протоколів керування, таких як DALI (Digital Addressable Lighting Interface), KNX, Modbus RTU / TCP, BACnet, RS-485 / RS-232, Ethernet / Wi-Fi;
- можливість димування (регулювання яскравості) – підтримка керування інтенсивністю освітлення (аналогове 0–10 В, PWM, цифрове DALI);
- інтеграція з сенсорами – підтримка підключення: сенсорів освітленості, сенсорів руху/присутності, годинників часу (таймерів), фотореле;
- можливість створення сценаріїв керування – підтримка попередньо заданих режимів (робочий день, ніч, технічне обслуговування, аварійний режим);
- програмування та конфігурація – наявність інтерфейсу (через ПК або мобільний пристрій) для налаштування режимів роботи;
- наявність вбудованого годинника реального часу (RTC) – для побудови добових і тижневих графіків;
- підтримка віддаленого доступу – через хмарні сервіси або локальну мережу;
- живлення контролера – тип і напруга живлення (наприклад, 24 В DC, 230 В AC);

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ступінь захисту корпусу – IP20, IP44, IP65 — залежно від умов експлуатації (вологість, пил, температура);
- можливість роботи у складі SCADA-систем – підтримка протоколів інтеграції та OPC-серверів;
- журналювання подій та стану обладнання – ведення логів, збереження даних аварій або ручного втручання;
- механізми безпеки та аварійного вимкнення – захист від коротких замикань, перевантаження тощо;
- масштабованість – можливість об'єднання кількох контролерів у мережу для великих систем;
- підтримка оновлення прошивки – можливість віддаленого або локального оновлення ПЗ контролера.

Таким чином, контролер є мозковим центром АСКО, що забезпечує оптимальне функціонування системи освітлення відповідно до виробничих і енергетичних потреб підприємства.

Сенсори освітлення та руху для АСКО – це ключові елементи, що забезпечують адаптивне та енергоефективне управління освітленням на основі реального рівня освітленості в приміщенні або зовні (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд світлових та сенсорів руху АСКО

Призначення сенсорів освітлення і руху [9]:

- вимірювання рівня освітленості (в люксах) у зоні контролю;

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

- автоматичне регулювання штучного освітлення залежно від природного світла;
- оптимізація витрат енергії, зменшуючи час роботи освітлювальних приладів;
- підтримка комфортних умов праці у виробничих та офісних приміщеннях згідно з нормами ДБН/СанПіН.

До основних задач світлових сенсорів та сенсорів руху у складі АСКО відносять:

- забезпечення сталої освітленості – сенсор подає сигнал контролеру для збільшення або зменшення яскравості світильників;
- зменшення енергоспоживання – за достатнього природного освітлення штучне світло зменшується або повністю вимикається;
- створення логіки сценаріїв керування – наприклад, світло вмикається лише за поєднання умов: присутність людини + рівень освітлення нижче норми;
- передача інформації в центральний контролер або SCADA-систему для аналізу, архівації, побудови графіків енергоспоживання;
- інтеграція з аварійним або нічним режимом – сенсор може реагувати на різкі зміни (наприклад, затемнення або відключення зовнішнього живлення).

Типові характеристики сенсорів освітлення і руху:

- діапазон вимірювання: від 1 до 100 000 люкс;
- тип вихідного сигналу - аналоговий (0–10 В, 4–20 мА) або цифровий (DALI, KNX);
- кут огляду залежно від конструкції – 90°, 180°, 360°;
- місце встановлення - на стелі, стіні або зовні (в герметичному корпусі);
- частота опитування від кількох разів на секунду до разу на кілька секунд;
- температурний діапазон роботи - зазвичай від -20°C до +60°C.

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Джерела світла з підтримкою димування (димовані світильники або лампи з можливістю регулювання яскравості) є важливою складовою сучасних інтелектуальних систем освітлення, зокрема в АСКО, офісах, житлових приміщеннях і виробничих зонах. Димування — це можливість плавно регулювати яскравість джерела світла від мінімального до максимального рівня замість просто ввімкнення/вимкнення.

До основних типів джерел світла з підтримкою димування відносять:

- світлодіодні (LED) лампи та світильники - найпоширеніші димовані джерела світла, що підтримують як аналогове (0–10 В, ШІМ), так і цифрове димування (DALI, DMX, KNX), перевагами є довговічність, висока енергоефективність, точність регулювання;

- люмінесцентні лампи (з електронними пуско-регулювальними апаратами (ПРА)), потребують спеціальних ПРА, які підтримують димування, частіше використовуються у промислових або офісних приміщеннях;

- галогенні лампи, добре реагують на зміну напруги, димування просте, але менш енергоефективні та мають коротший термін служби.

- індукційні лампи, мають високу стабільність яскравості, але рідше підтримують димування.

Панелі керування для АСКО — це інтегровані пристрої або комплекси, які забезпечують людино-машинний інтерфейс (НМІ) для моніторингу, управління та діагностики системи освітлення у виробничих, комерційних або громадських будівлях (рисунки 1.5).

Основне призначення панелі керування АСКО передбачає [10, 11]:

- візуалізація стану системи – відображення параметрів освітлення в режимі реального часу;

- ручне/автоматичне керування освітленням – можливість вмикати, вимикати, димувати (змінювати яскравість) світильники;

- програмування сценаріїв освітлення – за часом доби, присутністю людей, рівнем освітленості тощо;

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- діагностика несправностей – індикація аварійних режимів або відмов елементів системи;
- зв'язок з контролерами та сенсорами – взаємодія з іншими модулями через протоколи (наприклад, Modbus, KNX, DALI, BACnet);
- архівування даних та логування подій – зберігання історії подій і налаштувань.

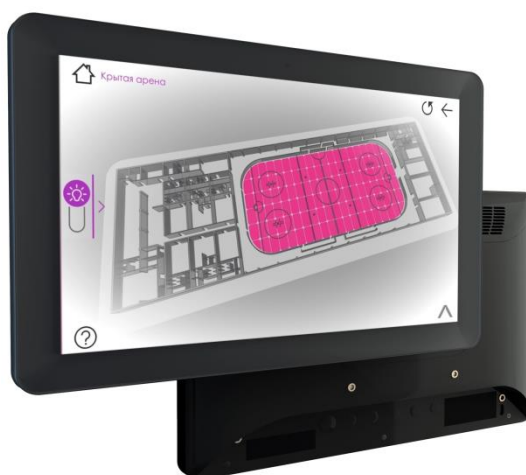


Рисунок 1.5 – Загальний вигляд панелі керування для АСКО

До функціональних можливостей панелі керування АСКО відносять: керування окремими зонами освітлення, аварійне вимкнення або централізоване управління, індикація стану ламп, драйверів, сенсорів руху чи освітленості, можливість підключення до BMS (систем керування будівлями).

Панелі керування є “мозковим центром” АСКО, поєднуючи функції інтерфейсу оператора, засобу керування, реєстрації даних і віддаленого моніторингу. Вони сприяють енергоефективності, гнучкості системи та зручності обслуговування.

Апаратно-технічні засоби АСКО у виробничих цехах забезпечують надійне, економне та адаптивне освітлення, що позитивно впливає на продуктивність праці, якість виробничих процесів і витрати підприємства. Завдяки широкому вибору обладнання, систему можна адаптувати під будь-які специфікації приміщення, норми та задачі.

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

1.3 Опис контура регулювання та особливостей складних АСКО

Складні та багатофункціональні АСКО — це розвинені рішення, що забезпечують інтелектуальне управління освітленням на великих об'єктах, з урахуванням енергоефективності, комфорту, безпеки, адаптивності та інтеграції в інші системи управління будівлею. З кожним наступним роком удосконалення АСКО – це перехід на новий рівень програмно-апаратних засобів, що дає можливість інтелектуальній системі управління, яка адаптується до зовнішніх умов, навантаження, людської активності, часу доби, тощо — і при цьому ще економить ресурси.

Архітектура та масштабованість системи дозволяє складним АСКО будуватися на модульному принципі, де кожна зона або група освітлення має власні виконавчі пристрої, а всі вони координуються центральним або ієрархічним контролером. Застосування мережевих протоколів KNX, DALI, Modbus, BACnet — дозволяють легко інтегрувати систему в більш широкую інфраструктуру, а також керувати десятками і навіть сотнями зон освітлення без втрати швидкодії.

Інтелектуальні функції проявляються у тому, що багатофункціональна АСКО аналізує безліч параметрів у режимі реального часу, а саме [11]:

- освітленість (люкс) — за допомогою світлових сенсорів система регулює яскравість або зовсім вимикає світло при достатній денній освітленості;
- наявність/відсутність персоналу — сенсори руху або присутності вимикають світло у порожніх зонах;
- часові графіки — керування освітленням за розкладом або за подіями (наприклад, включення аварійного освітлення під час спрацювання пожежної сигналізації);
- сценарії — набір заздалегідь запрограмованих сценаріїв освітлення для різних режимів роботи.

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Централізоване керування та диспетчеризація виконується за рахунок SCADA-системи або BMS-панелі, які дозволяють моніторити та керувати всіма освітлювальними зонами з єдиного інтерфейсу. Графічна візуалізація приміщень, статус світильників, тривожні повідомлення дає можливість віддаленого керування через VPN, веб-інтерфейс або мобільний додаток.

Енергозбереження та ефективність представляється у вигляді димування освітлення (регулювання яскравості) залежно від задач — економить до 30–60% енергії. LED-світильники з цифровим управлінням підтримують інтелектуальні алгоритми керування та формування звітів по енергоспоживанню кожної зони, з виявленням неефективних ділянок.

Надійність та безпека реалізується функціоналом аварійного освітлення, що спрацьовує при зникненні живлення, автоматичному формуванні повідомлення про несправності, обриви ліній або перегорілі лампи. Подвійне резервування контролерів та захист від перевантаження з використанням інтелектуальних автоматів підвищує безпеку та надійність АСКО. Аналітика та оптимізація АСКО дозволяє зберігати історію подій, вести журнал увімкнення/вимкнення освітлення, аналізувати роботу системи. Звіти використовуються для оптимізації роботи персоналу, покращення зонування та зменшення витрат.

Інтеграція з іншими системами дозволяє складним АСКО взаємодіяти з охоронною, пожежною системою, відеоспостереження. Наприклад, при виявленні руху — може увімкнутись освітлення і одночасно початися запис з камери. Гнучке налаштування та адаптація дає можливість швидкої адаптації під нове планування, виробничі зміни або модернізацію обладнання. Підтримка оновлень ПЗ контролерів через інтернет або локальну мережу робить більш універсальною складні АСКО.

Прикладом складної і багатофункціональної АСКО є система освітлення цеху промислового підприємства, що має першорядне значення для забезпечення безпеки персоналу та зростання продуктивності. Для оптимізації споживання електроенергії потрібна система автоматичного

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

керування освітленням з урахуванням періодичності роботи цеху. З метою безпеки співробітників має бути заборонено ручне вимкнення світильників.

Тим не менш, необхідна можливість ручного керування освітленням для техобслуговування, заміни ламп або роботи в нічний час. Пропоноване рішення надає можливість перемикавання ручного та автоматичного режимів на кожній лінії світильників. Живлення світильників здійснюється за допомогою автоматичного вимикача із вбудованим дистанційним керуванням Reflex IC60. Система управління будівлею (BMS) посилає команди увімкнення/вимкнення освітлення автоматичному вимикачу з вбудованим дистанційним керуванням Reflex IC60 відповідно до поточних потреб будівлі. Reflex IC60 функціонує в режимі 3, що дозволяє обслуговуючому персоналу примусове місцеве керування увімкненням/вимкненням освітлення. Інформація про увімкнення, вимкнення освітлення та несправності в мережі передається до диспетчерського пункту системи управління будівлею Функціональна схема запропонованої АСКО цеху промислового підприємства представлена на рисунку 1.6.

До переваг такої АСКО відносять [12]:

- простота - відсутність слаботочних інтерфейсів між Reflex IC60 та системою управління будівлею (BMS), зниження вартості кабельних з'єднань, яких на 50% менше порівняно з традиційними рішеннями, індикатор стану на передній панелі пристрою та дистанційна сигналізація;
- гнучкість - можливість примусового перемикавання на місцеве керування;
- безпека - пристрій механічного блокування, який не потребує додаткових аксесуарів;
- безперервність електропостачання - Reflex IC60 є двостабільним пристроєм, що не змінює свого стану при перебоях в електропостачанні;
- багатфункціональність - реалізація за допомогою програмно-технічних засобів додаткового функціоналу налаштуванню сервісних функцій та функцію відображення додаткової інформації.

