

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

**СОЛТИС Денис Володимирович**

Автоматизована система керування аварійним освітленням готельного комплексу / Automated emergency lighting control system of the hotel complex

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

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКІТ-41

Д.В. Солтис

---

Науковий керівник

к.т.н., доцент І.Б. Албанський

Кваліфікаційну роботу допущено

до захисту:

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026р.

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ А.І. Сегін

Тернопіль 2026

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  
Солтису Денису Володимировичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

**1. Тема кваліфікаційної роботи:** Автоматизована система керування аварійним освітленням готельного комплексу / Automated emergency lighting control system of the hotel complex

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

затверджені наказом по університету від «1» грудня 2025 р. № 894.

**2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи:** 25.05.2026р.

**3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:**

1. Особливості побудови автоматизованих систем керування аварійним освітленням готельного комплексу.

2. Способи керування спеціалізованим обладнанням та освітлювальними засобами.

3. Технічні засоби автоматизації об'єкта управління.

4. Реалізація методу налаштування ПД-регулятора автоматизованої системи аварійного освітлення.

**4. Основні питання, які потрібно розробити:**

1. Аналіз складової та технічних засобів автоматизованої системи керування аварійним освітленням готельного комплексу.

2. Реалізація структури автоматизованої системи керування аварійним освітленням та обґрунтування вибору технічних засобів реалізації запропонованої системи.

3. Розробка функціональної схеми комплексу технічних засобів автоматизації.

**5. Перелік графічного матеріалу у роботі:**

1. Структурна та функціональна схеми автоматизованої системи керування аварійним освітленням готельного комплексу.

2. Графічні залежності оптимальних перехідних процесів налаштування ПД-регуляторів.

## 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 1 грудня 2025 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи       | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|-----------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | Аналіз технологічного процесу як об'єкта керування  | 12.2025р. – 01.2026р.         |          |
| 2     | Специфікація вибору технічних засобів автоматизації | 02.2026р. – 03.2026р.         |          |
| 3     | Розрахунок системи автоматичного регулювання        | 04.2026р. – 05.2026р.         |          |
|       |                                                     |                               |          |
|       |                                                     |                               |          |
|       |                                                     |                               |          |
|       |                                                     |                               |          |
|       |                                                     |                               |          |
|       |                                                     |                               |          |
|       |                                                     |                               |          |
|       |                                                     |                               |          |
|       |                                                     |                               |          |

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Солтис Д.В.

Керівник роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис)

к.т.н., доцент Албанський І.Б.

## АНОТАЦІЯ

Солтис Д.В. Автоматизована система керування аварійним освітленням готельного комплексу. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна (наукова) програма - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2026.

У роботі досліджено системи керування аварійним освітленням готельного комплексу, тобто системи основне завдання яких підтримувати рівень освітлення при аварійних або надзвичайних ситуаціях враховуючи відсутність живлення з основних джерел, 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. Реалізовано метод налаштування ПД-регулятора автоматизованої системи аварійного освітлення.

## ABSTRACT

Soltus D.V. Automated emergency lighting control system of the hotel complex. - Manuscript.

Research for the degree of Bachelor in specialty 151 "Automation and Computer-Integrated Technologies", educational and professional (scientific) program - Automation and Computer-Integrated Technologies. - Western Ukrainian National University, Ternopil, 2026.

The work investigates emergency lighting control systems of a hotel complex, i.e. systems whose main task is to maintain the lighting level in emergency or emergency situations, taking into account the lack of power from the main sources, identifies the functional, structural and architectural features of the systems that provide the lighting level and control the main technical control means, analyzes the technical base and justifies the choice of automation means, implementation of the proposed system. A method for tuning the PID controller of an automated emergency lighting system has been implemented.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП                                                                                                                                  | 5  |
| 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ                                                                                  | 8  |
| 1.1 Загальна характеристика автоматизованих систем аварійного освітлення                                                               | 8  |
| 1.2 Огляд та аналіз світлотехнічного та світловказівного обладнання та технічних засобів автоматизованої системи аварійного освітлення | 13 |
| 1.3 Опис контура регулювання, умови та особливості проектування систем аварійного освітлення                                           | 19 |
| 2. СПЕЦИФІКАЦІЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ                                                                                 | 27 |
| 2.1 Розробка структурної схеми автоматизованої системи аварійного освітлення готельного комплексу                                      | 27 |
| 2.2 Розробка функціональної схеми запропонованої системи та представлення основних вузлів управління                                   | 32 |
| 2.3 Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації                                                                               | 39 |
| 3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ                                                                                        | 49 |
| 3.1 Реалізація методу налаштування ПД-регулятора автоматизованої системи аварійного освітлення за допомогою Deadbeat-регулятора        | 49 |
| 3.2 Моделювання перемикань режимів живлення автоматизованої системи та налаштування ПД-регулятора.                                     | 55 |
| ВИСНОВКИ                                                                                                                               | 64 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ                                                                                                             | 67 |

|           |      |                 |        |      |                                                                                                                                                |                   |      |         |
|-----------|------|-----------------|--------|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------|---------|
|           |      |                 |        |      | <b>ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ</b>                                                                                                          |                   |      |         |
| Змн.      | Лист | № докум.        | Підпис | Дата |                                                                                                                                                |                   |      |         |
| Розроб.   |      | Солтис Д.В.     |        |      | Автоматизована система керування аварійним освітленням готельного комплексу / Automated emergency lighting control system of the hotel complex | Літ.              | Арк. | Акрушів |
| Перевір.  |      | Албанський І.Б. |        |      |                                                                                                                                                |                   | 4    | 69      |
| Консульт. |      | Албанський І.Б. |        |      |                                                                                                                                                | ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41 |      |         |
| Н. Контр. |      | Заставний О.М.  |        |      |                                                                                                                                                |                   |      |         |
| Затверд.  |      | Сегін А.І.      |        |      |                                                                                                                                                |                   |      |         |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** У сучасних умовах розвитку готельної інфраструктури особливого значення набувають питання забезпечення безпеки людей, енергоефективності будівель та безперервності функціонування інженерних систем. Однією з ключових складових систем безпеки будь-якого готельного комплексу є аварійне освітлення, яке забезпечує безпечну евакуацію людей, орієнтацію персоналу та підтримання мінімально необхідного рівня освітленості у випадку аварійних ситуацій, зокрема при зникненні основного електроживлення, пожежах, аваріях енергомережі або виникненні надзвичайних ситуацій.

Сучасні готельні комплекси характеризуються значною площею, складною внутрішньою структурою, великою кількістю приміщень різного функціонального призначення, високим рівнем енергоспоживання та постійним перебуванням значної кількості людей. У таких умовах традиційні системи аварійного освітлення, побудовані за застарілими принципами, вже не забезпечують необхідного рівня ефективності, надійності та оперативності керування. Саме тому все більшого поширення набувають автоматизовані системи керування аварійним освітленням, які дозволяють централізовано контролювати стан обладнання, здійснювати автоматичне перемикання режимів роботи, виконувати моніторинг технічного стану світильників та забезпечувати своєчасне реагування на аварійні ситуації.

Актуальність розробки автоматизованої системи керування аварійним освітленням готельного комплексу обумовлена також постійним посиленням вимог міжнародних та національних нормативів у сфері пожежної безпеки, електробезпеки та енергоефективності будівель. Використання сучасних цифрових технологій автоматизації, програмованих логічних контролерів, інтелектуальних сенсорів, адресних систем моніторингу та протоколів диспетчеризації дозволяє значно підвищити надійність функціонування

|      |      |          |        |      |                               |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                               | 5    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                               |      |

аварійного освітлення та мінімізувати ризики виникнення небезпечних ситуацій під час експлуатації готельного комплексу.

Важливою перевагою автоматизованих систем є можливість інтеграції аварійного освітлення до загальної структури «розумної будівлі» (Smart Building). Це дозволяє реалізувати централізоване керування всіма інженерними підсистемами будівлі, включаючи електропостачання, вентиляцію, пожежну сигналізацію, контроль доступу та диспетчеризацію. У результаті підвищується загальна ефективність управління готельним комплексом, зменшуються експлуатаційні витрати та покращується рівень комфорту і безпеки для відвідувачів та персоналу.

Таким чином, розробка автоматизованої системи керування аварійним освітленням готельного комплексу є актуальним технічним завданням, спрямованим на підвищення рівня безпеки, енергоефективності та надійності функціонування сучасних будівель. Використання сучасних засобів автоматизації, інтелектуальних систем моніторингу та цифрових методів керування дозволяє створити ефективну систему аварійного освітлення, яка відповідає сучасним вимогам безпеки та експлуатаційної надійності.

**Мета кваліфікаційної роботи.** Актуалізація розробки автоматизованої системи керування аварійним освітленням готельного комплексу. У кваліфікаційній роботі розроблено та представлено автоматизовану систему керування аварійним освітленням 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 аварійного освітлення з застосуванням інтегрованих технічних рішень «розумного будинку» та промислових програмованих контролерів, що є невід'ємними для автоматизованих систем різного ступеня складності.

Основним завданням кваліфікаційної роботи є:

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                | 6    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                |      |

- аналіз систем аварійного освітлення бізнес-центрів, готельних комплексів, торгово-розважальних комплексів та автоматизація освітлювальних засобів у енергоефективні системи як об'єкт керування;
- розробка структури автоматизованої системи керування аварійними освітлювальними засобами;
- специфікація вибору технічних засобів автоматизації;
- розрахунок системи автоматичного регулювання.

Автоматизовані системи керування аварійними освітлювальними засобами є актуальним рішенням сучасних бізнес-центрів та великих тогово-розважальних комплексів. Рішенням такої задачі є компоновка найновіших сучасних програмно-технічних засобів автоматизації з принципово новими ідеями та алгоритмами безпеки.

**Предметом дослідження** є процес автоматизованого керування аварійним освітленням готельного комплексу.

**Об'єктом дослідження** є автоматизована система керування аварійним освітленням готельного комплексу.

**Методи дослідження** – аналіз літературних джерел та електронних ресурсів, порівняння сучасних розробок в галузі аварійного 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., Мерва М., Рудковський О., Солтис Д. Взаємодія автоматизованих систем керування з інтелектуальними сенсорами технології IoT / Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2026), Тернопіль, 2026. С.97-102.

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                | 7    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                |      |

# 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

## 1.1 Загальна характеристика автоматизованих систем аварійного освітлення

Автоматизовані системи аварійного освітлення є невід'ємною складовою інженерної інфраструктури сучасних великих об'єктів — офісних центрів, корпорацій, готельних комплексів, торговельних та адміністративних будівель. Їх основне призначення полягає у забезпеченні безпечної евакуації людей, підтриманні мінімально необхідного рівня освітленості у разі аварійних ситуацій, а також у підвищенні загальної надійності функціонування об'єкта. В умовах зростаючих вимог до безпеки, енергоефективності та інтеграції інженерних систем такі рішення набувають особливої актуальності.

Аварійне освітлення — це система освітлення, яка автоматично вмикається у випадку відключення основного електроживлення або виникнення надзвичайних ситуацій (пожежа, задимлення, технічна аварія) (рисунк 1.1). Приклад організації аварійного освітлення і оповіщення на поверсі бізнес центру представлений на рисунку 1.2. Основними функціями системи є [1]:

- забезпечення евакуаційного освітлення шляхів виходу;
- освітлення зон підвищеної небезпеки;
- резервне освітлення для підтримання технологічних процесів;
- інформаційне освітлення (світлові покажчики, табло «Вихід» та інше).

На великих об'єктах такі системи реалізуються як автоматизовані комплекси з централізованим або децентралізованим керуванням, інтегровані в загальну систему управління будівлею.

За функціональним призначенням системи поділяються на:

- евакуаційне освітлення — забезпечує видимість шляхів евакуації;

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                | 8    |

- резервне освітлення — дозволяє продовжити роботу критичних процесів;
- освітлення зон підвищеного ризику — використовується у виробничих приміщеннях;
- антипанічне освітлення — забезпечує мінімальний рівень освітленості у великих відкритих просторах.



Рисунок 1.1 – Структура аварійного освітлення

За способом організації живлення системи аварійне освітлення поділяється:

- централізовані системи — використовують один або кілька центральних джерел резервного живлення (акумуляторні батареї, дизель-генератори);
- децентралізовані системи — кожен світильник має власне автономне джерело живлення;
- комбіновані системи — поєднують обидва підходи.

За способом керування системи аварійне освітлення є:

- локальні (автономні) — працюють незалежно без централізованого контролю;
- централізовані автоматизовані — керуються через контролери або сервери;

- інтелектуальні системи — інтегровані в «розумну будівлю» з використанням цифрових протоколів.

- \* чітке позначення шляхів евакуації у вигляді евакуаційних вказівників
- \* яскравість освітлення, достатнє для знаходження шляхів на вихід і безпечної евакуації з небезпечної зони
- \* наявність легкозаймистих засобів оповіщення і пожежогасіння на шляху евакуації

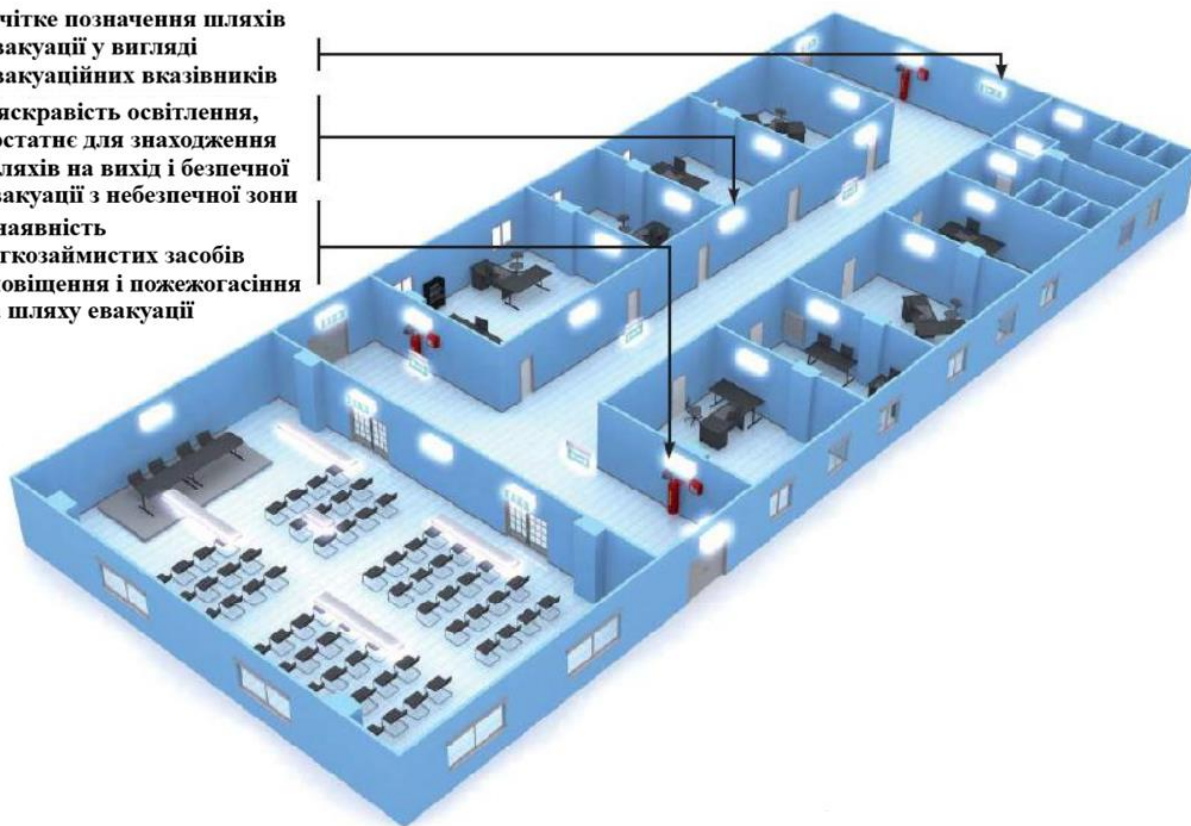


Рисунок 1.2 – Приклад організації аварійного освітлення і оповіщення на одному з поверсі бізнес центру

Структура автоматизованої системи аварійного освітлення є складною і розгалуженою (рисунок 1.3). Типова структура включає такі основні елементи [1, 2]:

- джерела резервного живлення (акумуляторні батареї, джерела безперебійного живлення (UPS), дизель-генераторні установки), їх функція — забезпечення енергією системи у разі зникнення основного живлення;
- світильники аварійного освітлення (евакуаційні світильники, інформаційні табло, комбіновані світильники (робоче + аварійне освітлення)), вони оснащуються LED-джерелами світла, що забезпечують низьке енергоспоживання та високу надійність;

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                | 10   |

- система керування (програмовано-логічні контролери (PLC), центральні сервери або контролери BMS, модулі введення/виведення), виконують функції моніторингу, управління та діагностики системи;
- сенсори та засоби контролю (сенсори напруги, сенсори диму та пожежі, сенсори руху (для адаптивного освітлення), контролери стану батарей);
- комунікаційна мережа (дротові інтерфейси (RS-485, Ethernet), бездротові технології (ZigBee, Wi-Fi), забезпечує обмін даними між компонентами системи.



