

УДК 681.51; 62-52

В.Б. Дроменко, к.т.н., доц.

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЗОВНІШНІМ ОСВІТЛЕННЯМ ВУЛИЦЬ

Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ, [dromenko.vb@knuutd.edu.ua](mailto:dromenko.vb@knuutd.edu.ua)

Розроблено структурну схему вузла автоматизованої системи управління зовнішнім освітленням вулиць з урахуванням необхідних обмежень відповідно до вимог безпеки. На основі аналітичного огляду можливих технологій комунікації обрані оптимальні варіанти для використання в проектованій системі освітлення, а також розглянуті варіанти їх поєднання з розробленими рішеннями по автоконфігуруванню і визначенню сусідніх вузлів. Розроблений алгоритм визначення та контролю зони освітлення, застосування якого забезпечить енергозбереження, безперебійність живлення мереж зовнішнього освітлення вулиць, більш безпечні умови дорожнього руху, безпеку пішоходів і значно поліпшить архітектурну, туристичну та комерційну продукцію міста.

**Ключові слова:** автоматизована система управління, зовнішнє освітлення, алгоритм визначення та контролю зони освітлення.

Зовнішнє освітлення вулиць має визначальну роль у благоустрої міст завдяки підвищенню економічної та ділової активності за рахунок зростання інтенсивності руху транспорту і пішоходів у темний час доби.

В галузі зовнішнього освітлення вулиць сучасним є комплексне рішення побудови установок, різноманітних за функціональним призначенням, сукупна дія яких повинна створювати необхідний просторовий розподіл яскравості об'єктів оточення, забезпечувати насиченість світлом міського простору та формувати комфортне світлове середовище вечірнього міста [1].

На сьогоднішній день, у більшості міст України освітленість доріг нижче норми в 2-3 рази, світильники мають застарілу конструкцію, в них використовуються низько ефективні лампи розжарювання (світловіддача 12 лм/Вт) і ртутні лампи (світловіддача 55 лм/Вт). Частка старого обладнання, включаючи світильники, опори та кабелі, становить понад 60%. Схеми

електропостачання не можуть забезпечувати необхідний рівень ефективності установок зовнішнього освітлення вулиць [2].

Тому модернізація мереж зовнішнього освітлення є одним з ефективних і обов'язкових енергозберігаючих заходів. Підвищення надійності системи зовнішнього освітлення вулиць дозволить забезпечити безперебійність живлення мереж зовнішнього освітлення, і як наслідок забезпечити безпеку на дорогах.

### Постановка задачі

Метою роботи є розроблення автоматизованої системи управління зовнішнім освітленням вулиць зі зниженим енергоспоживанням.

### Результати дослідження

Розглянувши в [3] можливі технології для реалізації автоматизованої системи управління зовнішнім освітленням вулиць, було розроблено блок-схему вузла автоматизованої системи освітлення (рис. 1).