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

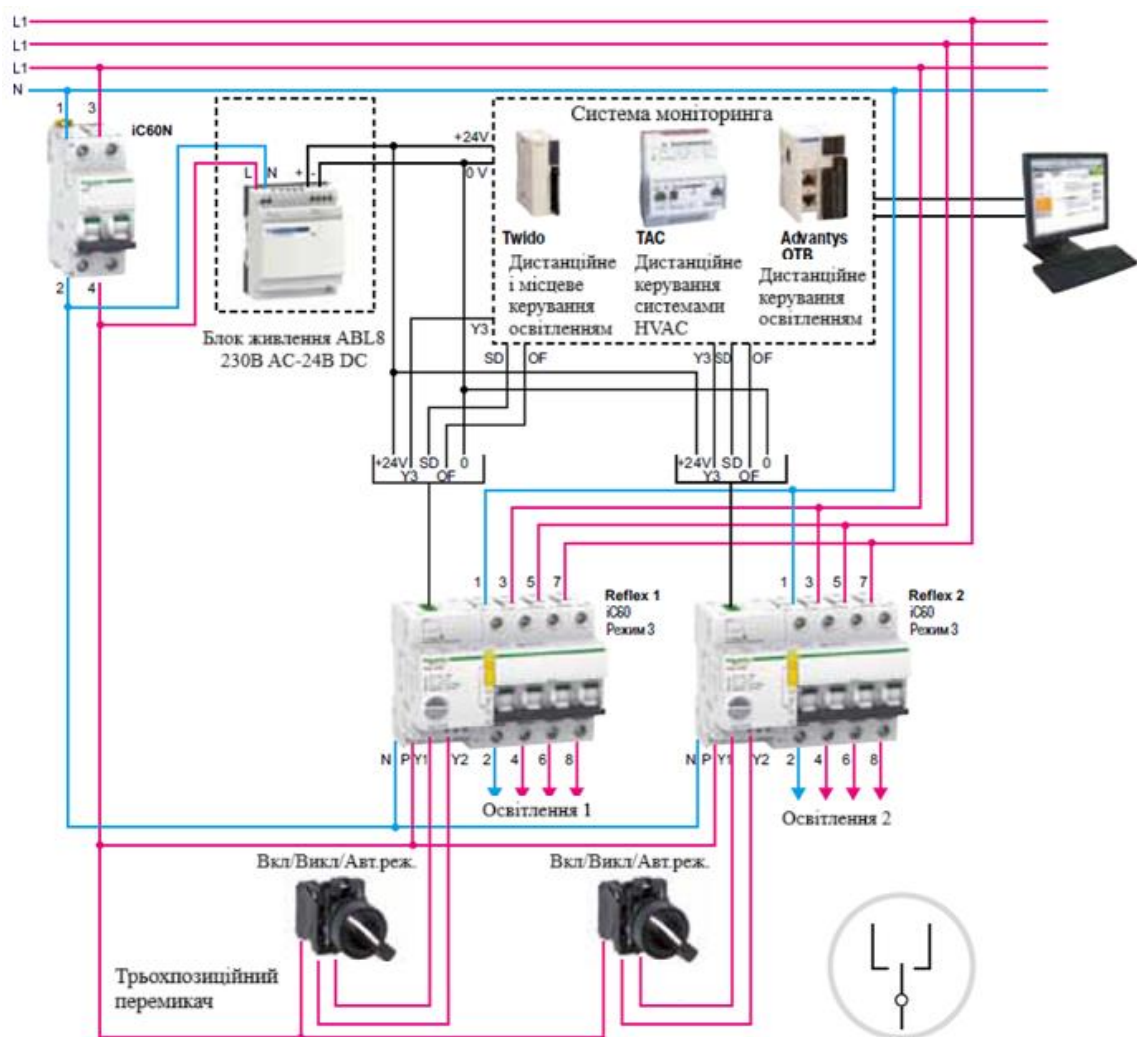


Рисунок 1.6 – Багатофункціональна АСКО цеху промислового підприємства

Технічні характеристики багатофункціональної АСКО цеху промислового підприємства є наступними:

- живлення світильників за допомогою автоматичного вимикача із вбудованим дистанційним керуванням Reflex IC60;
- увімкнення та вимкнення освітлення за допомогою ПЛК системи управління будівлею (BMS);
- примусове місцеве керування увімкненням/вимкненням освітлення за допомогою перемикача на передній панелі електричної шафи;
- інформація про увімкнення, вимкнення освітлення та несправності в мережі передається до диспетчерського пункту системи управління будівлею без використання додаткових слаботочних інтерфейсів.

Проектування складних і багатофункціональних автоматизованих систем керування освітленням вимагає системного підходу та врахування численних факторів. Основною особливістю є модульна структура з можливістю масштабування, що дозволяє адаптувати систему під специфіку об'єкта. При проектуванні враховуються типи приміщень, рівні освітленості, наявність денного світла, рух персоналу та енергоефективність. Важливим є вибір сумісних протоколів зв'язку (DALI, KNX, Modbus), що забезпечують гнучке керування і інтеграцію з іншими інженерними системами. Акцент робиться на використанні інтелектуальних контролерів, сенсорів освітлення та руху, димованих джерел світла та централізованого диспетчерського керування. Система має підтримувати сценарії освітлення, автоматичне регулювання яскравості та аварійні режими. Особливу увагу приділяють безпеці, надійності та простоті обслуговування.

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. СПЕЦИФІКАЦІЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Реалізація структури і компонентів автоматизованої системи керування освітлювальними засобами та функціональне представлення основних вузлів управління

Один із елементів сучасного комфортного житла — це система освітлення. Якщо раніше освітлення зводилося до люстри з лампочкою та вимикача, то сьогодні багато хто прагне додати освітленню додаткові функції. Наприклад, автоматичне вмикання та вимикання світла, підтримка необхідного рівня освітленості, керування кольором підсвічування залежно від часу доби тощо. Усе це не лише створює зручність, а й дозволяє економити електроенергію. Реалізувати такі ідеї можна за допомогою системи автоматизованого керування освітленням, яка може бути частиною «розумного будинку» або окремим рішенням.

На сьогоднішній день виробники обладнання випускають велику кількість різноманітних пристроїв, що дозволяють створити «розумні» системи будь-якої складності. У другому розділі кваліфікаційної роботи представлено структурну та функціональну схеми автоматизованої системи освітлення промислових цехів, а також види освітлювальних приладів, вибір керуючих пристроїв для кожного типу та методи взаємодії користувача з системою автоматизації. На рисунку 2.1 представлена загальна структура автоматизованої системи керування освітленням виробничих приміщень.

Функціонування системи керування освітленням цехів зводиться до апаратно-технічних засобів – обладнання. Обладнання в системах автоматичного керування освітленням можна поділити на кілька категорій:

- освітлювальні прилади (лампи, світильники, світлодіодні стрічки тощо);
- пристрої керування освітленням (реле, димери);

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

- джерела керування (клавiшні вимикачі, сенсори, сенсорні панелі тощо);
- контролери;
- допомiжні пристрої (блоки живлення, модулі передачі даних, пiдсилювачі потужності тощо).

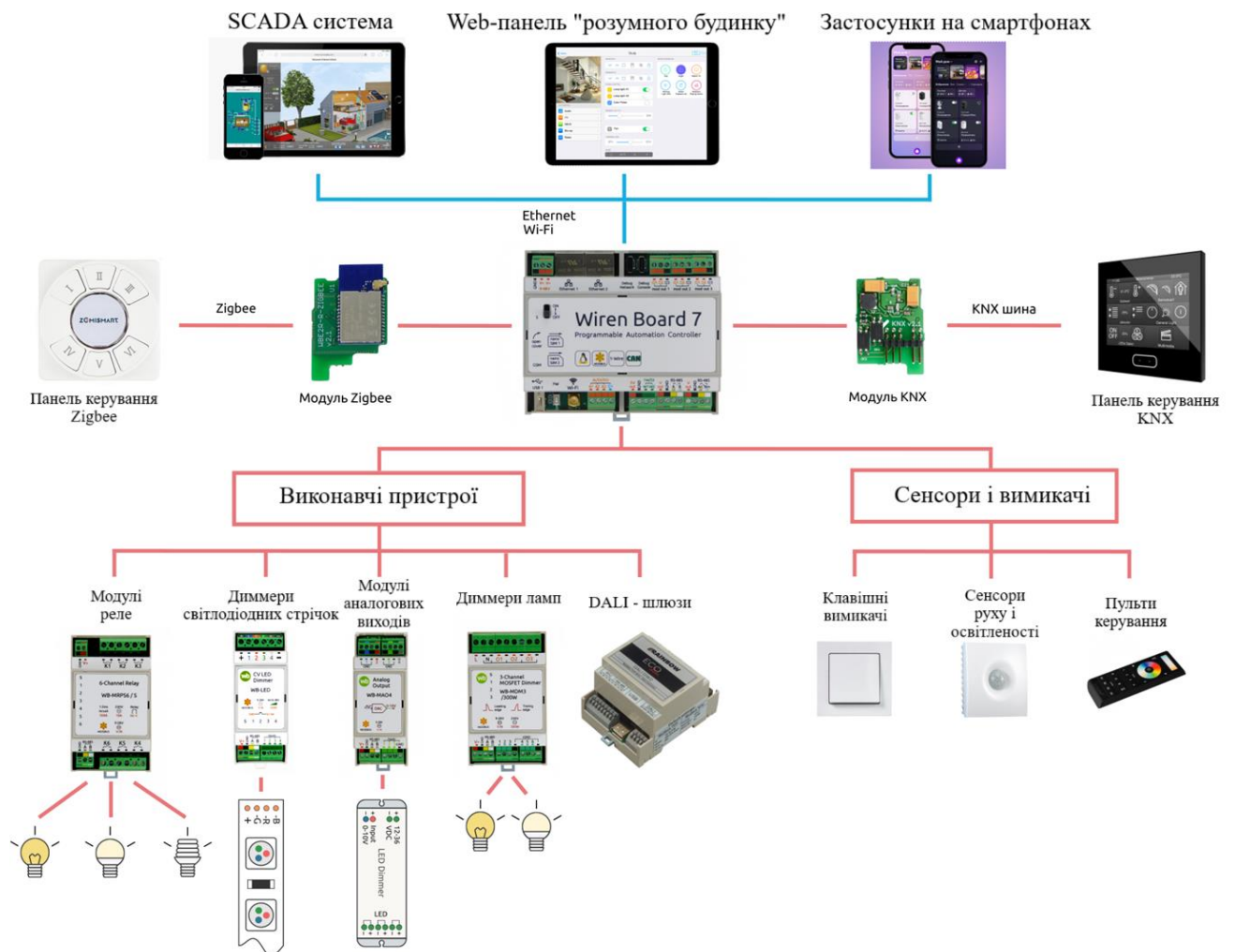


Рисунок 2.1 – Структурна схема автоматизованої системи керування освітленням виробничих приміщень

При всій різноманітності видів і типів освітлювальних приладів, управління освітленням зводиться всього до двох способів - просте включення та вимкнення, а також плавне регулювання яскравості та кольору (диммерне). Вибір способу керування та керуючих пристроїв залежить від типу освітлювального приладу. Для прикладу, існують пристрої, яскравістю

яких не можна керувати, деякі вимагають власного блока живлення, інші керуються лише за цифровим інтерфейсом.

Сучасні промислові підприємства відають перевагу впровадженню автоматизованих систем керування освітленням (АСКО) задля підвищення енергоефективності, зменшення експлуатаційних витрат, покращення умов праці та підвищення безпеки персоналу. Інноваційним напрямом розвитку таких систем стало використання апаратно-програмних засобів, характерних для технологій “розумного дому”, зокрема сенсорів, контролерів, бездротових інтерфейсів і систем дистанційного моніторингу.

Архітектура подібної системи будується за модульним принципом та включає такі ключові компоненти [12, 13]:

- центральний контролер (PLC або смарт-хаб) (виступає ядром системи — координує усі пристрої освітлення та збирає дані з сенсорів, у промислових умовах часто використовують промислові контролери з розширеними можливостями програмування та інтеграції);

- сенсори та детектори (в системі застосовуються сенсори освітленості, руху, присутності персоналу, температури та часу доби, наприклад, в робочих зонах світло може вмикатись лише у присутності працівника або при недостатньому природному освітленні);

- виконавчі пристрої (це реле, димери, контактори та інші пристрої, які безпосередньо керують джерелами світла (вмикають, вимикають або регулюють яскравість));

- інтерфейси керування (панелі керування, мобільні додатки, веб-інтерфейси — забезпечують доступ до системи для адміністраторів, інженерів та відповідального персоналу);

- протоколи зв'язку (для комунікації застосовуються як дротові (Modbus, KNX, DALI), так і бездротові протоколи (Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi), це дозволяє масштабувати систему без прокладання нових кабелів, що знижує витрати на впровадження).