Рисунок 1.2 – Загальна структура автоматизованої системи аварійного освітлення

Будова та призначення елементів системи аварійного освітлення включає набір елементів з визначеним функціоналом і призначенням. Кожен елемент системи виконує чітко визначену функцію. Світильники забезпечують освітлення, джерела живлення гарантують безперервність роботи, контролери реалізують алгоритми керування, а сенсори забезпечують зворотний зв'язок. У централізованих системах ключову роль відіграє центральний контролер, який аналізує стан мережі та приймає рішення щодо активації аварійного режиму.

Принцип роботи та функціонування розуміють під собою складний алгоритм роботи з можливістю оптимізації та масштабування. У нормальному режимі система перебуває у стані очікування, здійснюючи постійний моніторинг параметрів електромережі. У разі зникнення напруги або отримання сигналу про аварію:

- система автоматично перемикається на резервне живлення;
- активуються аварійні світильники;
- включаються евакуаційні покажчики;
- передається сигнал у систему диспетчеризації.

Після відновлення основного живлення система повертається у штатний режим, а акумулятори переходять у режим заряджання.

Можливості масштабування є перспективним для реорганізації і розширення функціональних можливостей автоматизованої системи в межах виробничої площадки, заводу, корпорації, готельних комплексів, бізнес-центрів, тощо. Сучасні автоматизовані системи аварійного освітлення мають високу масштабованість. Для великих об'єктів (готелі, бізнес-центри) це дозволяє будувати розподілені системи з централізованим моніторингом. Це досягається за рахунок:

- модульної архітектури;
- використання стандартних протоколів зв'язку;
- можливості додавання нових вузлів без зупинки системи;
- інтеграції з іншими інженерними системами.

Інтеграція з іншими системами дає можливість створювати централізовані системи керування комплексом на рівні з іншими підсистемами типу «розумний дім». Автоматизовані системи аварійного освітлення часто інтегруються з:

- системами пожежної сигналізації;
- системами контролю доступу;
- системами відеоспостереження;
- системами управління будівлею (BMS).

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                | 12   |

Це дозволяє реалізувати комплексний підхід до безпеки та підвищити ефективність реагування на надзвичайні ситуації. Відповідно перевагами автоматизованих систем є [3]:

- висока надійність і безпека;
- автоматичне реагування на аварії;
- централізований контроль і діагностика;
- зниження витрат на обслуговування;
- енергоефективність (завдяки LED та оптимізації режимів роботи);
- можливість віддаленого моніторингу.

Автоматизовані системи аварійного освітлення є критично важливим елементом інфраструктури сучасних великих об'єктів. Вони забезпечують безпеку людей, відповідність нормативним вимогам та підвищують загальну ефективність управління будівлею. Завдяки розвитку цифрових технологій, такі системи стають більш інтелектуальними, гнучкими та інтегрованими, що відкриває широкі перспективи їх подальшого вдосконалення та застосування.

## 1.2 Огляд та аналіз світлотехнічного та світловказівного обладнання та технічних засобів автоматизованої системи аварійного освітлення

Автоматизовані системи аварійного освітлення (АСАО) є комплексними інженерними рішеннями, що поєднують світлотехнічне обладнання, інформаційні світловказівні засоби та елементи автоматизації. Їх ефективність визначається не лише якістю окремих компонентів, а й узгодженістю їх роботи в межах єдиної системи. У цьому підрозділі наведено аналіз основних типів обладнання, що використовуються в сучасних АСАО для великих об'єктів — бізнес-центрів, готелів, торговельних комплексів.

Світлотехнічне обладнання аварійного освітлення сьогодні представлене широким спектром на світовому ринку провідними виробниками, такими як: Signify (Philips Lighting), Schneider Electric, Eaton, ABB, Legrand. Вище згадані провідні виробники які займають ключові

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                | 13   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                |      |

позиції на ринку та пропонують комплексні рішення для комерційних, промислових і інфраструктурних об'єктів. Типи аварійних світильників включають поділ на під категорії в залежності від способу їх застосування. Основу будь-якої системи становлять аварійні світильники, які поділяються на:

- постійної дії (maintained) — працюють як у нормальному, так і в аварійному режимі;
- непостійної дії (non-maintained) — вмикаються лише при зникненні основного живлення;
- комбіновані — поєднують обидва режими.

Сучасні системи майже повністю базуються на LED-технологіях завдяки їх високій енергоефективності (до 120–150 лм/Вт), тривалому ресурсу (50 000+ годин) та низьким експлуатаційним витратам. До прикладів реального обладнання можна віднести (рисунок 1.3) [5]:

- Philips Lighting (лінійка *Philips Emergency Lighting*) - використовує інтелектуальні драйвери з можливістю самодіагностики та інтеграції у системи керування будівлею (рисунок 1.3а));
- Schneider Electric (серія *Exiway*) - забезпечує централізоване тестування світильників і контроль стану акумуляторів (рисунок 1.3б));
- Eaton (серія *CEAG*) - орієнтована на промислові об'єкти з підвищеними вимогами до надійності (рисунок 1.3в)).

Основними технічними характеристиками і ключовими параметрами аварійних світильників є:

- світловий потік - 100–1000 лм (залежно від призначення);
- час автономної роботи - 1–3 години;
- ступінь захисту - IP20–IP65;
- тип батареї - Ni-Cd, Ni-MH або Li-ion;
- наявність функції самотестування (Self-test).

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                | 14   |



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд аварійних світлотехнічних засобів провідних виробників: а) - Philips Lighting; б) - Schneider Electric; в) - Eaton

Світловказівне обладнання як і світлотехнічні засоби є невід’ємним елементом будь-якої сучасної системи безпеки бізнес-центрів, готельних та торговельних комплексів, торговельно-розважальних центрів. Призначення та типи світло вказівників полягає у забезпеченні навігації під час евакуації або аварійних ситуацій. Такі пристрої включають в себе:

- табло «Вихід»;
- покажчики напрямку руху;
- динамічні евакуаційні системи.

Наглядними приклади таких світловказівників є (рисунок 1.4):

- Legrand — серія евакуаційних табло з LED-підсвіткою та централізованим керуванням;
- ABB — інтелектуальні покажчики з можливістю зміни напрямку евакуації в реальному часі;
- Zumtobel Group — системи динамічної евакуації для великих об’єктів.

Особливості сучасних систем аварійного сповіщення включають найрізноманітніше світлотехнічне обладнання з як правило централізованим керуванням. Сучасні світловказівники мають у своєму функціоналі ряд особливостей, а саме:

- змінювати напрямок руху залежно від ситуації (наприклад, при пожежі);
- інтегруватися з пожежною сигналізацією;

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                | 15   |

- працювати у складі централізованих систем керування.



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд найпопулярніших світловказівників представлених на сучасному ринку

Технічні засоби автоматизації дозволяють об'єднати можливості світлотехнічних і світловказівних засобів аварійного сповіщення в автоматизовану систему з централізованим або децентралізованим керуванням. Ефективність роботи такої системи напряму пов'язане з функціональними можливостями і технічними характеристиками обладнання, що дозволяє створювати інноваційні алгоритми керування.

Контролери та системи керування є базовими елементами автоматизованих систем аварійного освітлення та оповіщення. Ключовим елементом автоматизації є контролер, який виконує [6, 7]:

- моніторинг стану системи;
- керування режимами роботи;
- діагностику несправностей.

Найпоширенішими прикладами у сучасних розробках автоматизованих систем є продукція (контролери, програмовано-логічні контролери (ПЛК)) провідних світових виробників, таких як (рисунок 1.5):

- Siemens (система *Desigo*) — інтеграція аварійного освітлення у BMS;
- Honeywell — комплексні рішення для безпеки будівель;
- Bosch — системи з розширеним функціоналом моніторингу.

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                | 16   |



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд найпопулярніших ПЛМ автоматизованих систем освітлення

Для ефективного функціонування у структурі автоматизованих систем використовуються комунікаційні протоколи. Для інтеграції різнотипного обладнання у цілісну систему використовуються наступні комунікаційні протоколи:

- DALI (Digital Addressable Lighting Interface);
- KNX;
- Modbus;
- BACnet.

Особливо поширеним є протокол DALI, який дозволяє адресно керувати кожним світильником і в процесі функціонування оперативно керувати світлотехнічними засобами у аварійних ситуаціях [7].

Джерела резервного живлення у автоматизованих системах аварійного освітлення використовуються для заживлення освітлювальних засобів та світло вказівників (рисунок 1.6). Основні типи джерел електроенергії, які експлуатуються це:

- централізовані акумуляторні станції;
- UPS (джерела безперебійного живлення);
- дизель-генератори.

Найпоширенішими технічними рішеннями є:

- APC — UPS для резервного живлення;
- Vertiv — рішення для великих об'єктів;

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                | 17   |

- Socomes — системи аварійного живлення.

Основними вимогами до резервного (аварійного) живлення є:

- швидке перемикання (менше 0,5 с);
- стабільна напруга;
- достатня ємність для забезпечення нормативного часу роботи.



Рисунок 1.6 – Загальний вигляд найпоширеніших джерел резервного живлення

Тенденції розвитку актуальні для сучасного будівництва автономних систем керування високотехнологічними бізнес-центрами, торговельно-розважальними та готельно-ресторанними комплексами. Сучасні системи аварійного освітлення розвиваються у ряді напрямків таких як [8]:

- інтеграції з IoT;
- використання бездротових технологій;
- впровадження штучного інтелекту для аналізу аварійних ситуацій;
- переходу до «розумних» евакуаційних систем.

Проведений аналіз показав, що сучасні автоматизовані системи аварійного освітлення базуються на високотехнологічному світлодіодному обладнанні, інтелектуальних контролерах та розвинених комунікаційних мережах. Використання продукції провідних виробників, таких як Philips Lighting, Schneider Electric, Siemens та ABB, дозволяє створювати надійні, масштабовані та ефективні системи.

Поєднання світлотехнічного обладнання, світловказівних засобів і автоматизованих систем керування забезпечує високий рівень безпеки, оперативне реагування на аварійні ситуації та відповідність сучасним стандартам експлуатації будівель.

### 1.3 Опис контура регулювання, умови та особливості проектування систем аварійного освітлення

Для всіх великих проектів характерне застосування великої кількості аварійних світильників та евакуаційних показників, що в свою чергу зумовлене складністю або масштабованістю об'єкта експлуатації. Вибір базового рішення залежить від проектних вимог та насамперед визначається економічною ефективністю, додатковими вимогами до умов експлуатації, необхідністю інтегрувати аварійне освітлення до інженерної інфраструктури об'єкта [9].

Проекти з кількістю аварійних світильників та показників понад 200 одиниць можна віднести до категорії середніх та великих проектів. Найбільш оптимальним рішенням для таких проектів є використання централізованих акумуляторних систем аварійного освітлення 220V AC/DC. При цьому рішення може бути побудоване на базі:

- стандартної системи з центральним акумулятором;
- адресних систем централізованого типу.

Проектування аварійного освітлення для великих проектів включає типову архітектуру централізованої системи аварійного освітлення, яка у своєму складі має:

- центральний блок аварійного освітлення;
- акумуляторний кабінет(и);
- 18 акумуляторних батарей по 12В (18х12В);
- акумуляторний кабель для підключення акумуляторів до центрального блоку;

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 19   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

- аварійні світильники/евакуаційні покажчики 220V AC/DC;
- додаткові опції та опції центрального моніторингу.

Приклад адресної системи на 16 вихідних ланцюгів, для підключення навантаження 11780ВТ на 1 год/5050ВТ на 3 години – структуру наведено на рисунку 1.7 [10].