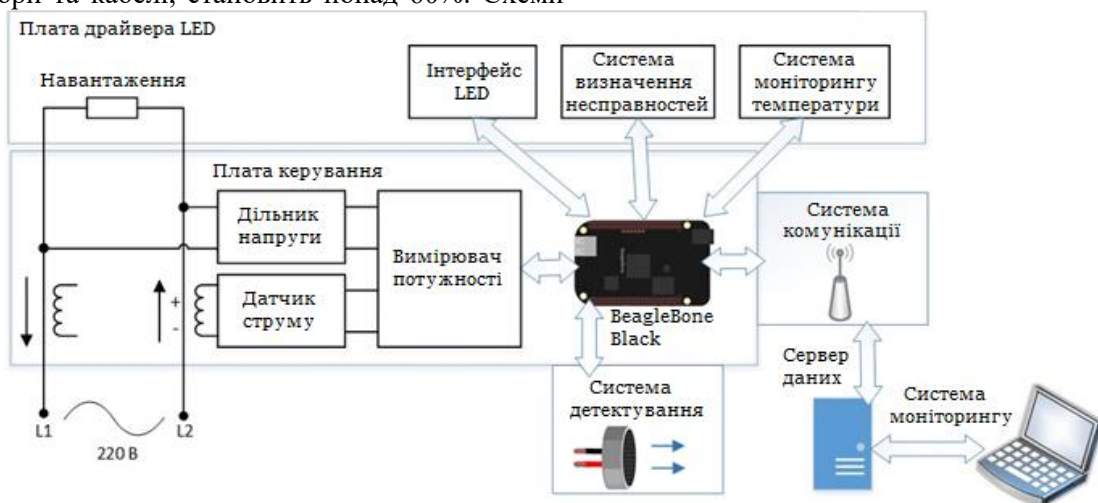


Рис. 1. Блок-схема вузла автоматизованої системи управління зовнішнім освітленням вулиць

В якості центрального керуючого пристрою було обрано мікрокомп'ютер BeagleBone Black, який здійснює управління системами детектування і комунікації, живленням джерела освітлення і платою управління освітленням.

Вимірювач потужності дозволяє вимірювати силу струму та потужність, що використовуються для подальшого управління освітленням, залежною від поданої напруги.

Система детектування визначає зміну зовнішніх умов, на основі чого приймається рішення про рівень освітленості.

У плату драйвера LED включені реалізований інтерфейс, необхідний для управління ліхтарем, система визначення несправностей, яка дозволяє оперативно реагувати на виникаючі неполадки, система моніторингу температури, яка необхідна для запобігання перегріву плати, що може привести до несправності.

Система комунікації включає в себе як функції передачі інформації між рівнозначними вузлами мережі, так і функції передачі інформації на сервер даних для подальшого моніторингу оператором.

Для створення повноцінної автоматизованої системи управління зовнішнім освітленням вулиць необхідна комбінація вузлів, розглянутих вище, створення програмної частини, налаштування і налагодження системи. Розгляд даних питань зачіпає визначення конфігурації системи, що неможливо без обумовлення відповідних обмежень і вимог до системи.

Дослідження інтенсивності дорожнього руху автомобілів та пішоходів проводились у місті Києві за аналогією досліджень у [4].

На рис. 2 представлені результати дослідження інтенсивності руху автомобілів.

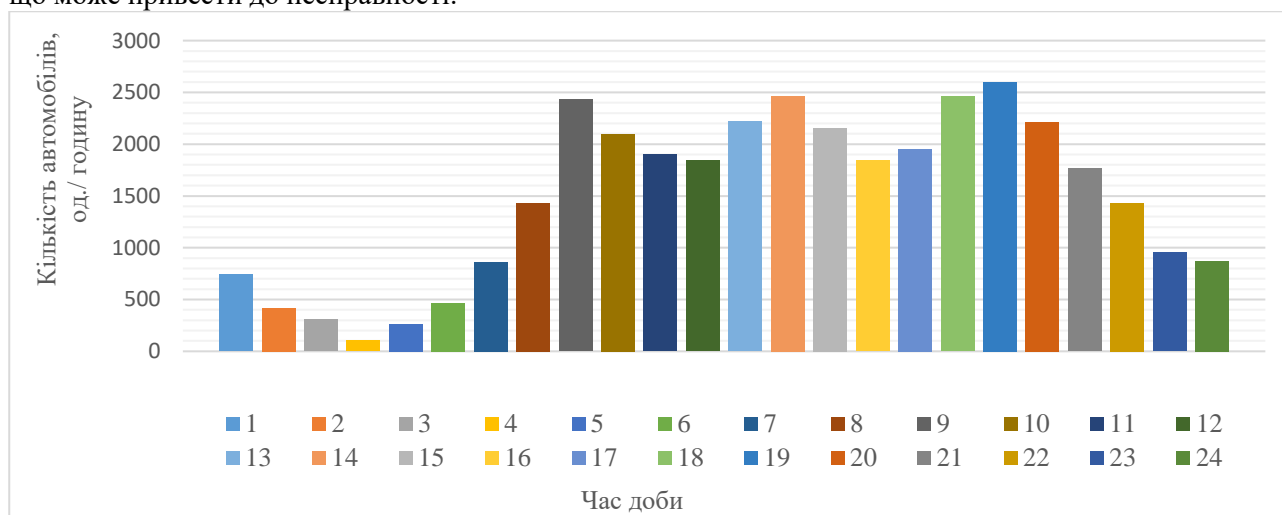


Рис. 2. Середня інтенсивність руху автомобілів у місті Києві в залежності від часу доби

Приймемо, що в середньому необхідний час для освітлення вулиць – від 20:00 до 6:00.