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До особливостей побудови в промислових умовах відносять високу надійність і відмово стійкість, тобто система має бути розрахована на функціонування у складних умовах - пил, вологість, перепади температур, електромагнітні завади. Тому компоненти повинні мати відповідні ступені захисту (IP65 і вище), а зв'язок бути стабільним та резервованим.

Не маловажливою особливістю є зональність освітлення. Промислові цехи, як правило, розділені на функціональні зони (робочі ділянки, проходи, складські частини), де потреби в освітленні різні. Автоматизоване керування дозволяє індивідуально налаштувати режими освітлення для кожної зони.

Інтеграція з іншими системами АСКО часто інтегруються з системами безпеки, контролю доступу, енергомоніторингу. Наприклад, при активації пожежної сигналізації система освітлення може увімкнути аварійне освітлення та підсвітити евакуаційні виходи.

Ще однією особливістю є енергоощадність та аналітика. Завдяки збору та аналізу даних з сенсорів, система може адаптуватися до реального навантаження, економити енергію в неробочий час та генерувати звіти про споживання енергії у кожній зоні. Простотою обслуговування та розширення рішень “розумного дому” забезпечують зручне оновлення конфігурацій через мобільні додатки або інтерфейс інженера без необхідності фізичного втручання у проводку.

Для прикладу реалізації таких систем у промисловості, а саме для [13]:

- освітлення складських зон (сенсори присутності активують світло тільки тоді, коли працівник входить у відсік, після його виходу освітлення автоматично вимикається);
- динамічне регулювання яскравості (удень система зменшує інтенсивність штучного освітлення, орієнтуючись на природне світло, яке потрапляє через вікна або ліхтарі даху);
- робота з розкладом (нічна зміна може мати інший рівень освітленості або іншу логіку керування — наприклад, мінімальний режим з автоматичним вмиканням при виявленні руху).

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Використання архітектур “розумного дому” для побудови АСКО в промислових цехах дозволяє створити гнучкі, енергоефективні, надійні та інтелектуальні системи освітлення. Це сприяє покращенню умов праці, зниженню витрат на електроенергію та обслуговування, а також забезпечує можливість масштабування й модернізації в майбутньому. Інтеграція новітніх технологій в індустріальне середовище — важливий крок на шляху до цифрової трансформації підприємств.

2.2 Обґрунтування вибору модуля керування автоматизованої системи та периферійних пристроїв

Загалом освітлювальні прилади та засоби поділяються на такі типи (рисунок 2.2):

- лампи розжарювання та світлодіодні лампи з живленням 230 В, їх можна включати вимикачем або реле і змінювати яскравість за допомогою димера;
- світлодіодні стрічки, підтримують керування яскравістю, кольором тощо, залежно від типу стрічки, потрібний димер постійного струму та блок живлення для стрічок;
- світильники з вбудованими драйверами не димовані тільки включення та вимкнення, яскравість не змінюється;
- світильники з вбудованими драйверами з живленням 230 В, що димуються керуються аналогічно світлодіодним лампам;
- світильники з керуванням 0-10 В, включення та завдання яскравості за допомогою аналогового сигналу 0-10 В;
- світильники з протоколом DALI, це окремий тип пристроїв, що використовуються у великих офісних будівлях та дизайн-проектах квартир і будинків, керуються за спеціальним протоколом DALI.

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окремий вид пристроїв - "розумні лампи", які керуються протоколом Zigbee. Їх також можна підключити до контролера Wiren Board та керувати ними.



Рисунок 2.2 – Види освітлювальних пристроїв та засобів

Виконавчі пристрої включають та відключають освітлювальні прилади, регулюють їхню яскравість. Для різних типів світильників необхідні різні типи виконавчих пристроїв, проаналізований вище кожен тип і представлено спосіб його застосування.

Модулі реле - це поширений тип виконавчих пристроїв у системах керування освітленням (рисунок 2.3). Їх застосовують скрізь, де потрібне просте включення та вимкнення освітлювального приладу. З їхньою допомогою керують будь-якими джерелами освітлення: лампами розжарювання, світлодіодними лампами, LED-стрічками із власним драйвером тощо [14].

На сьогоднішній день на ринку доступне реле серії WB-MR. Ці реле мають дискретні входи для прямого управління з вимикачів. Входи розпізнають чотири типи натискань, якими виконуються різні дії з виходами. Усі модулі з входами можуть працювати в парі з контролером та без нього.

Для управління освітленням відмінно застосовується модуль реле із вбудованим блоком живлення WB-MR6C v.3:

- реле модуля витримують великий пусковий струм, що важливо для управління світлодіодними лампами;
- дискретні входи та автономне живлення дозволяють використовувати реле для створення «розумної» електрики в системах без контролера;

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

- гнучке налаштування входів та розпізнавання типів натискань дозволяє зробити сценарні та прохідні вимикачі;
- керування RS-485 (Modbus) дозволяє вбудувати модуль реле в систему автоматизації з контролером і керувати освітленням віддалено або за допомогою сценаріїв.

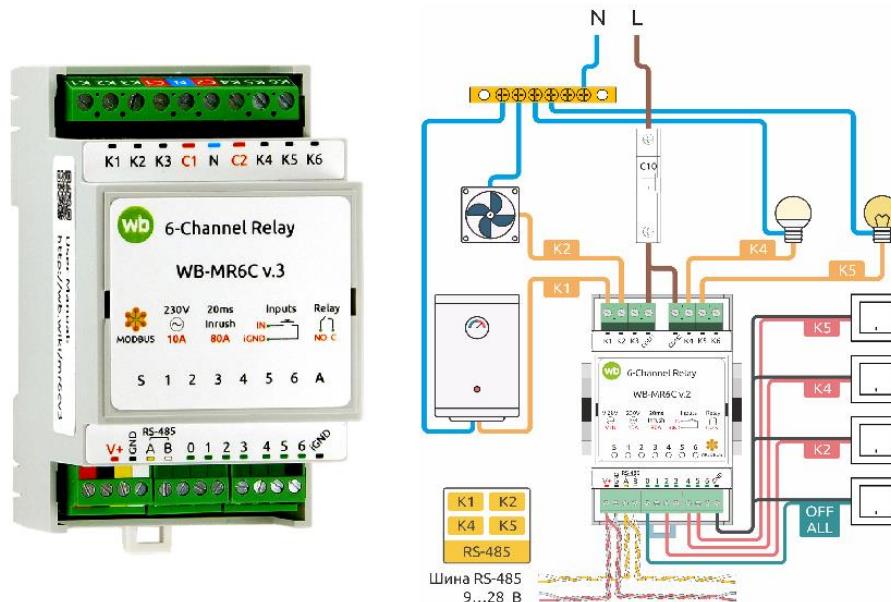


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд модуля реле та схеми його підключення

Тип модуля реле підбирають виходячи з потужності споживача та з урахуванням величини пускових струмів. Рекомендації щодо вибору реле для навантаження.

Наступний тип керуючих пристроїв - це димери, які потрібні для керування яскравістю освітлювальних приладів (рисунок 2.4). У запропонованій автоматизованій системі використовуються димери WB-MDM3, які призначені для роботи в мережі змінного струму з напругою 230 В та потужністю споживачів до 300 Вт на канал для ламп розжарювання та 180 Вт – для світлодіодних ламп. Вони можуть працювати з лампами розжарювання, світлодіодними лампами, що димуються, драйверами світлодіодних стрічок, електронними трансформаторами живлення галогенних ламп і тому подібне.

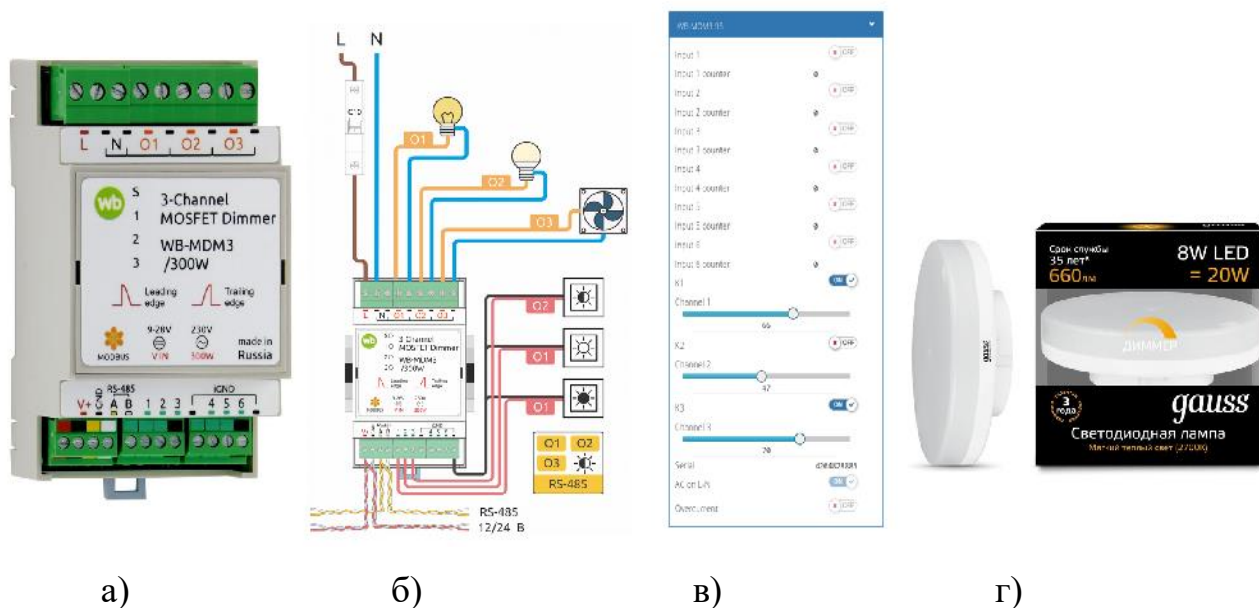


Рисунок 2.4 – Загальний вигляд диммера - а), схеми включення - б), управління за допомогою web-інтерфейсу - в) та лампи що димується - г)

Особлива увага приділяється тому, що не всі типи освітлювальних пристроїв димуються. Якщо лампу або світильник можна димувати, це буде явно вказано на упаковці або в інструкції. Спроба димувати лампи, що не призначені для цього, може вивести диммер і лампи з ладу. Диммери WB-MDM3 можуть керуватися безпосередньо вимикачами, підключеними до входів і по RS-485 (Modbus).

Димери світлодіодних стрічок WB-LED використовуються для керування світлодіодними стрічками без власного драйвера (рисунок 2.5). До нього можна підключити кольорові (RGB, RGB+W), жовто-білі (CCT) або білі (W) світлодіодні стрічки та керувати ними з вимикачів або RS-485 (Modbus). Диммер підтримує 11 режимів роботи, має універсальні входи з апаратним розпізнаванням типів натискань і частоту ШІМ, що налаштовується. Кожен канал витримує струм до 5 А, якщо цього недостатньо, слід використовувати підсилювач WB-AMPLED [15].