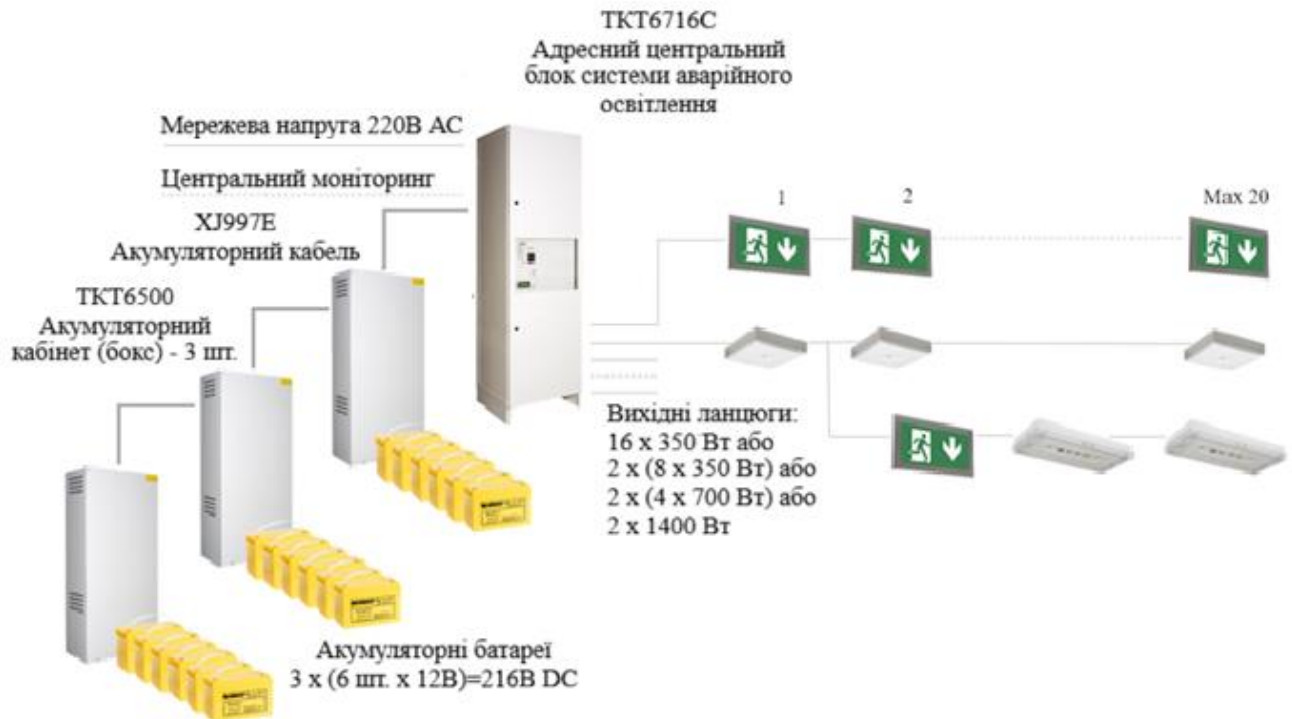


Рисунок 1.7 – Структура адресної автоматизованої системи аварійного освітлення

На структурі рисунка 1.7 в один ланцюг можна підключати світильники і світло вказівники. В кожному вихідному ланцюгу підключено не більше 20 адресних світильників. А архітектурі закладена вільна топологія вихідних ланцюгів. Довжина вихідних ланцюгів обмежена падінням напруги і поперечним перерізом кабелю. Додаткові опції включають: вмонтований принтер TST6731; LCD дисплей TST6732; інтерфейс інтелектуального контролера на 16 ланцюгів TST6752.

Центральні блоки систем аварійного освітлення представлені кількома серіями: TKT65B, TKT65C, TKT66C, TKT67C та TKT68C. Найбільш базовою є серія TKT65B, яка належить до традиційних автономних (офлайн) систем

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                | 20   |

аварійного освітлення. Інші серії реалізовані як адресні системи. Кожна серія характеризується власним функціональним набором і відрізняється за такими основними параметрами [10, 11]:

- тип акумуляторної системи (адресна або стандартна);
- номінальна напруга живлення (однофазна 230 В АС або трифазна 380 В АС);
- допустиме навантаження у штатному режимі;
- максимальне навантаження в аварійному режимі;
- гранична потужність одного вихідного каналу;
- максимально допустима кількість вихідних ліній;
- можливість або відсутність об'єднання вихідних ланцюгів для підвищення сумарного навантаження;
- наявність додаткових функцій, інтерфейсів керування та моніторингу;
- максимальна ємність підключених акумуляторів (визначається потужністю зарядного пристрою, який має забезпечити повний заряд у нормативний час);
- варіант монтажу (настінний або підлоговий).

Кожна серія має декілька модифікацій, що відрізняються кількістю та потужністю вихідних каналів, типом живлення (однофазне або трифазне), а також ступенем захисту корпусу від пилу та вологи.

Адресні системи (серії ТКТ65С, ТКТ66С, ТКТ67С, ТКТ68С) доцільно застосовувати у великих проектах із значною кількістю аварійних світильників і евакуаційних покажчиків. Для об'єктів середнього масштабу оптимальним рішенням є стандартні системи з центральним акумулятором, зокрема серія ТКТ65В.

У централізованих системах аварійного освітлення з вихідною напругою 220 В АС/DC застосовуються не обслуговувані свинцево-кислотні акумулятори номіналом 12 В. Для всіх серій і їх модифікацій передбачено використання 18 батарей, які з'єднуються послідовно та забезпечують в аварійному режимі напругу приблизно 216 В постійного струму ( $18 \times 12$  В).

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 21   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

Під час підбору акумуляторів необхідно враховувати їх сумісність зі стандартними типорозмірами для встановлення в акумуляторні шафи, а також відповідність типів клем до з'єднувальних кабелів.

Акумуляторні кабінети (бокси) являють собою металеві шафи з полицями для розміщення батарей. Вони відрізняються за габаритами та ступенем захисту — від IP20 до IP34 (захист від потрапляння крапель води). На етапі проектування кількість і тип таких шаф визначаються ємністю та фізичними розмірами акумуляторів. Для забезпечення коректного режиму заряджання батарей акумуляторні кабінети додатково комплектуються сенсорами температурної компенсації зарядної напруги.

Акумуляторні кабелі використовуються для з'єднання батарей між собою та підключення їх до центрального блоку. Вони являють собою комплект провідників заданого перерізу і довжини, оснащених відповідними роз'ємами під болтові або ножові клєми. Такі кабелі випускаються у різних виконаннях і підбираються з урахуванням ємності акумуляторів та типу їх клем.

Функціональність системи аварійного освітлення може бути розширена за рахунок додаткових опцій, а саме [11]:

- вбудований принтер для друку результатів періодичної діагностики (чеки додаються до журналу перевірок);
- LCD-дисплей для налаштування та відображення параметрів роботи системи;
- інтерфейси моніторингу з передачею даних у веб-браузер, через лінії зв'язку RS-485 або системи диспетчеризації будівлі з використанням відкритих протоколів, таких як BACnet і LON;
- інтерфейси для підключення інтелектуальних контролерів з урахуванням кількості вихідних каналів.

Перед початком проектування системи аварійного освітлення з використанням центральної батареї необхідно зібрати вихідні дані, зокрема:

- тип підключення до електромережі — однофазний або трифазний;

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 22   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

- загальну кількість світильників і їхню споживану потужність як у мережі змінного струму (ВА), так і постійного (Вт);
- кількість вихідних ліній з урахуванням обмежень щодо максимальної кількості світильників у кожній з них та допустимого навантаження;
- необхідний час автономної роботи в аварійному режимі;
- вимоги до систем контролю працездатності аварійного освітлення;
- вимоги до керування системою;
- потребу у додатковому обладнанні, такому як принтер або LCD-дисплей.

Підбір аварійних світильників і евакуаційних показчиків здійснюється з урахуванням:

- умов експлуатації (рівень вологості та запиленості, температурні режими, вплив агресивних середовищ, механічні навантаження, а також санітарно-гігієнічні вимоги);
- способу встановлення (настінне, стельове, вбудоване або підвісне виконання);
- необхідної відстані видимості для евакуаційних показчиків.

Кількість світильників визначається на основі світлотехнічного розрахунку або за допомогою нормативних таблиць їх розміщення. Для цього потрібно знати геометричні параметри приміщення — довжину, ширину та висоту монтажу світильників. Розрахунок має відповідати нормативам щодо рівня освітленості та її рівномірності в евакуаційних шляхах, відкритих зонах і зонах безпеки. Кількість евакуаційних показчиків визначається відповідно до вимог щодо місць їх встановлення та необхідної дистанції розпізнавання.

Підбір центрального блоку здійснюється з урахуванням таких основних параметрів:

- тип системи (адресна або стандартна);
- напруга живлення (однофазна 230 В АС або трифазна 380 В АС);
- навантаження у штатному режимі (ВА);
- навантаження в аварійному режимі (Вт);

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ</b> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       | 23   |

- потужність вихідних ланцюгів;
- кількість вихідних каналів;
- тривалість роботи в аварійному режимі (наприклад, 1 або 3 години);
- тип системи моніторингу;
- наявність додаткових функцій (принтер, LCD-дисплей);
- можливості керування аварійним освітленням;
- варіант монтажу (настінний або підлоговий).

На основі цих характеристик обирається відповідна серія та конкретна модифікація центрального блоку. Під час вибору модифікації необхідно враховувати допустиме сумарне навантаження всіх вихідних ліній, щоб забезпечити задану тривалість роботи в аварійному режимі [12]. Якщо це навантаження перевищує рекомендовані межі, час заряджання акумуляторів може перевищити нормативні значення. Допустимі параметри навантаження зазвичай наведені в технічній документації виробника для кожної серії.

Для визначення необхідної ємності акумуляторів слід враховувати загальне навантаження (Вт), напругу батарей (216 В) та необхідний час резервування. Також варто передбачити запас ємності з урахуванням її поступового зменшення в процесі експлуатації. Розрахунок ємності може виконуватися як за формулами, так і за допомогою таблиць, наведених у документації виробника. У системах на 220 В застосовуються 18 послідовно з'єднаних не обслуговуваних свинцево-кислотних акумуляторів по 12 В. Їх слід встановлювати у вентильованих приміщеннях із стабільною температурою близько  $22 \pm 1$  °С, оскільки зниження температури зменшує ємність, а підвищення — прискорює зношування і скорочує строк служби.

Після визначення необхідної ємності акумуляторів підбираються акумуляторні шафи. Їх тип і модифікація залежать від габаритів батарей і визначаються за рекомендаціями виробника.

Акумуляторний кабель підбирається відповідно до:

- ємності батарей;
- типу клем;

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 24   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

- кількості акумуляторних шаф.

Необхідна конфігурація кабелю також визначається за технічною документацією. За потреби функціональність системи може бути розширена за рахунок [13]:

- вбудованого принтера;
- LCD-дисплея;
- інтерфейсів для централізованого моніторингу;
- інтерфейсів підключення інтелектуальних контролерів.

Вибір додаткового обладнання здійснюється відповідно до таблиць і рекомендацій виробника, наведених у технічних описах продукції.

Під час проектування систем аварійного освітлення необхідно враховувати їх функціональні можливості, відповідність умовам експлуатації, а також економічну доцільність впровадження. Для великих об'єктів із значною кількістю аварійних світильників і евакуаційних покажчиків централізовані рішення є більш вигідними з точки зору експлуатаційних витрат. У таких системах заміна не обслуговуваних свинцево-кислотних акумуляторів великої ємності виконується приблизно раз на 10–12 років. Водночас в автономних світильниках акумулятори, які мають вищу вартість, необхідно змінювати значно частіше — кожні 3–4 роки.

Крім того, заміна батарей у централізованій системі є відносно простою і не потребує значних витрат. Натомість у випадку автономних світильників цей процес включає демонтаж, розбирання корпусу, підключення нових акумуляторів, зворотне складання та повторний монтаж. При великій кількості світильників такі роботи стають трудомісткими та фінансово затратними.

Ще однією перевагою централізованих систем є розширені можливості моніторингу та керування аварійним освітленням. Такі рішення особливо ефективні в умовах екстремальних температур (як низьких, так і високих), де

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                | 25   |

використання світильників із вбудованими акумуляторами є обмеженим або неможливим.

Додатково централізовані системи дозволяють інтегрувати світильники основного освітлення до складу аварійного. В адресних системах це реалізується за допомогою спеціальних адресних модулів. Для більш гнучкого та ефективного керування освітленням можуть застосовуватися протоколи, зокрема DALI, що забезпечують розширені можливості автоматизації.

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ</b> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       | 26   |

## 2. СПЕЦИФІКАЦІЯ ВИБОРУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 2.1 Розробка структурної схеми автоматизованої системи аварійного освітлення готельного комплексу

Аварійне освітлення належить до систем забезпечення безпеки життєдіяльності людини та регулюється відповідними нормативними документами і законодавчими вимогами. Із зростанням площ і поверховості сучасних будівель підвищується потреба у централізованих рішеннях для живлення, контролю та керування аварійним освітленням.

Використання централізованих систем дає змогу організувати єдине джерело живлення для аварійних світильників як у нормальному, так і в аварійному режимах, а також забезпечити централізований контроль параметрів електромережі — напруги, потужності, стану ізоляції ліній. Залежно від конфігурації, такі системи дозволяють здійснювати моніторинг і керування як окремими лініями, так і конкретними світильниками. Завдяки можливості використання акумуляторних батарей великої ємності та високої напруги, централізовані установки здатні живити потужне обладнання та забезпечувати передачу енергії на значні відстані.

На відміну від традиційних джерел безперебійного живлення (ДБЖ), центральні акумуляторні установки (ЦАУ) не використовують інвертори — складні електронні пристрої з великою кількістю компонентів. У штатному режимі навантаження живиться безпосередньо від мережі, а в аварійному — від акумуляторних батарей постійного струму. Перемикання між джерелами здійснюється за допомогою контролера, який керує силовими комутаційними елементами. Такий підхід спрощує конструкцію системи та підвищує її надійність. У разі відмови автоматичного керування передбачена можливість ручного перемикання, що є перевагою порівняно з системами на базі інверторів.

|      |      |          |        |      |                               |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                               | 27   |

Централізовані системи, як правило, встановлюються у спеціалізованих приміщеннях (електрощитових тощо) і дозволяють забезпечувати живлення, контроль та керування світильниками, розташованими поза цими приміщеннями — наприклад, у тунелях, на відкритих територіях або в зонах із підвищеними вимогами до безпеки [13]. У таких умовах використання світильників із вбудованими акумуляторами часто є неможливим через складні експлуатаційні фактори.

Запропонована структурна схема автоматизованої системи аварійного освітлення готельного комплексу відображає інтегровану багаторівневу систему, призначену для забезпечення безпечної евакуації людей та підтримання мінімально необхідного рівня освітленості у випадку зникнення основного електроживлення (рисунок 2.1). Система реалізована за принципом централізованого керування з можливістю моніторингу, діагностики та масштабування відповідно до розмірів об'єкта.