Тоді для даного часу інтенсивність руху автомобілів складає від 106 до 2214 од./год.

На рис. 3 відображено результати дослідження інтенсивності руху пішоходів.

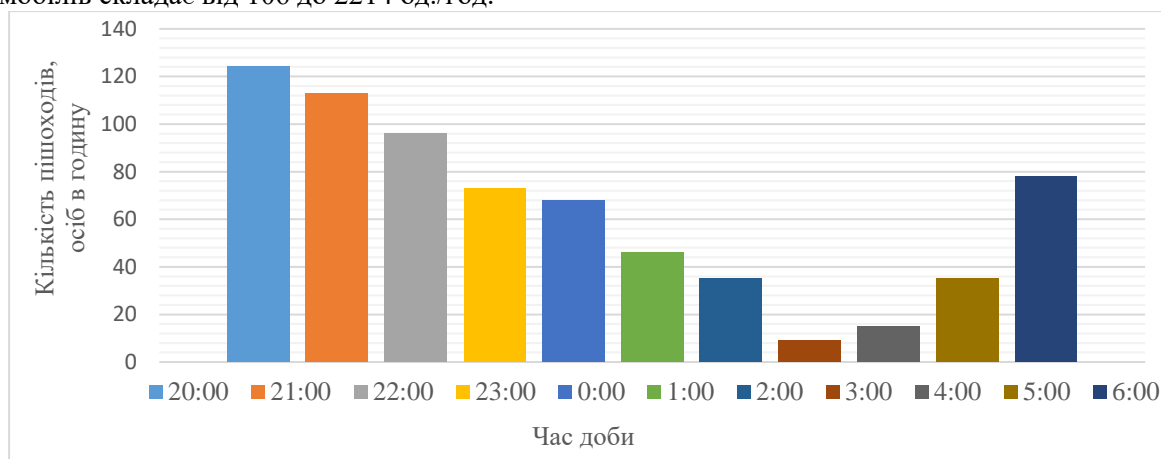


Рис. 3. Середня інтенсивність руху пішоходів у місті Києві в залежності від часу доби

Інтенсивність руху пішоходів в період необхідного освітлення становить від 9 до 124 чол./год.

Ці дані необхідні при визначенні категорії доріг для вибору оптимального рівня освітленості.

Окрім розглянутих аспектів, які зачіпають обмеження в області права, проєктована автоматизована система управління зовнішнім освітленням вулиць володіє наступними технічними характеристиками, розглянутими в [3]:

- система є децентралізованою;
- IPv6 є мережевим протоколом, що використовується в системі;
- кожен вузол самоналаштовується відповідно до зовнішніх умов;
- система дозволяє використовувати як PLC, так і Wi-Fi чи ZigBee.

На рис. 4 представлена розроблена структурна схема вузла автоматизованої системи управління зовнішнім освітленням вулиць з урахуванням усіх розглянутих обмежень.