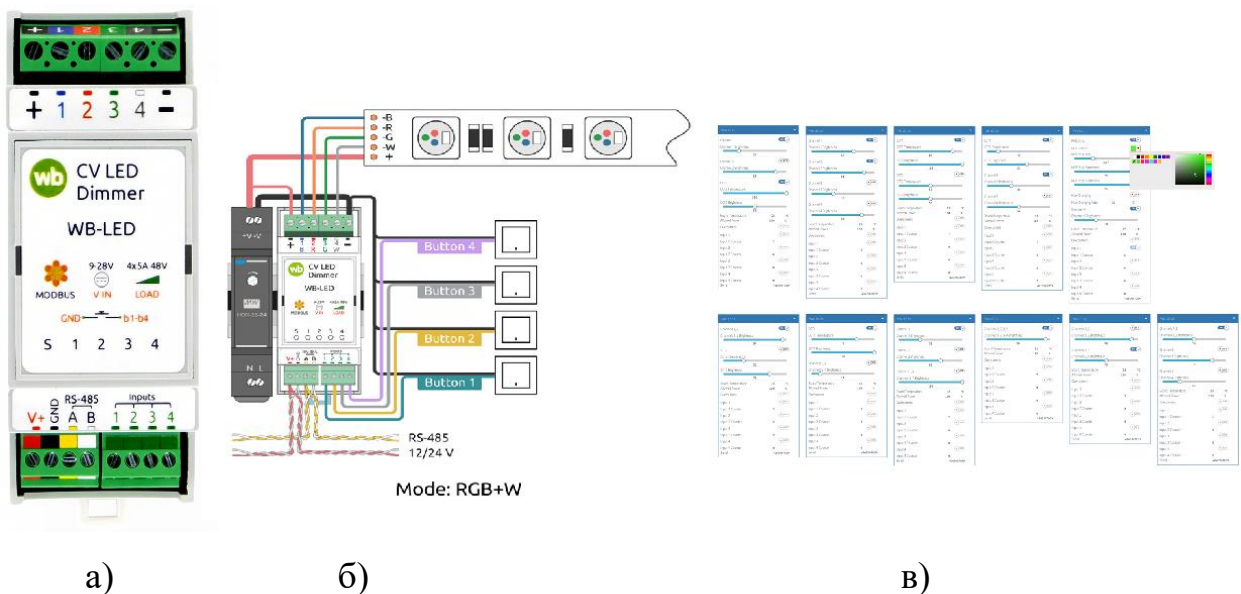


Рисунок 2.5 – Загальний вигляд димера світлодіодних стрічок – а), схеми його включенн – б) і web-інтерфейсу для налаштування – в)

Для керування світильниками та димерами з входом 0-10 В (1-10 В) використовуються модулі аналогових виходів (рисунок 2.6). У запропонованій автоматизованій системі для цього є WB-MAO4, який підтримує два режими роботи 0-10 В та ШІМ, керується з вимикачів та за допомогою RS-485 (Modbus).

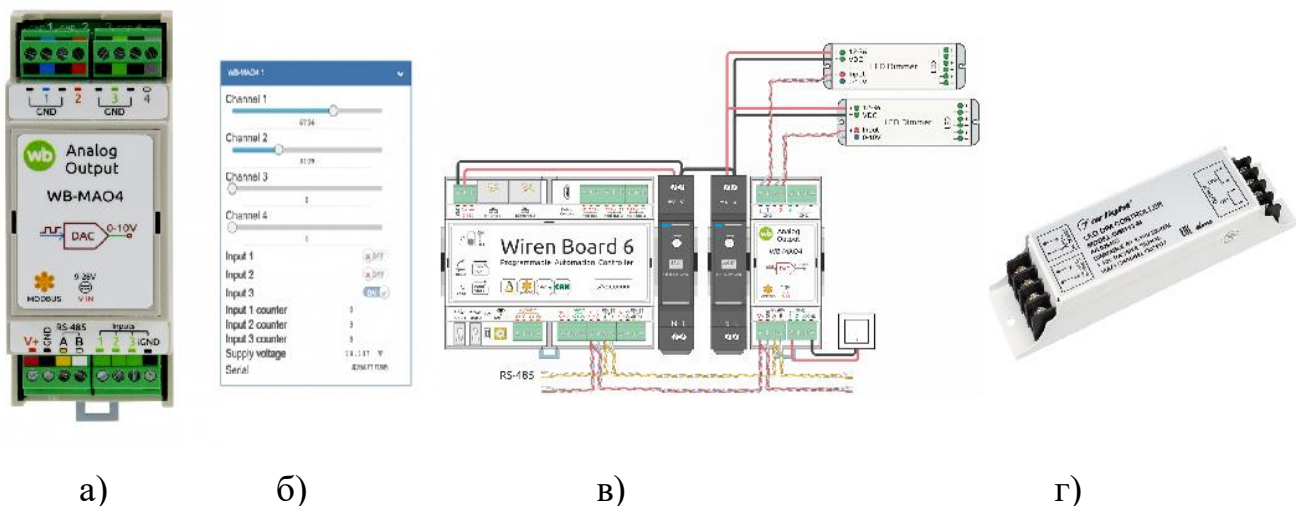


Рисунок 2.6 – Загальний вигляд модуля аналогових виходів – а), web-інтерфейсу для налаштувань – б), схеми включення – в) і димера – г)

Модулі аналогових виходів є ключовими апаратними елементами у складі автоматизованих систем освітлення, які дозволяють гнучко керувати інтенсивністю світлових приладів, регулюючи напругу або струм в заданому діапазоні.

Модулі аналогових виходів використовуються для [16]:

- регулювання яскравості світильників (димування);
- подачі керуючих сигналів на електронні баласты або драйвери світлодіодних ламп;
- забезпечення плавного вмикання/вимикання освітлення, що підвищує комфорт і подовжує термін служби джерел світла;
- інтеграції з протоколами DALI, 0–10 В або 4–20 мА, які часто застосовуються в промислових умовах.

Модулі аналогових виходів поділяються за типами вихідних сигналів:

- напруга 0–10 В / 1–10 В – один із найпоширеніших інтерфейсів димування у промислових світлодіодних драйверах;
- струм 4–20 мА – частіше використовується для точного регулювання в складних системах автоматизації;
- ШІМ (PWM) – для керування світлодіодами через широтно-імпульсну модуляцію (може вимагати додаткових інтерфейсів).

Завдяки аналоговим виходам можливе плавне регулювання освітлення без стрибків, що особливо актуально у зонах з високими вимогами до комфорту освітлення (контроль якості, лабораторії, виробничі зони з візуальними роботами).

Деякі модулі мають функцію зворотного зв'язку, тобто контролер отримує інформацію про фактичну яскравість або стан виконавчого пристрою, що підвищує точність регулювання. Модулі аналогових виходів підключаються до ПЛК (програмованих логічних контролерів) або інтелектуальних вузлів управління, які аналізують дані з сенсорів (освітленості, присутності, часу) та відповідно формують керуючий аналоговий сигнал.

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Багато модулів мають захист від перевантаження, короткого замикання, перегріву, що важливо для промислового середовища. Аналогові модулі можуть керувати окремими світильниками, групами, або зональним освітленням, залежно від конфігурації АСКО.

2.3 Вибір сенсорних та виконавчих апаратно-технічних пристроїв функціонування освітлювальної системи промислового об'єкта

DALI – спеціальний цифровий протокол та стандарт зв'язку для управління освітленням (рисунок 2.7). Використовує двопровідну лінію зв'язку, яку допускається прокладати разом із силовими проводами, у тому числі і в одному кабелі. В одній лінії DALI можуть працювати до 64 пристроїв. Світильники з протоколом DALI останнім часом популярні у різних дизайн-проектах: вони виглядають красиво, підтримують різні режими роботи і до них достатньо протягнути один кабель п'ятижильний для живлення та управління. Також вони вміють повідомляти свій статус, наприклад, «перегоріла лампочка».

Для керування пристроями з протоколом DALI за допомогою контролерів Wiren Board потрібно використовувати шлюз ECoDim DALI GW2, який перетворює команди протоколу Modbus RTU/TCP на команди DALI. Більш детальну інформацію про роботу шлюзу можна знайти у документації та технічному паспорті.

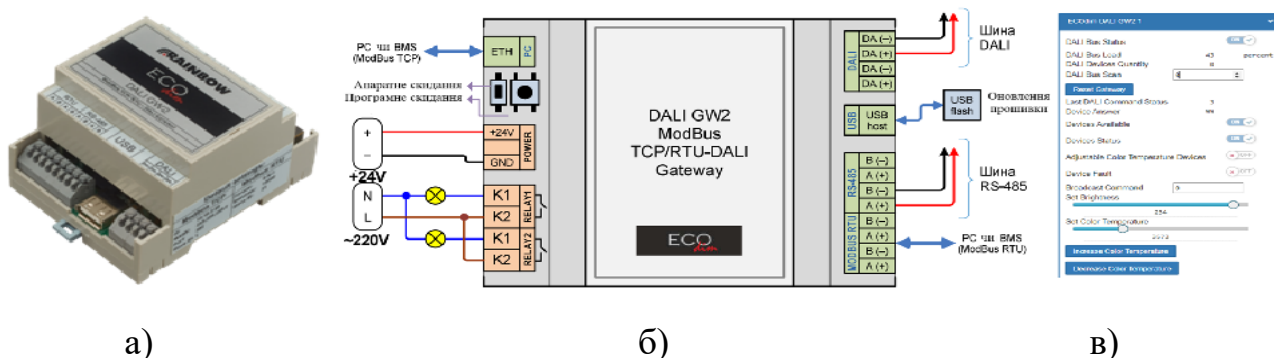


Рисунок 2.7 – Загальний вигляд шлюз-модуля на основі протоколу DALI – а), схеми включення – б), web-інтерфейсу для налаштувань – в)

Слідуючий тип пристроїв системи управління освітленням - джерела сигналів, що керують: вимикачі, регулятори, пульти, сенсори руху і освітленості. Клавішні вимикачі бувають з фіксацією та без фіксації, клавіш може бути одна або декілька (рисунок 2.8). У системах автоматизації зручно використовувати вимикачі без фіксації (кнопки), що дозволяє на один вимикач призначити кілька задач [17].

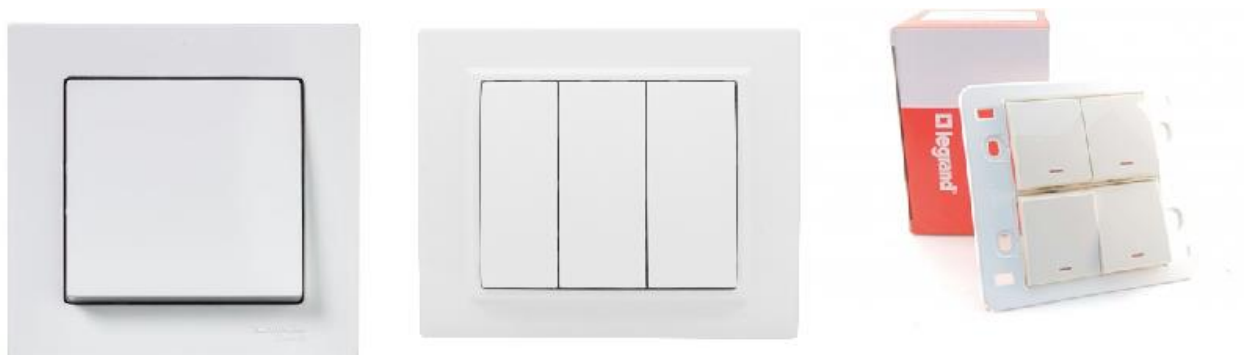


Рисунок 2.8 – Загальний вигляд пристроїв керування – клавішні вимикачі

Сенсори присутності та руху використовуються для автоматичного включення світла, коли людина входить і перебуває у приміщення (рисунок 2.9). Сенсор руху – це інфрачервоний сенсор (ІЧ), який спрацьовує лише тоді, коли помічає рух у полі дії. Сенсор присутності - це мікрохвильовий або ультразвуковий сенсор, який "бачить" людину навіть, якщо вона нерухома. Виходи таких сенсорів можуть бути дискретними або цифровими.

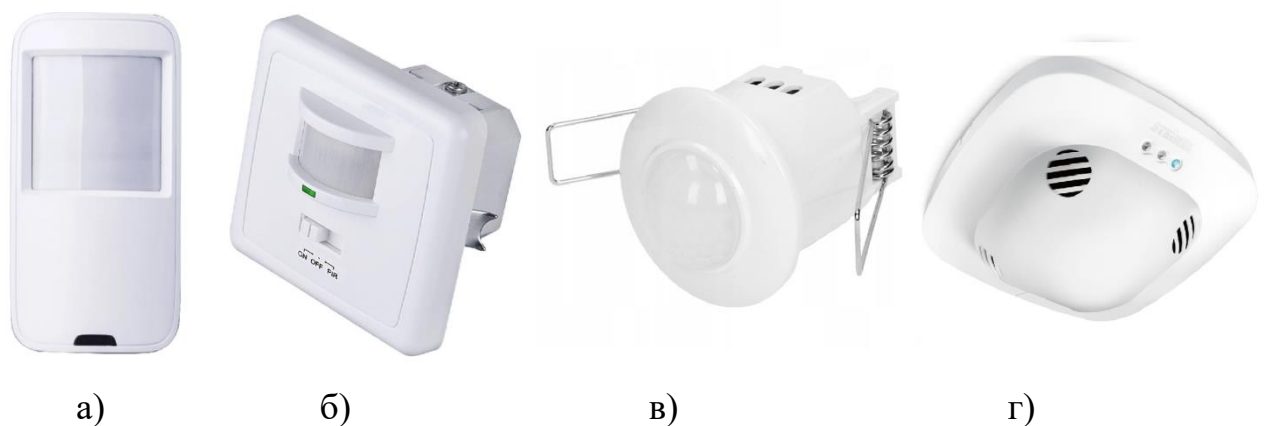


Рисунок 2.9 – Загальний вигляд різномісних сенсорів руху – а), б), в) і присутності – г)

Сенсори освітленості - це пристрої, які вимірюють рівень освітленості в кімнаті та передають вимірювані показники до системи керування (рисунок 2.10). За допомогою цих сенсорів можна підтримувати необхідний рівень яскравості освітлення, створюючи комфортну атмосферу. Зазвичай вони входять до складу комбінованих сенсорів, наприклад WB-MSW v.3.



