

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем

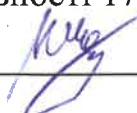
Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

ЕЛЕКТРОННИЙ АВТОМАТ КЕРУВАННЯ ВУЛИЧНИМ ОСВІТЛЕННЯМ

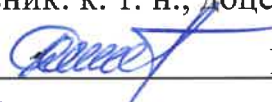
Виконав: студент 4 курсу,

групи ЕЛ-216,

спеціальності 171 Електроніка

 Баранов М. Г.

Керівник: к. т. н., доцент каф. БМІОЕС

 Штофель Д. Х.

« 13 » 06 2025 р.

Рецензент: к. т. н., ст. викладач каф. ІРТС

 Пінаєв Б. О.

« 12 » 06 2025 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри БМІОЕС

Коваль Л. Г. 

« 16 » 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем
Бакалавр
Спеціальність 171 Електроніка

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри БМІОЕС
к. т. н., доцент Коваль Л. Г.



«21» 03 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на бакалаврську кваліфікаційну роботу
студенту Баранову Михайлу Геннадійовичу, гр. ЕЛ-216

1. Тема БДР «Електронний автомат керування вуличним освітленням», керівник роботи доцент каф. БМІОЕС Штофель Дмитро Хуанович, к. т. н., доцент, затверджені наказом ВНТУ від 20 березня 2025 року № 97.
2. Строк подання студентом роботи – до 02.06.2025 р.
3. Вихідні дані для роботи: стаціонарний прилад на основі астрономічного таймера, напруга живлення 9 В, споживана потужність – не більше 4 Вт, габаритні розміри – не більше 120 x 120 x 50 мм, маса – не більше 215 г, об'єм – не більше 500 см³, ймовірність відмови – не більше 30,0 × 10⁻⁶ год⁻¹.
4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Аналітичний огляд питання; 2. Конструкторський розділ; 3. Алгоритм керування освітленням; 4. Опрацювання питань охорони праці.
5. Зміст ілюстративної частини (з точним зазначенням обов'язкових креслеників): схема структурна, схема електрична принципова, креслення корпусу приладу, лицьова панель приладу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Штофель Д. Х., к. т. н., доцент кафедри БМІОЕС	 21.03.2025	 13.06.2025
Охорона праці	Дембіцька С. В., д. п. н., професор кафедри БЖДПБ	 24.03.25	 30.05.25

7. Дата видачі завдання 20 березня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів БДР	Строк виконання етапів БДР	Примітка
1	Формування та затвердження теми бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР)	До 20.03.2025	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БКР	До 21.04.2025	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БКР	До 19.05.2025	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	До 30.05.2025	
5	Попередній захист БДР	02.06.2025	
6	Нормоконтроль БДР	09.06.2025	
7	Рецензування БДР	13.06.2025	
8	Захист БДР	19.06.2025	

Студент


(підпис)

Михайло БАРАНОВ

Керівник роботи


(підпис)

Дмитро ШТОФЕЛЬ

АНОТАЦІЯ

Баранов М. Г. БКР на тему «Електронний автомат керування вуличним освітленням». Вінниця : ВНТУ, 2025. 78 с.

Українською мовою. 9 рис., 14 табл., бібліогр. 31 найм.

В бакалаврській кваліфікаційній роботі проаналізоване питання організації вуличного освітлення для оптимізації енерговитрат і забезпечення оптимального світлового режиму в міському просторі. Розроблено апарат для керування вуличним освітленням на основі астрономічного таймера. Розроблена структурна схема, схема електрична принципова, конструкція корпусу приладу та лицьова панель. Запропоновано алгоритм роботи приладу, який реалізований у програмі керування мікроконтролера. Опрацьовані питання охорони праці при виробництві електронних засобів.

ABSTRACT

Baranov M. H. Bachelor thesis on the topic «Electronic street lighting control unit». Vinnytsia : VNTU, 2025. 78 p.

In Ukrainian. Figs. 9, Tables 14, Refs. 31.

The bachelor's thesis analyzes the issue of organizing street lighting to optimize energy consumption and ensure optimal lighting conditions in urban space. A device for controlling street lighting based on an astronomical timer has been developed. A structural diagram, an electrical schematic diagram, the design of the device case and the front panel have been developed. An algorithm for the device's operation has been proposed, which is implemented in the microcontroller control program. Issues of labor protection in the production of electronic devices have been worked out.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВУЛИЧНИМ ОСВІТЛЕННЯМ.....	7
1.1 Обґрунтування призначення систем управління вуличним освітленням ...	7
1.2 Огляд сучасних автоматів для управління вуличним освітленням	8
1.2.1 Автомати з внутрішнім фотоелементом	8
1.2.2 Автомати з внутрішнім фотоелементом і таймером	9
1.2.3 Автомати з регулюванням порогу спрацьовування	10
1.2.4 Автомати з виносним фотоелементом	11
1.2.5 Автомати з астрономічним таймером	13
1.2.6 Вибір типу автомата.....	14
1.3 Технічні вимоги та аналіз умов використання автомата	15
2 РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ АПАРАТА КЕРУВАННЯ ВУЛИЧНИМ ОСВІТЛЕННЯМ.....	19
2.1 Організація та структурна схема апарата	19
2.2 Розроблення схеми електричної принципової	20
2.3 Організація роботи апарата керування вуличним освітленням на базі астрономічного таймера	22
2.4 Вибір конструкції друкованої плати	23
2.5 Компонування автомату управління вуличним освітленням з астрономічним таймером.....	26
2.5.1 Розроблення варіантів конструкції.....	27
2.5.2 Визначення габаритних розмірів приладу	30
2.5.3 Розрахунок маси апарата	32
2.5.4 Розрахунок надійності апарата	33
2.5.5 Визначення оптимального варіанту конструкції апарата	39
2.6 Конструювання лицьової панелі апарата.....	41

3 АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ ВУЛИЧНИМ ОСВІТЛЕННЯМ	43
3.1 Аналіз джерел освітлення.....	43
3.2 Вимоги до вуличного освітлення	44
3.3 Джерела освітлення.....	47
3.4 Алгоритм управління вуличним освітленням	51
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	53
4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	54
4.1.1 Обладнання приміщення та робочого місця	54
4.1.2. Електробезпека приміщення	55
4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	57
4.2.1 Мікроклімат	57
4.2.2 Склад повітря робочої зони.....	58
4.2.3 Виробниче освітлення.....	59
4.2.4 Виробничий шум	60
4.2.5 Виробничі випромінювання	61
4.3 Пожежна безпека.....	62
4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі	62
4.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту.....	63
ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративна частина	71
Додаток Б (довідниковий) Лістинг програми керування мікроконтролера....	75
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки на наявність текстових запозичень	78

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність розроблення електронних автоматів керування вуличним освітленням зумовлена кількома важливими чинниками, що стосуються як енергоефективності, так і комфорту й надійності інфраструктури сучасних міст і населених пунктів:

Упровадження автоматизованих систем дозволяє точно регулювати режим роботи освітлення відповідно до фактичних умов (сутінки, світанок, погодні зміни тощо). Це знижує витрати на електроенергію, що є особливо актуальним у контексті енергетичної кризи та зростання тарифів.

У реальних умовах сутінкові вимикачі, як аналогові пристрої, чутливі до зовнішніх впливів, демонструють значну залежність часу спрацювання від низки чинників, що викликають завади. Серед них — сильна температурна залежність характеристик фоторезисторів, які використовуються як датчики освітленості, вплив електромагнітних завад на ланцюг вимірювання, а також забруднення оптичного вікна датчика. Усі ці фактори суттєво збільшують похибку спрацювання вимикача.

З появою компактних обчислювальних пристроїв програмовані таймери поступово були витіснені з систем управління вуличним освітленням новим типом пристроїв — астрономічними таймерами, які є електронним годинником, інтегрованим із мікроконтролером [1].

На відміну від механічних або аналогових пристроїв, електронні автомати здатні працювати стабільно за широкого діапазону температур, мають меншу похибку спрацювання, а також менше піддаються впливу зовнішніх чинників (забруднення, волога, електромагнітні завади).

Сучасні електронні системи легко адаптуються до змінних умов, можуть бути перепрограмовані без демонтажу, а також інтегровані до централізованих систем керування з можливістю моніторингу та дистанційного керування через мережу (інтернет речей, IoT) [2].

Належне вуличне освітлення знижує рівень ДТП, злочинності та підвищує комфорт пересування у вечірній і нічний час. Електронні автомати забезпечують точне і своєчасне вмикання світла, що особливо важливо в критичних інфраструктурах (переходи, лікарні, об'їзні дороги).

Інтелектуальні системи керування освітленням можуть працювати у зв'язці з іншими елементами "розумного міста" — наприклад, сенсорами руху, системами відеоспостереження або погодними станціями, що дозволяє створювати ефективні та автоматизовані інфраструктурні рішення.

Таким чином, розробка електронних автоматів керування вуличним освітленням є не лише актуальною, а й стратегічно важливою для підвищення енергоефективності, безпеки, надійності та інноваційності міських середовищ.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є розроблення апарату автоматичного керування вуличним освітленням на основі астрономічного таймера для забезпечення оптимального режиму освітлення для міського середовища.

Виходячи з мети, було виділено такі завданнями роботи:

- проаналізувати сучасний стан автоматизованих систем керування вуличним освітленням;
- розробити схему електричну структурну та принципову;
- розробити алгоритм керування вуличним освітленням;
- розробити корпус розробленого апарату.

Об'єкт бакалаврської кваліфікаційної роботи – процес керування вуличним освітленням міст в автоматичному режимі.

Предмет БКР – автоматичний електронний прилад для вмикання та вимикання вуличного освітлення у залежності від астрономічного часу і світлового режиму.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ВУЛИЧНИМ ОСВІТЛЕННЯМ

1.1 Обґрунтування призначення систем управління вуличним освітленням

Останнім часом автомати керування вуличним освітленням стають усе більш затребуваними, оскільки все більше користувачів звертають увагу на проблему якісного освітлення прибудинкових територій. Виникає необхідність забезпечення зовнішнього освітлення, що є ефективним, економічним і безпечним. У зв'язку з цим зростає популярність автоматичних систем і сенсорів для керування освітленням.

Сьогодні ринок пропонує широкий вибір автоматичних пристроїв для керування вуличним освітленням. Серед них виділяють сутінкові вимикачі, які реагують на рівень природного освітлення, а також програмовані таймери, що керують освітленням згідно з заданим розкладом.

Варто підкреслити, що сфера застосування таких пристроїв є доволі широкою. Системи автоматичного керування освітленням використовуються як на міських вулицях і в селищах, так і на приватних ділянках. При цьому загальна потужність освітлювального обладнання може становити як кілька сотень ват, так і десятки кіловат [3].

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності таких систем є впровадження сучасних апаратних і програмних засобів, зокрема використання астрономічних таймерів.

Метою цієї роботи є дослідження принципів роботи автоматів керування вуличним освітленням на основі пристрою з астрономічним таймером.

Такий пристрій призначений для ввімкнення освітлення у темний період доби. Астрономічний таймер являє собою електронний годинник, що інтегрований із мікроконтролером. У мікроконтролер закладено програму, яка виконує астрономічні розрахунки — на основі географічних координат місця встановлення пристрій визначає положення Сонця.

1.2 Огляд сучасних автоматів для управління вуличним освітленням

1.2.1 Автомати з внутрішнім фотоелементом

Електронні автомати для керування вуличним освітленням з внутрішнім фотоелементом — це сучасні пристрої, які забезпечують автоматичне вмикання та вимикання зовнішнього освітлення залежно від рівня природного світла. Вони використовують вбудований фотоелемент (фоторезистор або фототранзистор), розміщений всередині корпусу пристрою, для безперервного моніторингу освітленості навколишнього середовища.

Такий тип фотореле автоматично вмикає освітлення при настанні темряви та вимикає його зі сходом сонця, без потреби в участі людини. Незважаючи на прозорий корпус, пристрій надійно захищає фотоелемент від шкідливих впливів зовнішнього середовища.

Основні характеристики та принцип дії можна описати наступним чином.

Фотоелемент реагує на зміну рівня освітленості: коли світла недостатньо (наприклад, у сутінках), пристрій автоматично вмикає освітлення; при достатньому природному освітленні (вранці) — вимикає.

Внутрішнє розташування датчика забезпечує додатковий захист від пилу, вологи, механічних пошкоджень і впливу ультрафіолету, що подовжує термін служби пристрою.

Прозорий або напівпрозорий корпус дозволяє фотоелементу коректно сприймати зовнішнє освітлення, не впливаючи на його чутливість.

Автомат потребує мінімального обслуговування — завдяки внутрішньому розміщенню сенсора знижується ризик його забруднення або пошкодження, що робить пристрій більш надійним у довготривалій експлуатації.

Перевагами таких автоматів є простота встановлення та експлуатації, висока надійність і точність спрацювання, захищеність сенсора від зовнішніх чинників, сутність потреби в ручному управлінні, енергоефективність за рахунок роботи лише в потрібний час.

Електронні автомати з внутрішнім фотоелементом є ефективним і надійним рішенням для автоматизації систем зовнішнього освітлення, особливо в умовах, де важлива стійкість до впливів навколишнього середовища та мінімальне технічне обслуговування, а їх відносна дешевизна дозволяє їх використовувати для оснащення вуличних ліхтарів, територій навколо житлових і комерційних будівель, парків, скверів, автостоянок, приватних об'єктів, таких як двори, садові доріжки, під'їзні шляхи тощо.

1.2.2 Автомати з внутрішнім фотоелементом і таймером

Поєднання фотоелемента і таймера в системах автоматичного керування вуличним освітленням забезпечує вищу точність, гнучкість і надійність роботи, ніж використання кожного з компонентів окремо (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Автомат управління вуличним освітленням з внутрішнім фотоелементом і таймером SOU-2 [4]

Фотоелемент визначає реальний рівень освітлення, а таймер дозволяє задати часові межі, у межах яких система може працювати. Наприклад: освітлення вмикається тільки після 18:00, але лише якщо на вулиці темно.

Це виключає помилкове спрацювання у разі короткочасного затемнення вдень (наприклад, через хмару або тінь).

Комбінація дає можливість уникнути ситуацій, коли фотоелемент вмикає світло в похмурий день, коли це не потрібно, або коли таймер вмикає світло, хоча на вулиці ще світло, що веде до зайвого споживання енергії. Такий підхід зменшує необґрунтоване вмикання освітлення, оскільки система працює тільки тоді, коли це справді потрібно (з урахуванням як часу, так і освітленості).

Фотоелемент автоматично реагує на зміну тривалості світлового дня, а таймер можна налаштувати на певні часові обмеження. Це зручно в перехідні періоди (весна–осінь), коли зміни дня/ночі відбуваються швидко. Комбіновані системи можуть реалізовувати різні логіки керування. Якщо один із елементів (фотоелемент або таймер) працює з похибкою або вийшов з ладу, інший компонент може компенсувати ці недоліки, забезпечуючи стійкість роботи системи, чим підвищується загальна надійність електронного автомату.

Варто зазначити, що таймери також поділяються на різні типи. Деякі моделі мають денний режим програмування, інші — тижневий або навіть річний. У річних таймерах можна задавати окремі параметри роботи для кожного конкретного дня або ж налаштовувати загальний графік для кількох днів одночасно, наприклад, для вихідних.

1.2.3 Автомати з регулюванням порогу спрацьовування

Автомати з регулюванням порогу спрацьовування — це електронні пристрої для керування вуличним (або іншим зовнішнім) освітленням, які дозволяють користувачеві самостійно встановити рівень освітленості, за якого система повинна вмикати або вимикати світло.

Такі автомати оснащені фотоелементом, що вимірює рівень природного освітлення, і регулювальним елементом (наприклад, обертовим потенціометром або кнопковим меню), за допомогою якого можна змінювати порогове значення освітленості. Коли фактичне освітлення падає нижче встановленого порогу — освітлення вмикається. Коли освітленість перевищує заданий поріг — освітлення вимикається.

Такі автомати забезпечують гнучкість налаштувань, коли користувач може адаптувати роботу пристрою до умов конкретної місцевості (наприклад, затінене подвір'я або світла вулиця), енергоефективність, адже зменшується ризик надто раннього або надто пізнього ввімкнення освітлення, та комфорт користувача завдяки можливості точно підлаштувати автомат під індивідуальні потреби без втручання в електроніку.

Регулювання може бути механічне, з використанням ручки-регулятора на корпусі, електронне – за допомогою кнопок або сенсорного інтерфейсу, та програмне – у «розумних» системах налаштування здійснюється через мобільний застосунок або інтерфейс ПК. На рис. 2.2 зображено автомат з механічним регулюванням.



Рисунок 2.2 – Автомат керування вуличним освітленням з механічно змінним порогом спрацьовування

Таким чином, автомати з регульованим порогом спрацьовування дають змогу точніше контролювати освітлення і знижують витрати на електроенергію, зберігаючи при цьому зручність і надійність в експлуатації.

1.2.4 Автомати з виносним фотоелементом

А Автомати з виносним фотоелементом — це пристрої автоматичного керування зовнішнім освітленням, у яких датчик освітленості (фотоелемент) винесено за межі основного корпусу пристрою. Така конструкція дозволяє більш

точно визначати рівень освітлення в контрольованій зоні, навіть якщо сам блок управління розміщено в технічному приміщенні або під захистом від погодних умов.

Такий пристрій дозволяє встановлювати фотоелемент окремо від основного електронного блоку реле. Максимальна віддаленість цих елементів може досягати 150 метрів. Датчик розміщується на відкритій ділянці, орієнтованій так, щоб уникати прямого попадання світла від керованих джерел (щоб уникнути «самозасвічування»). Сам блок монтується в захисний електрощиток [1].

Фотоелемент, винесений на кабелі, встановлюється в місці, де найточніше можна зафіксувати умови навколишнього освітлення (наприклад, на південній стороні будівлі або відкритій ділянці). Фотоелемент постійно вимірює рівень природного освітлення. При досягненні заданого порогу освітленості передає сигнал до керуючого блоку. Керуючий блок вмикає або вимикає освітлення залежно від умов.

До переваг такої конструкції автомата можна віднести:

- точність вимірювання — датчик можна встановити в оптимальному місці, де немає тіней, відблисків чи світла від штучних джерел;
- гнучкість монтажу — основний блок може бути розміщений у захищеному, зручному для обслуговування місці;
- менший вплив зовнішніх завад — фотоелемент не «осліплюється» світлом від самого освітлювального приладу, як це буває у вбудованих моделях;
- можливість прихованого монтажу керуючого блоку — зберігається естетика фасаду або інтер'єру.

Отже, автомати з виносним фотоелементом — це зручне і точне рішення для автоматизації освітлення у випадках, коли умови навколишнього середовища або розташування об'єкта вимагають гнучкого підходу до вимірювання рівня світла. Вони забезпечують вищу надійність і ефективність у порівнянні з моделями з вбудованими датчиками.

1.2.5 Автомати з астрономічним таймером

Автомати з астрономічним таймером (рис. 2.3) — це інтелектуальні електронні пристрої для автоматичного керування вуличним або зовнішнім освітленням, які вмикають і вимикають світло на основі астрономічних розрахунків сходу та заходу сонця залежно від географічного розташування і дати [6].



Рисунок 2.3 – Автомат з астрономічним таймером для вуличного освітлення
REV-225 [5]

У пам'ять мікроконтролера закладаються географічні координати місця встановлення (широта і довгота), поточна дата та час (з врахуванням сезонних змін, літнього/зимового часу),

Пристрій обчислює точний час сходу та заходу сонця на кожен день. Відповідно до цих обчислень автомат керує вмиканням і вимиканням освітлення без потреби у фотоелементах, в чому й полягає основна їх відмінність.

Переваги астрономічного таймера:

- висока точність — час вмикання/вимикання максимально наближений до природного циклу світлового дня;

- незалежність від зовнішніх умов — не впливає погода, тіні, штучне освітлення тощо;
- можливість гнучкого програмування — можна задати затримку ввімкнення (наприклад, +15 хв після заходу сонця) або обмежити години роботи;
- не потребує фотоелемента — що спрощує монтаж та зменшує ризик збоїв через забруднення або механічні пошкодження сенсора;
- зручне керування — зазвичай має дисплей і кнопки або можливість програмування через смартфон чи ПК.

Додаткові можливості сучасних автоматів – можливість підключення до систем «розумного будинку», віддалене керування через мережу GSM або Wi-Fi, збереження налаштувань при відключенні живлення, налаштування режимів «вихідного дня» або «відпустки», коли автомат не вмикається [7].

Таким чином, автомати з астрономічним таймером — це сучасне, точне та надійне рішення для автоматизації освітлення без використання фотоелементів. Вони ідеально підходять для тих випадків, коли потрібне енергоефективне та стабільне керування зовнішнім освітленням незалежно від погодних умов чи локальних джерел світла.

1.2.6 Вибір типу автомата

Для автоматичного керування вуличним освітленням зазвичай застосовуються два основні типи пристроїв. Перший тип – це сутінкові вимикачі, які реагують на рівень природного освітлення: вони вмикають світло в темну пору доби й вимикають його при достатньому денному світлі. Другий тип – програмовані таймери, що керують освітленням відповідно до заздалегідь заданого розкладу.

Кожен із цих варіантів має свої переваги та недоліки. Сутінкові вимикачі, у теорії, забезпечують найбільш адаптивне керування, автоматично підлаштовуючись під поточні умови. Наприклад, у ясну погоду світло ввімкнеться пізніше, ніж у похмуру, що дозволяє підтримувати оптимальний рівень

освітленості незалежно від погодних змін. При цьому різниця в часі вмикання/вимикання за різної погоди зазвичай не перевищує 7–10 хвилин.

Однак на практиці сутінкові вимикачі, як аналогові пристрої, чутливі до низки зовнішніх факторів, які можуть впливати на точність їхньої роботи. Зокрема, характеристика фоторезисторів (що використовуються як сенсори світла) значною мірою залежить від температури навколишнього середовища. Крім того, на точність вимірювання можуть впливати електромагнітні перешкоди та забруднення оптичного вікна датчика. Усе це призводить до помітного зниження точності їх спрацювання.

Із розвитком компактної обчислювальної техніки програмовані таймери почали поступово витіснятися більш сучасними пристроями — астрономічними таймерами (астротаймерами). Такі пристрої поєднують електронний годинник і мікроконтролер, у якому реалізовано алгоритм астрономічних розрахунків. На основі введених географічних координат таймер щодня розраховує точний час сходу й заходу сонця, формуючи відповідні сигнали для вмикання або вимикання освітлення. Обслуговування таких пристроїв мінімальне й, зазвичай, обмежується корекцією часу та періодичною заміною батареї резервного живлення раз на кілька років.

Отже, обираємо для розроблення автомат на основі астрономічного таймера.

1.3 Технічні вимоги та аналіз умов використання автомата

Астрономічний таймер класифікується як професійне стаціонарне електронне обладнання наземного типу. Відповідно до вимог нормативної документації (зокрема, державних стандартів України), за умовами експлуатації та категорією встановлення пристрій належить до групи 2, яка включає стаціонарні засоби, що призначені для роботи: на відкритому повітрі; у наземних або підземних неопалюваних приміщеннях і спорудах.

Це передбачає, що конструкція приладу повинна забезпечувати стійкість до дії зовнішніх кліматичних факторів, таких як: перепади температур; підвищена вологість; атмосферні опади (дощ, сніг); пил та ультрафіолетове випромінювання; можливі електромагнітні перешкоди.

Крім того, при проектуванні і монтажі пристрою слід враховувати категорію механічних впливів (удари, вібрації), а також ступінь захисту оболонки відповідно до класифікації IP (наприклад, не нижче IP65 для зовнішнього встановлення).

Аналіз умов експлуатації астрономічного таймера представлено в табл. 2.1, де вказані основні кліматичні та механічні впливи, що визначають вимоги до технічного виконання пристрою відповідно до ДСТУ EN IEC 60721-3-3:2022 [8].

У таблиці 2.1 наведено основні кліматичні, механічні та інші експлуатаційні фактори, що враховуються під час проектування та встановлення астрономічного таймера відповідно до вимог стандарту ДСТУ EN 60721 (IEC 60721-3-3). Пристрій класифікується як стаціонарне зовнішнє обладнання, що працює в умовах змінної температури, підвищеної вологості, дії атмосферних опадів, пилу, сонячного випромінювання та можливих електромагнітних і механічних впливів. Така класифікація визначає вимоги до ступеня захисту корпусу, матеріалів, герметизації, термостійкості та надійності в реальних умовах експлуатації.

Норми зовнішніх впливів [9] на апарат зведені до табл. 2.2.

Також слід визначити вимоги до електроживлення та надійності приладу.

Номінальна напруга живлення – астрономічний таймер повинен працювати від елемента живлення постійного струму $6...9\text{ В} \pm 10\%$.

Пристрій має бути енергоощадним – енергоспоживання не повинно перевищувати 5 Вт в робочому режимі. Це дозволяє використовувати його в автономних системах або з резервними джерелами живлення.

Пристрій має витримувати короточасні перенапруги (імпульси) до 300 В, згідно з категорією перенапруги CAT II або CAT III, визначеною стандартом IEC 60664-1:2020.

Таблиця 2.1 – Визначення умов експлуатації апарата

Параметр	Умовне позначення (ІЕС 60721-3-3)	Значення / Клас	Примітка
Категорія середовища	3K7	Помірний клімат, зовнішнє середовище	Відкритий простір, можливість потрапляння дощу, снігу, прямих сонячних променів
Температура середовища	-	від -40 °C до +50 °C	Граничні значення для зовнішнього монтажу
Вологість (відносна)	3K7	до 100 % (можлива конденсація)	Має враховуватись при виборі матеріалів та герметизації
Атмосферний тиск	3K7	від 70 до 106 кПа	Відповідає висоті до 3000 м над рівнем моря
Захист від води та пилу	IP65	Пилонепроникний, захист від водяних струменів	Залежить від корпусу пристрою
Сонячна радіація	3K7	до 1120 Вт/м ²	Ураховується нагрів корпусу пристрою на прямому сонці
Механічні впливи (вібрація/удари)	3M2	Помірні	Установлення в нерухомому положенні, відсутність сильної вібрації
Біологічні впливи (комахи, пліснява)	3B2	Можливі	Захист вентиляційних отворів та з'єднань
Хімічні впливи (зовнішні агресивні гази)	3C2	Слабкі	Можливе розташування поблизу проїжджої частини
Забруднення твердими частинками	3S2	Незначне пилове навантаження	Рекомендується періодичне обслуговування

Таблиця 2.2 – Нормування зовнішніх впливів на прилад

Вид дії	Норма
Міцність при транспортуванні: - тривалість імпульсу удару, мс - прискорення, g - число ударів, не менше	16 10 1000
Теплостійкість: - робоча температура, °C - гранична температура, °C	40 55
Холодостійкість: - робоча температура, °C - гранична температура, °C	- 10 - 40
Вологостійкість: - відносна вологість, % - температура, °C	93 25
Атмосферний тиск, кПа	70

Визначимо також вимоги до надійності приладу.

Середній напрацювання на відмову: для професійного обладнання очікуваний середній час напрацювання на відмову має становити не менше 50 000 годин (не менше 5 років безперервної експлуатації).

Термін служби пристрою: конструктивно та функціонально астрономічний таймер повинен мати ресурс не менше 10 років, з можливістю періодичної профілактики та заміни окремих вузлів (наприклад, батареї або реле).

Захист від короткого замикання та перевантаження: вихідні реле або транзисторні ключі повинні мати захист від короткого замикання, перевантаження та тепловий захист.

Максимальний комутований струм зазвичай обмежується на рівні 10–16 А при активному навантаженні.

Стійкість до зовнішніх впливів: надійність роботи пристрою має забезпечуватися в умовах дії атмосферного пилу та вологи (відповідність ступеню захисту IP65 або вище; вібрацій та механічних ударів (не нижче класу 3M2 за ІЕС 60721).

Захист від програмних збоїв: мікроконтролер повинен мати систему «Watchdog Timer», яка перезавантажує пристрій у разі зависання або помилок програмного забезпечення.

2 РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ АПАРАТА КЕРУВАННЯ ВУЛИЧНИМ ОСВІТЛЕННЯМ

2.1 Організація та структурна схема апарата

Апарат функціонує як ключ на основі інформації про астрономічний час в місці розташування приладу. Центральним елементом є мікроконтролер, який керує роботою приладу. Також прилад містить електронний годинник та блок живлення. Комутатор забезпечує зв'язок апарата з лінією освітлення. Для введення даних і керування роботою приладу передбачено блок користувача з невеликою клавіатурою. Для відображення інформації передбачений рідкокристалічний індикатор. Структурна схема апарата для керування вуличним освітленням представлена на рис. 2.1, а також у додатку.

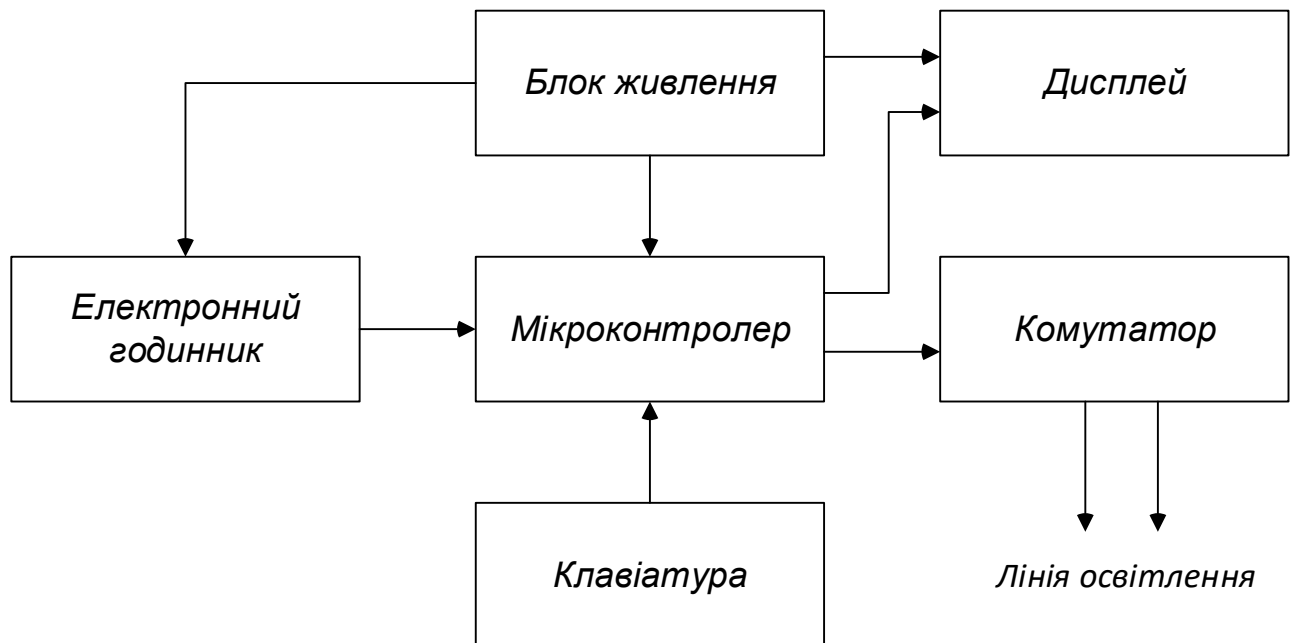


Рисунок 2.1 – Схема електрична структурна апарата керування вуличним освітленням на основі астрономічного таймера

2.2 Розроблення схеми електричної принципової

Основу автомата керування вуличним освітленням з астрономічним таймером становить мікроконтролер ATmega168PA-PU (DD2). Функцію ведення поточного часу виконує мікросхема реального часу DS1307N (DD1). Для індикації інформації про стан і параметри роботи пристрою застосовується рідкокристалічний індикатор HG1 з форматом відображення 2 рядки по 16 символів.

Яскравість підсвічування індикатора регулюється змінним резистором R12, а контрастність зображення налаштовується підлаштувальним резистором R8.

Введення даних користувачем здійснюється за допомогою кнопок SB1 – SB4. Мікроконтролер формує керуючий сигнал освітлення на виводі PD7: при високому логічному рівні подається команда на ввімкнення, при низькому – на вимкнення.

Цей сигнал подається на транзисторний ключ VT1, який керує роботою контактора KM1, що комутує живлення вуличного освітлення.

Сфера застосування описуваного пристрою є досить обширною. Він може ефективно керувати вуличним освітленням як у міських і сільських населених пунктах, так і на приватних присадибних територіях, де сумарна потужність світильників варіюється в широкому діапазоні — від кількох сотень ватів до десятків кіловат.

З огляду на таку варіативність, у межах цієї роботи конкретний перелік комутаційного обладнання (контакторів), сумісного з пристроєм, не розглядається, оскільки він надто широкий. У випадках, коли необхідно керувати потужним контактором, може виникнути потреба у використанні потужнішого або спеціалізованого транзистора замість VT1.