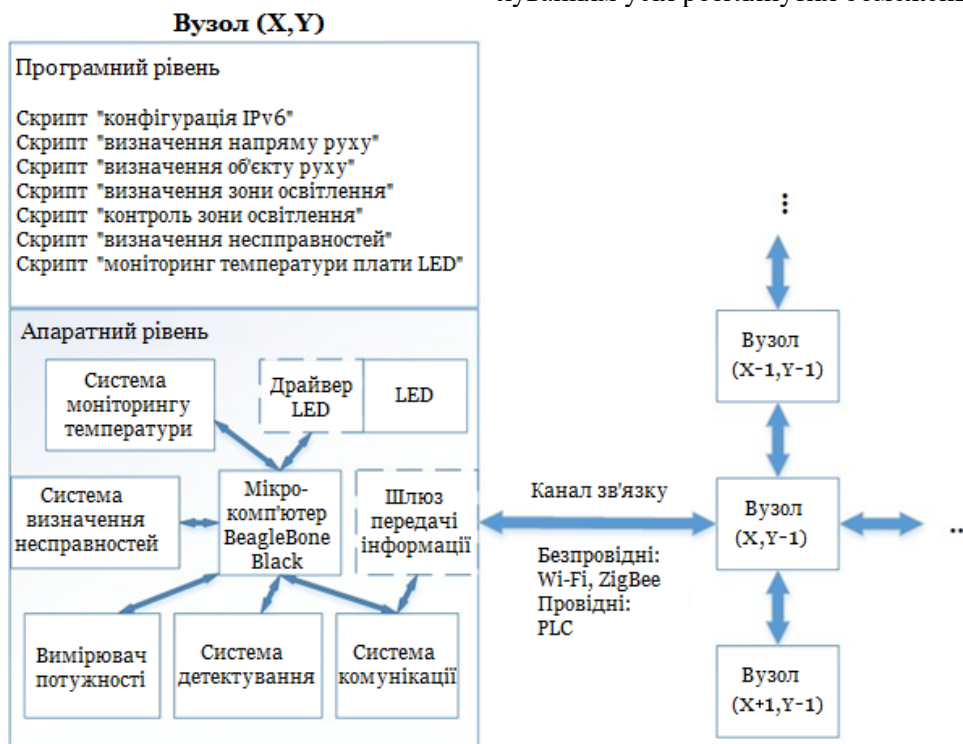


Рис. 4. Структурна схема вузла автоматизованої системи управління зовнішнім освітленням вулиць

Алгоритм роботи автоматизованої системи управління зовнішнім освітленням вулиць (рис. 5) наступний.

1. Відбувається ініціалізація системи, запуск скриптів початкового налаштування системи.

2. Виконується скрипт автоконфігурації вузлів системи для призначення адрес кожному вузлу системи, створюється список сусідніх вузлів для кожного вузла.

3. Далі в процесі роботи системи одночасно виконуються скрипти управління освітленням, визначення несправностей в системі і моніторинг температури плати LED.

3.1. Відбувається постійне опитування стану датчиків.

3.1.1. На підставі даних з датчиків виконується визначення об'єкта руху – руху автомобіля, мотоцикла і велосипеда, що відносяться до категорії транспортних засобів (С), або пішохода (Р), для яких потім виконуються наступні

команди. В іншому випадку можливо помилкове спрацьовування датчиків через перешкоди – тоді система ігнорує таку подію. За допомогою датчиків визначаються напрямок (за допомогою кута (А) відносно координат розміщення датчика) і швидкість руху (v).

Можливі події (Е) при визначенні об'єкта руху:

- присутність людей і/або транспортних засобів, що і було виявлено;
- присутність людей і/або транспортних засобів, що не було виявлено;
- відсутність людей і/або транспортних засобів, що і було виявлено;
- відсутність людей і / або транспортних засобів, що не було виявлено.

Другий і четвертий сценарії повинні бути ідентифіковані системою в якості помилки і не повинні тягти за собою неадекватних дій з боку системи, тобто повинна відбуватися обробка

помилки.3.1.2. Виконується скрипт для визначення зони освітленості на підставі отриманих даних і виконується контроль рівня освітлення. При видаленні об'єкта із зони освітленості відбувається зниження рівня освітленості до того, який був у стані спокою.

3.2. Виконується скрипт визначення несправностей.

3.3. Виконується моніторинг температури плати LED для запобігання перегріву, що може привести до несправності ліхтаря і його плати.

4. У разі команди вимикання системи, відбувається безпечне вимикання автоматизованої системи управління зовнішнім освітленням вулиць.