Рисунок 2.10 – Загальний вигляд сенсора освітленості

Настінні комбіновані сенсори WB-MSW v.3 застосовують там, де потрібно вмикати світло при знаходженні людини у приміщенні та підтримувати задану яскравість освітлення (рисунок 2.11). Крім цього вони дозволяють стежити за кліматом у приміщенні та керувати побутовою технікою по ІЧ каналу. Є моделі з інтерфейсами RS-485 (Modbus), а також WB-MSW v.3 LoRa та WB-MSW-ZIGBEE v.3 [18].

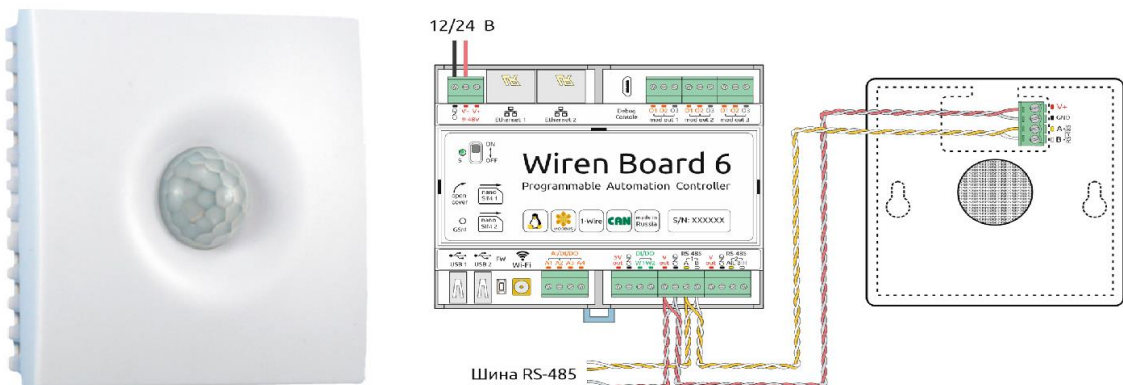


Рисунок 2.11 – Загальний вигляд комбінованого сенсора автоматизованої системи керування освітленням

					ДП.АКТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

За допомогою пультів можна дистанційно вмикати/вимикати світло, задавати яскравість, керувати кольором RGB підсвічування тощо (рисунок 2.12). Зазвичай пульти працюють за протоколами Zigbee та Bluetooth. Для використання з контролером Wiren Board рекомендований вибір пультів із підтримкою Zigbee.



Рисунок 2.12 – Загальний вигляд різновидів пультів дистанційного керування рівнем освітлення в приміщеннях

Настінні панелі бувають універсальними та призначеними для однієї певної функції, наприклад, керування освітленням (рисунок 2.13). Зазвичай вони підтримують один із протоколів передачі: MQTT, Modbus, KNX, Bluetooth і Zigbee. З контролером Wiren Board часто використовують KNX-панелі, програмовані панелі (HMI) з Modbus або звичайні планшети, куди виводяться графічні та текстові дашборди.



Рисунок 2.13 – Загальний вигляд універсальних настінних панелей керування автоматизованою системою освітлення

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

У стандартну комплектацію контролера входить адаптивний веб-інтерфейс, який можна використовувати для керування системою автоматизації з мобільного пристрою або налаштувати інтеграцію зі сторонніми мобільними додатками та хмарними сервісами, такими як (рисунк 2.14): будинок з Алісою, Сбер Салют, Apple Home Kit, Home Assistant, MQTT Dash, SprutHub тощо [19]. Більшість хмарних сервісів надають доступ до голосового помічника, який вміє керувати обладнанням та запускати сценарії управління: вечерея, кіно, або інше.

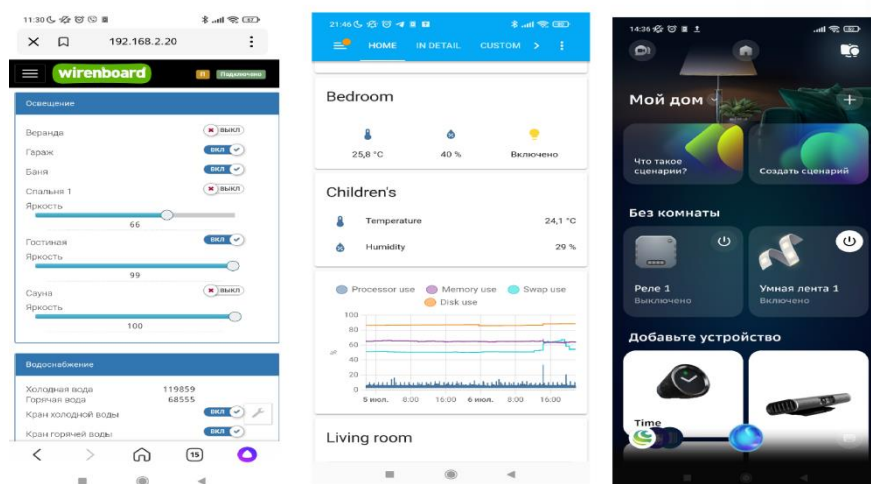


Рисунок 2.14 – Можливості керування контролером автоматизованої системи через web-інтерфейс або додатки на смартфоні

Для живлення модулів та сенсорів системи автоматизації освітлення використовуються блоки живлення з постійною напругою, зазвичай це 24 В (рисунк 2.15). Блоки живлення встановлюються в щиті автоматики і вибираються виходячи із споживаної системою потужності. Якщо потужності одного блоку недостатньо, можна розбити споживачів на групи і використовувати кілька блоків живлення. Зазвичай на ринку пропонується кілька видів блоків живлення різної потужності для встановлення на din-рейку.



Рисунок 2.15 – Загальний вигляд промислового блока живлення на 24 В

Прості завдання управління освітленням можуть бути реалізовані за допомогою апаратних функцій модулів, але для складніших сценаріїв знадобиться програмовано-логічний контролер (ПЛК). Він дозволить автоматизувати управління освітленням та інтегруватися у SCADA системи та панелі управління. Універсального контролера Wiren Board під керуванням вільної ОС Debian Linux вистачить для вирішення більшості типових задач автоматизації [19, 20]. У контролер вже встановлено необхідне програмне забезпечення. Якщо його недостатньо, не важко встановити ПЗ сторонніх виробників і інтегрувати контролер у системи верхнього рівня, хмарні технології.

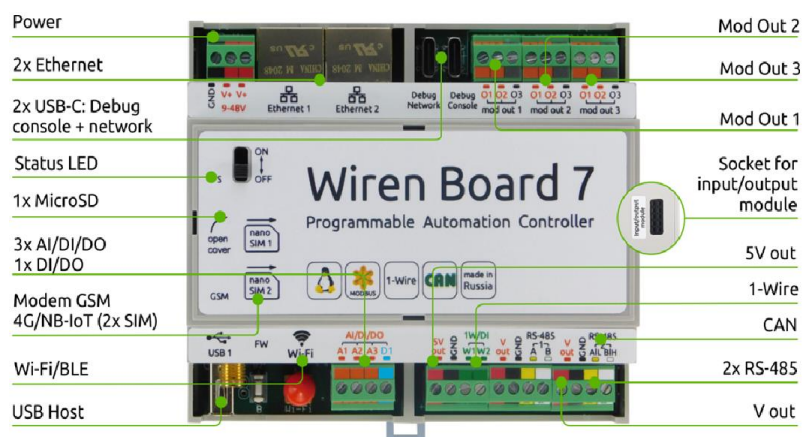


Рисунок 2.16 – Загальний вигляд програмовано-логічного контролера автоматизованої системи керування освітленням

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Приклад системи керування освітленням промислових приміщень реалізований на основі ПЛК Wiren Board 7 і представлений на рисунку 2.17 схема та інтерфейс управління. На рисунку 2.17 представлено приклад підключення пристроїв для керування освітленням. Для реалізації автоматизованої системи використано наступне основне обладнання [21]:

- контролер Wiren Board 7 - управління системою освітлення;
- модуль реле WB-MR6C v.2 - управління світильниками;
- димер WB-MDM3 - управління яскравістю освітлення;
- димер світлодіодної стрічки WB-LED - управління кольором і яскравістю декоративного підсвічування;
- універсальний сенсор WB-MSW v.3 - контроль за рухом та освітленістю;
- блок живлення на 24 В LI60-20B24PR2 - живлення контролера та модулів.

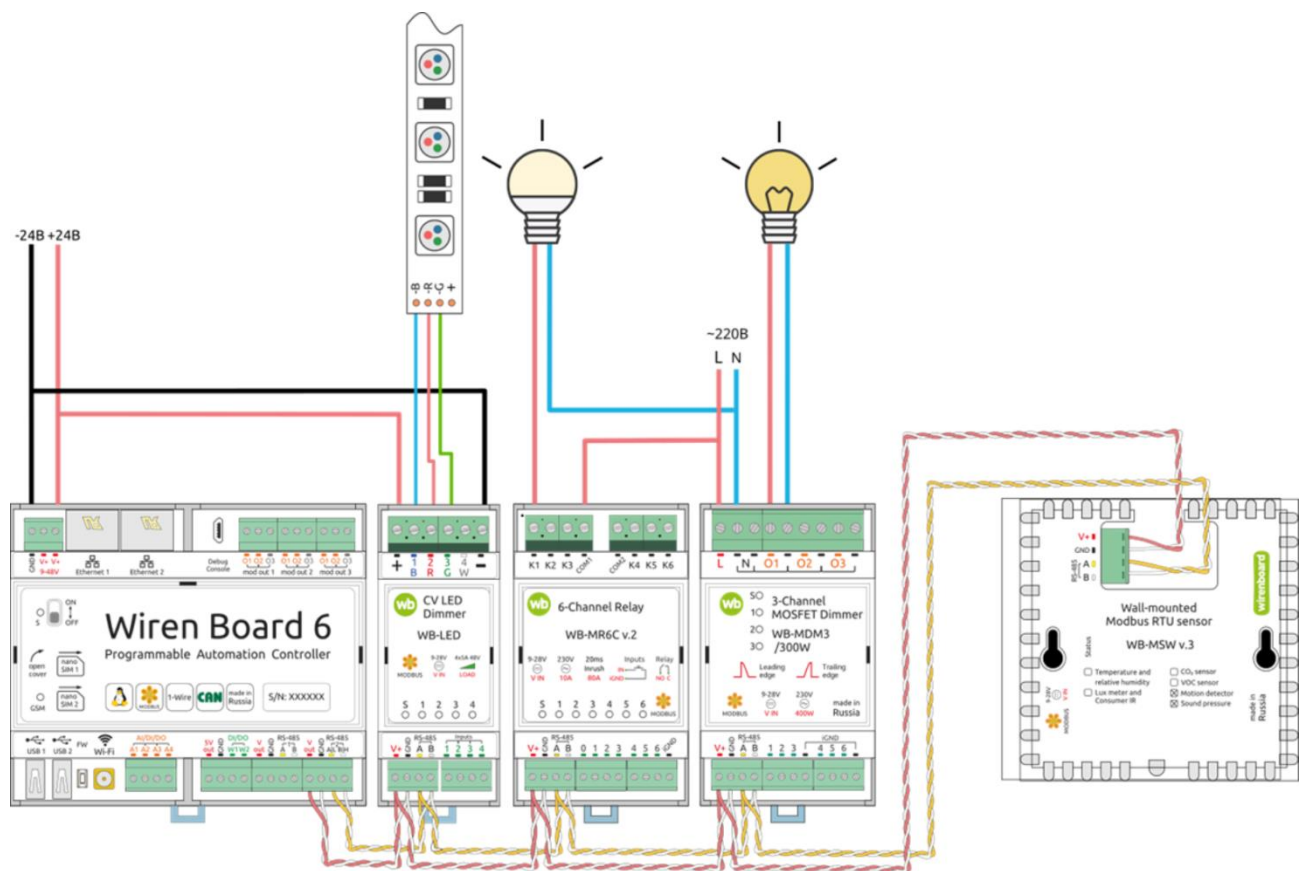


Рисунок 2.17 – Загальний вигляд системи керування освітленням промислових приміщень реалізований на основі ПЛК Wiren Board 7

Щоб не ускладнювати схему, показано по одному модулю кожного виду, аналогічно підключаються до 247 модулів. Живляться модулі від окремого блоку живлення 24 В. Якщо струм споживання не перевищує 1 А можна заивити від виходу Vout контролера. Для живлення світлодіодної стрічки рекомендується використовувати окремий блок живлення (на схемі не показано). Управління модулями відбувається за допомогою інтерфейсу RS-485 або вимикачами. Настінні вимикачі підключаються до дискретних входів модулів керування, логіка їхньої роботи налаштовується через веб-інтерфейс контролера.