Для застосування на індивідуальних ділянках, де загальна потужність освітлювальних приладів зазвичай не перевищує кількох сотень ватів, замість електромагнітного контактора KM1 доцільно використати безконтактний симісторний комутатор. Його схема представлена на рисунку 2.2.

Характеристики джерела живлення для обмотки контактора визначаються типом обраного комутаційного елемента. Проте, слід враховувати, що напруга живлення контактора не повинна перевищувати 36 В (з урахуванням пульсацій), інакше може статися перевантаження або вихід з ладу транзистора VT1.

2.3 Організація роботи апарата керування вуличним освітленням на базі астрономічного таймера

Астрономічний таймер (астротаймер) являє собою електронний пристрій, що поєднує в собі модуль годинника реального часу та мікроконтролер, у якому реалізовано програму обчислення астрономічних параметрів. На основі заданих географічних координат місця встановлення мікроконтролер виконує обчислення положення світил, зокрема Сонця, і визначає моменти його сходу та заходу. Згідно з отриманими даними формується керуючий сигнал для автоматичного ввімкнення або вимкнення зовнішнього освітлення.

Обслуговування астротаймера мінімальне: періодична (зазвичай не частіше одного разу на кілька років) заміна резервної батареї живлення та корекція годинника, яка потрібна лише у разі відхилення ходу.

Точність роботи пристрою визначається ефективністю реалізованого програмного алгоритму астрономічних розрахунків. Для задач управління вуличним освітленням допускається похибка у межах $\pm 5\text{--}7$ хв, що є цілком прийнятним показником.

Описуваний пристрій автоматичного керування зовнішнім освітленням реалізовано на основі астрономічного таймера, що забезпечує адаптацію до сезонних змін тривалості світлового дня без залучення зовнішніх датчиків освітленості.

Основні технічні характеристики астрономічного таймера керування вуличним освітленням наведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики апарата

Параметр	Значення
Діапазон допустимих географічних координат місця встановлення	
— широта (північна), градусів	від 0 до 69.9
— довгота (східна), градусів	від 0 до 180
— точність задання координат, градусів	0.1
Похибка визначення моменту проходження Сонцем заданої точки небесної сфери, хв	не гірше ± 3
Номінальна напруга живлення, В	6.5 – 9
Споживаний струм, мА	не більше 60
Максимальна напруга в колі керування контактором, В	не більше 36
Максимальний струм керування контактором, А	до 3.6

Наведені характеристики свідчать про здатність пристрою працювати в широкому діапазоні географічних координат, з високою точністю розрахунків та помірним енергоспоживанням, що робить його придатним для застосування як у побутових, так і в комунальних системах автоматизованого керування вуличним освітленням.

Розроблена схема електрична принципова наведена у додатку.

2.4 Вибір конструкції друкованої плати

До матеріалу друкованої плати висуваються такі вимоги [9]:

- а) висока технологічність;
- б) високі електрофізичні властивості;
- в) можливість працювати в умовах вакууму;
- г) забезпечення високої адгезії.

Таким вимогам відповідає склотекстоліт СФ-2-35-1,5, параметри якого наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Параметри склотекстоліту фольгованого СФ-2-35-1,5

Параметр	Склотекстоліт
Густина без фольги, кг/м ³	1600...1900
Відносна діелектрична проникність	5...6
Питомий об'ємний опір, Ом·м	1014...1015
Діапазон робочих температур, °C	-60...+100
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·K)	0,34...0,74
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10 ⁻⁶ К ⁻¹	8...9

Товщина друкованої плати визначається характеристиками вихідного матеріалу і вибирається з урахуванням типу електронних компонентів та рівня механічних і термічних навантажень.

З огляду на широкий температурний діапазон експлуатації та низький температурний коефіцієнт лінійного розширення, як матеріал основи обрано склотекстоліт. Оскільки плата повинна витримувати механічне навантаження, прийнято товщину 1,5 мм. Враховуючи допустиме граничне відхилення товщини листа склотекстоліту $\pm 0,2$ мм, у якості матеріалу обрано фольгований двосторонній склотекстоліт марки СФ-2-35-1,5 згідно з чинними стандартами. Він має товщину фольги 35 мкм та загальну товщину матеріалу з фольгою 2 мм і призначений для виготовлення односторонніх і двосторонніх друкованих плат [9].

Враховуючи те, що крок координатної сітки становить 1,25 мм, а топологія плати є достатньо щільною, для цього виробу доцільно застосувати друковану плату 3-го класу точності.

Габаритні розміри друкованої плати пристрою автоматичного керування вуличним освітленням з астрономічним таймером становлять:

ширина — 60 мм;

довжина — 80 мм.

Конструктивні та експлуатаційні параметри елементної бази пристрою подано в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Параметри елементної бази, використаної при конструюванні
(в дужках вказано характеристики елементів, які встановлюються на корпус)

Назва елемента Тип корпусу мікросхем	Кіл., шт.	Конструктивні параметри				Допустимі умови експлуатації		
		Маса, г	Площа встанов., мм ²	Висота, мм	Діаметр виводу, мм	Макс. темп., °C	Частота вібрації, Гц	Струм споживан ня, mA
Батарейка								
CR2025	1	3,24	320	2,5	-	+60	20-100	-
Конденсатори								
K73-17	2	1,4	55	5	0,5	+125	1...80	10
1206-X7R	1	0,2	1,28	1,25	0,2	+125	15...200	10
Кварцовий резонатор								
DT-26	1	0,5	13	6,2	0,5	+70	20...300	10
Мікросхеми								
MCP1117ST 50T3G	1	1,2	78,5	3,6	0,5	+120	30...200	50
DS1307N	1	1,17	55	3	0,7	+120	40...330	20
ATmega168 PA-PU	1	3,8	68	2	0,7	+150	30...200	50
Резистори								
C1-4	7	0,24	7,7	1,6	0,6	+155	10...200	10
СПЗ-38а	1	1,5	114	12	0,7	+70	60...200	10
C2-23	3	0,15	8,6	1,6	0,5	+155	10...200	10
Транзистор								
IRLML0040	1	0,7	3,4	1	0,7	+125	30...200	25
Роз'єми								
PLS-2	6	0,8	21,5	8,54	0,64	+140	-	-
PLS-3	1	1,2	12,9	8,54	0,64	+140	-	-
PLS-10	1	4	43	8,54	0,64	+140	-	-
Кнопки								
PSW-4-R	4	(11)	(153)	(17)	0,5	+70	2...200	-
Перемикач								
MT1	1	(7,6)	(242)	(30)	0,7	+80	10...300	-
LSD дисплей								
WH1602B- YGH-CTK	1	(30)	(2880)	(13,2)	0,64	+50	10...600	40
Роз'єми								
PC-GM2.1	2	(6,96)	(1658)	(26)	2,0	+85	2...2500	-

2.5 Компонування автомату управління вуличним освітленням з астрономічним таймером

Компонування приладу — це процес визначення форми, основних габаритів, приблизної маси та розташування елементів пристрою відповідно до його функціональної схеми та призначення [9].

Результатом цього процесу є компоувальний ескіз, який дає загальне уявлення про головні конструктивні параметри радіоелектронного засобу. На наступних етапах проєктування ескіз уточнюється і трансформується спочатку в креслення загального вигляду, а потім — у складальне креслення.

Форма пристрою залежить від багатьох чинників, з яких основними є:

- умови встановлення приладу і спосіб його з'єднання з об'єктом;
- вимоги до простоти форми з метою максимально широкого використання стандартизованих елементів;
- традиційна форма радіоелектронного засобу такого ж типу, його відповідність експлуатаційному середовищу, сучасному дизайну, ергономічним і естетичним нормам.

Зовнішнє компоування визначається габаритними обмеженнями та необхідністю зручного розміщення органів керування і індикації на передній панелі для забезпечення комфортної роботи оператора.

Водночас зовнішнє компоування має бути тісно пов'язане з внутрішнім. Тому компоування приладу зазвичай виконується в такій послідовності:

- 1) вибір варіанту компоування передньої панелі;
- 2) визначення розташування вхідних і вихідних сигналів;
- 3) розробка внутрішнього компоування.

Якщо жоден із варіантів не відповідає вимогам технічного завдання, здійснюється повторне компоування передньої панелі.

2.5.1 Розроблення варіантів конструкції

У процесі проєктування особливо важливо правильно обрати конструкцію блоку, матеріали для виготовлення деталей, а також визначити їх форму та розміри.

Згідно з класифікацією типових структур сучасних радіоелектронних апаратів, пристрій належить до другого структурного рівня. Це означає, що він містить компоненти нульового рівня, які реалізують завершені функції прийому, передачі або перетворення сигналів, і монтуються на базовій конструкції другого рівня. Такі компоненти мають властивості конструктивної взаємозамінності.

Корпус блоку повинен відповідати високим вимогам:

- 1) забезпечувати жорстке закріплення друкованих плат і надійне з'єднання їхніх виводів через спеціальні переходи для підключення до зовнішніх кіл;
- 2) надійно захищати плати й електрорадіоелементи від впливу навколишнього середовища (механічного, кліматичного тощо);
- 3) бути зручним у виготовленні, економічно доцільним, полегшувати монтаж, контроль, налагодження, ремонт, а також відповідати вимогам ергономіки та естетики.

Отже, на початковому етапі проєктування необхідно обрати матеріал для базової конструкції та корпусу пристрою.

Беручи до уваги умови експлуатації, вимоги до маси, габаритів і вартості, для обох варіантів проєкту корпус виготовлено з пластмаси — полістиролу.

Нижче буде розглянуто два варіанти компоновання цього пристрою.

Варіант перший.

У цьому варіанті друкована плата встановлюється горизонтально в корпусі з полістиролу, який виготовлений із пластмаси. Плата кріпиться до основи корпусу за допомогою спеціальних болтів (рис. 2.3).

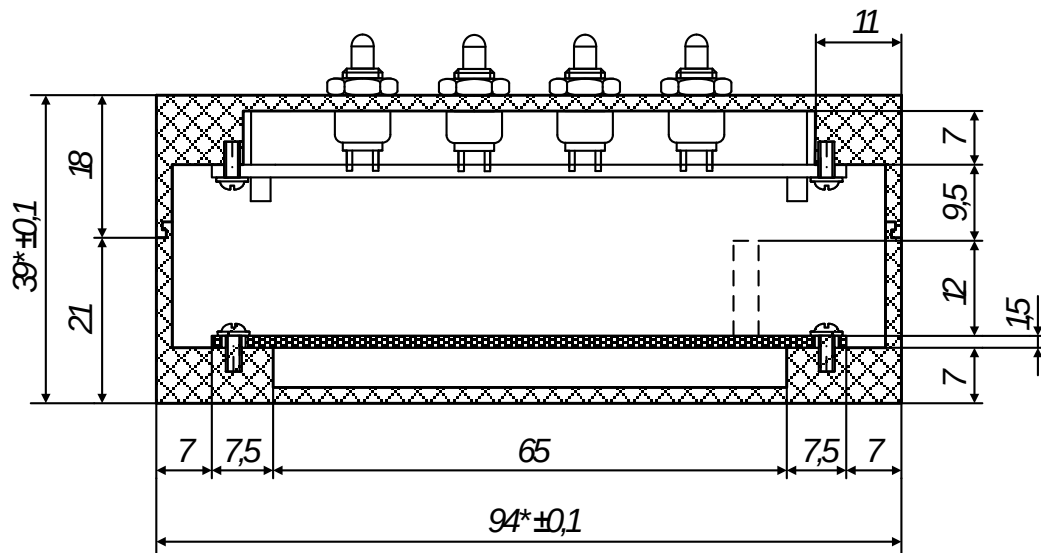


Рисунок 2.3 – Компонування пристрою. Варіант перший

Щоб зменшити витрати матеріалу та скоротити кількість технологічних операцій, кришка пристрою фіксується засувками, які є інтегрованими литими елементами. Вони закриваються при прикладанні незначного зусилля, що забезпечує простоту монтажу. Конструкція пристрою спроектована з акцентом на компактність, цілісність і простоту складання.

Кріплення друкованої плати здійснюється за допомогою гвинтів до пластмасових виступів, які є частиною корпусу й формуються під час лиття. Такий підхід дозволяє мінімізувати кількість операцій при збиранні.

На верхній панелі корпусу розміщено LCD-дисплей WH1602B-YGH-CTK та чотири тактові кнопки для керування.

На задній панелі встановлено два роз'єми типу PC-GM2.1:

перший, з маркуванням «K», призначений для підключення контактора;

другий, з позначенням «+5 В», використовується для живлення пристрою.

Також на задній частині корпусу знаходиться перемикач MT1, за допомогою якого можна у будь-який момент увімкнути освітлення в ручному режимі.

Варіант другий.

У цьому рішенні передбачено вертикальне розміщення друкованої плати всередині пластикового корпусу з полістиролу. Плата фіксується до основи корпусу за допомогою спеціальних кріпильних елементів (рис. 2.4).

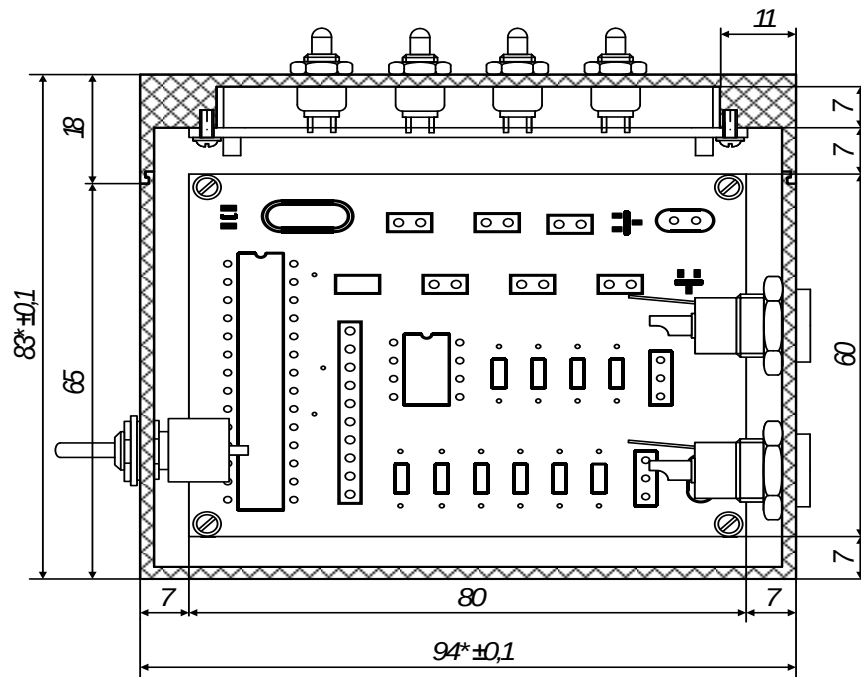


Рисунок 2.4 – Компонування пристрою. Варіант другий

Як і в попередньому варіанті, друкована плата закріплюється гвинтами на пластмасових виступах, які формуються одночасно з корпусом шляхом лиття. Це рішення дозволяє зменшити кількість технологічних операцій при збиранні.

На верхній лицьовій панелі розташовано LCD-дисплей та чотири тактові кнопки, що кріпляться безпосередньо до верхньої кришки. Такий підхід дозволяє заощадити місце на друкованій платі та спростити технологію складання.

Два роз'єми типу PC-GM2.1 розміщені на бічній панелі, а на протилежному боці корпусу розташований перемикач MT1.

Як і в першому варіанті, кришка корпусу фіксується засувками, які є литими елементами конструкції та дозволяють швидко закріпити кришку при прикладенні невеликого зусилля. Загальна конструкція пристрою орієнтована на простоту, компактність і монолітність.

Однак ця конфігурація має певні недоліки:

- менш надійне кріплення плати у вертикальному положенні;
- зниження стійкості пристрою на нерівних поверхнях;
- збільшення кількості складальних операцій;

збільшення габаритного об'єму пристрою, що, відповідно, підвищує його вартість.

У подальшому буде проведено порівняльний аналіз обох варіантів компонування. Оцінюватимуться маса, розміри, надійність та інші ключові показники, що дозволить обрати найбільш оптимальний варіант відповідно до вимог технічного завдання.

2.5.2 Визначення габаритних розмірів приладу

Геометричні розміри друкованої плати складають 60x80 мм. Таким чином, площа плати дорівнює 4800 мм².

Висота корпусу приладу залежить від висоти найвищого елемента на платі, а також особливостей конструкції апарата. В нашому випадку на платі пристрою найвищим елементом є кварцовий резонатор: $h_{max.} = 12$ мм.

Габаритні розміри пристрою, реалізованого за першим варіантом компонування, визначаються таким чином.

Ширина корпусу обирається з урахуванням ширини друкованої плати.

Внутрішній об'єм корпусу розраховується, виходячи з простору, необхідного для розміщення самої плати з радіoeлементами, а також додаткових елементів, встановлених на корпусі. До цього об'єму додається певний резерв для забезпечення зручності монтажу та експлуатації.

За результатами розрахунків для першого варіанту компонування отримано такі внутрішні розміри корпусу:

а) висота $h_{вн.} = 5 + 1,5 + 12 + 16,5 = 35$ мм;

б) довжина $a_{вн.} = 5 + 80 + 5 = 90$ мм;

в) ширина $b_{вн.} = 5 + 60 + 27 = 92$ мм.

Зовнішні габаритні розміри (з урахуванням товщини стінок корпусу) склали:

- а) висота $h_{\text{зовн.}} = h_{\text{вн.}} + t_{\text{стінки1}} + t_{\text{стінки2}} = 35 + 2 + 2 = 39 \text{ мм};$
 б) довжина $a_{\text{зовн.}} = a_{\text{вн.}} + t_{\text{стінки1}} + t_{\text{стінки2}} = 90 + 2 + 2 = 94 \text{ мм};$
 в) ширина $b_{\text{зовн.}} = b_{\text{вн.}} + t_{\text{стінки1}} + t_{\text{стінки2}} = 92 + 2 + 2 = 96 \text{ мм}.$

Тепер можна розрахувати об'єм корпусу:

$$V_{\text{корп.}} = V_{\text{зовн.}} = 3,9 \cdot 9,4 \cdot 9,6 = 351,94 \text{ (см}^3\text{)}.$$

Об'єм пристрою:

$$V_{\text{пристр.}}^I = V_{\text{корп.}} = 351,94 \text{ (см}^3\text{)}.$$

Для другого варіанту компоновання апарата необхідно врахувати, що ширина LCD-дисплею складає 36 мм, а ширина тактових кнопок клавіатури 9 мм, тому отримаємо такі результати. Внутрішні габарити:

- а) висота $h_{\text{вн.}} = 5 + 60 + 14 = 79 \text{ мм};$
 б) довжина $a_{\text{вн.}} = 5 + 80 + 5 = 90 \text{ мм};$
 в) ширина $b_{\text{вн.}} = 5 + 36 + 5 + 9 + 5 = 60 \text{ мм}.$

Зовнішні габаритні розміри (з урахуванням товщини стінок корпусу):

- а) висота $h_{\text{зовн.}} = h_{\text{вн.}} + t_{\text{стінки1}} + t_{\text{стінки2}} = 79 + 2 + 2 = 83 \text{ мм};$
 б) довжина $a_{\text{зовн.}} = a_{\text{вн.}} + t_{\text{стінки1}} + t_{\text{стінки2}} = 90 + 2 + 2 = 94 \text{ мм};$
 в) ширина $b_{\text{зовн.}} = b_{\text{вн.}} + t_{\text{стінки1}} + t_{\text{стінки2}} = 60 + 2 + 2 = 64 \text{ мм}.$

Об'єм корпусу:

$$V_{\text{корп.}} = V_{\text{зовн.}} = 8,3 \cdot 9,4 \cdot 6,4 = 499,33 \text{ (см}^3\text{)}.$$

Об'єм пристрою:

$$V_{\text{пристр.}}^{II} = V_{\text{корп.}} = 499,33 \text{ (см}^3\text{)}.$$

2.5.3 Розрахунок маси апарата

Перш за все, розрахуємо об'єм плати:

$$V_{\text{пл.}} = S_{\text{пл.}} \cdot h; \quad (2.1)$$

$$V_{\text{пл.}} = 48 \cdot 0,15 = 7,2 \text{ (см}^3\text{)}.$$

Тоді маса плати: складе

$$m_{\text{пл.}} = \rho \cdot V_{\text{пл.}}; \quad (2.2)$$

$$m_{\text{пл.}} = 1,6 \cdot 7,2 = 11,52 \text{ (г)};$$

де ρ – густина склотекстоліту, $\rho = 1,6 \text{ г/см}^3$ [9].

Маса елементів, що розташовані на платі: $m_{\text{ел.}}^{\text{пл.}} = 27,24 \text{ (г)}$, (див. табл. 2.3).

Маса елементів, що розташовані на корпусі: $m_{\text{ел.}}^{\text{корп.}} = 95,52 \text{ (г)}$, (див. табл. 2.3).

Сумарна маса усіх елементів:

$$m_{\text{ел.}} = m_{\text{ел.}}^{\text{пл.}} + m_{\text{ел.}}^{\text{корп.}}; \quad (2.3)$$

$$m_{\text{ел.}} = 27,24 + 95,52 = 122,76 \text{ (г)}.$$

Маса пристрою складається із маси корпусу, плати і елементів.

Для першого варіанту:

Маса корпусу:

$$m_{\text{корп.1}} = (V_{\text{зовн.1}} - V_{\text{вн.1}}) \cdot \rho_{\text{пол.}}, \quad (2.4)$$

де $\rho_{\text{пол.}} = 1,05 \text{ г/см}^3$ – густина полістиролу [15].

$$m_{\text{корп.1}} = (351,94 - (3,5 \cdot 9,0 \cdot 9,2)) \cdot 1,05 = 65,25 \text{ (г)}.$$

Тоді маса пристрою складе:

$$m_{\text{прист.1}} = 122,76 + 11,52 + 65,25 = 199,53 \text{ (г)}.$$

Для другого варіанту:

Маса корпусу:

$$m_{\text{корп.2}} = (V_{\text{зовн.2}} - V_{\text{вн.2}}) \cdot \rho_{\text{пол.}}; \quad (2.5)$$

$$m_{\text{корп.2}} = (499,33 - (7,9 \cdot 9,0 \cdot 6,0)) \cdot 1,05 = 76,4 \text{ (г)}.$$

Маса пристрою:

$$m_{\text{прист.2}} = 122,76 + 11,52 + 76,4 = 210,68 \text{ (г)}.$$

2.5.4 Розрахунок надійності апарата

Досягти абсолютної надійності технічних пристроїв у принципі неможливо, однак забезпечити максимально високі показники надійності відповідно до сучасного рівня технічного розвитку — цілком реально. Це є одним із ключових науково-технічних завдань.

Підвищення надійності електронної апаратури (ЕА) насамперед досягається шляхом усунення причин, що призводять до відмов, тобто мінімізації або повного усунення конструкторських, технологічних і експлуатаційних помилок. При цьому вплив різних видів помилок на загальний рівень надійності є нерівнозначним, і можливості щодо їх усунення також різняться.

Надійність — це властивість пристрою виконувати задані функції в обумовлених умовах експлуатації, зберігаючи при цьому встановлені значення основних характеристик у межах нормативів протягом визначеного часу [10]. Це включає умови використання, технічного обслуговування, ремонту, зберігання і транспортування.

Розрахунок надійності пристрою полягає у визначенні відповідних показників, ґрунтуючись на надійності складових компонентів і умовах їх експлуатації. Основним вихідним параметром у такому розрахунку є інтенсивність відмов радіоелементів за нормальних умов.

У складі даного автомата керування вуличним освітленням з астрономічним таймером налічується 35 елементів, кожен з яких може потенційно спричинити відмову всього пристрою.

Отже, необхідно провести розрахунок надійності пристрою з урахуванням усіх елементів.

Слід зазначити, що інтенсивність відмов значною мірою залежить від режиму роботи компонентів та умов навколишнього середовища. У загальному випадку цей показник визначається за наступною формулою:

$$\lambda = \lambda_0 k_1 k_2 k_3 k_4, \quad (2.6)$$

де λ_0 — інтенсивність відмов за нормальних умов експлуатації (температурі навколишнього середовища $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, атмосферного тиску (100 ± 4) Па, відносній вологості повітря $(65 \pm 15)\%$, природному фоні радіації, коефіцієнті еклєктичного навантаження $K_n = 1$); k_i — непостійні коефіцієнти, що враховують режим експлуатації ЕА: k_1 — враховує вплив механічних факторів (вібрацій та

ударів), k_2 – вплив вологості та температури повітря, k_3 – вплив тиску (висоти над рівнем моря), $k_4 = f(K_H)$ враховує вплив коефіцієнта електричного навантаження K_H .

Добуток всіх коефіцієнтів $k_\lambda = k_1 k_2 k_3 k_4$ завжди більший одиниці. Це показує той факт, що при експлуатації ЕА в реальних умовах відмов в ній може бути в десятки разів більше, ніж при експлуатації в лабораторних умовах.

У випадках, коли точне врахування впливу всіх факторів умов експлуатації є неможливим через відсутність таких даних або є недоцільним, використовується узагальнений коефіцієнт експлуатації K_e , який наближено враховує зниження надійності виробів в певних умовах експлуатації (в наземних спорудах, на борту літака тощо) в порівнянні з нормальними (лабораторними) умовами експлуатації. Деякі значення коефіцієнта K_e наведені у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Коефіцієнт K_e для різних умов експлуатації [10]

Умови експлуатації ЕА	Узагальнений коефіцієнт K_e
Лабораторні (нормальні умови)	1
Приміщення з регульованою температурою і вологістю	1,1
Стаціонарні наземні умови	2,5
Польова рухома апаратура (в т.ч. переносна)	4,0
Бортова літакова	13

У даному випадку повне врахування впливу всіх факторів умов експлуатації є неможливим через відсутність таких даних, тому використаємо узагальнений коефіцієнт експлуатації K_e , який наближено враховує зниження надійності виробів в деяких узагальнених умовах експлуатації. Так як, автомат управління вуличним освітленням з астрономічним таймером відноситься до стаціонарної апаратури, то $K_e = 2,5$ (див. табл. 2.4).

Даний автомат управління вуличним освітленням з астрономічним таймером має елементи, які можуть виявитись причиною відмови всього

пристрою в цілому. Тому необхідно розрахувати надійність даного пристрою, враховуючи всі елементи. Для зручності розрахунків всі елементи занесені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Дані для розрахунку надійності

Назва елементів	Кількість елементів	Інтенсивність відмов год. ⁻¹	Робоча температура	Виправлений коефіцієнт	Інтенсивність відмови групи год. ⁻¹
Позначення елементів	n_i	$\lambda_i \cdot 10^{-6}$	°C	a	$\lambda_{гр} \cdot 10^{-6}$
Кварцовий резонатор	1	1,9	70	2,5	4,75
Керамічні конденсатори	3	0,07	125	2,5	0,525
Резистори	10	0,03	155	2,5	0,75
Змінний резистор	1	0,2	70	2,5	0,5
Цифрові ІС	1	1,0	85	2,5	2,5
Аналогові ІС	1	2,3	125	2,5	5,75
Процесор	1	0,8	70	2,5	2
Роз'єми Д.М.*	8	0,08	140	2,5	1,6
Кнопки	4	0,17	55	2,5	1,7
Перемикач	1	0,4	80	2,5	1
Роз'єми	2	0,12	85	2,5	0,6
Батарейка	1	1	60	2,5	2,5
LCD дисплей	1	1,0	70	2,5	2,5
Друкована плата	1	1,0	80	2,5	2,5
Пайки	127	0,0008	40	2,5	0,254
$\lambda_{ср}$					29,43

* роз'єми Д.М. – з'єднання для друкованого монтажу

Інтенсивність відмов всієї системи вираховується за формулою:

$$\lambda_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^m a_i n_i \lambda_{pi}, \quad (2.7)$$

$$\lambda_{\text{ср}} = 29,43 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

де a_i – коефіцієнт впливів зовнішнього середовища; n_i – число елементів в групі; λ_{pi} – інтенсивність відмов; m – кількість однакових елементів.

Час роботи визначається за формулою:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda_{\text{ср}}} = \frac{1}{29,43 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}} = 3,398 \cdot 10^4 \text{ год.}$$

У результаті проведених розрахунків було отримано значення середнього напрацювання на відмову, яке становить 33 980 годин, що є доволі високим показником.

З урахуванням того, що в одному році 8 760 годин, можна стверджувати, що пристрій здатний безперервно функціонувати понад 3,5 роки.

Далі розрахуємо ймовірність безвідмовної роботи пристрою у будь-який момент часу та побудуємо графік залежності $P(t)$ — імовірності відмови від часу (рис. 2.5).

Ця залежність визначається за наступною формулою:

$$P(t) = e^{-\lambda_{\Sigma} t}, \quad (2.8)$$

При чому, якщо $\lambda_{\Sigma} t < 0,1$ то з достатнім ступенем точності можна вважати $P(t) = 1 - \lambda_{\Sigma} t$, де t – час випробувань; e – основа натурального логарифма [10].

Результати випробувань заносимо у таблицю 2.6.

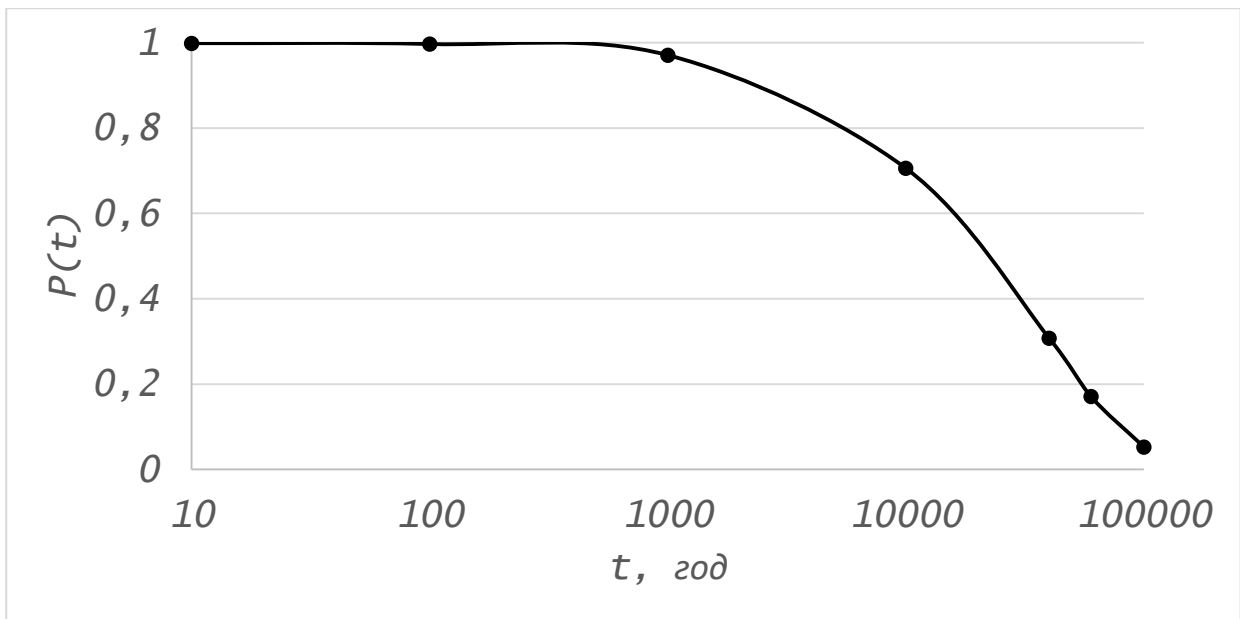


Рисунок 2.5 – Графік розрахункової залежності ймовірності безвідмовної роботи апарата управління вуличним освітленням від часу t

Таблиця 2.6 – Результати розрахунку надійності

№/n	t	$\lambda_{\text{п}} t$	$P(t)$
1	10^1	$29,43 \cdot 10^{-5}$	0,999
2	10^2	$29,43 \cdot 10^{-4}$	0,997
3	10^3	$29,43 \cdot 10^{-3}$	0,971
4	10^4	$29,43 \cdot 10^{-2}$	0,706
5	$4 \cdot 10^4$	$208,56 \cdot 10^{-2}$	0,308
6	$6 \cdot 10^4$	$312,84 \cdot 10^{-2}$	0,171
7	10^5	5,214	0,053

Графік залежності $P(t)$ можна використовувати і для оцінювання гарантійного терміну служби апарата. Для цього слід розрахувати час, при якому $P(t) = 0,7$:

$$t_{\text{гр.т.с.}} = 1,02 \cdot 10^4 \text{ год.}$$

Таким чином, гарантійний термін служби складає 14 місяців безперервної роботи.