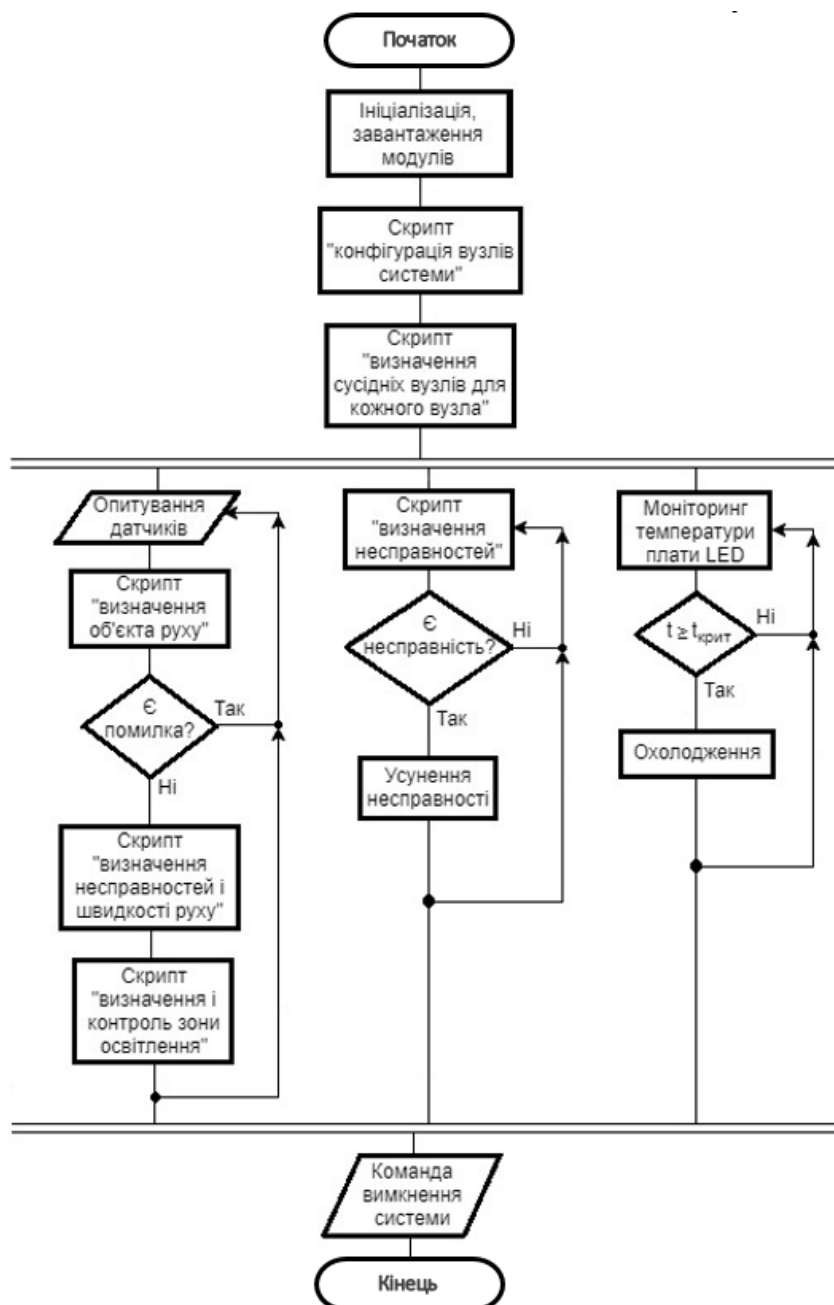


Рис. 5. Загальний алгоритм роботи автоматизованої системи управління зовнішнім освітленням вулиць  
У розробленому алгоритмі роботи для скрипта «Визначення і контроль зони освітлення» визначення зони освітленості повинно відбуватися згідно з вимогами безпеки, які, в свою чергу, залежать від зони видимості, необхідної при русі з відповідною швидкістю, що описується поліноміальною залежністю другого порядку (1):

$$s \geq 10,476v^2 - 23,81v + 107,14 \quad (1)$$

При цьому зона освітлення попереду повинна бути рівною або більшою за зону видимості (рис. 6).