Керувати освітленням можна з веб-інтерфейсу контролера або організувати взаємодію з ПЗ верхнього рівня, наприклад, Node-RED, Home Assistant, IntraHouse, Apple Home, iRidium Server, Дім з Алісою та інше (рисунок 2.18).

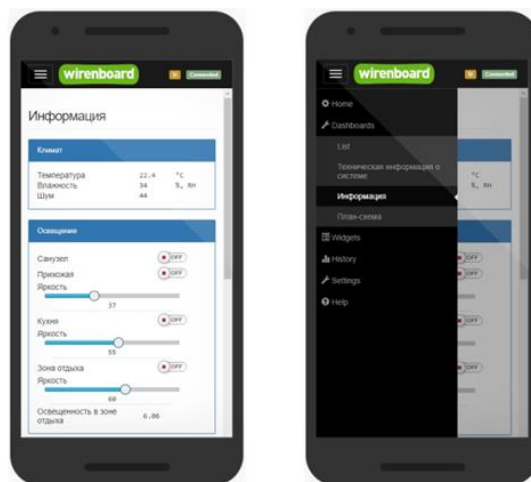


Рисунок 2.18 – Реалізація способу керування автоматизованою системою освітлення за допомогою додатків у смартфоні

Щит керування автоматизованою системою освітлення включає в себе ряд пристроїв, що поділяються на два типи:

- пристрої, що монтуються в щиті управління;
- пристрої, що встановлюються за місцем.

У щиті керування монтуються контролер, модуль реле, димери, блоки живлення, автоматичні вимикачі і тому подібне. За місцем встановлюються

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

самі освітлювальні прилади, вимикачі та сенсори. Якщо світлодіодні стрічки знаходяться далеко від щита (більше 10 метрів), то димери та блоки живлення стрічок рекомендується встановлювати за місцем, щоб зменшити перетин силових проводів. Приклади розрахунку перерізу дроту можна знайти у відкритих джерелах інформації.

Прилади встановлюють та підключають відповідно до інструкцій виробників. Для монтажу кабельних ліній можуть використовуватися стандартні кабелі для електромонтажу. Перетин жил провідників вибирається виходячи з величини струму, що протікає по них відповідно до вимог ПУЕ. Для прокладання ліній зв'язку RS-485 використовується кабель типу UTP (вита пара). За наявності джерел перешкод рекомендується використовувати екранований кабель, наприклад ParLan Patch U/UTP Cat5e PVC. Для світильників, що працюють із протоколом DALI, доцільно використовувати 5-жильні кабелі [22-25].

Підключення модулів до контролера Wiren Board та їх конфігурація у веб-інтерфейсі контролера розглядалося у першому розділі кваліфікаційної роботи. На рисунку 2.19 представлено приклад щита керування автоматизованою системою освітленням на основі обладнання Wiren Board.

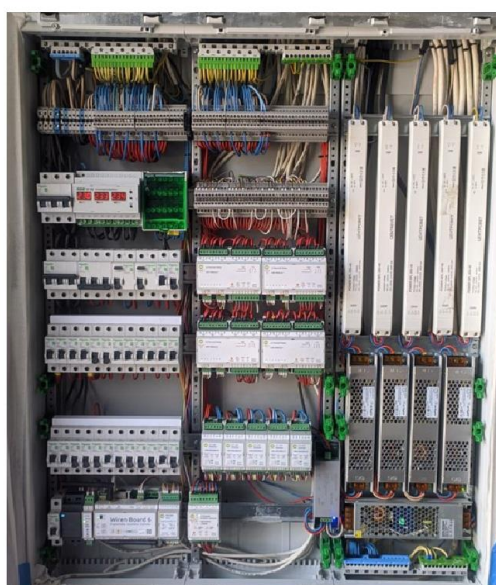


Рисунок 2.19 – Загальний вигляд щита керування автоматизованої системи освітлення промислових цехів

					ДП.АКТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Розміщення апаратно-технічних засобів автоматизацію у щиті керування на рисунку 2.19 відбувається наступним чином: зліва – автомати, контролер та блок живлення системи автоматизації; по центру – модулі реле та димери світлодіодних стрічок; праворуч – димери для трекових світильників та блоки живлення для світлодіодних стрічок. Загалом автоматизована система керування освітленням у промислових цехах є складним рішенням реалізованим за допомогою програмно технічних засобів автоматизації виробничих процесів.

					ДП.АКТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

3.1 Розробка функціональної схеми комплексу технічних засобів

У третьому розділі кваліфікаційної роботи розглядається метод параметричного синтезу цифрових регуляторів із заданим ступенем коливання за допомогою лінії Д-розбиття на основі розширеної амплітудно-фазової характеристики (АФХ) автоматизованої системи керування освітленням виробничих цехів (розімкнутої цифрової системи) [26].

Цей метод дозволяє синтезувати цифровий регулятор так, щоб заздалегідь забезпечити задану якість перехідного процесу, а саме – контроль ступеня коливання у замкненій системі керування.

Метод D-розбиття передбачає:

- побудову області допустимих параметрів регулятора (наприклад, коефіцієнтів ПД-регулятора) у просторі параметрів;
- формування даних областей за допомогою амплітудно-фазової характеристики системи;
- формування границь таких областей (лінія D), що відповідають заданим полюсам замкненої системи, які визначають коливальність.

У цифрових системах замість традиційної частотної характеристики використовують розширену амплітудно-фазову характеристику, яка враховує дискретну природу сигналу (використовується z -перетворення або w -площина).

Основна суть даного методу полягає у формуванні мети тобто забезпечити замкнену систему з певною коливальністю або коефіцієнтом затухання. Визначається бажане розташування полюсів у z -площині, які відповідають цьому значенню. За допомогою розширеної АФХ будуються граничні криві (лінії D) у просторі параметрів регулятора. Обирається така комбінація параметрів цифрового регулятора, яка лежить всередині

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

стабільної області з потрібною якістю. Перевіряється робота замкненої системи через симуляцію чи аналіз.

Наведено приклад розрахунку оптимальних параметрів налаштування ПІ-регуляторів одноконтурних цифрових автоматичних систем управління з об'єктами управління першого і другого порядків. Порівнюються перехідні процеси отриманих систем з перехідними процесами відповідних аналогових автоматичних систем управління.

Зростання вимог до якості роботи автоматичних систем регулювання (АСР), збільшення обсягу інформації, що переробляється, ускладнення об'єктів управління призвели до того, що засобами аналогової техніки та безперервної автоматики не можна вирішити багато практичні завдання. В результаті в сучасних автоматизованих системах управління (АСУ) стали широко використовувати цифрові системи, до складу яких входять цифрові обчислювальні машини (ЦВМ) або спеціалізовані цифрові пристрої. Швидке впровадження в техніку цифрових систем пояснюється тим, що порівняно з аналоговими вони мають значно більші обчислювальні можливості. У цифрових системах, виконаних з урахуванням мікроелектроніки, при невеликих масах і габаритах можна використовувати складніші алгоритми обробки сигналів. При цьому точність реалізації алгоритмів може бути дуже високою. Важливою перевагою цифрових систем є висока стабільність їхньої роботи. Крім того, у цифрових системах просто здійснюється перебудова їх структури та регулювання параметрів.

Одне з основних завдань параметричного синтезу цифрових АСУ – визначення оптимальних параметрів налаштування цифрового регулятора. Існує багато способів розрахунку параметрів налаштування цифрового регулятора. У даному розділі розглядається метод розрахунку параметрів цифрового регулятора із заданим ступенем коливання на основі Д-розбиття.

Вирішуються наступні завдання [27]:

– виведення формул для побудови лінії Д-розбиття на основі розширеної АФХ розімкнутої цифрової системи;

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- побудова лінії Д-розбиття на основі розширеної АФХ розімкнутої цифрової системи для об'єктів управління 1-го та 2-го порядку;
- пошук оптимальних параметрів налаштування цифрового регулятора на лінії Д-розбиття для об'єктів управління 1-го та 2-го порядку;
- порівняння перехідних процесів, отриманих в одноконтурній аналоговій та цифровій АСУ при використанні розширених АФХ.

Для вирішення даної задачі береться до уваги одноконтурна цифрова АСУ, що складається з об'єкту управління з передавальною функцією $W_o(z)$ та ПІ-регулятора з передавальною функцією $R(z, q_0, q_1)$.

Виконавши z-перетворення передавальної функції об'єкта управління в результаті отримаємо передавальну функцію розімкнутої системи:

$$W_{p.c.}(z) = W_o(z)R(z, q_0, q_1) \quad (1)$$

Виконавши білінійне перетворення отримаємо:

$$z = \frac{1+w}{1-w}, \quad (2)$$

$$w = j\nu, \quad (3)$$

де ν - псевдо частота,

$$\nu = \operatorname{tg} \frac{\omega T}{2}, \quad (4)$$

де ω – кругова частота, T – крок квантування за часом.

АФХ розімкнутої цифрової системи матиме наступний вигляд:

$$W_{\delta n}(z) = \operatorname{Re}(\nu) + j \operatorname{Im}(\nu) \quad (5)$$

Для забезпечення заданого ступеня коливання має виконуватися наступна умова

$$\begin{cases} \operatorname{Re}(q_0, q_1, m, \nu) = -1 \\ \operatorname{Im}(q_0, q_1, m, \nu) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

при:

$$w = -m\nu + j\nu, \quad (7)$$

де m – необхідний ступінь коливання.

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У площині коренів q_0, q_1 системи рівнянь (6) за зміни псевдочастоти ν будується лінія Д-розбиття.

3.2 Розрахунок ПІ-регуляторів автоматизованої системи

Параметричний синтез цифрової одноконтурної АСУ з об'єктом управління першого порядку відбувається за рахунок отримання одноконтурної АСУ з функцією передачі об'єкта керування

$$W_o(s) = 10 \frac{1}{1+100s} e^{-5s}$$

Наступним кроком є розрахунок оптимальних параметрів налаштування аналогового ПІ-регулятора для заданої величини ступеня коливання $m=0,221$ [28]:

$$R(s) = \frac{0,13419 + 1,62167s}{s}$$

На рисунку 3.1 зображено перехідний процес АСР, що розглядається.

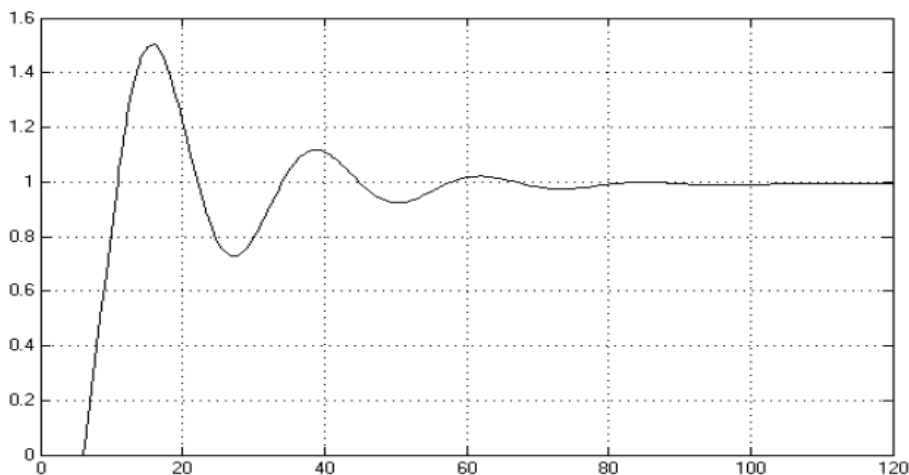


Рисунок 3.1 - Перехідний процес аналогової одноконтурної АСР

Наступним етапом є побудова лінії Д-розбиття (рисунок 3.2) у площині налаштовуваних параметрів цифрового ПІ-регулятора в діапазоні частот $0 < \omega < 0,4$. На лінії Д-розбиття знайдено оптимальні параметри

налаштування цифрового ПІ-регулятора за допомогою одновимірного пошуку мінімуму квадратичної інтегральної оцінки.