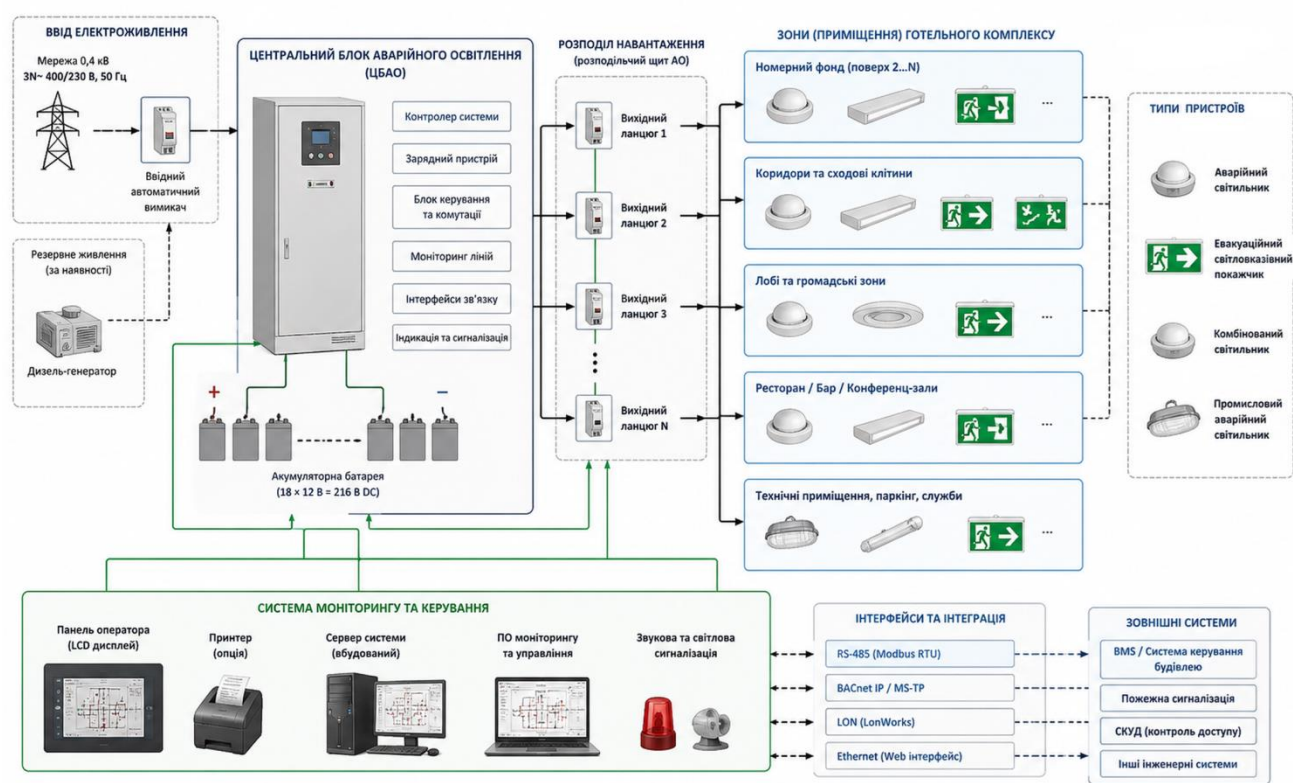


Рисунок 2.1 – Структурна схема автоматизованої системи аварійного освітлення готельного комплексу

У структурі системи рисунка 2.1 можна виділити кілька ключових функціональних рівнів [14]:

- рівень електроживлення;
- рівень централізованого керування;
- рівень розподілу навантаження;
- рівень виконавчих пристроїв (світильників і показчиків);
- рівень моніторингу та диспетчеризації;
- рівень інтеграції із зовнішніми системами.

Кожен із цих рівнів виконує визначені функції, а їх взаємодія забезпечує надійну та безперебійну роботу всієї системи.

Живлення системи здійснюється від основної електромережі будівлі (зазвичай 230/380 В змінного струму). У нормальному режимі саме це джерело забезпечує роботу всіх підключених аварійних світильників. Додатково в структурі передбачено резервне джерело живлення — акумуляторну батарею, яка входить до складу ЦАУ. Акумуляторні батареї формують постійну напругу (зазвичай близько 216 В DC), що використовується у разі аварії.

Контроль наявності напруги в мережі здійснюється автоматично. У випадку зникнення основного живлення система миттєво переходить у аварійний режим, перемикаючи навантаження на акумуляторні батареї. Це перемикання виконується без значних затримок, що є критично важливим для забезпечення безпеки.

Центральний блок є ключовим елементом системи і виконує функції керування, моніторингу та комутації. До його складу входять:

- контролер системи;
- силові комутаційні елементи (контактори, реле);
- модулі введення/виведення;
- зарядний пристрій для акумуляторів;
- інтерфейси зв'язку.

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                | 29   |

Контролер здійснює аналіз стану системи, приймає рішення щодо перемикання режимів роботи та керує всіма підсистемами. У нормальному режимі він забезпечує живлення світильників від мережі та контролює параметри електроживлення. У разі аварії контролер формує команду на перемикання джерела живлення, активує аварійні сценарії освітлення та передає інформацію до систем моніторингу.

Від центрального блоку електроживлення розподіляється через вихідні лінії (ланцюги), які можуть бути організовані за зонами готельного комплексу, а саме [15]:

- коридори та сходові клітини;
- номери;
- зони загального користування (лобі, ресторани);
- технічні приміщення;
- евакуаційні виходи.

Кожен вихідний ланцюг має власні параметри навантаження та може контролюватися окремо. У адресних системах додатково реалізується індивідуальна ідентифікація кожного світильника, що дозволяє точно визначати його стан і місце розташування.

До виконавчих елементів системи належать:

- аварійні світильники;
- евакуаційні світлові покажчики;
- комбіновані світильники (робоче + аварійне освітлення).

У нормальному режимі вони можуть працювати як частина основного освітлення або перебувати у режимі очікування. У разі аварії автоматично активується аварійний режим роботи, при якому забезпечується необхідний рівень освітлення для евакуації. Світлові покажчики забезпечують орієнтацію людей, вказуючи напрямок руху до евакуаційних виходів.

Важливою складовою є підсистема моніторингу, яка забезпечує:

- контроль стану джерел живлення;
- діагностику стану світильників і ліній;

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 30   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

- фіксацію аварійних подій;
- формування звітів.

Інформація може відображатися на локальних панелях (LCD-дисплеї), а також передаватися до систем диспетчеризації будівлі. Передбачена можливість ведення журналів подій та автоматичного тестування системи, що відповідає сучасним нормативним вимогам.

Система підтримує інтеграцію з іншими інженерними системами будівлі через стандартні протоколи:

- RS-485;
- BACnet;
- Modbus;
- DALI (для керування освітленням).

Це дозволяє об'єднати аварійне освітлення в єдину систему управління будівлею (BMS), забезпечуючи централізований контроль. Робота системи відбувається у двох основних режимах:

- нормальний режим - живлення здійснюється від мережі, акумулятори перебувають у режимі підзарядки, виконується моніторинг усіх компонентів, система готова до аварійного перемикавання;

- аварійний режим - при зникненні напруги мережі контролер фіксує подію, здійснюється автоматичне перемикавання на акумуляторні батареї, активуються аварійні світильники, формується сигнал тривоги та передається у систему диспетчеризації, забезпечується робота протягом заданого часу резервування (1–3 години).

Після відновлення електроживлення система автоматично повертається у нормальний режим та починає заряд акумуляторів.

Система має модульну структуру, що дозволяє:

- розширювати кількість підключених світильників;
- додавати нові зони освітлення;
- інтегрувати додаткові модулі керування.

Надійність забезпечується за рахунок:

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                | 31   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                |      |

- резервування живлення;
- простоти силової частини (відсутність інверторів);
- можливості ручного керування;
- постійного моніторингу стану системи.

Запропонована структурна схема автоматизованої системи аварійного освітлення готельного комплексу відповідає сучасним вимогам безпеки, енергоефективності та керованості. Її реалізація дозволяє забезпечити високий рівень надійності, зручність експлуатації та можливість інтеграції у загальну систему управління будівлею. Використання централізованого підходу є особливо доцільним для об'єктів великої площі з великою кількістю світлотехнічного обладнання.

## 2.2 Розробка функціональної схеми запропонованої системи та представлення основних вузлів управління

Функціональна схема автоматизованої системи керування аварійним освітленням готельного комплексу визначає логіку взаємодії між усіма технічними засобами системи, режимами її роботи, а також алгоритмами автоматичного реагування на аварійні ситуації. На відміну від структурної схеми, яка демонструє загальну архітектуру комплексу, функціональна схема деталізує процеси обробки сигналів, формування команд керування та передачі інформації між окремими вузлами системи.

Запропонована система орієнтована на забезпечення високого рівня безпеки відвідувачів та персоналу готельного комплексу у випадку порушення електропостачання, пожежі або інших надзвичайних ситуацій. Особливістю сучасних готельних комплексів є велика площа приміщень, складна багаторівнева структура будівлі, значна кількість евакуаційних шляхів та зон загального користування, що вимагає застосування централізованих автоматизованих систем аварійного освітлення з можливістю постійного моніторингу та диспетчерського контролю.

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                | 32   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                |      |

Основний принцип роботи системи полягає у безперервному контролі параметрів електроживлення, технічного стану світильників, акумуляторних батарей та комунікаційних ліній із подальшим автоматичним перемиканням системи в аварійний режим у разі виникнення нештатної ситуації. Запропонована функціональна схема автоматизованої системи аварійного освітлення представлена на рисунку 2.2 [15].

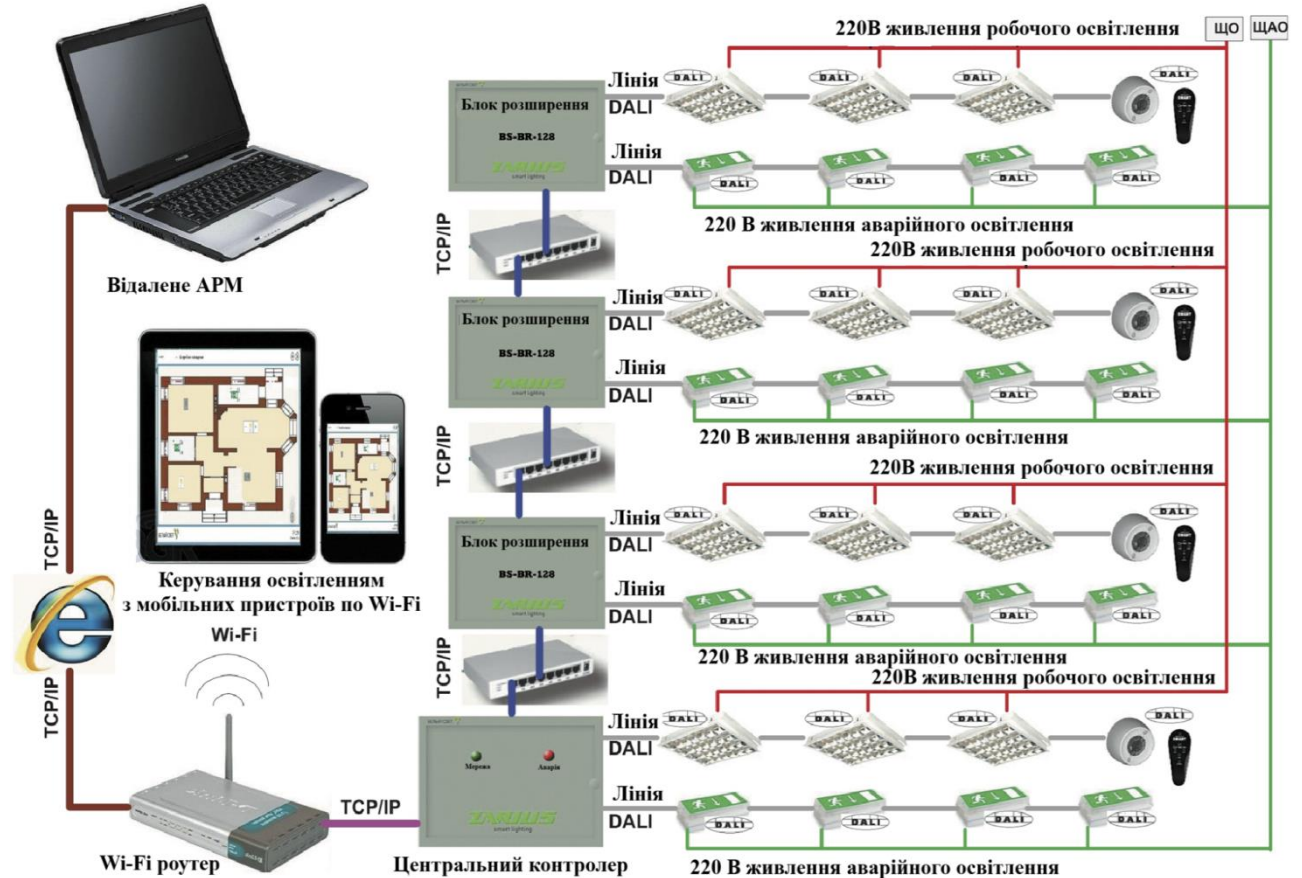


Рисунок 2.2 – Функціональна схема автоматизованої системи аварійного освітлення готельного комплексу

Функціонування системи базується на взаємодії декількох підсистем:

- системи електроживлення;
- системи резервного живлення;
- системи автоматичного керування;
- системи контролю та діагностики;
- системи диспетчеризації;
- системи світлової індикації та евакуації.

Координацію роботи всіх підсистем здійснює центральний контролер аварійного освітлення, який реалізує алгоритми керування відповідно до запрограмованих сценаріїв роботи.

У нормальному режимі роботи основне живлення системи надходить від зовнішньої електричної мережі 380/220 В через головний розподільчий щит освітлення (ЩО). У цей момент система виконує декілька функцій одночасно. Перш за все здійснюється постійний контроль параметрів мережі живлення:

- рівня напруги;
- наявності фаз;
- частоти мережі;
- симетрії фаз;
- перевищення допустимих струмових навантажень.

Ці параметри аналізуються спеціалізованими модулями контролю мережі, після чого інформація передається до центрального контролера. Паралельно виконується заряджання акумуляторних батарей, які забезпечують резервне живлення аварійного освітлення. Блок заряджання автоматично підтримує необхідний режим заряду залежно від поточного стану батарей, температури навколишнього середовища та величини навантаження.

Ще однією важливою особливістю є постійне автоматичне тестування працездатності світильників. Контролер через адресні модулі або модулі контролю ліній періодично перевіряє [16]:

- справність ламп;
- цілісність ліній живлення;
- наявність зв'язку із світильниками;
- споживаний струм;
- рівень заряду резервних джерел живлення.

Усі результати тестування заносяться до журналу подій та можуть передаватися до системи диспетчеризації будівлі. У штатному режимі система також взаємодіє з іншими інженерними підсистемами готелю:

- пожежною сигналізацією;
- системою димовидалення;
- системою контролю доступу;
- вентиляцією;
- системою оповіщення та евакуації.

Така інтеграція дозволяє реалізовувати комплексні алгоритми реагування на надзвичайні ситуації. При зникненні основного електроживлення система автоматично переходить в аварійний режим. Виявлення аварії здійснюється блоками розширення і контролю мережі практично миттєво.

Після фіксації аварійної ситуації центральний контролер формує сигнали керування на силові комутаційні модулі, які виконують перемикання навантаження на резервне живлення від акумуляторної батареї. Основною особливістю функціональної схеми є пріоритетне забезпечення живлення критично важливих зон:

- евакуаційних виходів;
- сходових клітин;
- коридорів;
- технічних проходів;
- приміщень чергового персоналу;
- зон укриття людей.

Система може реалізовувати декілька сценаріїв роботи залежно від характеру аварії. Наприклад, при пожежі активуються лише ті евакуаційні маршрути, які не потрапляють у зону задимлення чи небезпеки.

Ще однією особливістю є можливість каскадного керування групами світильників. Це дозволяє оптимізувати енергоспоживання у режимі резервного живлення та збільшити тривалість автономної роботи системи.

|      |      |          |        |      |                                      |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ДП.АКТ.10658607.00.00.0000 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                      | 35   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                      |      |

Після відновлення основного живлення система автоматично повертається до штатного режиму роботи та виконує контрольний цикл перевірки всіх елементів.