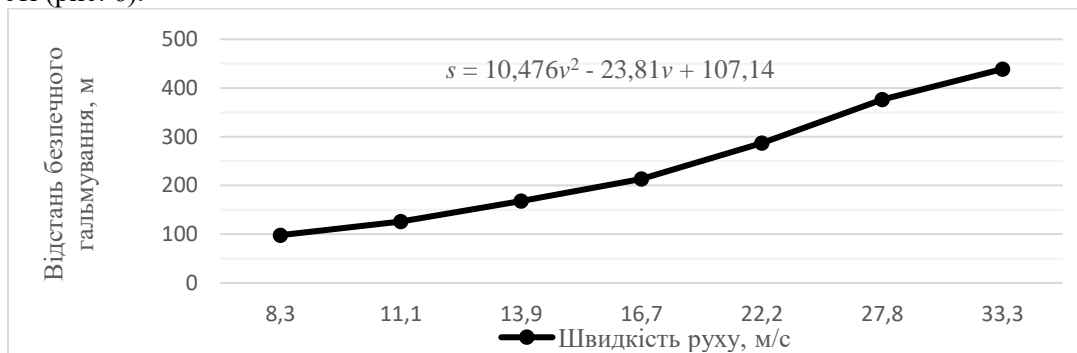


Рис. 6. Залежність відстані безпечного гальмування від швидкості руху

Можна знизити рівень освітленості на 30% і 50% при зменшенні інтенсивності руху до 1/3 і до 1/5 від максимальної величини, відповідно.

Інтенсивність в нашому випадку в основному падає до 1/5 від максимальної величини, отже, застосуємо в алгоритмі зниження на 50% освітленості.

Таблиця 1

Зв'язок значень світлового потоку і напруги ліхтарів [5]

	1/5	2/5	3/5	4/5	Максимальний рівень
Напруга, В	140	160	180	200	220
Потужність, Вт	199	244	293	345	400
Світловий потік, лм	4774	7498	11165	15941	22000

Визначимо усереднену залежність світлового потоку від напруги і потужності, що виробляється на лампі (табл. 1). Розгляд значень світлового потоку доречний, оскільки зв'язок між освітленістю і світловим потоком є прямо пропорційною.

Залежність світлового потоку від напруги відповідно з рівнянням лінії тренда (2) представлена на рис. 7.

$$\Phi = 555,64U^2 + 955,64U + 3296,6 \quad (2)$$

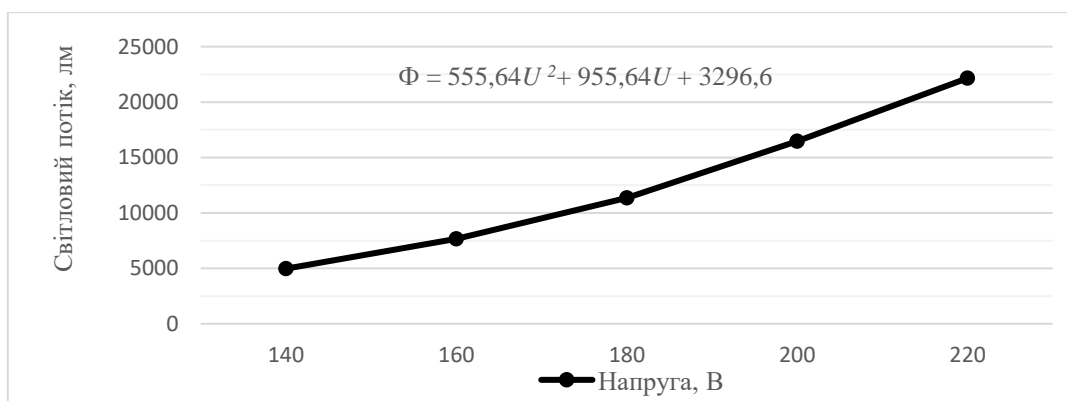


Рис. 7. Залежність світлового потоку від напруги світлодіодного ліхтаря

При проходженні людини значення освітленості визначається як 40% від максимального значення. Освітленість в темний час доби і у стані спокою падає до 10% від максимального значення. Включення автоматизованої системи

управління зовнішнім освітленням вулиць доцільно при зниженні природного освітлення до 20 лк, а відключення – при його підвищенні до 10 лк.