В результаті отримані наступні параметри налаштування $q_0 = 2,28772$, $q_1 = -2,2601$ [29, 30].

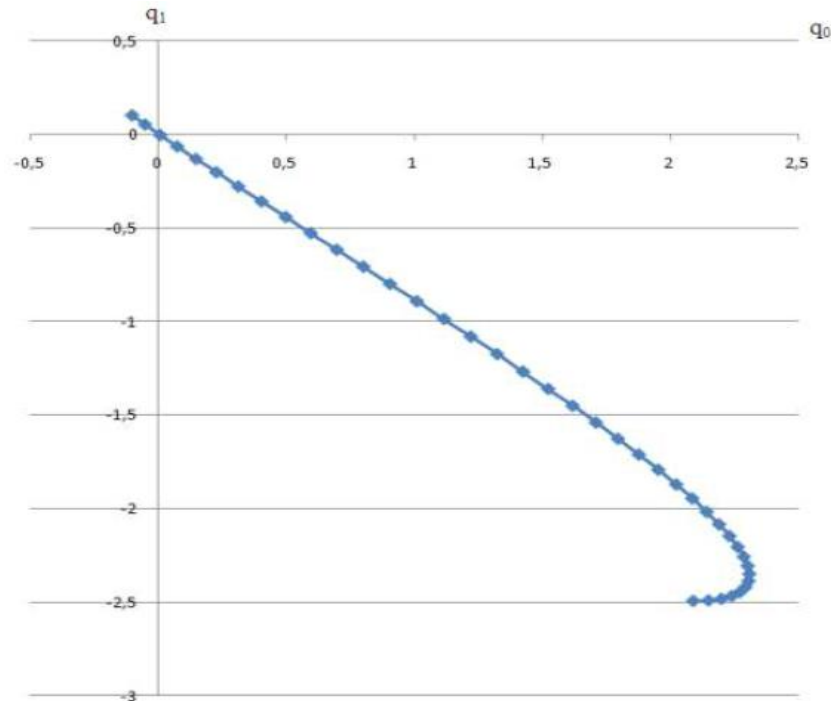


Рисунок 3.2 - Лінія Д-розбиття для цифрового ПІ-регулятора

Графік перехідного процесу для цифрової одноконтурної АСР наведено на рисунку 3.3.

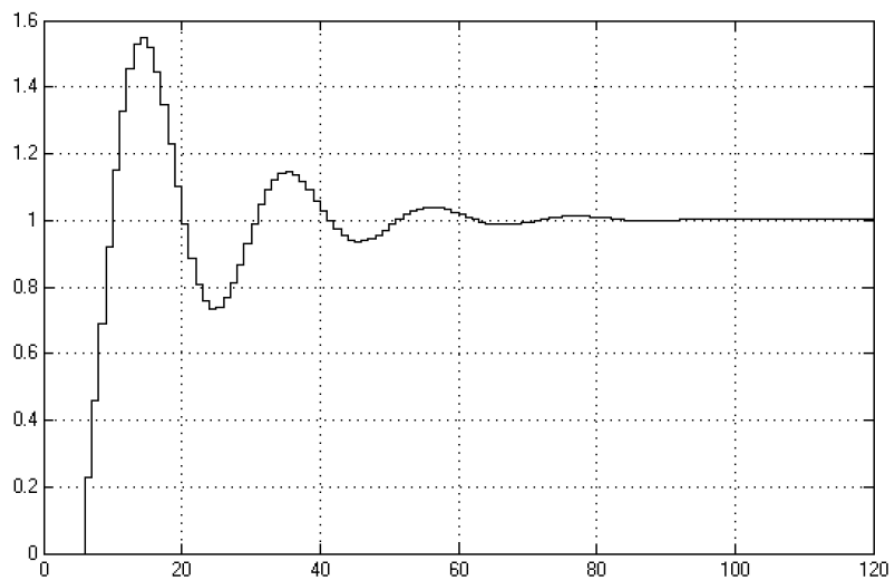


Рисунок 3.3 - Перехідний процес цифрової одноконтурної АСР

З рисунків 1 і 4 видно, що цифровий ПІ-регулятор, отриманий з допомогою лінії Д-розбиття забезпечує задану ступінь коливання перехідного процесу. Перехідні процеси для аналогової та цифрової АСУ близькі за максимальною амплітудою та часом згасання [31-33]. Параметричний синтез цифрової одноконтурної АСУ з об'єктом управління другого порядку відбувається наступним чином. Обираємо одноконтурну АСУ з функцією передавання об'єкта управління

$$W_o(s) = 1000 \frac{1}{1 + 50s + 500s^2} e^{-s}.$$

Розрахунок оптимальних параметрів налаштування аналогового ПІ-регулятора для заданої величини ступеня коливання $m=0,221$ є наступним:

$$R(s) = \frac{0,13419 + 1,62167s}{s}.$$

На рисунку 3.4 представлений перехідний процес розглянутої АСР.

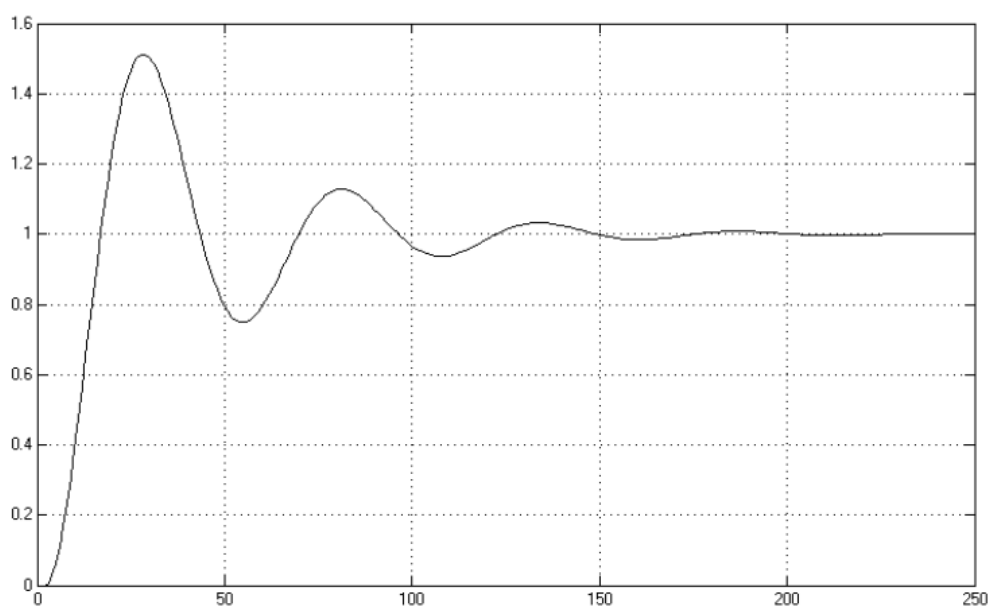


Рисунок 3.4 - Перехідний процес аналогової одноконтурної АСР

Побудована лінія Д-розбиття (рисунок 3.5) в площині параметрів налаштування цифрового ПІ-регулятора в діапазоні частот $0 < \omega < 0,4$. На лінії Д-розбиття знайдено оптимальні параметри налаштування цифрового ПІ-регулятора за допомогою одновимірного пошуку мінімуму квадратичної помилки.

В результаті отримані наступні параметри налаштування $q_0=0,00902$, $q_1=-0,0088$.

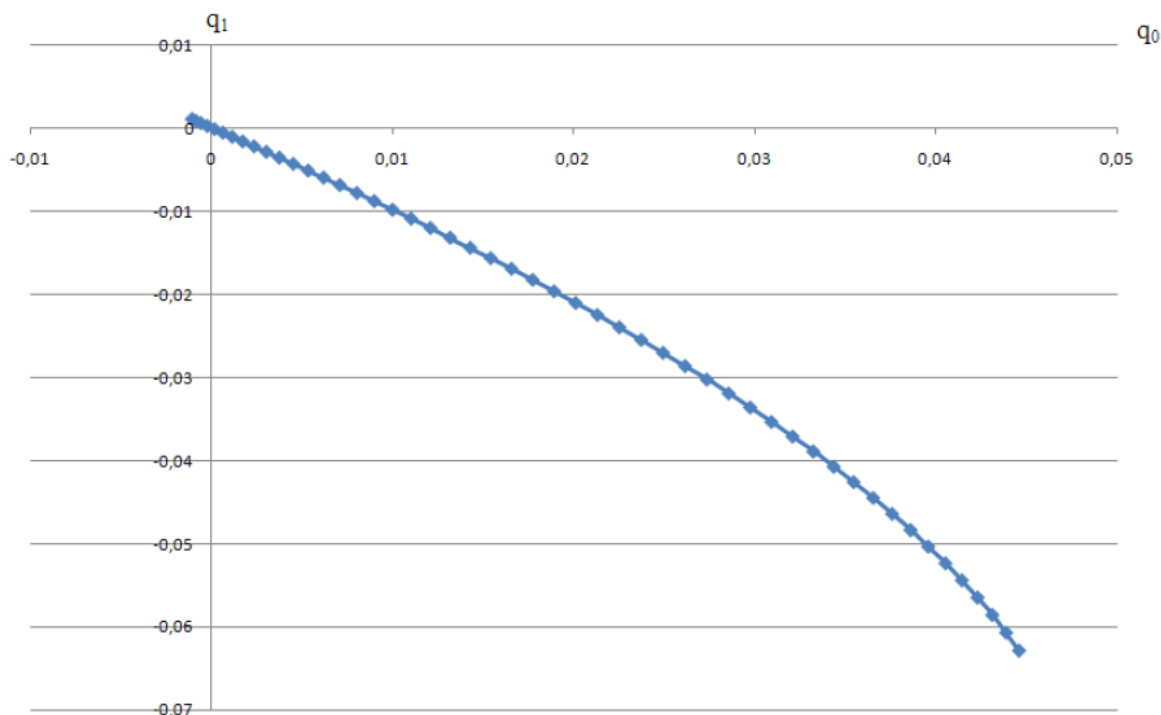


Рисунок 3.5 - Лінія Д-розбиття для цифрового ПІ-регулятора

Графік перехідного процесу для цифрової одноконтурної АСР наведено на рисунку 3.6.

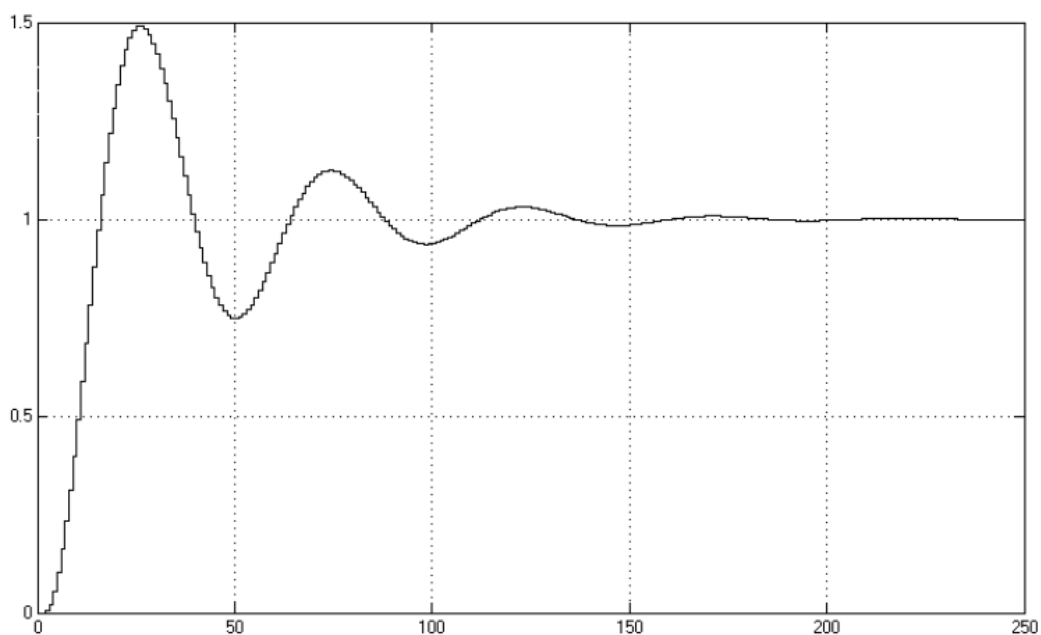


Рисунок 3.6 - Перехідний процес цифрової одноконтурної АСР

У порівнянні рисунка 3.4 і рисунка 3.6 видно, що цифровий ПП-регулятор забезпечує перехідний процес, близький за якістю до аналогового перехідного процесу АСУ.