Центральний контролер є головним елементом автоматизованої системи аварійного освітлення. Контролер виконує базові і другорядні функції, а саме:

- обробку сигналів;
- аналіз стану обладнання;
- формування алгоритмів керування;
- передачу команд виконавчим пристроям;
- збереження журналу подій;
- взаємодію із системами диспетчеризації.

У якості центрального контролера можуть використовуватися спеціалізовані контролери аварійного освітлення або промислові ПЛК. Для великих готельних комплексів доцільним є використання промислових контролерів Siemens LOGO 8, Siemens S7-1200 або Schneider Electric Modicon, які підтримують мережеві протоколи BACnet, Modbus TCP/IP та KNX.

Блоки розширення до яких входять модулі контролю електроживлення виконують постійний моніторинг параметрів електромережі. Його основними функціями є [17]:

- контроль наявності напруги;
- контроль чергування фаз;
- виявлення перекосу фаз;
- контроль перевантаження;
- визначення аварійних режимів.

Інформація з модуля надходить до центрального контролера, який приймає рішення про переведення системи у резервний режим роботи.

Резервне живлення забезпечується акумуляторними батареями великої ємності. Найчастіше застосовуються герметичні свинцево-кислотні

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 36   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

акумулятори 12 В, які з'єднуються послідовно у батарейні масиви і розміщені у ЦАУ (рисунок 2.3). Основними функціями вузла є:

- накопичення резервної енергії;
- живлення світильників в аварійному режимі;
- контроль рівня заряду;
- температурна компенсація заряду;
- контроль деградації акумуляторів.



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд центральної акумуляторної установки

Система автоматично визначає технічний стан батарей та попереджає про необхідність їх заміни. Силовий модуль забезпечує перемикання між основним та резервним джерелами живлення. До його складу входять: контактори; релеїні блоки; автоматичні вимикачі; модулі захисту.

Особливістю вузла є висока швидкодія, що дозволяє уникнути повного згасання аварійного освітлення під час перемикання режимів.

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                | 37   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                |      |

Кожна група аварійних світильників підключається через окремий модуль керування, який забезпечує адресне керування світильниками, контроль струму навантаження, а також може тестувати світильники на наявність обриву лінії, що в свою чергу дозволить керувати режимами роботи.

Адресна архітектура дозволяє точно визначати місце несправності та значно спрощує технічне обслуговування системи. Для великих готельних комплексів важливим елементом є централізований диспетчерський контроль. Система диспетчеризації АРМ забезпечує:

- візуалізацію стану обладнання;
- архівування подій;
- формування аварійних повідомлень;
- дистанційне тестування;
- контроль роботи персоналу;
- інтеграцію із BMS-системою будівлі.

Передача інформації може здійснюватися через Ethernet, RS-485 або BACnet/IP, DALI.

Запропонована функціональна схема має модульну архітектуру, що дозволяє масштабувати систему залежно від площі та складності об'єкта. При збільшенні кількості приміщень або поверхів до системи можуть додаватися: додаткові контролери; нові групи світильників; модулі розширення - мережеві модулі; резервні акумуляторні секції; додаткові диспетчерські пункти.

Мережеві протоколи дозволяють інтегрувати систему аварійного освітлення в єдину систему автоматизації будівлі без суттєвого перепроектування [18].

Таким чином, запропонована функціональна схема автоматизованої системи керування аварійним освітленням готельного комплексу забезпечує високий рівень надійності, централізований контроль, автоматичне реагування на аварійні ситуації та ефективне керування евакуаційним

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 38   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

освітленням. Використання сучасних програмованих контролерів, адресних модулів керування та систем диспетчеризації дозволяє значно підвищити безпеку експлуатації готельного комплексу, мінімізувати час реагування на аварії та забезпечити відповідність сучасним вимогам енергоефективності та пожежної безпеки.

### 2.3 Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації

Під час розробки автоматизованої системи аварійного освітлення готельного комплексу особливу увагу необхідно приділяти вибору технічних засобів автоматизації, оскільки саме вони визначають рівень надійності, безпеки, функціональності та довговічності всієї системи. Готельний комплекс належить до об'єктів із масовим перебуванням людей, тому до систем аварійного освітлення висуваються підвищені вимоги щодо безперервності роботи, швидкодії, резервування живлення та можливості централізованого моніторингу.

При виборі технічних засобів враховувалися наступні критерії [19]:

- відповідність міжнародним стандартам безпеки;
- сумісність із системами диспетчеризації будівель;
- підтримка сучасних мережевих протоколів;
- висока надійність обладнання;
- можливість масштабування системи;
- простота технічного обслуговування;
- енергоефективність;
- тривалий термін експлуатації;
- доступність сервісного обслуговування та запасних компонентів.

Запропонована система побудована на базі централізованої архітектури аварійного освітлення з використанням програмованого логічного контролера, адресних модулів (розширення) керування та промислових засобів моніторингу.

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 39   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

Як центральний вузол керування автоматизованої системи аварійного освітлення доцільно використовувати програмований логічний контролер Siemens LOGO! 8.



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд ПЛК Siemens LOGO! 8

Контролер Siemens LOGO! 8 є одним із найбільш поширених компактних ПЛК для систем автоматизації невеликих і середніх об'єктів. Для систем аварійного освітлення готельних комплексів він забезпечує достатню кількість функціональних можливостей при відносно невисокій вартості. Основними перевагами даного контролера є [19, 20]:

- підтримка Ethernet-комунікації;
- можливість інтеграції в системи диспетчеризації BMS;
- наявність цифрових та аналогових входів/виходів;
- підтримка Modbus TCP/IP;
- висока надійність роботи;
- компактні габарити;
- можливість програмування складних алгоритмів;
- простота конфігурації та обслуговування.

До основних технічних параметрів Siemens LOGO! 8 відносять:

- напруга живлення - 24 В DC або 230 В AC;
- кількість цифрових входів - до 24;

- кількість виходів - до 20;
- Ethernet-порт RJ45;
- вбудований WEB-сервер;
- підтримка логічних функцій та таймерів;
- можливість підключення модулів розширення.

Функції контролера у системі передбачають виконання:

- аналізу стану електромережі;
- керування комутаційними модулями;
- формування аварійних сигналів;
- тестування світильників;
- передавання даних у систему диспетчеризації;
- контролю стану акумуляторних батарей;
- обробку сигналів від пожежної сигналізації.

Для контролю параметрів електромережі доцільно використовувати реле контролю фаз Schneider Electric RM35TF30 (рисунок 2.5). Багатофункціональне реле контролю RM35TF30 призначене для моніторингу параметрів електроживлення у трифазних мережах. Це модульне реле ефективно застосовується для контролю електричних характеристик у промислових та будівельних системах автоматизації. Пристрій забезпечує автоматичне відключення обладнання у разі виникнення аварійних ситуацій, а також інформує користувача про наявні несправності, що дозволяє швидко виявляти та усувати проблеми. Завдяки універсальності та широким функціональним можливостям контролер може використовуватись у різноманітних автоматизованих системах із жорсткою логікою керування та є ефективним рішенням для модернізації існуючих установок без необхідності застосування програмованих логічних контролерів.

Система аварійного освітлення повинна миттєво реагувати на: втрату однієї з фаз; асиметрію фаз; перевищення напруги; зниження напруги; неправильне чергування фаз. RM35TF30 забезпечує високоточний контроль

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                | 41   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                |      |

трифазної мережі та має промислову надійність. До основних характеристик можна віднести [20, 21]:

- контроль трифазної мережі 208–480 В;
- регулювання меж спрацювання;
- світлодіодна індикація стану;
- час реакції менше 500 мс;
- монтаж на DIN-рейку.



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд реле контролю фаз Schneider Electric RM35TF30

Для контролю температурного режиму акумуляторних батарей використовуються цифрові сенсори DS18B20 (рисунок 2.6). Це популярний цифровий сенсор температури, що використовує протокол 1-Wire. Він дозволяє вимірювати температуру з високою точністю і передавати дані по одній сигнальній лінії, що робить його ідеальним для систем моніторингу. Температура значно впливає на: ємність АКБ; швидкість деградації; режим заряджання; тривалість експлуатації.

Сенсор DS18B20 забезпечує високу точність та цифрову передачу даних при його низькій вартості і простоту інтеграції з ПЛК. Основні характеристики даного сенсора є:

- діапазон температур -  $-55...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                | 42   |

- точність -  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ;
- інтерфейс OneWire;
- можливість паралельного підключення.



Рисунок 2.6 – Загальний вигляд цифрового сенсора температури DS18B20

Для контролю навантаження груп світильників застосовуються сенсори струму ACS712 (рисунок 2.7). Сенсор струму ACS712 – це компактний модуль на основі ефекту Холла, призначений для безпечного вимірювання постійного (DC) та змінного (AC) струму (5A, 20A або 30A). Він забезпечує гальванічну розв'язку між вимірюваним ланцюгом і керуючим мікроконтролером, видаючи аналогову напругу, пропорційну силі струму.



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд сенсори струму ACS712

За допомогою сенсора струму ACS712 можна визначати обрив лінії при тому контролювати перевантаження і виявляти несправності світильників,

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                | 43   |

паралельно аналізувати енергоспоживання. Основними перевагами є: гальванічна розв'язка; компактність; висока швидкодія; просте підключення до аналогових входів ПЛК. До основних характеристик можна віднести [21]:

- сенсор Холла, що перетворює магнітне поле навколо провідника зі струмом в напругу;
- живлення – 5В;
- тип струму – DC і AC (двохнаправлений);
- чутливість – 5А-185мВ/А; 20А-100мВ/А; 30А-66мВ/А;
- вихідна напруга 2.5В при живленні 5В.

Для автоматичного перемикання джерел живлення використовуються силові контактори Siemens Sirius 3RT (рисунок 2.8). Siemens SIRIUS 3RT - це високонадійний електромеханічний пристрій для комутації силових ланцюгів (АС-3, АС-1) потужністю до 250 кВт (при 400 В) і струмів до 2650 А. Широко використовується для керування асинхронними двигунами, насосами та компресорами, відрізняючись модульною конструкцією, компактністю.



Рисунок 2.8 – Загальний вигляд силового контактора Siemens Sirius 3RT

Контактори повинні забезпечувати швидке перемикання та високу електричну зносостійкість при цьому забезпечувати безпечну комутацію навантаження і тривалий термін служби. Серія Siemens Sirius широко

|      |      |          |        |      |                               |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                               | 44   |

використовується у промисловій автоматизації та має високий рівень надійності. До основних характеристик можна віднести:

- номінальний струм до 95 А;
- ресурс комутацій понад 10 млн циклів;
- підтримка AC/DC керування;
- модульна конструкція.

Для захисту силових ліній використовуються автоматичні вимикачі Schneider Electric Acti9 (рисунок 2.9). Schneider Electric Acti9 - це флагманська лінійка модульного низьковольтного обладнання, призначена для комерційних та промислових будівель. Вона прийшла на зміну популярної серії Multi9 та орієнтована на підвищення безпеки, надійності та простоти монтажу.



Рисунок 2.9 – Загальний вигляд автоматичних вимикачів серії Schneider Electric Acti9

До основних функцій можна віднести [22]:

- захист від короткого замикання;
- захист від перевантаження;
- селективне відключення аварійних ділянок.

Основними перевагами є: висока надійність; точне спрацювання; відповідність ІЕС 60898; можливість дистанційної індикації.

Для евакуаційного освітлення доцільно використовувати Eaton Exit Light LED-CG-S. Світлодіодні знаки евакуаційного виходу (LED) від Eaton –

|      |      |          |        |      |                               |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                               | 45   |

це надійні рішення для забезпечення безпеки, що пропонують високу видимість, енергоефективність та тривалий термін служби. Модельний ряд включає варіанти для стандартних приміщень, вологих зон (IP54/IP65) та небезпечних зон (вибухозахисні) з автоматичним моніторингом.



Рисунок 2.10 – Загальний вигляд світловказівного евакуаційного пристрою Eaton Exit Light LED-CG-S

Світильники Eaton Exit Light LED-CG-S повинні забезпечувати тривалу автономну роботу і високу яскравість при низькому енергоспоживанні і відповідати нормам евакуаційного освітлення. До основних характеристик можна віднести [23, 24]:

- LED-технологія;
- автономність до 3 годин;
- клас захисту IP65;
- підтримка централізованого керування;
- ресурс понад 50 000 годин.

Для організації мережевої взаємодії застосовується комутатор Cisco CBS250 (рисунок 2.11). Cisco Business 250 (CBS250) – це керований Smart-комутатор для малого та середнього бізнесу, що поєднують високу продуктивність, безпеку та доступну ціну. Вони пропонують гігабітні швидкості, підтримку PoE/PoE+, функції рівня L2/L3 (статична маршрутизація) та керування через веб-інтерфейс, Cisco Business Dashboard або мобільний додаток. Система аварійного освітлення потребує надійної передачі даних та резервування каналів при підтримці VLAN, що в свою

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                | 46   |

чергу дає можливість інтеграції з BMS. Cisco CBS250 забезпечує стабільну роботу промислової мережі.

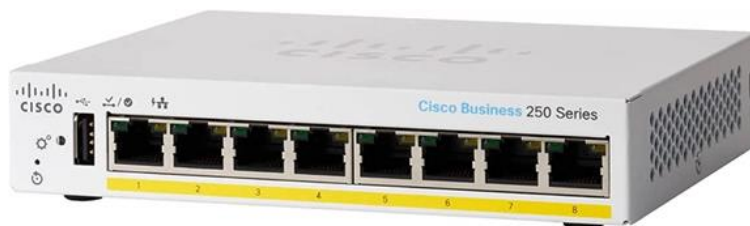


Рисунок 2.11 – Загальний вигляд мережевого комутатор Cisco CBS250

Для диспетчеризації використовується Siemens WinCC. SIMATIC WinCC (Windows Control Center) від Siemens - це потужна, масштабована SCADA-система для візуалізації, моніторингу та управління виробничими процесами в реальному часі. Вона працює на базі ОС Windows, використовує Microsoft SQL Server і застосовується у всіх галузях промисловості. Основними функціями є: візуалізація стану системи; архівування аварій; формування звітів; дистанційне керування; діагностика несправностей.

У системі резервного живлення застосовуються акумулятори Ventura GPL 12-100 (рисунок 2.12) в ЦАУ (рисунок 2.3). Ventura GPL 12-100 – це герметична свинцево-кислотна акумуляторна батарея типу AGM (Absorbent Glass Mat), призначена для роботи в буферному та циклічному режимах. Вона широко використовується в системах безперебійного живлення (ДБЖ), сонячних електростанціях, системах телекомунікації та для забезпечення автономної роботи побутових приладів.

До основних переваг можна віднести: герметичну конструкцію, значний термін служби до 12 років, високу надійність, стабільну роботу при циклічних навантаженнях [25]. Основні характеристиками є:

- напруга - 12 В;
- ємність - 100 А·год;
- технологія AGM;
- низький саморозряд.