У табл. 2 представлено сценарії, що визначають різний рівень освітленості.

Таблиця 2

Сценарії різних рівнів освітленості

№ сценарію	Подія: транспортний засіб (С) або пішохід (Р)	Інтенсивність (I)	Природна освітленість, лк	Освітленість (E)
1	С	$\leq 1/5$	$\leq 20$	$0,5 \cdot E$
2	С	$1/5 < I \leq 1/3$	$\leq 20$	$0,7 \cdot E$
3	С	$1/3 \leq$	$\leq 20$	E
4	Р	–	$\leq 20$	$0,4 \cdot E$
5	–	–	$\leq 20$	$0,1 \cdot E$
6	С або Р	Будь-яка, але на перехресті	$\leq 20$	E
7*	С і Р при перетині зон освітленості	Будь-яка	$\leq 20$	E або $0,7 \cdot E$ або $0,5 \cdot E$

Примітка: \* Якщо відбувається рух пішохода в зоні освітлення, визначеного для транспортного засобу, то виконується сценарій для транспортного засобу

На рис. 8 представлено розроблений алгоритм для скрипта «Визначення і контроль зони освітлення» відповідно до розглянутих вхідних даних і сценаріїв.

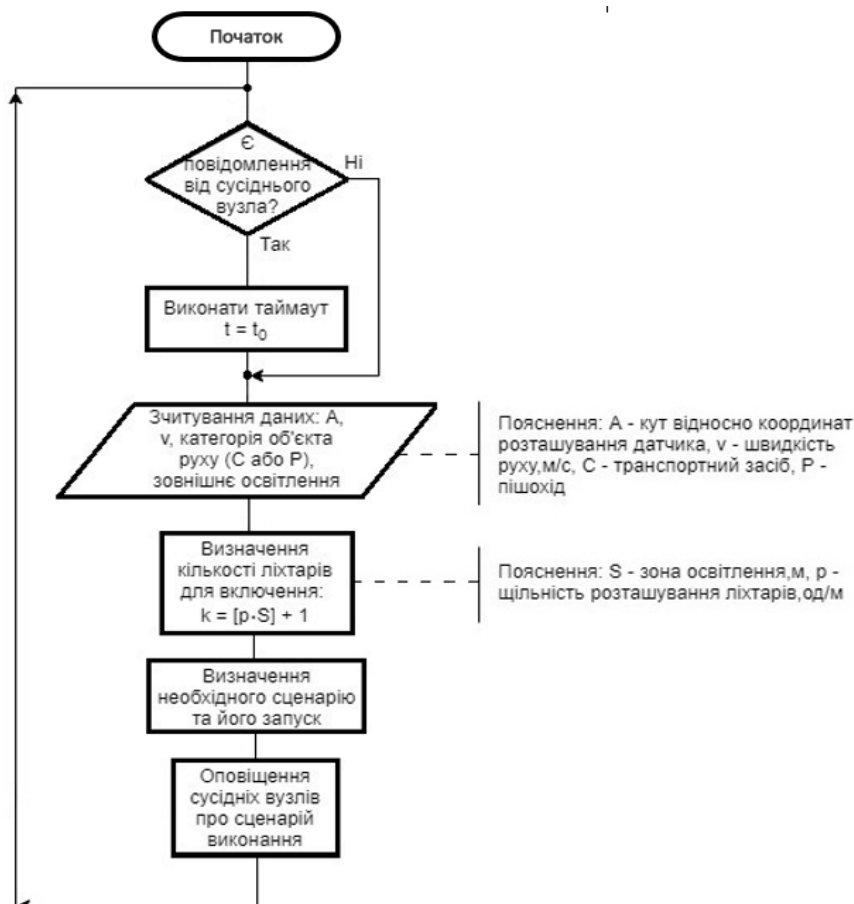


Рис. 8. Алгоритм роботи скрипта «Визначення і контроль зони освітлення»

Даний алгоритм виконується для одного вузла, в якому виконується ідентифікація об'єкта руху, відбувається визначення зони освітлення і здійснюється контроль рівня освітлення.

Потім повідомлення з інформацією про необхідний рівень освітлення передається на всі вузли в зоні освітлення, яка визначається цілим числом від добутку відстані зони освітленості на щільність розміщення вузлів плюс один вузол. На сусідніх вузлах в разі прийому повідомлення автоматично запускається необхідний сценарій. При цьому важливе виконання одного сценарію для дотримання однорідності освітлення у всій зоні.

У разі зміни курсу руху, швидкості або напрямку об'єкта, інформація зчитується на інших вузлах і відправляється на вузли знову, в наслідок чого відбувається оновлення сценарію.

Визначення зони освітлення окрім параметрів, зчитувальних датчиками, також залежить від структури системи освітлення, розташування ліхтарів на дорожньому просторі: одностороннє, дворядне в шаховому порядку, дворядне прямокутне, вісьове, дворядне прямокутне по осях руху чи дворядне прямокутне по висі вулиці.

#### Висновки

Для створення повноцінної автоматизованої системи освітлення розроблено блок-схему вузла автоматизованої системи управління зовнішнім освітленням вулиць.

З урахуванням необхідних обмежень відповідно до вимог безпеки розроблено схему вузла автоматизованої системи управління зовнішнім освітленням вулиць.

У відповідності до вхідних даних і сценаріїв, що визначають різний рівень освітленості, розроблено загальний алгоритм роботи автоматизованої системи управління зовнішнім освітленням вулиць та алгоритм для скрипта «Визначення і контроль зони освітлення».

Розроблений алгоритм визначення та контролю зони освітлення, застосування якого забезпечить енергозбереження, безперебійність

живлення мереж зовнішнього освітлення вулиць, більш безпечні умови дорожнього руху, безпеку пішоходів і значно поліпшить архітектурну, туристичну та комерційну продукцію міста.

#### Список літературних джерел

1. Салтиков В.О. Освітлення міст: навч. посібник / В.О. Салтиков – Харків: ХНАМГ, 2009. – 221 с.
2. Урядовий портал: Сучасне вуличне освітлення в Україні має бути енергоекономічним [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/news/suchasne-vulichne-osvitlennya-v-ukrayini-maye-buti-energoekonomichnim-lev-parchaladze>.
3. Дроменко В.Б. Дослідження датчиків руху для застосування у автоматизованій системі управління зовнішнім освітленням вулиць / В.Б. Дроменко, Т.О. Лавренюк, О.О. Кушнір // Вісник Інженерної академії України. – 2019. – № 4. – С. 189-192.
4. Гілевич В. В. Визначення співвідношення між інтенсивністю транспортних і пішохідних потоків для влаштування нерегульованих пішохідних переходів / Гілевич В. В., Могіла І. А., Міхоцький О. С. // НУЛП. – Львів: 2016. – С.146-152.
5. ДСТУ Б.В.2.2-6-97. Державний стандарт України. Будинки і споруди. Методи вимірювання освітленості. – К.: Укрархбудінформ, 1998. – 21 с. Чинний від 1998-01-01.
6. Денисюк С.П. Формування політики підвищення енергетичної ефективності – сучасні виклики та європейські орієнтири / С.П. Денисюк // Енергетика: економіка, технології, екологія: Науковий журнал. – 2013. – № 2(33). – С. 7-22.
7. Сучасні інформаційно-комунікаційні технології: Навчальний посібник / [Г. Г. Швачич, В. В. Толстой, Л. М. Петречук, Ю. С. Іващенко, О. А. Гуляєва, О. В. Соколенко]. – Дніпро: НМетАУ, 2017. – 230 с.