У даному розділі отримані формули для розрахунку оптимальних параметрів налаштування цифрових регуляторів за допомогою лінії Д-розбиття на основі розширеної АФХ розімкнутої системи. Наведено приклади параметричного синтезу цифрових ПП-регуляторів для цифрових АСУ, що містять об'єкти управління першого та другого порядку. При порівнянні перехідних процесів цифрових АСУ з перехідними процесами відповідних аналогових АСУ було виявлено, що цифрові регулятори, розраховані за допомогою ліній Д-розбиття, що забезпечують якість перехідних процесів, близьких до якості перехідних процесів відповідних аналогових АСУ.

Перевагами методу параметричного синтезу цифрових регуляторів із заданим ступенем коливання за допомогою лінії Д-розбиття на основі розширеної амплітудно-фазової характеристики, є можливість попередньо задати якість системи без перебору параметрів. Можливість візуально бачити, які комбінації параметрів забезпечують стійкість та потрібний ступінь коливання. Даний метод дуже добре підходить для автоматизованого синтезу регуляторів.

					ДП.АКТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

ВИСНОВКИ

У запропонованій кваліфікаційній роботі розроблена автоматизована система керування освітленням виробничих приміщень підприємства. Один із основних етапів автоматизації зосереджений на процесах виконання поставлених задач, функціонування автоматизованих програмно-технічних засобів за допомогою, промислового мікроконтролерного обладнання – мережевих контролерів, модулів розширення для сенсорів та виконавчих механізмів. Використані технічні засоби автоматизації дозволяють контролювати усі периметри системи та освітлювальних засобів, а також налаштовувати освітленість та силу світла (світловий спектр) над певними робочими зонами з підвищеною відповідальністю. Це дає змогу оптимально контролювати загальний рівень освітленості, інтенсивність освітлення у всіх виробничих цехах промислового об'єкта.

Представлений аналіз технологічного процесу запропонованої автоматизованої системи керування освітленням виробничих приміщень підприємства, як об'єкта керування і встановлення недоліків актуальних інформаційних алгоритмів та технічних засобів, які застосовуються при опрацюванні ряду параметрів сенсорів на промисловому об'єкті. Актуалізовано контрольовані параметри технологічного процесу.

Для ефективного забезпечення нормального функціонування технологічного процесу відповідно до встановленим нормам, проведений вибір програмно-технічних засобів автоматизації, які мають відповідати основним вимогам, до ефективної і якісної роботи запропонованого САУ. На етапі вибору обґрунтовано використання технічних засобів, спеціально для запропонованого об'єкта керування, з врахуванням контрольованих параметрів (зонального освітлення), та засобів контролю (сенсорів та виконавчих механізмів), тощо. Запропоновані програмований логічний контролер, мережеві контролери і обладнання керування напругою та виконавчими механізмами.

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Розроблена структурна схема комплексу апаратно-технічних засобів, а саме САУ регулювання технологічних параметрів, функціонування якої базується на тому, щоб контролювати основні параметри автоматизованої системи, що в свою чергу відкриває можливості для централізованого моніторингу, дистанційного керування та адаптивного налаштування режимів роботи освітлення. Зосереджена значна увага сенсорам рівня освітленості, виявлення присутності, що дозволяє ефективно забезпечити оптимальний рівень освітлення, сприяє підвищенню продуктивності праці, зменшенню втомлюваності працівників та покращенню безпеки виробничих процесів.

Представлений розрахунок параметрів ПІ регуляторів автоматизованої системи керування освітленням виробничих цехів підприємства, які контролюють роботу сенсорів та виконавчих механізмів, що забезпечує ефективну роботу САУ. У третьому розділі кваліфікаційної роботи представлено процес розрахунку параметрів методом параметричного синтезу цифрових регуляторів із заданим ступенем коливання за допомогою лінії Д-розбиття на основі розширеної АФХ. Представлено порівняльне дослідження працездатності системи з ПІ-регулятором при застосуванні не стаціонарних параметрів об'єкта керування і вплив зовнішніх збурень шляхом моделювання у програмному середовищі MATLAB.

Досліджено стійкість запропонованої системи та якості регулювання на різних етапах побудови кривої перехідних процесів. Проведено вибір та обґрунтування параметрів перехідного процесу, розрахована передавальна функція досліджуваної системи при різних контрольних параметрах..

У роботі також розглянуто метод параметричного синтезу цифрових регуляторів із заданим ступенем коливання, він дозволяє синтезувати цифровий регулятор так, щоб заздалегідь забезпечити задану якість перехідного процесу, а саме – контроль ступеня коливання у замкненій системі керування. Метод D-розбиття дозволяє будувати області допустимих параметрів регулятора (наприклад, коефіцієнтів ПІД-регулятора) у просторі

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

параметрів, а також формування даних областей за допомогою АФХ системи. У результаті проведеного порівняльного аналізу показано, що отримані формули для розрахунку оптимальних параметрів налаштування цифрових регуляторів за допомогою лінії Д-розбиття на основі розширеної АФХ розімкнутої системи. Наведено приклади параметричного синтезу цифрових ПІ-регуляторів для цифрових АСУ, що містять об'єкти управління першого та другого порядку. При порівнянні перехідних процесів цифрових АСУ з перехідними процесами відповідних аналогових АСУ було виявлено, що цифрові регулятори, розраховані за допомогою ліній Д-розбиття, що забезпечують якість перехідних процесів, близьких до якості перехідних процесів відповідних аналогових АСУ.

Запропонована у кваліфікаційні роботі САУ забезпечує надійну, безперебійну і якісну роботу в періоди контролю основних параметрів на контрольованих периметрах зон освітлення, а також дає можливість мінімізувати людський фактор, це значною мірою підвищує ефективність та надійність роботи системи.

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Rossi M. Circadian Lighting Design in the LED Era. Cham : Springer International Publishing, 2019. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-11087-1>.
2. Caicedo, D., Li, S. , & Pandharipande, A. (2017). Smart lighting control with workspace and ceiling sensors. Lighting Research and Technology, 49(4), 446–460. <https://doi.org/10.1177/1477153516629531>.
3. Neida, B. V., Manicria, D., & Tweed, A. (2001). An analysis of the energy and cost savings potential of occupancy sensors for commercial lighting systems. Journal of the Illuminating Engineering Society, 30(2), 111–125.
4. ДСТУ EN IEC 63128:2022 Інтерфейс управління освітленням для регулювання яскравості. Аналоговий інтерфейс регулювання напруги для електронних пристроїв керування джерелом струму
5. ДСТУ EN IEC 62386-105:2022 Цифровий адресний інтерфейс освітлення. Частина 105. Особливі вимоги до апаратури керування. Передавання мікропрограмного забезпечення (EN IEC 62386-105:2020, IDT; IEC 62386-105:2020, IDT)
6. Kun-Che Ho, Shun-Chung Wang and Yi-Hua Liu. Dimming Techniques focusing on the improvement in luminous efficiency for High-brightness LED's// Electronics 2021. №10, P.2161.
7. Горшков В.В. Енергоефективний електротехнічний комплекс з елементами інтелектуального керування процесом освітлення вулиць населених пунктів: монографія. (під редакцією проф. О.М. Сінчука). - 2023. - 94 с.
8. Philips Hue. (2012). The definition of smart lighting. Available at: <https://www.google.com/search?q=philips+hue&ie=utf8&oe=utf-8&client=firefox-b> (Retrieved: October 25, 2018).
9. Davila J. The Impact of Artificial Intelligence (AI) in LED Lighting /J .Davila// ISSUU from designing lighting. April 2021.
10. Візір Ю. С. Штучний інтелект у системах управління освітленістю / Ю. С. Візір // Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Electronic Devices» ADED-2023) : збірник студентських наукових статей. – Харків : ХНУРЕ, 2024. Вип. 1. С. 7-12.

11. Іоффе К. І. Конспект лекцій з дисципліни «Системи керування світлотехнічними пристроями» (для магістрів денної і заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (спеціалізація «Світлотехніка і джерела світла»)) / К. І. Іоффе, О. Л. Черкашина; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 57 с

12. Повышение показателей качества корреляционных систем / Г. Ф. Зайцев, В. Л. Булгач, Н. В. Градобоева, А. В. Сайко // Матеріали VIII наук. конф. «Сучасні тенденції розвитку технологій в комунікаціях та освіті» (Київ, 24-25 листопада 2011 р.). – Киев. : ДУІКТ, 2011. – С. 226 – 231.

13. Говоров П. П. Освітлювальні електричні системи та мережі / П. П. Говоров, В. О. Перепечений, В. П. Говоров // ХНАМГ. – Харків : 2009. – 227с.

14. Рудницький В.Г. Внутрішньозаводське електропостачання. Курсове проектування. Суми : ВТД «Університетська книга», 2006. 153 с.

15. Бурбело М.Й., Бірюков О.О., Мельничук Л.М. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків. Вінниця : Вінницький національний технічний університет, 2011. 204 с.

16. Шестеренко Є.В. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця : Нова книга, 2004. 655 с.

17. Бурбело М.Й. Розрахунок внутрішнього електропостачання. Вінниця : Вінницький національний технічний університет, 2017. 123 с.

18. Букович Н. В. Розрахунок струмів короткого замикання електроенергетичних систем. Львів : Вища шк., 2008. 248 с.

19. Півняк Г.Г., Винославський В.М., Рибалко А.Я., Несен Л.І. Перехідні процеси в системах електропостачання. Дніпропетровськ: Видавництво НГА України, 2000. 597 с.

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

20. Нестерович В.В. Електромагнітні перехідні процеси. Маріуполь: ПДТУ, 2007 с.
21. Клименко Б.В. Электричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту : навч. посіб. / Б.В. Клименко. – Харків : Вид-во «Точка», 2012. – 340 с.
22. Мілих В.І. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : підручник / В.І. Мілих, О.О. Шавьолкін. – Київ: Каравела, 2007. – 688 с.
23. А.А. Малиновський Основи електропостачання: навч. посібник/ Малиновський А.А., Хохулін Б.К. – Львів: Львівська політехніка, 2005. – 324с.
24. Разумний Ю.Т., Заїка В.Т., Степаненко Ю.В. Енергозбереження: Навч. посібник. –Д.: Національний гірничий університет, 2005.
25. Букович Н.В. Автоматика електроенергетичних систем. Київ, 1998. – 280 с.
26. Голота А.Д. Автоматика в електроенергетичних системах: Навч. посіб. – К.: Вища шк., 2006. – 367 с.
26. Клепач М.І. Теорія автоматичного керування. Навчальний посібник. / М.І. Клепач / Рівне: НУВГП, 2007. – 206 с.
27. Луцька Н.М. Дослідження та синтез оптимальних регуляторів для систем автоматизації технологічних комплексів неперервного типу [Текст]: дис. канд. техн. наук : 05.13.07 / Н.М. Луцька – Київ, 2006. – 180С.
28. Теорія автоматичного керування: Підручник. — 2-ге вид., перероб. і догі. К.: Либідь, 2007. — 656 с.
29. Сердюк, О. О. Проектування систем автоматизації Simatic : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / О. О. Сердюк, О. В. Разживін. – Краматорськ : ДДМА, 2012. – 208 с.
30. Власов К. П. Теория автоматического управления / К. П. Власов – Харьков : Изд-во Гуманитарный центр, 2007. – 526 с.
31. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування: підручник / М. Г. Попович, О. В. Ковальчук – [2-ге вид., перероб. і доп.]. – Київ. : Либідь, 2007. – 656 с.

					ДП.АКІТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

32. Папушин Ю. Л. Основи автоматизації гірничого виробництва / Ю. Л. Папушин, В. С. Білецький – Донецьк : Східний видавничий дім, 2007. – 168 с.
33. Іванов А. О. Теорія автоматичного керування : підручник / – Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2003. – 250 с.

					ДП.АКТ.10660429.00.00.0000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		