Рисунок 2.12 – Загальний вигляд акумуляторної батареї Ventura GPL 12-100

Отож, вибрані засоби автоматизації забезпечують реалізацію надійної, масштабованої та функціонально повної автоматизованої системи аварійного освітлення готельного комплексу. Використання промислових програмованих контролерів, сучасних сенсорів, адресних світильників, мережевих комутаторів та систем диспетчеризації дозволяє забезпечити безперервний контроль стану системи, автоматичне реагування на аварійні ситуації та відповідність сучасним вимогам пожежної та електротехнічної безпеки.

|      |      |          |        |      |                               |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                               | 48   |

### 3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

#### 3.1 Реалізація методу налаштування ПД-регулятора автоматизованої системи аварійного освітлення за допомогою Deadbeat-регулятора

У сучасних автоматизованих системах аварійного освітлення готельних комплексів особливого значення набувають питання швидкодії, надійності, енергоефективності та стабільності функціонування системи в умовах аварійних режимів роботи. Аварійне освітлення є складовою систем безпеки будівлі, тому затримки під час перемикання режимів живлення, нестабільність освітленості або помилки регулювання можуть створювати загрозу для безпечної евакуації людей та нормального функціонування об'єкта.

Для забезпечення високої якості керування доцільним є використання сучасних методів синтезу регуляторів, зокрема методів налаштування ПД-регулятора через deadbeat-регулятор із використанням інтегральних критеріїв оптимальності.

Deadbeat-регулятор забезпечує завершення перехідного процесу за мінімально можливою кількістю тактів дискретизації. Для систем аварійного освітлення це є надзвичайно важливим, оскільки:

- аварійне освітлення повинно активуватись практично миттєво;
- затримки під час перемикання режимів можуть призвести до паніки або небезпечних ситуацій;
- необхідно забезпечити стабільну роботу LED-драйверів та силових модулів;
- потрібне швидке відновлення нормального рівня освітленості.

Однак практична реалізація чистого deadbeat-регулятора має ряд недоліків, а саме висока чутливість до параметричних похибок і значні керуючі впливи, це в свою чергу підвищує чутливість до шумів і складність

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                | 49   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                |      |

реалізації в промислових ПЛК [26]. Саме тому ефективним рішенням є апроксимація deadbeat-регулятора класичним ПІД-регулятором.

ПІД-регулятор продовжує залишатися одним з популярних рішень для побудови систем керування. Його універсальність для великого класу об'єктів сприяє широкому використанню як у технологічних процесах у промисловості, і у технічних електронних системах. За час вікового застосування запропоновано безліч рішень щодо розвитку класичного методу побудови ПІД-регулювання. Одночасно відбувається і розвиток методів налаштування регуляторів даного типу. Основними методами налаштування є коефіцієнт посилення  $K$ , час інтегрування  $I$  та диференціювання  $D$  передавальної функції регулятора:

$$W_R(s) = K + \frac{1}{Is} + Ds. \quad (1)$$

У літературі можна знайти велику кількість методів налаштування. Серед них виділяють два основні полюси. Один полюс – це забезпечення необхідного запасу стійкості, інший – забезпечення бажаної якості перехідного процесу. Більшість найбільш популярних методик налаштування ПІД-регулятора використовують один із полюсів як відправну точку, а потім, за потребою, забезпечують компроміс щодо іншого полюса.

Серед популярних критеріїв стійкості розрізняють частотні (критерій Найквіста та Михайлова) та критерії, засновані на аналізі характеристичного рівняння передавальної функції каналу управління (кореневий критерій, критерій Стодоли та Гурвіца). Відповідно, серед частотних методів можна виділити модифікований метод Ziegler - Nichols, Takahashi, метод розширених частотних характеристик, використання логарифмічних частотних показників. Принцип налаштування ґрунтується на забезпеченні декременту згасання перехідних процесів. На основі цього підходу базується також метод Schaedel. Кореневий метод налаштування є основою методу Дудникова.

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                | 50   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                |      |

На забезпеченні аперіодичного перехідного процесу засновано метод налаштування амплітудного оптимуму та метод Skogestad. Сюди можна віднести метод Cohen - Coon знаходженням еквівалентної передавальної функції та метод з використанням таблиць Chien - Hrones - Reswick.

Проте вищезазначені методи забезпечення якості перехідного процесу вимагають подальшої корекції налаштувань. З цієї причини, а також завдяки широким можливостям сучасних комп'ютерів і контролерів відбувається розвиток онлайн методів аналізу налаштування з використанням різних пошукових методів. Серед них можна виділити як методи, засновані на класичних підходах мінімізації інтегральних критеріїв, і широко застосовувані нечіткі і генетичні алгоритми. Ці методи більш універсальні, можуть використовуватися для лінійних та нелінійних об'єктів управління. За допомогою онлайн-методів налаштовуються нелінійні регулятори. Однак вони потребують високої обчислювальної потужності.

У літературних джерелах запропоновано здійснювати налаштування ПД-регулятора через deadbeat. Однак було відзначено обмеження цього підходу. Даний метод прямого проектування для дискретних ПД-регуляторів може становити інтерес для наступних випадків [27]:

- застосування керування, що самоналаштовується для унікального налаштування параметрів ПД-контролерів;
- визначення відповідних початкових значень оптимізації числових параметрів.

Запропонований підхід заснований для аналізу коефіцієнтів передавальної функції об'єкта управління. Однак це не застосовується, якщо ми використовуємо для синтезу deadbeat-регулятор з обмеженням на керуючий вплив. Для знаходження коефіцієнтів K, I, D можна скористатися прямою апроксимацією передавальної функції deadbeat-регулятором ПД-регулятора. Побудова імпульсної характеристики цифрового регулятора щодо його передавальної функції відбувається на основі

|      |      |          |        |      |                                      |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ДП.АКТ.10658607.00.00.0000 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                      | 51   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                      |      |

$$W_{DB}(z) = \frac{p_1 z^{-1} + p_2 z^{-2} + \dots + p_m z^{-m}}{q_0 + q_1 z^{-1} + \dots + q_m z^{-m}} \quad (2)$$

не потребує вирішення диференціального рівняння. У (2)  $z$  – змінна  $z$ -перетворення,  $z = \exp(T_0 s)$ ;  $T_0$  – час квантування;  $m$  – порядок полінома. Значення на кожному такті може бути знайдено шляхом найпростіших арифметичних операцій. Особливо якщо враховувати, що значення на вході завжди рівне 1.

Після побудови імпульсної характеристики deadbeat на кількість тактів, коли градієнт збільшення стає постійним (рисунок 3.1), можна взяти два сусідні значення керування та обчислити час інтегрування:

$$I = \frac{u(k+1) - u(k)}{T_0}, \quad (3)$$

де  $k$  - дискретні відліки ( $k = t / T_0 = 0, 1, 2, \dots$ ;  $t$  – час).

Коефіцієнт 4ідсилення розраховується як

$$K = u(k) - I k T_0. \quad (4)$$

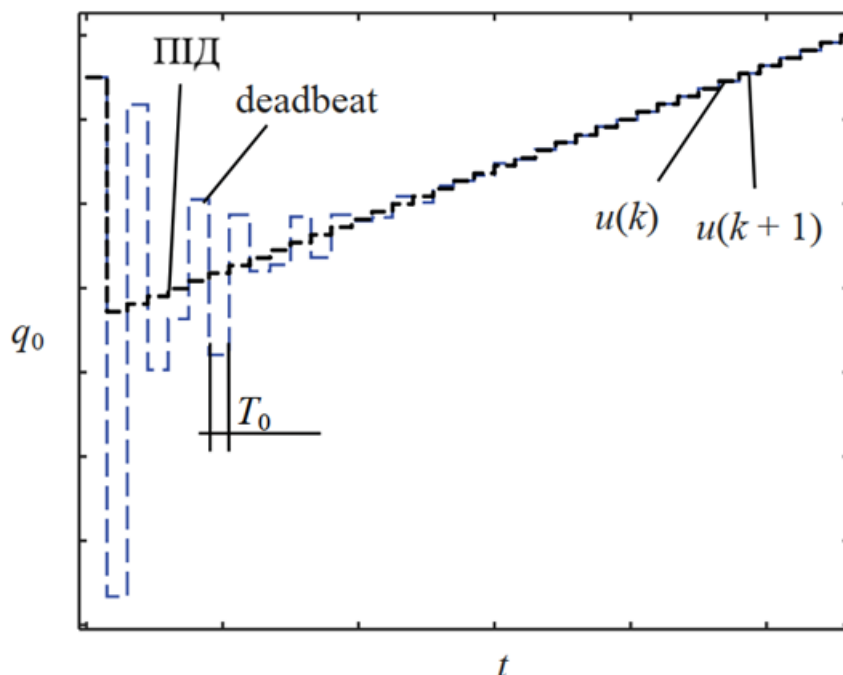


Рисунок 3.1 - Перехідна характеристика deadbeat та ПІД

Час диференціювання залежить від форми запису регулятора. Для ідеального регулятора формула наступна:

$$D = q_0 - K. \quad (5)$$

У випадку форми реального регулятора, як найцікавішої з практичної точки зору:

$$W_R(s) = K + \frac{1}{Is} + \frac{Ds}{Fs + 1}. \quad (6)$$

Тоді розрахункова формула матиме наступний вигляд:

$$D = \frac{q_0 - K}{F}. \quad (7)$$

Для варіації налаштувань можна скористатися зміною часу  $T_0$  та величини первинного керуючого впливу на різній кількості тактів  $N$ . Як критерій вибору можна використовувати різні інтегральні критерії. При цьому отримані налаштування ПІД-регулятора не вимагають обов'язкового застосування simple time, який використовувався для синтезу deadbeat (DBC).

В даному розділ розглянуто автоматизовану систему аварійного освітлення готельного комплексу розглянуто як об'єкт управління. За основу взято передавальну функцію  $W_{O1}(s)$  [28]:

$$W_{O1}(s) = \frac{(2s + 1)}{(10s + 1)(7s + 1)(3s + 1)} \times \exp(-4s), \quad (8)$$

а також варіанти з невеликим запізненням  $W_{O2}(s)$ , його відсутністю  $W_{O3}(s)$  і негативним коефіцієнтом передавальної функції  $W_{O4}(s)$ :

$$W_{O2}(s) = \frac{(2s + 1)}{(10s + 1)(7s + 1)(3s + 1)} \times \exp(-0,4s); \quad (9)$$

$$W_{O3}(s) = \frac{(2s + 1)}{(10s + 1)(7s + 1)(3s + 1)}; \quad (10)$$

$$W_{O4}(s) = \frac{(1-2s)}{(10s+1)(7s+1)(3s+1)} \times \exp(-0,4s). \quad (11)$$

Остання передавальна функція й у таких технологічних об'єктів, як стабілізація рівня парогенераторів, теплообмінниках з фазовими перетвореннями та інших. Якість налаштування оцінюється за допомогою інтегральних критеріїв:

$$J_1 = \int_0^{tf} e(t)^2 dt \rightarrow \min; \quad (12)$$

$$J_2 = \int_0^{tf} t^2 |e(t)| dt \rightarrow \min; \quad (13)$$

$$J_3 = \int_0^{tf} u(t)^2 dt \rightarrow \min; \quad (14)$$

$$J_4 = \int_0^{tf} (0,5e(t)^2 + 0,5u(t)^2) dt \rightarrow \min, \quad (15)$$

де  $e(t)$  - відхилення виходу сигналу завдання;  $u(t)$  - сигнал керування на виході регулятора;  $tf$  - час моделювання.

Для моделювання використано безперервний ПД-регулятор (6)  $F=0,01$ . Цей параметр впливає на якість перехідного процесу, проте найчастіше його значення практично визначається особливістю технічної реалізації ПД-регулятора. Час перехідного процесу оцінювався за рівнем 3% сигналу завдання [29].

Також для порівняння проведено чисельну оптимізацію інтегральних критеріїв у програмному пакеті MATLAB.

Слід зазначити, що з кожної з передавальних характеристик існує критичне значення величини  $F$ , при якому розрахункове значення  $D$  виходить поза рамки реалізації. У деяких випадках для досягнення мінімального значення інтегрального критерію доводилося зменшувати значення  $F$ .

### 3.2 Моделювання перемикаць режимів живлення автоматизованої системи та налаштування ПД-регулятора.

Характер залежності основних параметрів якості перехідних процесів від часу перехідного процесу  $t_p$  наведено на рисунку 3.2, перерегулювання  $A$  – на рисунок 3.3 та інтегральних критеріїв  $J_1$ – $J_4$  – на рисунку 3.4–3.7 [30, 31].

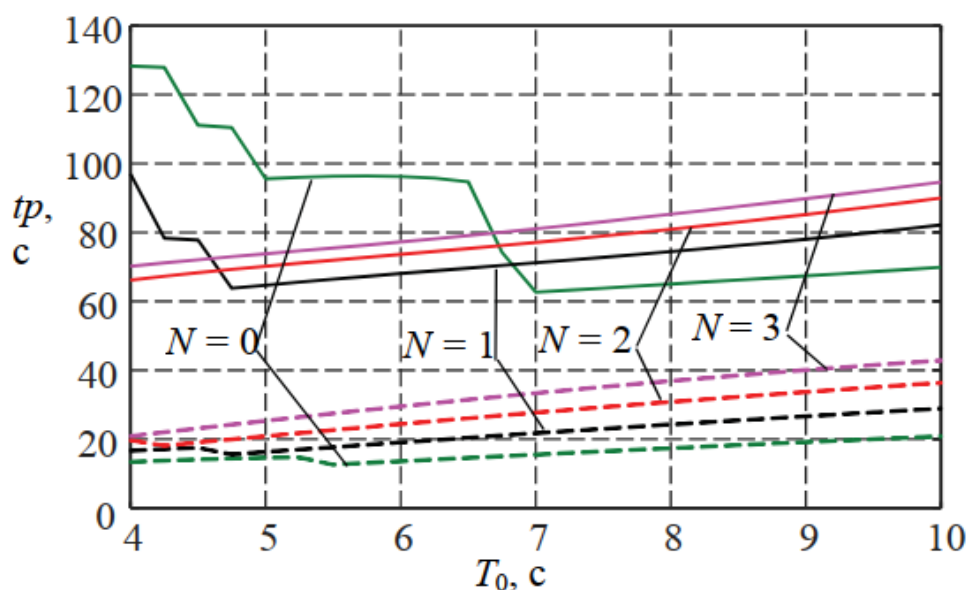


Рисунок 3.2 - Час перехідного процесу  $t_p$   $W_{01}$   
(суцільна лінія – ПД, штрихова лінія – deadbeat)