2.5.5 Визначення оптимального варіанту конструкції апарата

Оптимальну конструкцію корпусу доцільно визначати на основі комплексного показника ефективності. Для цього необхідно обрати ключові параметри, які мають найбільше значення для конкретного застосування. У даному випадку такими пріоритетними критеріями є:

- об'єм пристрою,
- маса,
- інтенсивність відмов.

У якості вихідних даних використаємо результати попередніх розрахунків, наведених у таблиці 2.7.

Таблиця 3.6 – Характеристики варіантів конструкції

Параметр	Варіант конструкції	
	I	II
Об'єм V , см ³	351,94	499,33
Маса m , г	199,53	210,68
Інтенсивність відмов λ , год. ⁻¹	$29,43 \cdot 10^{-6}$	$29,43 \cdot 10^{-6}$

Комплексний показник якості конструкції розраховується за формулою [9]:

$$K = \varphi_1 \left(\frac{V}{V_{T3}} \right) + \varphi_2 \left(\frac{m}{m_{T3}} \right) + \varphi_3 \left(\frac{\lambda}{\lambda_{T3}} \right), \quad (2.9)$$

де $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – вагові коефіцієнти, значення яких приймаються в залежності від їх значення; m – маса пристрою; V – об'єм пристрою; λ – інтенсивність відмов

пристрою; $V_{\text{ТЗ}}$, $m_{\text{ТЗ}}$, $\lambda_{\text{ТЗ}}$ – об'єм, маса та інтенсивність відмов пристрою, що визначені згідно технічного завдання.

Згідно технічного завдання: $V_{\text{ТЗ}} = 500 \text{ (см}^3\text{)}$, $m_{\text{ТЗ}} = 215 \text{ (г)}$, $\lambda_{\text{ТЗ}} = 30 \cdot 10^{-6} \text{ год.}^{-1}$.

Вагові коефіцієнти були визначені, виходячи з максимальних вимог до об'єму і надійності апарату:

$$\varphi_1 = 1, \varphi_2 = 0,9, \varphi_3 = 1 \quad (2.10)$$

Оскільки автомат керування вуличним освітленням з астрономічним таймером належить до стаціонарної апаратури, то до нього висуваються першочергові вимоги щодо компактності габаритів і високої надійності.

На основі формули (2.9) виконаємо обчислення комплексного показника ефективності конструкції для першого варіанту компоновання пристрою:

$$K_1 = 1 \left(\frac{351,94}{500} \right) + 0,9 \left(\frac{199,53}{215} \right) + 1 \left(\frac{29,43 \cdot 10^{-6}}{30 \cdot 10^{-6}} \right) = 2,52.$$

Для другого варіанту компоновання:

$$K_2 = 1 \left(\frac{499,33}{500} \right) + 0,9 \left(\frac{210,68}{215} \right) + 1 \left(\frac{29,43 \cdot 10^{-6}}{30 \cdot 10^{-6}} \right) = 2,86.$$

Оптимальним варіантом конструкції вважається той, який має найнижче значення комплексного показника [9]. Порівняння двох варіантів конструкції корпусу показало, що перший варіант — з горизонтальним розташуванням друкованої плати в пластмасовому корпусі з полістиролу, де плата закріплена до основи корпусу спеціальними кріпильними болтами — має менший комплексний показник, який дорівнює 2,52.

Таким чином, перший варіант конструкції корпусу є оптимальним.

Кресленики друкованої плати наведені у додатку до роботи.

2.6 Конструювання лицьової панелі апарата

Для вирішення завдання з оформлення зовнішнього вигляду пристрою та створення його передньої панелі художник-конструктор використовує графічні редактори — як растрові, так і векторні. Одним із найпростіших у використанні засобів для створення передніх панелей є растрова програма Microsoft Visio.

Microsoft Visio — це універсальний інструмент для створення креслень і діаграм, що підходить для широкого кола користувачів, яким потрібно візуалізувати процеси, структури чи інфраструктури. Наприклад, Visio стане у пригоді IT-фахівцям при розробці систем, проектуванні додатків, плануванні простору, усуненні неполадок, технічному обслуговуванні, підтримці IT-інфраструктури та моделюванні бізнес-процесів.

Програма дозволяє легко створювати графічні діаграми та працювати з даними без потреби в спеціальних художніх або інженерних навичках. Завдяки великій бібліотеці готових фігур можна швидко зібрати організаційну, мережеву чи процесну схему.

Однією з переваг Visio є зручність роботи з документами різного формату. Це дає змогу створювати як компактні ілюстрації для текстових звітів, так і великоформатні креслення — від аркушів формату A4 до постерів A1. При потребі великі схеми можна автоматично розбити на частини, зручні для друку на стандартному принтері. А за наявності широкоформатного обладнання (наприклад, плот ера), креслення можна друкувати на великих аркушах без розбиття.

Корпус автомата керування вуличним освітленням з астрономічним таймером має форму прямокутного паралелепіпеда, яка вирізняється простотою та чіткістю. В його зовнішньому оформленні відсутні зайві деталі, що могли б порушити гармонійність форми.

Для зменшення витрати матеріалу та спрощення виробничого процесу, верхня кришка пристрою фіксується за допомогою вбудованих засувки —

конструктивних елементів самої кришки, які не впливають на зовнішню естетику. Вони дозволяють легко закривати кришку при прикладенні помірною зусилля.

Корпус пристрою виготовляється в сірому кольорі, що дозволяє уникнути додаткової обробки для забезпечення належних ергономічних характеристик.

На лицьовій панелі розміщено чотири кнопки з позначеннями: «+», «-», «Мин.», «Наст.». Їхні розміри відповідають анатомічним особливостям середньостатистичного користувача, що забезпечує комфорт у користуванні.

Також на передній панелі знаходиться рідкокристалічний дисплей та напис «Автомат управління вуличним освітленням з астрономічним таймером», який дозволяє чітко ідентифікувати пристрій серед аналогічних за зовнішнім виглядом приладів.

На тильній частині корпусу розташовані два роз'єми типу PC-GM2.1. Один з них, з маркуванням «K», призначений для підключення контактора. Інший, з написом «+5 В», — для подачі живлення на пристрій.

Крім того, на задній панелі знаходиться перемикач MT1, який дає змогу в будь-який момент вручну увімкнути освітлення.

Усі елементи, розташовані на передній та задній панелях, мають зрозумілі текстові позначення, що пояснюють їх функціональне призначення. Чорний колір маркування контрастує із сірим корпусом, що забезпечує зручність візуального сприйняття.

Ескіз передньої панелі пристрою наведено в Додатку А.

3 АЛГОРИТМ КЕРУВАННЯ ВУЛИЧНИМ ОСВІТЛЕННЯМ

3.1 Аналіз джерел освітлення

Зовнішнє штучне освітлення міста виконує одночасно естетичну, екологічну та економічну функції, оскільки є важливою складовою благоустрою та архітектурно-художнього вигляду міського простору. Світловий комфорт у нічний час забезпечується завдяки правильно підібраним параметрам штучного освітлення, що регламентуються відповідними нормами.

Для міського освітлення встановлюється нормована величина — яскравість або освітленість дорожніх поверхонь. Норми регулюють допустимі значення яскравості (освітленості) покриттів вулиць залежно від інтенсивності руху транспорту, а також визначають допустимий рівень нерівномірності розподілу світла уздовж і поперек дороги. Крім того, встановлюються граничні показники сліпучого ефекту світильників [11]. Ці обмеження визначають якість освітлення як з технічної, так і з експлуатаційної точки зору.

Оскільки зовнішнє освітлення є частиною життєвого середовища міських мешканців, воно безпосередньо впливає на їхнє щоденне життя. В залежності від характеристик освітлювальних пристроїв, освітлення може мати як позитивний, так і негативний вплив на якість життя населення та навколишнє середовище. Одним із негативних аспектів є так зване «світлове забруднення» міського простору.

Світловим забрудненням називають явище, коли освітлювальні прилади, крім освітлення призначених зон, також випромінюють світло у суміжні, небажані території [12]. Наприклад, вуличні світильники або освітлювальні пристрої спортивних комплексів, площ і архітектурних споруд можуть висвітлювати фасади сусідніх будинків і житлові вікна, що порушує спокій мешканців. У рекомендаціях Міжнародної комісії з освітлення (МКО) передбачені обмеження по рівнях вертикальної освітленості, яку створюють вуличні та архітектурні

світильники і яка проникає у житлові приміщення через вікна. Ці вимоги також враховані у чинних в Україні нормах природного і штучного освітлення [13].

Розсіяне світло від світильників негативно впливає на довкілля, створюючи дискомфорт для мешканців міста та забруднюючи нічне небо через часткове спрямування світлового потоку у верхню півсферу. Цей «світловий покрив» над містом ускладнює роботу, наприклад, астрономам і пілотам, а також свідчить про значні витрати електроенергії на зовнішнє освітлення.

Освітлювальні пристрої суттєво впливають на вигляд міста у нічний та денний час. Вночі підсвічування будівель, архітектурних ансамблів і пам'ятників покращує їхній естетичний вигляд і сприяє кращому сприйняттю. Зовнішнє освітлення — чи то площ, пішохідних зон, чи зон відпочинку і розваг — позитивно впливає на відчуття безпеки і свободи мешканців [14].

3.2 Вимоги до вуличного освітлення

Освітлювальні прилади зовнішнього освітлення (світильники, прожектори) можуть встановлюватися на спеціально призначених опорах, а також на опорах повітряних ліній до 1 кВ, опорах контактної мережі міського електротранспорту з усіма видами струму напругою до 600 В, на стінах і перекриттях будівель і споруд, щоглах (включно з окремо розташованими щоглами блискавковідводів), технологічних естакадах, майданчиках технологічних установок, димових трубах, парапетах і огороженнях мостів та транспортних естакад, а також на металевих, залізобетонних і інших конструкціях будівель і споруд незалежно від їхнього розташування [16]. Світильники можуть кріпитися на тросах, закріплених на стінах будівель і опорах, а також встановлюватися на рівні землі чи нижче.

Встановлення світильників зовнішнього освітлення на опорах повітряних ліній (ПЛ) до 1 кВ рекомендується проводити з урахуванням таких вимог[17]/

Якщо обслуговування світильників здійснюється з телескопічних вишок з ізолювальною ланкою, світильники слід розміщувати зазвичай вище проводів ПЛ або на рівні нижчих проводів у випадку, коли світильники і проводи знаходяться

з різних сторін опори. Горизонтальна відстань від світильника до найближчого проводу ПЛ має бути не менше 0,6 м;

Якщо обслуговування світильників здійснюється з використанням інших засобів, світильники слід розташовувати нижче проводів ПЛ. Вертикальна відстань від світильника до проводу ПЛ у просвітлі має бути не менше 0,2 м, а горизонтальна відстань від світильника до опори в просвітлі — не більше 0,4 м [11].

Під час підвішування світильників на тросах необхідно вживати заходів для запобігання їх коливанням під впливом вітру.

Світильники над проїзною частиною вулиць, доріг і площ мають встановлюватися на висоті не менше 6,5 м [16].

Над контактною мережею трамваїв світильники слід монтувати на висоті не менше 8 м від рівня головки рейки, а над контактною мережею тролейбусів — не менше ніж 9 м від рівня проїзної частини. Відстань від проводів ліній вуличного освітлення до поперечок контактної мережі або підвішених до них ілюмінаційних гірлянд має бути не менше 0,5 м.

Для освітлення бульварів та пішохідних доріжок світильники слід розміщувати на висоті не менше 3 м.

Встановлення освітлювальних приладів у заглибленнях нижче рівня землі допускається лише за умови наявності дренажних або аналогічних систем для відведення води.

Світильники для освітлення транспортних розв'язок, міських та інших площ рекомендується встановлювати на опорах висотою 20 м і більше, за умови забезпечення гарантій безпечного обслуговування (наприклад, через опускання світильників, облаштування спеціальних майданчиків, використання вишок тощо) [17].

Світильники допускається розміщувати в парапетах і огороженнях мостів та естакад, виготовлених із негорючих матеріалів, на висоті від 0,9 до 1,3 м над проїзною частиною, за умови їх захисту від дотику до струмопровідних дротів [18].

Опори для освітлення площ, вулиць і доріг рекомендується встановлювати на відстані не менше 1 м від лицьової грані бортового каменю до зовнішньої поверхні цоколю опори на магістральних вулицях та дорогах із інтенсивним рухом, та не менше 0,6 м — на інших вулицях. Цю відстань можна зменшити до 0,3 м, якщо відсутній міський транспорт і вантажний рух. У разі відсутності бортового каменю, відстань від краю проїзної частини до зовнішньої поверхні цоколю опори має бути не меншою за 1,75 м [19].

На територіях промислових підприємств відстань від опори зовнішнього освітлення до проїзної частини повинна становити не менше 1 м, з можливістю зменшення до 0,6 м [17].

Опори освітлення вулиць і доріг із розподільними смугами шириною 4 м і більше слід встановлювати по центру таких смуг.

На вулицях і дорогах із кюветами дозволяється розміщувати опори за межами кювету, якщо відстань від опори до найближчої межі проїзної частини не перевищує 4 м [16].

Опори не повинні розміщуватися між пожежним гідрантом і проїзною частиною.

Опори на перехрестях вулиць і доріг слід встановлювати не ближче ніж 1,5 м від початку закруглення тротуарів, не порушуючи при цьому ліній розміщення опор.

Опори зовнішнього освітлення інженерних споруд — мостів, шляхопроводів, транспортних естакад тощо — потрібно монтувати у сталевих станинах або фланцях, які кріпляться до конструкцій споруди. Опори для світильників освітлення пішохідних доріг слід розміщувати поза межами пішохідної частини [20].

Світильники на вулицях і дорогах з рядним насадженням дерев необхідно встановлювати на подовжених кронштейнах, спрямованих у бік проїзної частини, подалі від крон дерев, або ж використовувати тросове підвішування світильників [13].

3.3 Джерела освітлення

Станом на сьогодні в системах зовнішнього освітлення застосовуються різні типи ламп: світлодіодні лампи та матриці, дугові ртутні люмінесцентні лампи типу ДРЛ (які поступово виводяться з експлуатації), натрієві лампи високого тиску ДНаТ, металогалогенні лампи ДРИ, а також лампи розжарювання. В установках архітектурного освітлення іноді використовують натрієві лампи низького тиску ДНаО.

Для освітлення відкритих просторів застосовують ксенонові лампи типу ДКсТ і галогенні лампи розжарювання КГ, які поступово замінюються металогалогенними лампами. Ці лампи також використовуються в освітленні спортивних споруд під відкритим небом.

Залежно від системи напруги, джерела світла для електричних освітлювальних мереж випускають на номінальні напруги 230 та 380 В. У вуличних освітлювальних установках застосовується напруга 230 В, причому джерела світла вмикаються на фазну напругу 230 В.

Для ламп розжарювання загального призначення, які використовуються у зовнішньому освітленні, потужність зазвичай коливається в межах 60–500 Вт. Такі лампи випускаються з номінальною напругою 215–245 В залежно від типу.

Світлова віддача цих ламп знаходиться в діапазоні 7–19 лм/Вт, з тенденцією до збільшення при зростанні потужності і зниження при збільшенні номінальної напруги [16]. Термін служби ламп становить близько 1000 годин. Спектр випромінювання ламп розжарювання суттєво відрізняється від денного світла — через більшу інтенсивність випромінювання в жовто-помаранчевій та червоній частинах спектру і недостатність у синій та фіолетовій, передача кольору змінена: посилюються «теплі» відтінки (червоні, жовтогарячі, коричневі), а «холодні» (зелені, блакитні, фіолетові) — зменшуються.

Робота ламп розжарювання практично не залежить від умов навколишнього середовища, включно з температурою, проте дуже чутлива до змін напруги. При відхиленні напруги на 1 % від номінальної, світловий потік змінюється на $\pm 3,7$ %,

споживана потужність — на $+1,5\%$, світлова віддача — на $\pm 2,2\%$, а термін служби — на $\pm 14\%$ [16].

Дугові ртутні лампи високого тиску з люмінофорним покриттям на склі (типу ДРЛ) випускаються з потужністю від 50 до 2000 Вт. Для освітлення міських територій зазвичай використовують лампи потужністю від 80 до 1000 Вт.

Спектр випромінювання ламп ДРЛ має два максимуму — у зеленій і червоній частинах спектра, при цьому домінують зелені випромінювання. Через це освітлення такими лампами призводить до того, що всі кольори, окрім зеленого, виглядають менш яскравими і спотвореними за кольоровістю, що значно погіршує якість передачі кольору. В останніх моделях ламп використовують люмінофори, які перетворюють ультрафіолетове випромінювання ртутного розряду, що відсутнє у червоній частині спектра, на потрібне випромінювання, покращуючи тим самим якість передачі кольору. Визначальним показником якості корекції передачі кольору ламп ДРЛ є так зване «червоне відношення» — співвідношення світлового потоку в червоній частині спектра (600–780 нм) до загального світлового потоку лампи.

Термін служби ламп потужністю 80–400 Вт складає 18–24 тисячі годин, при цьому до кінця експлуатації світловий потік зменшується приблизно на 30 % від номінального. Ці лампи мають значні пульсації світлового потоку: при живленні змінним струмом частотою 50 Гц у схемах із стандартними пускорегулювальними апаратами (ПРА) коефіцієнт пульсації сягає 63–74 %. Процес розжарювання після вмикання триває близько 5–7 хвилин. Якщо живлення переривається, лампа гасне і повторне запалювання відбувається лише після охолодження протягом 7–10 хвилин [17].

Температура навколишнього середовища також впливає на робочі характеристики ламп. При низьких температурах для запалювання ламп потрібна підвищена напруга розгорання, однак з існуючими типами пускорегулювальних апаратів (ПРА) лампи надійно запускаються і працюють при температурі до -25°C . Для експлуатації при температурах нижче -25°C необхідне використання імпульсних запалювачів (ІЗУ) для забезпечення надійного запалювання. Робочий

режим ламп визначається напругою мережі: при відхиленні напруги на ± 1 % світловий потік змінюється приблизно на $\pm 2,5$ %, а споживана потужність — на ± 2 %. Лампи стабільно працюють лише при напрузі не нижче 90 % від номінальної.

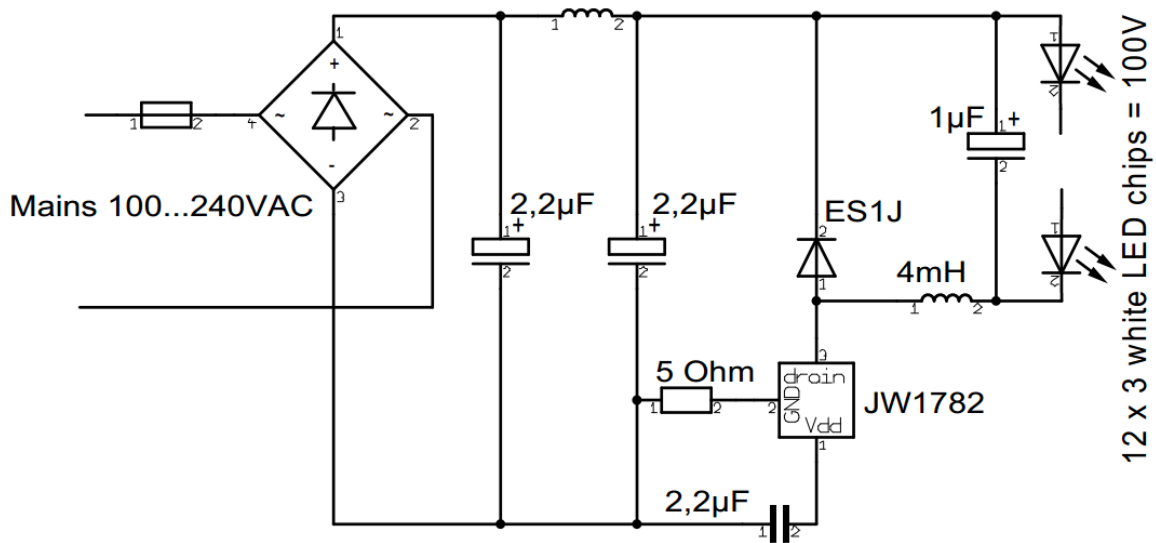
Світлодіодні світильники — це світлотехнічні прилади, які використовуються для побутового, промислового та вуличного освітлення, де джерелом світла слугують світлодіоди. Світлодіодна лампа складається із набору світлодіодів та електронної схеми живлення, яка перетворює мережеву енергію у постійний струм низької напруги. Світлодіоди чутливі до високих температур, тому для їх охолодження застосовують радіатори та інші теплоотводні елементи. Термін служби та електричний коефіцієнт корисної дії (ККД) світлодіодних ламп значно перевищують відповідні показники традиційних ламп розжарювання та більшості люмінесцентних ламп. Для зручності заміни ламп розжарювання на світлодіодні, останні виготовляють зі стандартними цоколями.

На відміну від більшості люмінесцентних ламп (наприклад, трубчастих чи компактних), світлодіоди миттєво досягають повної яскравості без потреби у часі на прогрівання. Крім того, строк служби люмінесцентних ламп суттєво скорочується при частому вмиканні та вимиканні, тоді як світлодіодні лампи таких недоліків не мають. Однак їхня вартість, зазвичай, є значно вищою. Більшість світлодіодних ламп не випромінюють світло у всі напрямки, але лампи з розсіюванням світла на 360° стають усе більш популярними.

Електричні характеристики світлодіодних ламп у період запуску змінюються незначно і практично сліднують миттєвим коливанням напруги мережі. Завдяки практично повній відсутності інерційності розряду, пульсації світлового потоку близькі до 100 %.

Світлодіодний світильник — це окремий самостійний прилад, корпус якого зазвичай має індивідуальну конструкцію, спеціально розроблену для різних типів світлодіодних джерел світла. Велика кількість малих за розміром світлодіодів дозволяє розміщувати їх у різних конфігураціях: збирати у панелі, використовувати для підсвічування дисплеїв, телевізорів тощо.

Для освітлення загального призначення необхідне біле світло [20]. Світлодіоди випромінюють світло в досить вузькому спектральному діапазоні, який залежить від енергетичних властивостей напівпровідникового матеріалу, з якого виготовлено діод. Щоб отримати біле світло від світлодіодної лампи, зазвичай змішують випромінювання червоних, зелених і синіх світлодіодів або використовують люмінофор, що перетворює частину світла на інші кольори.



Риунок 3.1 – Схема джерела живлення світлодіодної лампи потужністю 6 Вт з пониженням напруги

Оскільки короткохвильове світло може бути перетворене люмінофором у довгохвильове, достатньо використовувати лише один синій світлодіод, а інші кольори утворюються за рахунок люмінесценції. Один із способів — метод RGB (червоний, зелений, синій), який передбачає застосування кількох світлодіодних матриць, кожна з яких випромінює світло з різною довжиною хвилі. Розташовані близько одна до одної, вони разом створюють загальний білий колір.

3.4 Алгоритм управління вуличним освітленням

Алгоритм керування вуличним освітленням за допомогою астрономічного таймера базується на автоматичному вмиканні та вимиканні освітлення в залежності від точного часу сходу та заходу сонця, який визначається відповідно до географічних координат місця встановлення.

Розроблений в роботі алгоритм передбачає кілька етапів.

1. Початкове налаштування.

Після встановлення таймера виконуються наступні дії:

Введення поточної дати і часу.

Введення географічних координат (широта і довгота або вибір міста з пам'яті пристрою).

Введення зміщень: таймер дозволяє налаштувати зсув увімкнення/вимкнення, наприклад, на 10 хв до заходу сонця або після сходу сонця.

Встановлення днів тижня або сезонних програм (за потреби).

2. Робота в автоматичному режимі

У режимі реального часу мікроконтролер щодня обчислює час сходу і заходу сонця.

При досягненні заданого часу замикання або розмикання контактів реле, які керують силовими колами світильників.

3. Увімкнення освітлення

Коли настає час «астрономічного заходу» (або із заданим зсувом, наприклад, -10 хвилин до заходу), таймер вмикає реле — вуличне освітлення запалюється.

Може бути передбачено опцію нічної паузи, тобто часткове або повне вимкнення в певні нічні години (наприклад, з 01:00 до 04:00).

4. Вимкнення освітлення

З настанням розрахованого часу сходу сонця (з урахуванням зсуву), таймер вимикає освітлення.

Алгоритм також передбачає можливість підключення додаткових функцій.

Ручне керування - дає змогу увімкнути/вимкнути світло вручну незалежно від графіка.

Компенсація сезонних змін – автоматичне врахування зміни тривалості дня протягом року.

Інтерфейс підключення GPS – автоматичне отримання координат і точного часу.

Програмування на тиждень – можливість налаштувати різні графіки на кожен день.

Підключення датчиків - наприклад, фотоелементів для забезпечення резерву або для коригування роботи.

Кнопка для ручного перемикання

В роботі було розроблено базовий програмний код для керування мікроконтролером апарата. Він забезпечує такий функціонал: визначення сходу/заходу сонця за координатами, увімкнення/вимкнення світла за допомогою реле, можливість ручного режиму та зсуву таймінгу.

Необхідне обладнання: мікроконтролер ATmega168PA-PU (або Arduino UNO/Nano), модуль RTC DS3231, реле (механічне або твердотільне), індикаторний дисплей.

При розробці програми було використано бібліотеку Sunrise для розрахунку часу сходу/заходу сонця за координатами, а також бібліотеку RTCLib для роботи з реальним часом на мікроконтролерах.

Лістинг програми наведено у додатку Б.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Безпека праці є важливою галуззю практичної діяльності, метою якої є забезпечення належних умов праці. В умовах сучасного виробництва вона набуває особливої актуальності. Створення сприятливого виробничого середовища потребує значних фінансових інвестицій та впровадження наукових розробок у сфері охорони праці. Однак існує значний розрив між наявними знаннями про методи та засоби безпеки праці та їх фактичним застосуванням на виробництвах. Подолання цієї невідповідності вимагає підготовки висококвалітованих фахівців, які володіють необхідними компетенціями та здатні забезпечувати дотримання вимог безпеки на робочих місцях.

Розробка електронного автомату керування вуличним освітленням відбувалася в приміщенні, яке обладнане комп'ютеризованими робочими місцями. На працівника, відповідно до Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», мали вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість повітря; підвищений рівень статичної електрики; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні: розумове перевантаження; перенапруга аналізаторів; статичне перевантаження.

У відповідності до визначених факторів розробляємо технічні рішення щодо безпечного виконання роботи, а також з гігієни праці та виробничої санітарії.

4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

4.1.1. Обладнання приміщення та робочого місця

Проектування робочих місць, обладнаних комп'ютерною технікою, є ключовим аспектом ергономічного дизайну. Розміщення всіх компонентів робочого простору повинно базуватися на фізичних, антропометричних та психологічних особливостях користувача, а також на особливостях роботи, яка виконується. Серед основних вимог до організації такого робочого місця виділяються: оптимальне розміщення обладнання для зручного доступу та ефективної роботи, а також забезпечення достатнього робочого простору для виконання всіх необхідних операцій та рухів без обмежень. Крім того, важливим є забезпечення можливості регулювання висоти стола та крісла для адаптації до індивідуальних потреб користувача. Також слід приділити увагу правильному освітленню робочої зони, щоб уникнути надмірної напруги очей та відблисків на екрані. Використання ергономічних аксесуарів, таких як підставки для ніг, зап'ясть та документів, може значно підвищити комфорт та знизити ризик розвитку професійних захворювань.

Під час аналізу умов праці на робочому місці необхідно оцінити відповідність параметрів приміщення НПАОП 0.00-7.15-18 та відповідність параметрів мікроклімату ДСН 3.3.6.042-99. В приміщенні знаходиться 4 робочих місця обладнаних ПК.

Параметри приміщення, що розглядається, є наступними:

1) Площа приміщення складає $40,0 \text{ м}^2$, що в перерахунку на одного працівника становить $10,0 \text{ м}^2$. Цей показник відповідає нормативним вимогам щодо площі на одного працівника, встановленим НПАОП 0.00-7.15-18.

2) Об'єм приміщення дорівнює $122,4 \text{ м}^3$, що в розрахунку на одного працівника становить $30,6$ кубічних метри. Даний показник також відповідає нормативним вимогам щодо об'єму приміщення на одного працівника згідно з НПАОП 0.00-7.15-18.

При проектуванні робочих місць, обладнаних ПК, необхідно брати до уваги ряд ергономічних факторів, зокрема:

1) Висота робочої поверхні. Стіл повинен мати таку висоту, щоб користувач міг зручно розмістити руки та зап'ястя під час роботи з клавіатурою та мишею.

2) Розміри простору для ніг. Під столом має бути достатньо місця для комфортного розташування ніг, а також для використання підставки для ніг за потреби.

3) Розташування документів. Необхідно забезпечити зручний доступ до робочих документів, не захаращуючи при цьому основну робочу поверхню столу.

4) Відстань від очей до екрана. Рекомендується дотримуватися оптимальної відстані між очима користувача та екраном монітора для запобігання зайвій напрузі зору.

5) Характеристики робочого крісла. Крісло повинно бути зручним, мати регулювання висоти та забезпечувати належну підтримку спини.

6) Вимоги до поверхні робочого столу. Поверхня столу повинна мати відповідні розміри та бути виготовлена з матеріалу, що забезпечує комфортне використання маніпуляторів.

7) Регульованість елементів робочого місця. Важливо, щоб основні елементи робочого місця, такі як стіл, крісло та монітор, мали можливість регулювання для адаптації до індивідуальних потреб та фізичних параметрів користувача.

Ці аспекти допомагають створити комфортні та ефективні умови для користувачів ПК, зменшуючи ймовірність виникнення стресу та фізичного дискомфорту.

4.1.2. Електробезпека приміщення

Електробезпека – це комплексна систему організаційних та технічних заходів і засобів, спрямованих на забезпечення захисту людей від потенційно шкідливого впливу небезпечних факторів, зумовлених використанням

електричної енергії. До цих факторів належать ураження електричним струмом, вплив електричної дуги, електромагнітного поля та статичної електрики. Нормативні вимоги щодо електробезпеки встановлюються відповідними законодавчими актами, технічними регламентами та нормативно-технічними стандартами. Дотримання цих вимог є обов'язковим на всіх етапах виробництва, передачі, розподілу та споживання електроенергії. Важливим аспектом електробезпеки є також навчання та інструктаж персоналу щодо безпечних методів роботи з електрообладнанням та електроустановками. Регулярний контроль стану електроустановок та засобів захисту є необхідною умовою запобігання електротравматизму.

Усі приміщення в приміщенні, включаючи те, в якому розташовані екранні пристрої, мають бути забезпечені всіма вимогами електрифікації, відповідно до чинних нормативів і стандартів. Згідно з Правилами електробезпеки (ПУЕ), приміщення, в яких працюють з екранними пристроями, віднесені до категорії приміщень без підвищеної небезпеки уражень людини електричним струмом. Норми електробезпеки і пожежної безпеки для таких приміщень викладені в Національних правилах пожежної та електробезпеки (НПАОП 0.00-7.15-18). Вони вимагають, щоб всі компоненти, пов'язані з ПК і їх обслуговуванням, ремонтом і налаштуваннями, а також всі електричні проводи і кабелі, відповідали стандартам електробезпеки та малого обладнання для захисту від короткого замикання.

З метою забезпечення електробезпеки в приміщенні категорично забороняється під'єднувати будь-яке обладнання до звичайної двопровідної електромережі, особливо із застосуванням перехідних пристроїв. Електропроводка штепсельних з'єднань та розеток виконана за магістральним принципом, де до одного електричного кола підключається від трьох до шести розеток. Враховуючи розташування цих мереж вздовж стін, прокладання провідників здійснено під підлогою в захисних металевих трубах та гнучких металевих рукавах, які в обов'язковому порядку підлягають заземленню.

Електробезпека є критично важливим аспектом при роботі з електрикою, спрямованим на запобігання ураження електричним струмом. Дотримання правил електробезпеки, таких як використання заземлення та ізоляції, є обов'язковим для захисту життя та здоров'я. Регулярні перевірки електроустановок та навчання персоналу є ключовими елементами забезпечення електробезпеки на будь-якому об'єкті.

4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Параметри мікроклімату у виробничих приміщеннях можуть варіюватися в широкому діапазоні. Проте для забезпечення комфортного стану людини необхідно підтримувати стабільну температуру тіла за допомогою механізмів терморегуляції, тобто забезпечити ефективний теплообмін організму з навколишнім середовищем. Одним із принципів нормування мікроклімату є створення оптимальних умов для цього теплообміну. Водночас слід враховувати, що обчислювальна техніка, яка функціонує в приміщенні, може бути значним джерелом тепла, що може призвести до підвищення температури та зниження рівня відносної вологості повітря.

Для категорії 1а, до якої відноситься розробка електронного автомату керування вуличним освітленням, параметри мікроклімату регулюються відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 і наведені в таблиці 4.1. Такі параметри повинні забезпечити комфортні умови для виконання поставлених завдань.

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення відповідності параметрів мікроклімату встановленим нормативам у приміщенні впроваджено такі заходи:

- 1) Встановлено централізовану парову систему опалення для підтримання оптимальної температури повітря в холодну пору року.
- 2) Функціонують системи припливно-витяжної вентиляції та регулярно проводиться провітрювання для забезпечення належного повітрообміну та підтримки якості повітря.
- 3) Здійснюється систематичне вологе прибирання приміщення для підтримання чистоти та оптимального рівня вологості повітря.

4.2.2 Склад повітря робочої зони

У досліджуваному приміщенні потенційними джерелами забруднення повітря можуть бути офісна техніка та зовнішні чинники, зокрема пил. Для підтримання належних умов праці необхідно дотримуватися стандартів якості повітря, визначених ДСН 3.3.6.042-99. Рівень запиленості повітря не повинен перевищувати встановлених граничних значень. Пил може негативно впливати на тепловіддачу обладнання та спричиняти проблеми з електричними з'єднаннями в комп'ютерних системах. Гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин у повітрі робочої зони наведені в таблиці 4.2. Крім того, параметри іонного складу повітря на робочому місці, обладнаному ПК, повинні відповідати встановленим нормативним значенням (див. таблицю 4.3). Дотримання цих вимог сприяє збереженню якості повітря та забезпечує нормальну роботу обчислювальної техніки і працівників.

Таблиця 4.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Озон	0,16	0,03	1
Вуглекислий газ (CO ₂)	3	1	4
Пил нетоксичний	10	4	4

Таблиця 4.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Для підтримання якості повітря в робочій зоні проводиться видалення шкідливих речовин, що можуть потрапляти в повітря, завдяки механічній вентиляції. Запиленість приміщення також зменшується завдяки регулярному вологому прибиранню. Ці заходи допомагають підтримувати чистоту та якість повітря на робочому місці, що є важливим для забезпечення комфортних умов праці та нормального функціонування обчислювальної техніки.

4.2.3 Виробниче освітлення

Правильно спроектована та якісно реалізована система виробничого освітлення суттєво покращує умови зорової діяльності. Вона сприяє зниженню стомлюваності, підвищенню ефективності праці та оптимізації виробничого середовища. Крім того, належне освітлення позитивно впливає на психологічний стан працівника, забезпечуючи його комфорт. Важливу роль відіграє освітлення і в забезпеченні безпеки праці, оскільки його недостатність може призводити до перенапруження зору, втоми та зниження концентрації уваги. Водночас, надмірно інтенсивне освітлення може викликати засліплення та подразнення очей. Ці фактори можуть стати причиною нещасних випадків або професійних захворювань.

Згідно ДБН В.2.5-28:2018 в приміщенні, де здійснюється робота за допомогою ПК необхідно застосувати систему комбінованого освітлення. Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні для роботи зазначені у таблиці 4.4:

Таблиця 4.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Високої точності	0,3 -0,5	III	г	великий	світлий	700	300	5	2	3	1,2

У досліджуваному приміщенні, природне освітлення забезпечується вікнами, що виходять на північний схід. Штучне освітлення реалізовано за допомогою системи загального рівномірного освітлення з використанням переважно світлодіодних ламп. Для підтримання нормативних рівнів освітленості в приміщенні регулярно проводяться сервісні роботи, а саме: двічі на рік миються вікна, кожні два місяці світильники очищаються від пилу, а також систематично замінюються лампи, що вийшли з ладу.

4.2.4 Виробничий шум

Наявність шуму у виробничому середовищі спричиняє низку негативних впливів на організм людини. Працівники, які тривалий час піддаються дії шуму, можуть відчувати дратівливість, головний біль, запаморочення, погіршення пам'яті, підвищену втомлюваність, втрату апетиту, біль у вухах та інші неприємні симптоми. Ці порушення негативно позначаються на функціонуванні різних органів і систем організму, що зрештою призводить до погіршення емоційного стану працівника, включаючи виникнення стресових реакцій. Вплив шуму може призводити до зниження концентрації уваги, порушення фізіологічних функцій, зростання втоми внаслідок підвищених енергетичних витрат та нервово-психічного навантаження. Усі ці фактори негативно впливають на продуктивність та безпеку праці.

Джерелами шуму під час розробки електронного автомату керування вуличним освітленням є ПК та обладнання, яке знаходиться в приміщенні. Допустимі рівні звукового тиску та рівні звуку LA для даного приміщення наведені у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні передбачено використання звукопоглинаючих матеріалів.

4.2.5 Виробничі випромінювання

Під час розробки електронного автомату керування вуличним освітленням на працівника діє електромагнітне випромінювання (ЕМВ), що створюється ПК. ЕМВ через свою негативну дію на генофонд і здоров'я людини підлягають гігієнічному нормуванню згідно з вимогами ДСанПіН 3.3.6.096-2002.

Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань наведені в табл. 4.6.

Для забезпечення безпеки від впливу електромагнітних випромінювань здійснюються різні заходи на рівні організації робочого процесу, інженерної та медично-профілактичної діяльності. Для умов виконання роботи доцільними є такі: організаційні заходи (організація робочих місць, оптимальне розміщення технологічного устаткування, розробка гігієнічно-обґрунтованих режимів праці та відпочинку) та лікувально-профілактичні заходи (періодичні медогляди).

Таблиця 4.6 - Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

<i>Найменування параметра</i>	<i>Допустимі значення</i>
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	10В / м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	0,3 А / м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати: для дорослих користувачів для дітей дошкільних установ і що вчаться середніх спеціальних і вищих навчальних закладів	20кВ / м 15кВ / м

4.3 Пожежна безпека

З метою досягнення нормативного рівня безпеки в Україні створено систему пожежної безпеки, яка включає систему протипожежного захисту та систему передбачення пожежі.

В приміщенні, де виконувалася робота використовуються тільки негорючі речовини та матеріали у холодному стані, тому за ступенем вибухопожежної та пожежної небезпеки приміщення відноситься до категорії «Д». За вогнестійкістю приміщення відноситься до другої категорії. Робоча зона розробника відноситься до класу вибухонебезпечності В-Па та пожежонебезпечності П-Па, оскільки вибухонебезпечна концентрація пилу і волокон може утворюватися лише внаслідок аварії або несправності.

4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі

До потенційних причин займання в приміщенні належать: несправності в електропроводці (іскріння, надмірне нагрівання проводів, втрата еластичності та руйнування електроізоляції); неправильне використання побутових електроприладів (електрочайників, обігрівачів) або потрапляння рідини на

працююче електрообладнання; залишення без нагляду ввімкнених комп'ютерів, обчислювальної техніки та інших електроприладів.

Для запобігання виникнення пожежі доцільні такі заходи:

- призначення осіб, що відповідальні за пожежну безпеку приміщення;
- щорічне проведення повторних протипожежних інструктажів та занять за програмою пожежно-технічного мінімуму з особами, що відповідальні за пожежну безпеку;
- утримання в справному стані засобів протипожежного захисту;
- своєчасне інформування про несправність пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання тощо.

4.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Протипожежний захист приміщення здійснюється за такими чотирма напрямками.

1. Обмеження розмірів та поширення пожежі (розміщення будівель та споруд на території об'єкта із дотриманням протипожежних розривів та інших вимог пожежної безпеки; правильне планування та розміщення виробничих приміщень, діляниць у межах будівлі тощо).

2. Обмеження розвитку пожежі (використання оздоблювальних будівельних та конструкційних матеріалів з нормативними показниками вибухопожежонебезпечності).

3. Забезпечення безпечної евакуації людей та майна (вибір відповідних засобів колективного та індивідуального захисту, застосування аварійного вимкнення устаткування та комунікацій, облаштування систем протидимового захисту, які запобігають задимленню шляхів евакуації, влаштування необхідних шляхів евакуації (коридорів, сходових кліток, зовнішніх пожежних драбин), раціональне їх розміщення та належне утримання).

4. Створення умов для успішного гасіння пожежі (встановлення в будівлях та приміщеннях установок пожежної автоматики, забезпечення приміщень нормованою кількістю первинних засобів пожежогасіння,

облаштування та утримання в належному стані території підприємства, під'їздів до будівельних споруд, пожежних водоймищ, гідрантів).

У приміщенні на випадок виникнення пожежі для обмеження її розповсюдження знаходиться переносний вуглекислотний вогнегасник типу ВВК-5, що відповідає нормам. Підходи до засобів первинного пожежогасіння та відключення електросхем устаткування вільні.

У коридорі приміщення розташована схема евакуації людей при пожежі. Шляхи евакуації з відділу відповідають правилам пожежної безпеки. У будинку є два виходи, ширина коридору – 2-3 метри, ширина дверей – 0,8 м., двері відкриваються по ходу руху людей у випадку евакуації.

В цілому приміщення по категорії вибухо- і пожежонебезпечності та ступеню вогнестійкості відповідає нормам, але особливу увагу потрібно звернути на утримання в справному стані засобів протипожежного захисту та своєчасне інформування пожежної охорони про несправність пожежної техніки, впровадження систем протипожежного захисту.

ВИСНОВКИ

У межах виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було досягнуто поставлену мету — розроблено пристрій автоматичного керування вуличним освітленням на основі астрономічного таймера, який забезпечує високу енергоефективність, точність і надійність керування зовнішнім освітленням.

У ході виконання роботи було виконано всі поставлені завдання і досягнуто таких результатів.

Проведено огляд існуючих систем автоматичного керування вуличним освітленням. Визначено їхні переваги, недоліки та перспективи розвитку.

Обґрунтовано вибір астрономічного таймера як найбільш ефективного рішення для керування вуличним освітленням без використання зовнішніх сенсорів.

Переваги використання астрономічного таймера з розробленим алгоритмом роботи включають:

- 1) енергоефективність – точне керування освітленням без перевитрати електроенергії;
- 2) незалежність від погодних умов: на відміну від фотоелементів, не реагує на тимчасову хмарність чи дощ;
- 3) мінімум обслуговування: один раз налаштував — працює весь рік автоматично⁴
- 4) гнучкість: адаптація під будь-який тип освітлення (LED, ДНаТ тощо).

Розроблено структурну та принципову електричну схеми апарата на основі мікроконтролера ATmega168PA-PU та годинника реального часу DS1307, що дозволило забезпечити точне керування контактним або симісторним комутатором відповідно до астрономічного часу.

Спроектовано конструкцію друкованої плати та корпус пристрою. Проведено розрахунок габаритів, маси, інтенсивності відмов і виконано аналіз надійності.

Розглянуто два варіанти компоновання корпусу. За результатами техніко-економічного та надійнісного аналізу обрано оптимальний варіант — конструкцію з горизонтальним розташуванням плати в корпусі з полістиролу. Розраховано комплексний показник ефективності для обох варіантів конструкції. Найнижчий показник (2,52) підтвердив доцільність вибору першого варіанту.

Проведено оцінку надійності апарата. Середній напрацювання на відмову становить 33980 годин, що відповідає понад 3,5 років безперервної експлуатації, а гарантований термін служби — 14 місяців.

Виконано розробку інтерфейсу користувача — лицьової панелі пристрою, з урахуванням ергономічних та естетичних вимог.

Таким чином, результати роботи свідчать про ефективність розробленого пристрою для використання в системах зовнішнього освітлення міської інфраструктури та приватного сектора. Астрономічний таймер як основа керування дозволяє підвищити точність, знизити енергоспоживання, спростити обслуговування й забезпечити автоматичну адаптацію до змін тривалості світлового дня.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лепіхов, О. І. Енергозберігаюча система вуличного освітлення. *Науково-методична конференція викладачів, співробітників і студентів : тези доповідей*, 23 квітня 2009 року. Суми : СумДУ, 2009. Ч. 1. С. 42-43.
2. Автономна система вуличного освітлення : пат. на корисну модель 95106 Україна / Шереметьєв О. Д., Герасименко М. В., Сліпченко М. І., Письменецький В. О. ; ХНУРЕ. 2014. 5 с
3. Пімачова, К. В.; Приведенний, С. А.; Рой, В. Ф. Системи автоматизованого управління зовнішнім освітленням. *Комунальне господарство міст*. 2006. № 72. С. 204-209.
4. Сутінкове реле з цифровим таймером SOU-2 230V AC (1x8A_AC1) ETI 2470020 / Розетка. – URL: <https://rozetka.com.ua/ua/419032086/p419032086/>
5. Астрономічний таймер для вуличного освітлення REV-225, Новатек-Електро / E-SERVER. – URL: <https://e-server.com.ua/uk/astronomicnii-taimer-dlia-vulicnogo-osvitlennia-rev-225-novatek-elektro?srsId=AfmBOopyuAmg9nLi4GjVZ17uSd63GOyc3ZnqtTuWdCIxbEJ-oh3qF2Vh>
6. Шеремета, Олександр Петрович; Мізерний, Віктор Миколайович; Власюк, Анатолій Іванович. Астрономічний таймер ат4-700/1. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*, 2010. № 3. С. 1-3.
7. Dong, Jie. Application of Practical Astronomical Timing Algorithm in the Lighting Control of Residential Street. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing. 2020. P. 012065.
8. ДСТУ EN IEC 60721-3-3:2022 Класифікація умов навколишнього середовища. Частина 3-3. Класифікація груп параметрів навколишнього середовища та їх суворості. Стаціонарне використання в місцях, захищених від погодних умов (EN IEC 60721-3-3:2019, IDT; IEC 60721-3-3:2019, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 68 с.

9. Проектування вузлів електронної апаратури : навчальний посібник. / О.І. Ні-кольський, Р.Ф. Лободзінська. Вінниця : ВНТУ, 2009. 79 с.
10. Лазарєв О. О. Теоретичні основи надійності електронних апаратів : навч. посібник. Вінниця : ВНТУ, 2010. 129 с.
11. Назаренко, Л. А., Можаровська, Т. В., Чернець, В. С. Мезопічна фотометрія та вуличне освітлення. Український метрологічний журнал. 2016. № 2. С. 9-14.
12. Салтиков В. О. Освітлення міст : навч. посібник. Харків : ХНАМГ, 2009. 221 с.
13. Шульга М. О., Деркач І. Л., Алексахін О. О. Інженерне обладнання населених місць : підручник. Харків : ХНАМГ, 2007. 259 с.
14. Мисюк, Ю. П. Світловий дизайн міського середовища. *Lighting Engineering & Power Engineering*, 2009. № 3. С. 90-95.
15. Нові матеріали: частина 2. Експериментальні методи досліджень механічних властивостей конструкційних полімерів та пластмас / Шидловський М. С. та ін. Київ : КПІ, 2017. 265 с.
16. Чернець, В. С. Аналіз відповідності нормативних вимог освітлення в Україні міжнародним стандартам СІЕ. Частина 2. *Метрологія та прилади*, 2016. № 5. С. 33-41.
17. Копасова, Г. В. Світлотехнічні прилади що застосовуються в зовнішньому середовищі. *Містобудування та територіальне планування*. 2015. № 2. С. 226-230.
18. Сінчук, О.; Горшков, В. Система управління електротехнічним комплексом вуличного освітлення. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. 2022. № 311(4). С. 232-236.
19. Вацків, Т. І. Керування зовнішнім освітленням на базі системи DALI. *Матеріали VI всеукраїнської студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“*. 2013. Ч. 1. С. 186.
20. Мисюк, Ю. П. Зовнішнє освітлення міст та безпека дорожнього руху. *Lighting Engineering & Power Engineering*, 2010. № 3-4. С. 33-39.

21. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. Режим доступу:

http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14._nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html

22. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885

23. ДБН В.2.5-56:2014 Системи протипожежного захисту. Режим доступу: <http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/98.156~2014.pdf>

24. ДСанПіН 3.3.6.096-2002 Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. Офіційний вісник України від 07.09.2009 - 2009 р., № 66.

25. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

26. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. Режим доступу: http://sop.zp.ua/norm_праор_0_00-7_15-18_01_ua.php

27. Правила улаштування електроустановок. Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>

28. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги - [Електронний ресурс] - http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=71028

29. НАПБ А.01.001-14 Правила пожежної безпеки в Україні [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon.nau.ua/doc/?code=z1410-04>

30. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759

31. ДБН В.1.1.7-2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва -
[Електронний ресурс] - Режим доступу: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002..pdf

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

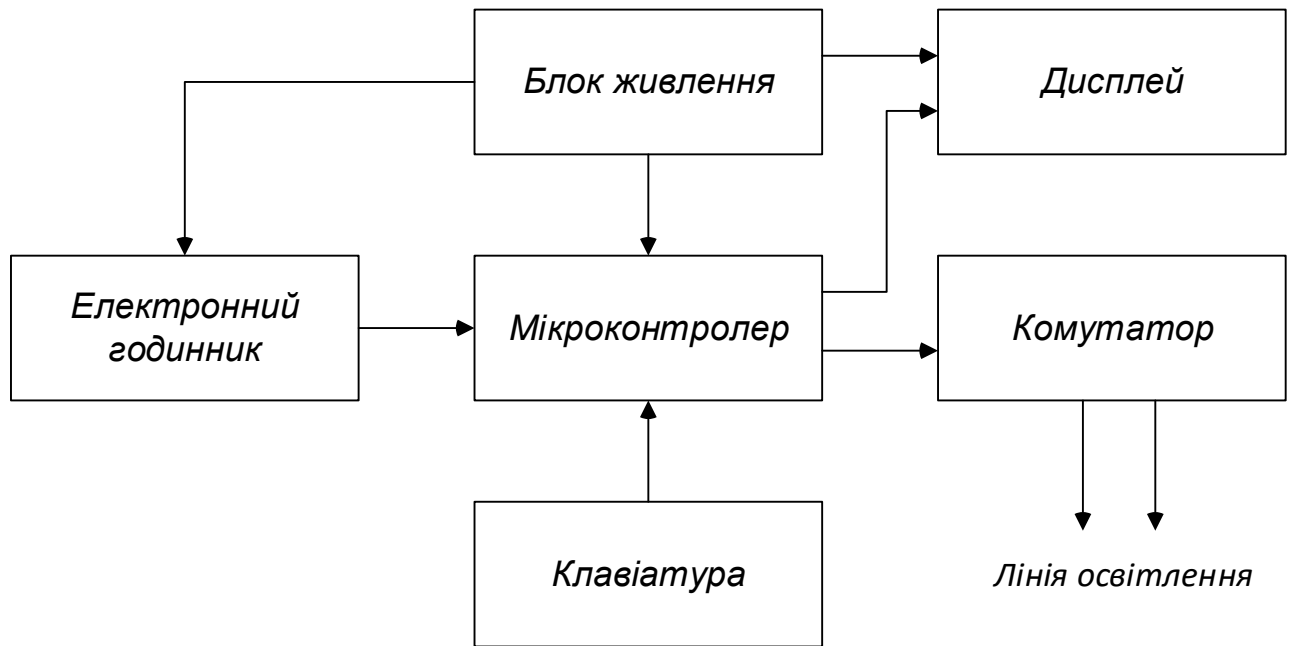


Рисунок А.1 – Схема структурна:

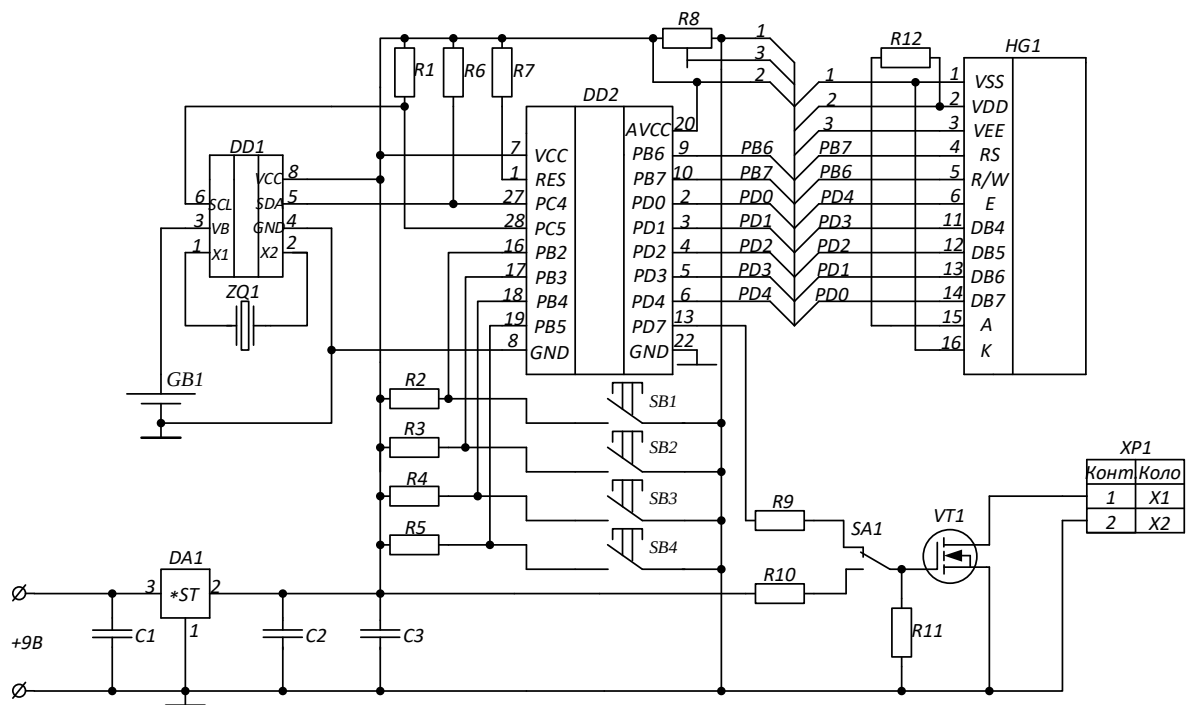


Рисунок А.2 – Схема електрична принципова

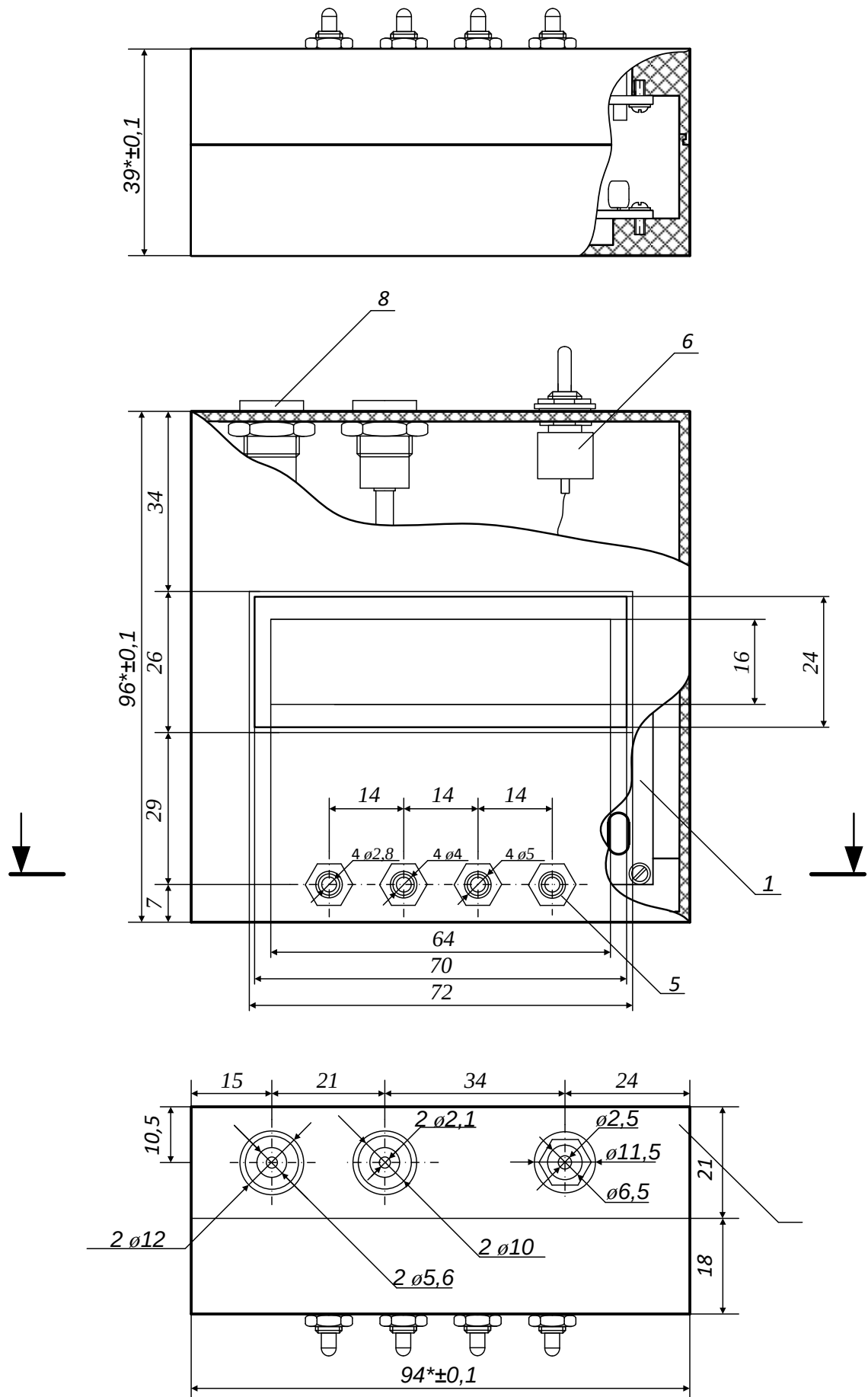


Рисунок А.3 – Складальний кресленик пристрою

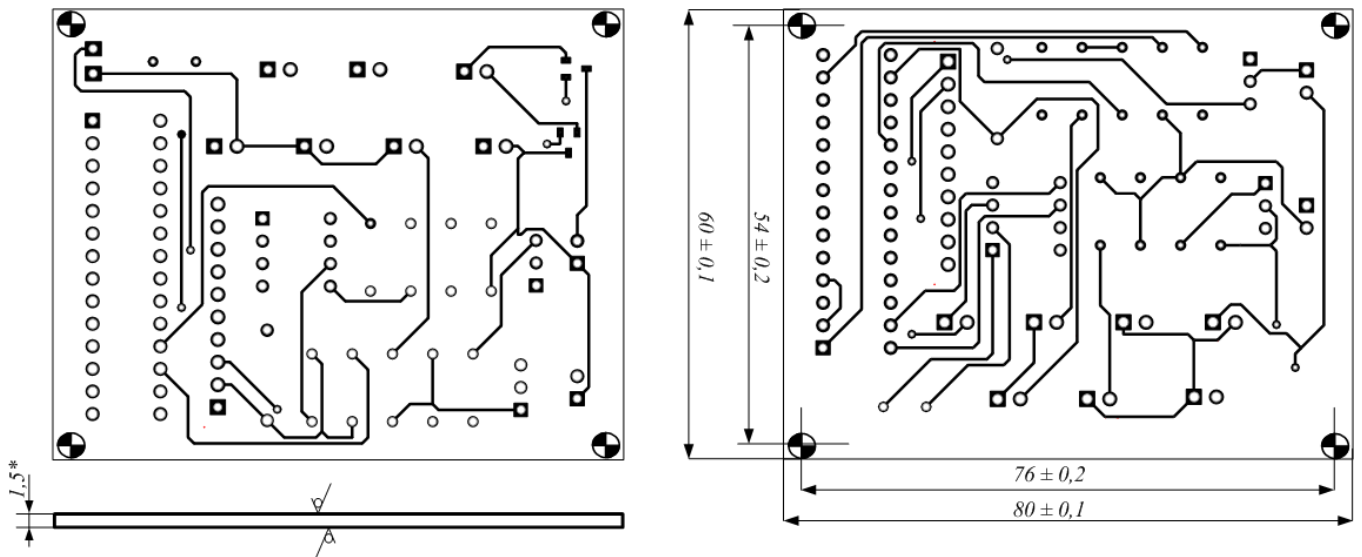


Рисунок А.4 – Плата друкована

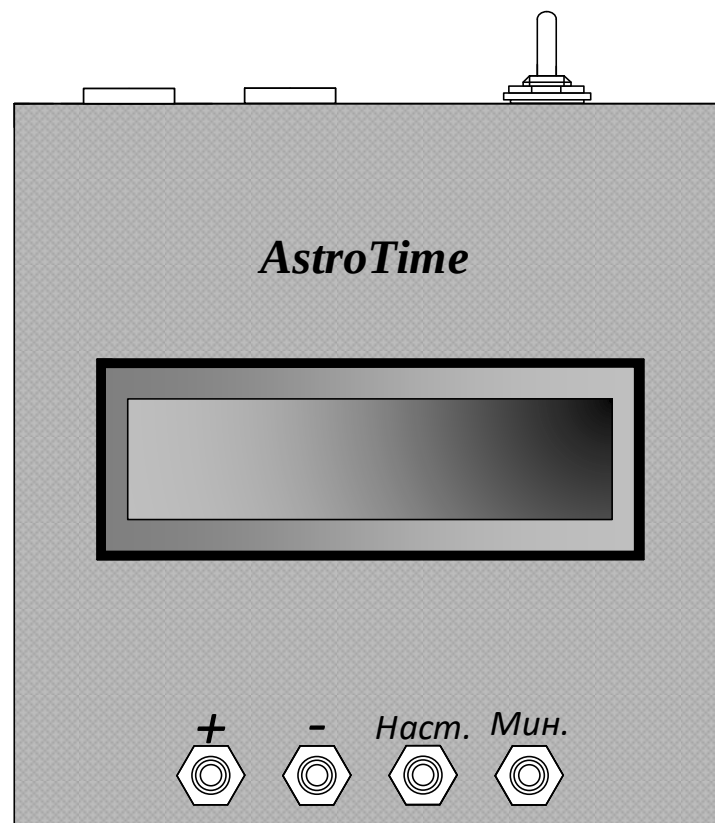


Рисунок А.5 – Зовнішній вигляд лицьової панелі пристрою

Додаток Б
(довідниковий)

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРА

```
#include <Wire.h>
#include <RTCLib.h>
#include <SunRise.h>

// Параметри місцевості
#define LATITUDE  49.23  // Вінниця
#define LONGITUDE 28.46
#define UTC_OFFSET 3     // Літній час (+3)

// Піни
#define RELAY_PIN  8
#define BUTTON_PIN 7

RTC_DS3231 rtc;
SunRise sun;

bool relayState = false;
bool manualMode = false;
unsigned long lastButtonPress = 0;

void setup() {
  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
  pinMode(BUTTON_PIN, INPUT_PULLUP);
  digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);

  Wire.begin();
  rtc.begin();

  // rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__))); // Розкоментуй для
первинної синхронізації часу
}
```

```

void loop() {
    DateTime now = rtc.now();
    checkManualButton();

    int year = now.year();
    int month = now.month();
    int day = now.day();
    int hour = now.hour();
    int minute = now.minute();

    // Час у хвилинах від початку доби
    int currentMins = hour * 60 + minute;

    // Розрахунок часу сходу і заходу (у хвилинах)
    int sunriseMins = sun.sunrise(year, month, day, LATITUDE, LONGITUDE,
UTC_OFFSET);
    int sunsetMins = sun.sunset(year, month, day, LATITUDE, LONGITUDE,
UTC_OFFSET);

    // Корекція: наприклад, -10 хв до заходу, +15 хв після сходу
    sunsetMins -= 10;
    sunriseMins += 15;

    if (!manualMode) {
        // Автоматичне керування
        if (currentMins >= sunsetMins || currentMins < sunriseMins) {
            setRelay(true);
        } else {
            setRelay(false);
        }
    }

    delay(10000); // Оновлення кожні 10 секунд
}

void setRelay(bool state) {
    if (state != relayState) {

```

```
    relayState = state;
    digitalWrite(RELAY_PIN, state ? HIGH : LOW);
}
}

// Обработка кнопки для ручного режима
void checkManualButton() {
    if (digitalRead(BUTTON_PIN) == LOW) {
        if (millis() - lastButtonPress > 300) {
            manualMode = !manualMode;
            setRelay(manualMode ? !relayState : relayState);
            lastButtonPress = millis();
        }
    }
}
```

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Електронний автомат керування вуличним освітленням

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем

(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі
системою StrikePlagiarism 9,84 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Коваль Л. Г., завідувач кафедри БМІОЕС

(прізвище, ініціали, посада)

Карась О. В., гарант ОПІ «Електроніка»

(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)


(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку 

(підпис)

Штофель Д. Х.
(прізвище, ініціали)

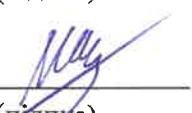
З висновком експертної комісії ознайомлені:

Керівник 

(підпис)

Штофель Д. Х., доц. каф. БМІОЕС

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач 

(підпис)

Баранов М. Г.

(прізвище, ініціали)