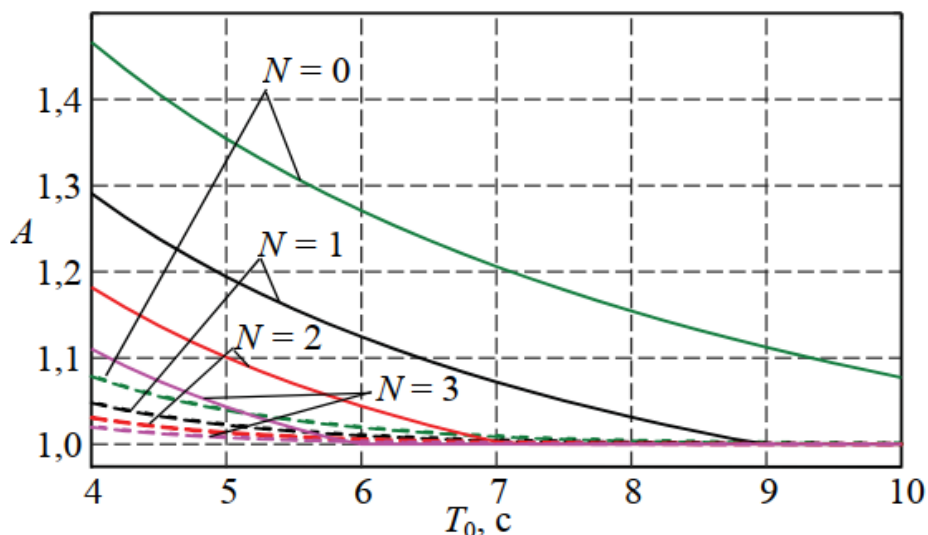


Рисунок 3.3 - Перерегулювання  $A$  для  $W_{01}$   
(суцільна лінія – ПД, штрихова лінія – deadbeat)

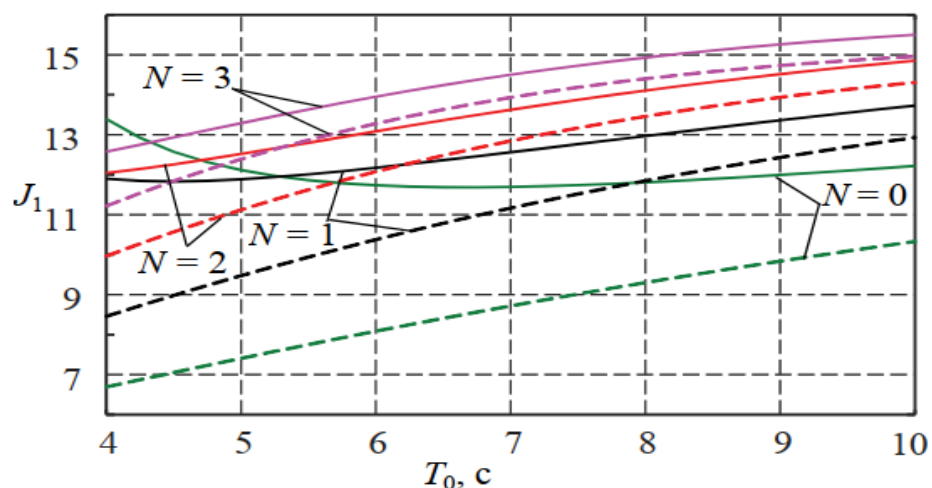


Рисунок 3.4 - Інтегральний критерій  $J_1$  для  $W_{01}$   
(суцільна лінія – ПІД, штрихова лінія – deadbeat)

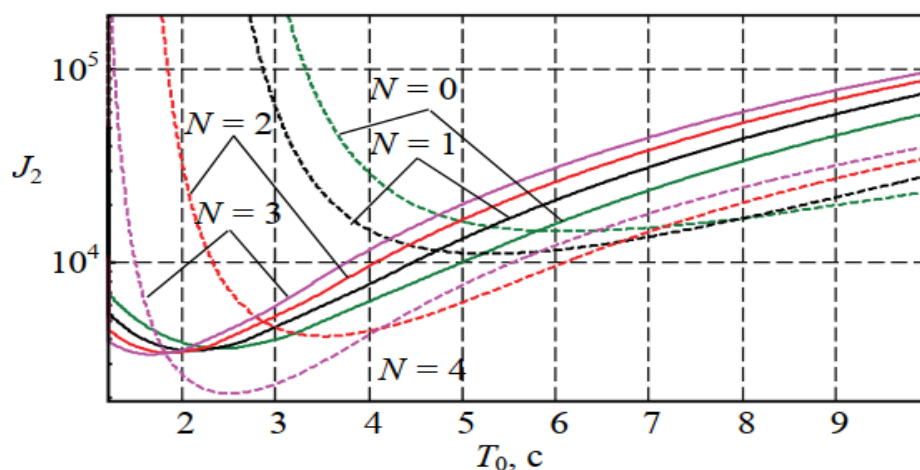


Рисунок 3.5 - Інтегральний критерій  $J_2$  для  $W_{03}$   
(суцільна лінія – ПІД, штрихова лінія – deadbeat)

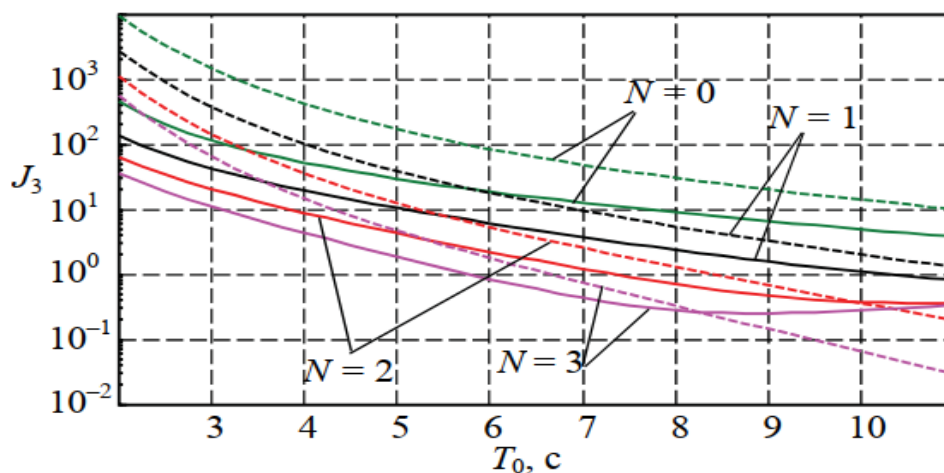


Рисунок 3.6 - Інтегральний критерій  $J_3$  для  $W_{02}$   
(суцільна лінія – ПІД, штрихова лінія – deadbeat)

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ

Арк.

56

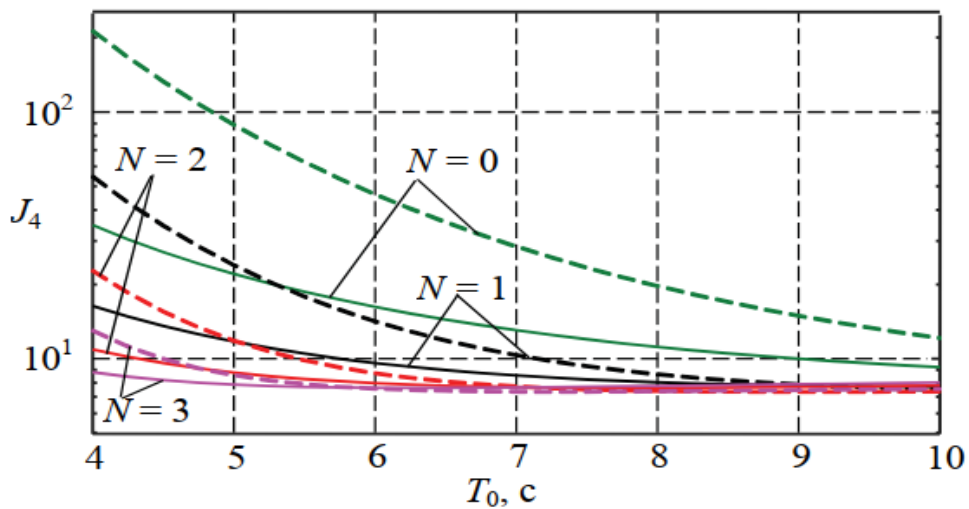


Рисунок 3.7 - Інтегральний критерій  $J_4$  для  $W_{O1}$   
(суцільна лінія – ПД, штрихова лінія – deadbeat)

Найбільші відмінності залежно від вибраних параметрів спостерігаються між об'єктом  $W_{O3}$  та іншими. Сходинки на графіках перехідних процесів вказують на наявність коливання. Нижня сходинка відповідає аперіодичного характеру перехідного процесу.

Графіки показують, що у разі потреби мінімізації часу  $t_p$  перехідного процесу для пошуку налаштувань ПД-регулятора слід використовувати deadbeat-регулятор з  $N=0$ . Запуск пошукового алгоритму бажано починати із значень  $T_0$ , які близькі до значення більшої сталої часу. За наявності запізнення deadbeat краще справляється з забезпеченням мінімального значення даного критерію налаштування регулятора [32]. Але слід зазначити, що його застосування має суттєві обмеження проти ПД.

Мінімальне значення класичного інтегрального критерію  $J_1$  спостерігається за  $N = 0$ . Розташування мінімуму залежить від величини запізнення. У цьому випадку мінімум знаходиться близько до зони нестійких значень налаштування. Вплив часу квантування на налаштування досить незначне. У цьому методі налаштування  $J_1$  може бути використаний лише як додатковий фактор під час комплексного розгляду.

$J_2$  має сильніший мінімум у порівнянні з  $J_1$ . За цим критерієм deadbeat-регулятор на порядок перевищує ПД за наявності запізнення. Мінімальне значення  $J_2$  спостерігається за  $N = 3$ .

Мінімальне значення  $J_3$  відзначається також при  $N = 3$ . На його уявлення, як й у  $J_3$ , також використана логарифмічна шкала. Критерій  $J_3$  має порівняні значення для ПД та deadbeat [32]. Співвідношення між значеннями ПД та deadbeat для останнього інтегрального критерію суттєво відрізняється тільки за малих значеннях  $T_0$ . У міру збільшення  $T_0$  у досліджуваному діапазоні вони починають зближуватися. В області малих значень  $J_4$  для ПД значно нижче, ніж для deadbeat-регулятора.

Результати налаштування з використанням deadbeat-регулятора  $J_{*,DB}$  та чисельної оптимізації  $J_{*,C}$  відображені на рисунках 3.8, 3.9 та в таблиці 3.1–3.4, де \* – номер критерію. В останній колонці таблиці 3.1–3.4 показано час квантування, який відповідає мінімальному значенню інтегрального критерію.

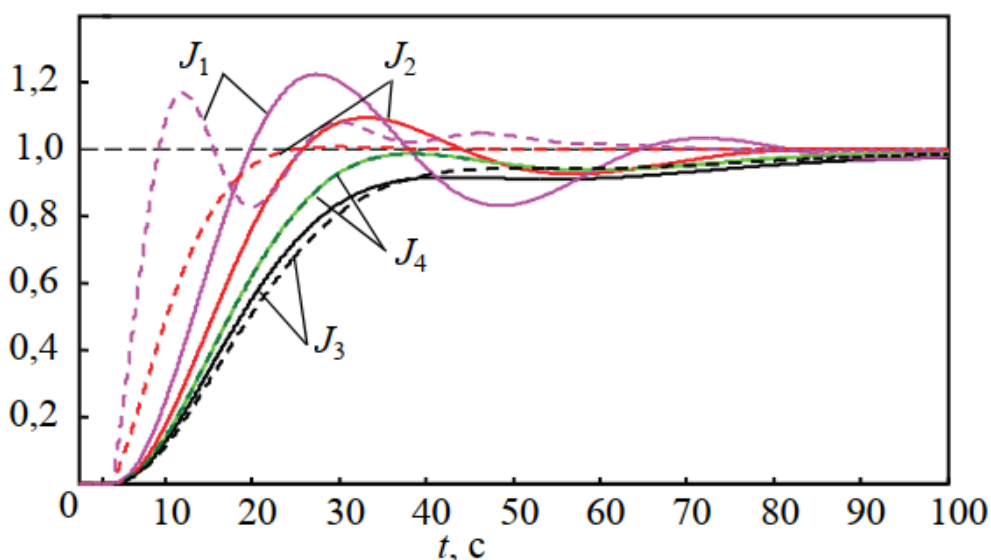


Рисунок 3.8 - Оптимальні перехідні процеси  $W_{O1}$   
(суцільна лінія – через deadbeat-регулятор, штрихова лінія – чисельним методом оптимізації)

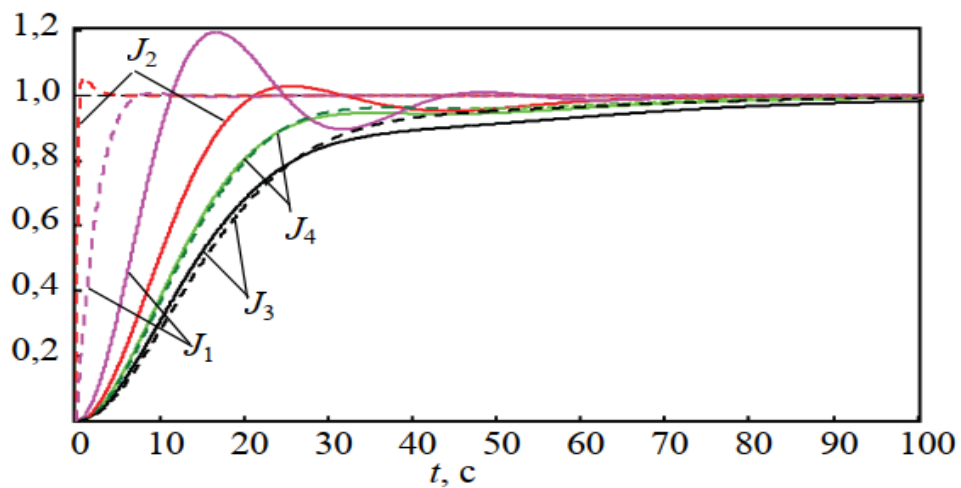


Рисунок 3.9 - Оптимальні перехідні процеси  $W_{O3}$   
(суцільна лінія – через deadbeat-регулятор, штрихова лінія – чисельним методом оптимізації)

Горизонтальні рядки у таблицях відображають мінімальне значення критерію та параметри, які цьому відповідають.

Таблиця 3.1 - Результати для  $W_{O1}$

| Параметр             | J      | K      | D                    | I      | $T_0$ |
|----------------------|--------|--------|----------------------|--------|-------|
| $J_{1, DB}$          | 11,68  | 1,683  | 0,02763              | 13,301 | 6,665 |
| $J_{1, C}$           | 5,955  | 2,457  | 21,143               | 5,5347 |       |
| $J_{1, DB}/J_{1, C}$ | 1,962  | 0,6849 | $9,82 \cdot 10^{-4}$ | 2,4032 |       |
| $J_{2, DB}$          | 11286  | 1,1560 | 0,004991             | 16,244 | 4,235 |
| $J_{2, C}$           | 813,3  | 1,5923 | 6,9098               | 10,922 |       |
| $J_{2, DB}/J_{2, C}$ | 13,88  | 0,726  | $7,22 \cdot 10^{-4}$ | 1,4873 |       |
| $J_{3, DB}$          | 0,4717 | 0,842  | 0,002095             | 24,921 | 9,43  |
| $J_{3, C}$           | 0,3112 | 0,737  | 0,006753             | 24,181 |       |
| $J_{3, DB}/J_{3, C}$ | 1,5156 | 1,142  | 0,31014              | 1,0306 |       |
| $J_{4, DB}$          | 7,5899 | 0,932  | 0,002853             | 20,643 | 6,295 |
| $J_{4, C}$           | 7,5870 | 0,932  | 0,013992             | 20,643 |       |
| $J_{4, DB}/J_{4, C}$ | 1,0004 | 1,0    | 0,20391              | 1,0    |       |

Таблиця 3.2 - Результати для  $W_{O_2}$ 

| Параметр                            | J      | K     | D        | I      | T <sub>0</sub> |
|-------------------------------------|--------|-------|----------|--------|----------------|
| J <sub>1, DB</sub>                  | 5,497  | 4,704 | 0,11808  | 4,1076 | 3,085          |
| J <sub>1, C</sub>                   | 0,639  | 21,48 | 172,92   | 0,6536 |                |
| J <sub>1, DB/J<sub>1, C</sub></sub> | 8,602  | 0,219 | 0,000683 | 6,285  |                |
| J <sub>2, DB</sub>                  | 3788   | 2,023 | 0,008038 | 8,5414 | 2,76           |
| J <sub>2, C</sub>                   | 91,29  | 6,414 | 29,3     | 2,6393 |                |
| J <sub>2, DB/J<sub>2, C</sub></sub> | 41,5   | 0,316 | 0,000274 | 3,2362 |                |
| J <sub>3, DB</sub>                  | 0,249  | 0,923 | 0,001439 | 20,69  | 8,895          |
| J <sub>3, C</sub>                   | 0,122  | 0,809 | 0,004569 | 19,533 |                |
| J <sub>3, DB/J<sub>3, C</sub></sub> | 2,05   | 1,141 | 0,31485  | 1,0592 |                |
| J <sub>4, DB</sub>                  | 5,468  | 1,089 | 0,001907 | 16,077 | 5,785          |
| J <sub>4, C</sub>                   | 5,466  | 1,087 | 0,008213 | 15,999 |                |
| J <sub>4, DB/J<sub>4, C</sub></sub> | 1,0003 | 1,002 | 0,23217  | 1,0049 |                |

Таблиця 3.3 - Результати для  $W_{O_3}$ 

| Параметр                            | J      | K      | D        | I     | T <sub>0</sub> |
|-------------------------------------|--------|--------|----------|-------|----------------|
| J <sub>1, DB</sub>                  | 4,295  | 11,869 | 1,0827   | 1,56  | 1,21           |
| J <sub>1, C</sub>                   | 0,0927 | 327,62 | 584,48   | 0,175 |                |
| J <sub>1, DB/J<sub>1, C</sub></sub> | 46,32  | 0,0363 | 0,00185  | 8,896 |                |
| J <sub>2, DB</sub>                  | 3330,4 | 2,952  | 0,0273   | 6,17  | 1,67           |
| J <sub>2, C</sub>                   | 40,317 | 8,3830 | 38,101   | 2,144 |                |
| J <sub>2, DB/J<sub>2, C</sub></sub> | 82,604 | 0,352  | 0,000717 | 2,88  |                |
| J <sub>3, DB</sub>                  | 0,273  | 0,934  | 0,00252  | 21,2  | 5,69           |
| J <sub>3, C</sub>                   | 0,108  | 0,814  | 0,00427  | 19,2  |                |
| J <sub>3, DB/J<sub>3, C</sub></sub> | 2,541  | 1,145  | 0,59032  | 1,10  |                |
| J <sub>4, DB</sub>                  | 5,269  | 1,157  | 0,00362  | 16,3  | 4,18           |
| J <sub>4, C</sub>                   | 5,249  | 1,107  | 0,0077   | 15,5  |                |
| J <sub>4, DB/J<sub>4, C</sub></sub> | 1,005  | 1,046  | 0,47     | 1,05  |                |

Найбільші розбіжності спостерігаються для середньоквадратичного відхилення  $J_1$  як при візуальному аналізі графіків, так і під час розгляду співвідношень параметрів налаштування  $K$ ,  $D$ ,  $I$  в таблицях 3.1–3.4. Значення критерію мають великі відмінності тільки для об'єкта без запізнення. Отриманні налаштування ПД-регулятора через deadbeat-регулятор можуть виступати тільки як початкова точка для наступних чисельних методів оптимізації.

Таблиця 3.4 - Результати для  $W_{O4}$

| Параметр             | J       | K     | D                    | I     | $T_0$ |
|----------------------|---------|-------|----------------------|-------|-------|
| $J_{1, DB}$          | 12,211  | 1,62  | 0,0195               | 14,0  | 6,89  |
| $J_{1, C}$           | 6,22719 | 2,40  | 20,583               | 5,81  |       |
| $J_{1, DB}/J_{1, C}$ | 1,9608  | 0,675 | $9,48 \cdot 10^{-4}$ | 2,41  |       |
| $J_{2, DB}$          | 12204   | 1,13  | 0,00496              | 16,9  | 4,32  |
| $J_{2, C}$           | 900,39  | 1,55  | 6,8358               | 11,4  |       |
| $J_{2, DB}/J_{2, C}$ | 13,555  | 0,727 | $7,26 \cdot 10^{-4}$ | 1,49  |       |
| $J_{3, DB}$          | 0,49218 | 0,836 | 0,00213              | 25,4  | 9,48  |
| $J_{3, C}$           | 0,32651 | 0,732 | 0,007098             | 24,5  |       |
| $J_{3, DB}/J_{3, C}$ | 1,5074  | 1,142 | 0,30072              | 1,04  |       |
| $J_{4, DB}$          | 7,8172  | 0,920 | 0,0029               | 21,1  | 6,36  |
| $J_{4, C}$           | 7,81374 | 0,921 | 0,0143               | 21,2  |       |
| $J_{4, DB}/J_{4, C}$ | 1,0004  | 0,999 | 0,202                | 0,997 |       |

Значення  $D$  має найбільшу відмінність при налаштуванні вибраними методами. Налаштування ПД-регулятора, які знайдені двома методами за критеріями  $J_3$  та  $J_4$ , демонструють найкращий збіг. Відмінність значення  $K$  не перевищує 15%, а значення  $I$  – 10% для  $J_3$ . Для  $J_4$  значення  $K$  та  $I$  мають відмінність у 5% тільки для об'єкта без запізнення  $W_{O3}$ , в інших випадках варіації не перевищують 1%. Великі розбіжності у параметрі  $D$  не створюють впливу на значення інтегральних критеріїв  $J_3$  і  $J_4$ . Попри суттєві розбіжності

значення  $D$ , розбіжність  $J_4$  менше 1%. Їх значення можна дещо покращити, якщо використовувати відмінну методику формування значень deadbeat-регулятора.

Максимальне значення  $N = 3$  обумовлене порядком передавальної функції об'єкта. При отриманні передавальної функції іншого порядку оптимальне значення  $N$  буде іншим.

Запропонована методика налаштування ПІД-регуляторів через deadbeat-регулятор є дуже зручною з практичного погляду. Варіацією параметра часу квантування  $T_0$  можна збалансовано змінювати одночасно три налаштування ПІД-регулятора. Вона може грати роль, аналогічну лінії рівного затухання у частотних методах. Усі вибрані у дослідженні параметри перехідного процесу мають один глобальний мінімум, залежно від  $T_0$ .

Для інтегральних критеріїв  $J_3$  та  $J_4$ , які орієнтовані тільки на вихідний параметр об'єкта управління, використання запропонованої методики може бути відправною точкою для подальшого використання у чисельних методах оптимізації. Під час проведення представлених досліджень оптимізація початкових налаштувань через deadbeat-регулятор дозволила отримати результат за меншу кількість ітерацій ніж раніше з використанням методу Ziegler – Nichols.

У разі потреби отримання енергоефективних параметрів ПІД, до яких відносяться критерії  $J_3$  і  $J_4$ , налаштування через deadbeat-регулятор з варіацією simple time дозволяє вирішити проблему набагато швидше, ніж пряма чисельна оптимізація.

Методика досить просто реалізується для автономного налаштування лінійних об'єктів і складається з послідовності простих операцій, а саме:

- використовуючи правила вибору часу квантування, задаємося початковим значенням  $T_0$ ;
- через передавальну функцію об'єкта або методом прямої ідентифікації знаходиться її представлення у  $z$ -області;

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                | 62   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                |      |

- застосовується методика налаштування deadbeat-регулятора для максимально можливого значення  $N$  (у разі мінімізації часу перехідного процесу  $N = 0$ );

- лінійно змінюємо  $T_0$  до досягнення мінімуму обраного критерію  $A$ ,  $t_p$ ,  $J_3$  чи  $J_4$ .

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                | 63   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                |      |

## ВИСНОВКИ

У запропонованій кваліфікаційній роботі розроблена автоматизована система керування аварійним освітленням готельного комплексу. У роботі було проведено комплексне дослідження, проектування та моделювання автоматизованої системи керування аварійним освітленням готельного комплексу. Розроблена система орієнтована на забезпечення високого рівня безпеки, надійності та енергоефективності функціонування аварійного освітлення в умовах сучасних багатофункціональних будівель із великою кількістю приміщень, евакуаційних шляхів та зон постійного перебування людей.

У першому розділі роботи виконано аналіз технологічного процесу як об'єкта автоматизації. Було розглянуто сучасні принципи побудови систем аварійного освітлення, їх класифікацію, структуру та функціональні можливості. Встановлено, що автоматизовані системи аварійного освітлення є важливою складовою комплексу інженерної безпеки готельних об'єктів, оскільки забезпечують підтримання необхідного рівня освітленості у випадку аварійного вимкнення основного електроживлення, пожежі або інших надзвичайних ситуацій. Проведений аналіз показав, що використання централізованих систем аварійного освітлення дозволяє значно підвищити ефективність моніторингу, спростити технічне обслуговування та забезпечити централізоване керування всією мережею світлотехнічного обладнання.

У межах огляду світлотехнічного та світловказівного обладнання було досліджено сучасні типи аварійних світильників, евакуаційних покажчиків, модулів живлення, систем моніторингу та контролю. Розглянуто особливості застосування LED-світильників, адресних модулів керування, акумуляторних систем резервного живлення та інтелектуальних засобів диспетчеризації. Встановлено, що сучасні світлодіодні технології забезпечують високу енергоефективність, тривалий термін експлуатації та низькі експлуатаційні

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 64   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

витрати, що є особливо важливим для великих готельних комплексів із цілодобовим режимом роботи.

Також у першому розділі було проаналізовано контур регулювання автоматизованої системи аварійного освітлення та визначено основні вимоги до її проектування. Встановлено, що система повинна забезпечувати швидке та надійне перемикання між основним та резервним джерелами живлення, автоматичний контроль стану ліній освітлення, моніторинг працездатності світильників, а також можливість інтеграції з іншими підсистемами будівлі, зокрема пожежною сигналізацією, системами диспетчеризації та контролю доступу.

У другому розділі роботи розроблено структурну схему автоматизованої системи аварійного освітлення готельного комплексу. Запропонована структура побудована за модульним принципом і включає центральний контролер, силові модулі, сенсори стану електроживлення, резервні акумуляторні батареї, комутаційні пристрої, аварійні світильники та систему диспетчерського моніторингу. Такий підхід дозволяє реалізувати гнучку та масштабовану систему, здатну адаптуватися до різних архітектурних особливостей будівлі та змін навантаження.

Під час розробки функціональної схеми було детально описано принципи взаємодії між основними вузлами керування. Встановлено, що центральний контролер виконує функції аналізу стану системи, обробки сигналів від сенсорів, формування керуючих команд та контролю режимів роботи аварійного освітлення. Особливу увагу приділено організації резервного живлення та алгоритмам автоматичного перемикання навантаження у разі зникнення напруги основної мережі. Запропонована функціональна схема забезпечує мінімальний час реакції системи та безперервність роботи аварійного освітлення у критичних ситуаціях.

У роботі також виконано обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації. Для реалізації системи було запропоновано використання сучасних програмовано-логічних контролерів, модулів введення-виведення,

|      |      |          |        |      |                               |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                               | 65   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                               |      |

сенсорів контролю напруги та струму, багатофункціональних реле контролю фаз, LED-світильників аварійного освітлення та акумуляторних батарей промислового типу. Вибір обладнання здійснювався з урахуванням критеріїв надійності, сумісності, функціональності, енергоефективності та можливості інтеграції у єдину автоматизовану систему керування будівлею. Доведено, що використання сучасних адресних систем аварійного освітлення дозволяє реалізувати централізований контроль стану кожного світильника та значно спростити технічне обслуговування системи.

У третьому розділі проведено дослідження методів автоматичного регулювання та реалізовано метод налаштування ПД-регулятора на основі deadbeat-регулятора. Встановлено, що використання даного підходу дозволяє забезпечити високу швидкодію системи, мінімізувати перерегулювання та забезпечити стійкість перехідних процесів під час перемикання режимів живлення. Особливістю методу є можливість апроксимації характеристик deadbeat-регулятора параметрами класичного ПД-регулятора, що значно спрощує практичну реалізацію системи керування.

У процесі моделювання було досліджено роботу системи при різних режимах функціонування, зокрема під час аварійного зникнення основного живлення та переходу на резервне джерело енергії. Результати моделювання підтвердили ефективність запропонованих алгоритмів керування та показали, що система забезпечує стабільну роботу аварійного освітлення навіть за умов зміни навантаження та зовнішніх збурень. Отримані характеристики перехідних процесів свідчать про достатній рівень швидкодії та надійності системи автоматичного регулювання. Такі системи забезпечують високий рівень безпеки персоналу та відвідувачів, підвищують ефективність експлуатації будівлі, зменшують витрати на технічне обслуговування та дозволяють здійснювати централізований контроль усіх елементів аварійного освітлення.

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                | 66   |

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ EN 1838:2019. Світлотехніка. Освітлення аварійне (EN 1838:2013, IDT). – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
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. ДСТУ EN 50172:2017. Системи аварійного евакуаційного освітлення. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017.
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. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. – Київ : Мінрегіон України, 2016.
9. Ключев О. В. Автоматизація технологічних процесів : підручник. – Київ : Ліра-К, 2020. – 540 с.
10. Візір Ю. С. Штучний інтелект у системах управління освітленістю / Ю. С. Візір // Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2023) : збірник студентських наукових статей. – Харків : ХНУРЕ, 2024. Вип. 1. С. 7-12.

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                | 67   |

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.
20. Нестерович В.В. Електромагнітні перехідні процеси. Маріуполь: ПДТУ, 2007 с.

|      |      |          |        |      |                               |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДП.АКТ.10658607.00.00.0000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                               | 68   |

21. Клименко Б.В. Електричні 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.
32. Іванов А. О. Теорія автоматичного керування : підручник / – Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2003. – 250 с.

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>ДП.АКІТ.10658607.00.00.0000 ПЗ</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 69   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |