

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних систем та мереж

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти – магістр

за спеціальністю
123 – «Комп'ютерна інженерія»

Тема наукової роботи:

«Методи оптимізації роботи світлофорів із сонячними панелями на базі цифрових технологій»

Виконав	_____	А. О. Уєдраого
Керівник роботи	_____	І. О. Музика
Нормоконтроль	_____	Д. І. Кузнецов
Завідувач кафедри	_____	А. І. Купін

м. Кривий Ріг
2024

Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних систем та мереж

Ступінь вищої освіти
Спеціальність

магістр
123 «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, голова циклової комісії

_____ А. І. Купін

“ _____ ” _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Уєдраого Абдіас Онессім

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: *Методи оптимізації роботи світлофорів із сонячними панелями на базі цифрових технологій*

керівник роботи: *к.т.н., доцент Музика Іван Олегович,*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від *“01” лютого 2024 р. № 99с*

2. Строк подання студентом роботи: *“01” грудня 2024р.*

3. Вихідні дані до роботи: *Технічні характеристики сонячних панелей та елементів технічного забезпечення, принципи роботи світлофорів та методи оптимізації їх роботи*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Пояснювальна записка обсягом 92с., що складається з трьох розділів, 4 додатків, презентація у Microsoft PowerPoint (15 слайдів) в електронному та друкованому вигляді*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) *Презентація у Microsoft PowerPoint в електронному та друкованому вигляді (15 слайдів)*

					КНУ.123.24.13.00.РФ	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: “12” лютого 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>10.03.24</i>	
2	<i>Розділ 1</i>	<i>25.04.24</i>	
3	<i>Розділ 2</i>	<i>18.06.24</i>	
4	<i>Розділ 3</i>	<i>10.09.24</i>	
5	<i>Висновки</i>	<i>15.10.24</i>	
6	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>20.11.24</i>	
7	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>28.11.24</i>	
8	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>01.12.24</i>	

Студент _____ /*Уедраого А. О.*/
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ /*Музика І.О.*/
(підпис) (прізвище та ініціали)

					КНУ.123.24.13.00.РФ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 92 сторінки, 37 рисунків, 10 таблиць, 4 додатки, 31 використаних джерел. Робота складається з трьох розділів.

Метою роботи є аналіз ефективного використання сонячних панелей для живлення світлофорів з розробкою алгоритму управління режимами його роботи на основі моделі клітинних автоматів.

Предметом дослідження є аналіз транспортного потоку для оптимізації роботи світлофорів з сонячними панелями на базі моделі клітинних автоматів.

У першому розділі зроблено аналіз питання застосування сонячних панелей для живлення світлофорів, розглянуті приклади застосування таких рішень, висвітлено їх переваги та недоліки, а також оцінено перспективність застосування таких рішень. Розглянута структура такого рішення та визначенні необхідні завдання дослідження.

У другому розділі виконано порівняння типів сонячних пнелей та обрані технічні засоби для реалізації такої системи. Наведно структурну схему складових для випадку нерухомої сонячної системи та оцінено можливість реалізації більш перспективного рухомого варіанту.Приведено математисний апарат для випадку моделювання.

У третьому розділі розглядається теорія клітинних автоматів, зокрема, застосування клітинних автоматів до задач моделювання транспортних потоків, описуються етапи розробки моделі, представлені і описані класичні та розроблені алгоритми управління світлофорами, виконана програмна реалізація приведенного рішення.

Ключові слова:

АЛГОРИТМ, МАТРИЦЯ СТАНІВ, МОДЕЛЮВАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ, СВІТЛОФОР, СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ, ТЕОРІЯ КЛІТИННИХ АВТОМАТІВ

					<i>КНУ.123.24.13.00.РФ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Реферат</i>		
<i>Розроб.</i>	<i>Уєдраого</i>						
<i>Перевір.</i>	<i>Музика</i>						
<i>Н. Контр.</i>	<i>Кузнецов</i>						
<i>Затверд.</i>	<i>Купін</i>						
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркущів</i>
					<i>КІ-23м</i>		

Master's work: 92 pages, 37 figures, 10 tables, 4 additions, 31 used sources. The work consists of three sections.

The aim of the work is to analyze the efficient use of solar panels for powering traffic lights and to develop a control algorithm for their operating modes based on a cellular automata model.

The subject of the study is the analysis of traffic flow to optimize the operation of traffic lights with solar panels based on a cellular automata model.

The first section provides an analysis of the use of solar panels for powering traffic lights, examines examples of such implementations, highlights their advantages and disadvantages, and evaluates the feasibility of these solutions. The structure of such a solution is considered, and the necessary research tasks are defined.

The second section compares different types of solar panels and selects the technical components for implementing such a system. A structural diagram of the components for a stationary solar system is presented, and the feasibility of implementing a more advanced mobile version is evaluated. The mathematical framework for modeling is also provided.

The third section examines the theory of cellular automata, particularly their application to traffic flow modeling tasks. It describes the stages of model development, presents and explains both classical and newly developed traffic light control algorithms, and includes the software implementation of the proposed solution.

Keywords:

ALGORITHM, STATE MATRIX, MODELING, OPTIMIZATION, TRAFFIC LIGHT, SOLAR PANEL, CELLULAR AUTOMATA THEORY

					<i>KHY.123.24.13.00.PΦ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. Аналіз режимів роботи світлофорів та перспективи застосування сонячних панелей.....	10
1.1 Проблема безпеки на пішохідних переходах в Україні.....	10
1.2 Види світлофорів та їх функції.....	12
1.3 Сучасні тенденції розвитку світлофорів.....	15
1.3.1 Принцип та режими роботи світлофора.....	16
1.3.2 Режим «Статичного керування»	16
1.3.3 Режим «Динамічного керування»	16
1.4 Ефективність світлофорів на сонячних панелях.....	18
1.4.1 Переваги використання світлофорів з сонячними панелями... ..	19
1.4.2 Проблеми використання світлофорів з сонячними панелями... ..	21
1.5 Структура та приклади застосування.....	22
1.5.1 Приклади застосування сонячних панелей для живлення світлофорів.....	22
1.5.2 Світлофор на сонячній батареї «LGM»	25
1.6 Постановка задач дослідження.....	26
Висновки за розділом.....	26
2 Проектування структури інтелектуальної системи «світлофор-сонячна панель»	27
2.1 Загальна ідея оптимізації електроживлення та роботи обладнання пішохідного переходу.....	27
2.2 Інтелектуальні системи керування світлофорами на пішохідних переходах з використанням сонячних панелей.....	28
2.3 Проектування системи «світлофор -сонячна панель».....	37

					<i>КНУ.123.24.13.00.3М</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Зміст</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Уєдраого</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Музика.</i>						
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кузнецов</i>				<i>КІ-23М</i>		
<i>Затверд.</i>		<i>Купін</i>						

ВСТУП

Щороку автопарк транспортних засобів продовжує зростати, що призводить до збільшення заторів на дорогах [1]. Однак причина цієї проблеми полягає не лише у зростанні кількості автомобілів, а й у поведінці самих водіїв. Ефективним вирішенням цієї ситуації може стати цифровізація управління транспортною інфраструктурою. У зв'язку з цим багато компаній активно працюють над створенням інтелектуальних транспортних засобів і «розумних» доріг. За умови державної підтримки [2] такі ініціативи мають великий потенціал, особливо у сфері проектування та впровадження інноваційних дорожніх рішень.

На сьогоднішній день завдання впровадження безпілотних автомобілів на дорогах значно ускладнюється. У зв'язку з цим одним із можливих рішень є контроль транспортних потоків за допомогою адаптивних світлофорів, які здатні змінювати напрямок руху залежно від завантаженості автомагістралей. Однак експерименти з реальними світлофорами є технічно складними та ризикованими, а також вимагають значних ресурсів для аналізу даних. Для розв'язання цієї проблеми доцільно застосовувати методи моделювання, що дозволяють створити віртуальну модель руху та оптимізувати роботу світлофорів без ризику для реального трафіку.

Світлофори відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки дорожнього руху та зниженні кількості конфліктних ситуацій між різними учасниками транспорту. Вони сприяють регулюванню транспортних потоків, покращують організацію руху на перехрестях і забезпечують більш плавний та безпечний рух для водіїв і пішоходів.

Основна функція світлофорів полягає в координації потоків транспорту і пішоходів шляхом надання чітких сигналів, які визначають, коли слід рухатися,

					<i>КНУ.123.24.13.00.ВС</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Уєдраого</i>			<i>Вступ</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Музыка</i>						
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кузнецов</i>			<i>КІ-23</i>			
<i>Затверд.</i>		<i>Купін</i>						

а коли зупиняться, але їхня загальна мета залишається незмінною - забезпечення безпеки та упорядкованості дорожнього руху.

Зростання попиту на електроенергію спостерігається як у розвинених країнах, так і в тих, що розвиваються. У цьому контексті дедалі важливішим стає впровадження відновлюваних джерел енергії та електрифікація транспорту. Використання таких ресурсів, як вітрова та сонячна енергія, все ще перебуває на стадії вдосконалення, адже для повної відмови від викопного палива необхідні подальші технологічні прориви.

Серед відновлюваних джерел сонячна енергія посідає важливе місце. Її перетворення в електрику за допомогою фотоелектричних панелей є одним із найперспективніших напрямків, нарівні з іншими технологіями у сфері відновлюваної енергетики.

Сонячна енергія - це вид енергії, отриманий завдяки використанню сонячного випромінювання. Це найчистіше джерело енергії, адже воно майже не впливає на стан клімату та не спричиняє забруднення довкілля. Однак сонячна енергетика має певні обмеження, зокрема низький коефіцієнт корисної дії сонячних елементів, що знижує її ефективність. Це особливо актуально для регіонів, де рівень сонячної інсоляції значно змінюється залежно від сезонів, що обмежує можливість її постійного та ефективного використання.

Актуальність роботи. У сучасному світі, де екологічна стійкість стає дедалі важливішим пріоритетом, технології сонячної енергетики набувають популярності як спосіб зменшення вуглецевого сліду. Одним із перспективних застосувань є використання світлофорів на сонячних батареях. Ці системи відіграють ключову роль у забезпеченні порядку та безпеки на дорогах, водночас демонструючи значну економічну та екологічну ефективність.

Окрім економічної вигоди, сонячні світлофори сприяють підвищенню безпеки й видимості на дорогах і в громадських місцях. Вони також є символом сталого розвитку та екологічної свідомості, демонструючи прагнення до збереження ресурсів і зменшення впливу на довкілля.

					КНУ.123.24.13.00.ВС	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ СВІТЛОФОРУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

1.1 Проблема безпеки на пішохідних переходах в Україні

Згідно зі статистичними даними, приблизно кожні 20 хвилин трапляється дорожньо-транспортна пригода з постраждалими, а раз на дві години ДТП призводить до загибелі людини. У середньому, щодня аварії забирають життя 11 осіб та завдають травм близько 100 учасникам дорожнього руху.

За інформацією Державтоінспекції Києва, головними причинами ДТП залишаються низька дисципліна водіїв і пішоходів, недостатній рівень їхньої обізнаності та свідомості. Зокрема, у 2012 році значна частина аварій сталася через помилки водіїв: було зафіксовано 1396 ДТП, у яких загинули 87 осіб, а 1691 отримала травми. Наприклад, через недотримання правил проїзду пішохідних переходів сталося 232 аварії, що спричинили смерть дев'яти осіб і травмування 234 учасників.

Варто зазначити, що правила дорожнього руху порушують не лише водії, а й пішоходи. У 2012 році з їхньої вини сталося 325 ДТП, унаслідок яких загинули 46 осіб, а 289 отримали травми. Ця тенденція має негативну динаміку, адже кількість таких аварій зростає з кожним роком. Наприклад, у 2011 році випадків ДТП через провину пішоходів було зафіксовано менше.

Однією з найпоширеніших причин серйозних аварій є перевищення швидкості. Проте значна частина водіїв, навіть тих, хто дотримується закону щодо тверезого керування, не вважає «незначне» перевищення швидкості (до 20 км/год) серйозним порушенням або небезпечним стилем водіння.

На жаль, попри підвищення штрафів та посилення кримінальної відповідальності за порушення правил дорожнього руху, загальна кількість ДТП

					<i>КНУ.123.24.13.01.P1</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Уєдраого.</i>			<i>Розділ 1</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Музика.</i>						
<i>Н. Контр.</i>		<i>Кузнецов</i>			<i>КІ-23М</i>			
<i>Затверд.</i>		<i>Купін</i>						

і рівень смертності на дорогах залишається незмінним. Це не дивує, адже менталітет деяких водіїв сприяє продовженню безвідповідальної поведінки на дорозі. Часто вони ігнорують статистику, переконуючи себе, що подібні ситуації з ними «ніколи не трапляться». Такий підхід є особливо тривожним, враховуючи стабільно невтішні показники.

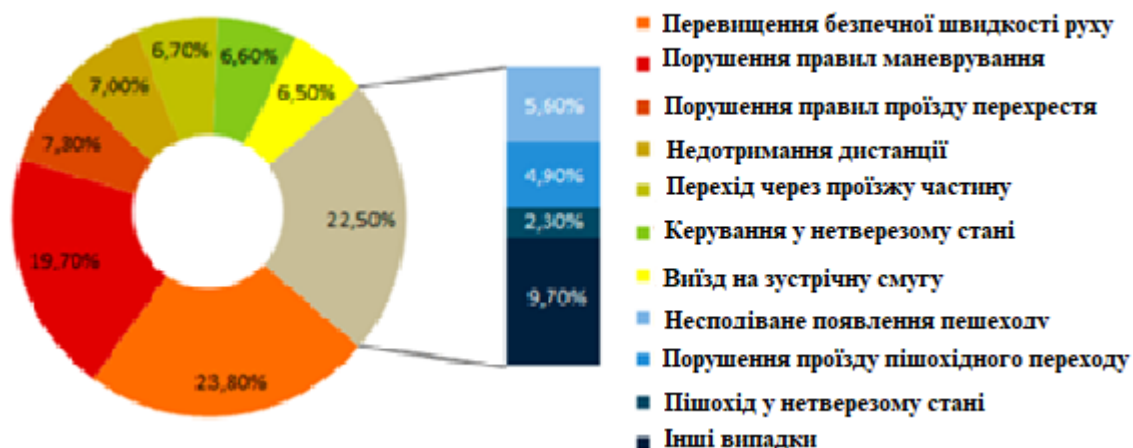


Рисунок 1.1 – Перелік причин ДТП в Україні

З метою зменшення кількості ДТП, українські правоохоронні органи активно впроваджують просвітницькі заходи для підвищення безпеки пішоходів. Особлива увага приділяється вихованню дітей: правоохоронці навчають їх правилам культури безпечної поведінки на дорозі, починаючи з раннього віку.

Наприклад, кожне обласне управління поліції отримало завдання розробити спеціальні програми, спрямовані на підвищення безпеки дорожнього руху, з реалізацією до 2015 року. Одним із помітних прикладів цієї ініціативи стало впровадження УДАІ Дніпропетровської області: було розподілено 20 тисяч світловідбиваючих наліпок, які мали підвищити безпеку пішоходів. Ці наліпки передавали школярам під час інформаційно-просвітницьких заходів, організованих у загальноосвітніх школах області. Такі заходи спрямовані на популяризацію правил дорожнього руху серед дітей та молоді, а також на формування у них відповідального ставлення до безпеки на дорогах.

					КНУ.123.24.13.01.P1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Види світлофорів та їх функції

Світлофори призначені для почергового проїзду учасників дорожнього руху через певну ділянку вулиці і дорожньої мережі, а також для позначення небезпечних ділянок доріг. Залежно від умов світлофори використовуються для контролю руху транспорту в певних напрямках або на окремих смугах заданого напрямку.

Таким чином, світлофори є потужним засобом організації дорожнього руху, покликаним вирішувати дві основні задачі - підвищувати рівень безпеки дорожнього руху і покращувати якість дорожнього руху, а також покращувати екологічну обстановку.

Світлофори регулюють рух транспорту на декількох рівнях: в транспортній мережі в цілому, на ділянках (ділянках між перехрестями) і на перехрестях. Таким чином, регулювання світлофорів є важливим інструментом реалізації транспортної концепції, яка включає заходи щодо прискорення руху громадського транспорту, заходи щодо безпечного руху пішоходів та велосипедистів та заходи щодо використання транспортних потоків окремих маршрутів.

Для забезпечення безпеки дорожнього руху світлофори, як правило, встановлюються тоді, коли очікуються (або вже відбуваються) ДТП, яких можна уникнути за допомогою побудови світлофорного регулювання, а також коли інші заходи не ефективні (наприклад, обмеження швидкості, заборона обгону, нерегульовані пішохідні переходи).

Регулювання світлофорів сприяє зменшенню кількості ДТП в наступних випадках, коли концентрація ДТП відбувається через порушення правил черговості проїзду перехрестя:

- при високій інтенсивності або занадто високій швидкості на головній дорозі;
- у зв'язку з умовами обмеженої видимості на перехресті або неможливістю водія визначити правила першочерговості на перехресті;

					<i>КНУ.123.24.13.01.P1</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- при недостатній пропускній спроможності.

У багатьох випадках пристрій світлофорного регулювання дозволяє зменшити площу об'єктів транспортної інфраструктури (наприклад, заміна кільцевої розв'язки на перехрестя зі зменшенням площі і збільшенням пропускної здатності).

Всі заходи (наприклад, додаткові проміжні світлофори, «зелена хвиля» або адаптивне регулювання світлофорів), що підтримують рівномірну витрату в межах максимально допустимої швидкості, зменшують кількість зупинок, забезпечують рівномірний рух через кілька перехресть, призводять до зниження витрати палива, викидів вихлопних газів і шуму транспорту. Це особливо важливо для ділянок вулиць з інтенсивним використанням прилеглих територій (магазини, громадські місця тощо) або сильними пішохідними чи велосипедними потоками.

Світлофори бувають двох типів: транспортні та пішохідні. Транспортні світлофори розрізняються за типом і призначенням. На рисунку 1.2 показані найбільш поширені види.

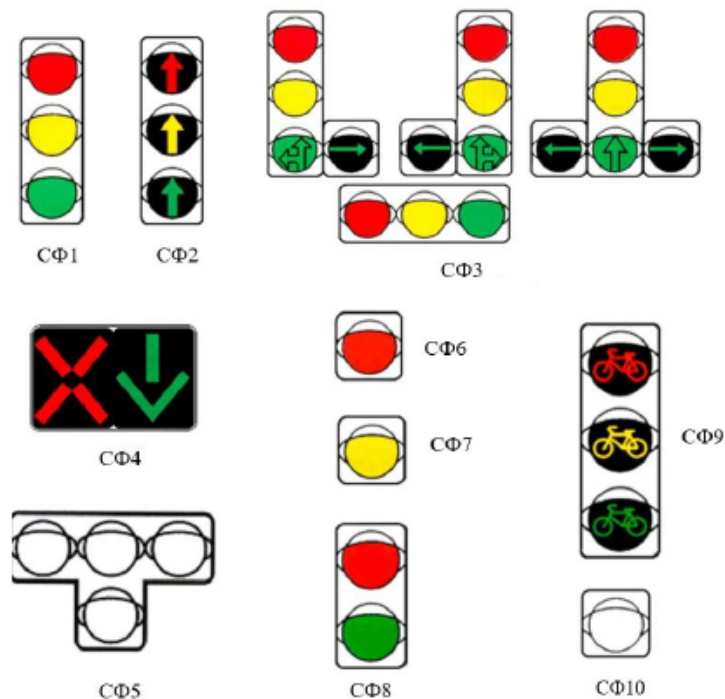


Рисунок 1.2 – Види транспортних світлофорів

					КНУ.123.24.13.01.P1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку 1.2 наведено такі позначення:

СФ1 і його модифікації зі стрілками є стандартними світлофорами для транспортних засобів. Також використовується для проїзду пішоходів при відсутності пішохідних світлофорів.

СФ 2 використовується для регулювання руху на окремих напрямках у випадках, коли транспортний потік, що рухається за їх дозвільним сигналом, не має перетинів (з'єднань) у межах перетину з транспортними потоками інших напрямків руху, а також перетинів з пішохідними потоками (безконфліктне регулювання).

СФ 3 і модифікації - зменшені світлофори СФ 1. Вони є повторювачами СФ1 в разі труднощів в сприйнятті основного світлофора.

СФ 4 - встановлюються для вказівки дозволеного напрямку руху по кожній смузі при організації реверсивного руху. Крім того, ці світлофори встановлюються на в'їзді в тунелі.

СФ 5 - спеціальні світлофори для громадського транспорту, що рухаються по виділеній смузі.

СФ 6 і СФ 10 встановлюються на залізничних переїздах.

СФ 7 - позначає нерегульоване перехрестя або пішохідний перехід.

СФ 8 використовується у разі тимчасового звуження проїзного полотна (найчастіше під час ремонту) для організації реверсивного руху на одній смузі

СФ 9 - Використовується для регулювання руху велосипедистів на перетині велосипедної доріжки з проїзною частиною або регульованим пішохідним переходом.

Пішохідні світлофори (рисунок 1.3) призначені виключно для проходу пішоходів.



Рисунок 1.3 - Пішохідний світлофор

					<i>КНУ.123.24.13.01.P1</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1.3 Сучасні тенденції розвитку світлофорів

Останні десятиліття показали, що міський трафік став серйозною проблемою, а затори на дорогах перетворилися на повсякденну реальність. Світлофори, як один із ключових інструментів управління дорожнім рухом, потребують ефективної оптимізації. Водночас контроль над складними транспортними системами залишається непростим завданням. Це пов'язано з двома основними факторами: фізичною структурою транспортної мережі та динамічними правилами, що регулюють змінні у часі взаємодії між її елементами.

Інтегровані транспортні системи стикаються зі значними викликами, пов'язаними з ефективністю транспортних потоків. З ростом урбанізації кількість автомобілів на дорогах невідомо збільшується, що провокує нові проблеми з організацією руху. Одним із рішень є створення більш ефективних систем світлофорів. Однак водії часто сприймають світлофори як джерело дискомфорту. Дослідження показують, що багато хто воліє змінювати свої маршрути, вибираючи шляхи з меншою кількістю світлофорів, аби мінімізувати зупинки.

Завдяки останнім досягненням у галузі мереж зв'язку, обчислювальної техніки та сенсорних технологій все більше уваги приділяється розробці оптимізованих систем управління світлофорами. У великих містах впроваджуються передові рішення, зокрема реакція світлофорів у реальному часі на зміну інтенсивності трафіку. Паралельно використовуються спеціалізовані технології, такі як системи короткого зв'язку (DSRC), навігаційні пристрої та мобільні додатки, які спрощують планування поїздок для водіїв[3].

Одним із прикладів таких рішень є мобільний додаток EnLighten [5], що підключається до мережі й прогнозує зміну сигналів світлофорів, використовуючи інформацію від систем DSRC, встановлених на дорогах.

Інтеграція подібних інноваційних технологій відкриває нові перспективи для покращення дорожньої інфраструктури. Отримання даних про стан

					<i>КНУ.123.24.13.01.P1</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

світлофорів може значно підвищити безпеку та комфорт водіїв. Завдяки цьому вони будуть менш схильні до несподіваних ситуацій через різку зміну сигналу світлофора, а також уникатимуть небезпечних маневрів, таких як різке прискорення, щоб встигнути проїхати на зелене світло перед його перемиканням на червоний.

1.3.1 Принцип та режими роботи світлофора

Принцип дії світлофора є досить нескладним. Узагальнено, світлофорна система складається з керуючого модуля, світлофорних секцій і сенсора. Керуючий модуль виступає "розумом" системи та містить необхідну інформацію для перемикання світлових сигналів у різних послідовностях. Світлофори функціонують у різних режимах, які залежать від їхнього розташування або часу доби.

1.3.2 Режим «Статичного керування»

У режимі з фіксованим часом, світлофор завжди показує зелений сигнал протягом однакового інтервалу, незалежно від ситуації на дорозі. Зазвичай для налаштування таких статичних світлофорів використовують статистичні дані про конкретний відрізок шляху. Тривалість зеленого світла може змінюватися в межах мінімальних і максимальних значень, залежно від інтенсивності трафіку. Цей спосіб може бути прийнятним у сильно завантажених районах, але в місцях з менш щільним рухом він є неефективним. Якщо під час деяких циклів немає транспортних засобів, що очікують, час зеленого сигналу можна перерозподілити на більш завантажені ділянки дороги [5].

1.3.3 Режим «Динамічного керування»

Як зрозуміло з назви, цей режим бере до уваги присутність транспортних засобів на всіх смугах руху та відповідно регулює зелений сигнал.

Дані про стан дороги збираються сенсорами, встановленими на або над дорожнім покриттям. Контролер аналізує цю інформацію та оптимально вмикає

					<i>КНУ.123.24.13.01.P1</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

зелений сигнал. Мінімальні та максимальні інтервали зеленого світла задаються в контролері і не підлягають зміні. На деяких перехрестях, де бокові дороги менш завантажені, світлофори налаштовані так, щоб переключатися лише за необхідності, коли трафік цього вимагає. Оптимізація руху в реальному часі досягається шляхом розширення функцій стандартного світлофора або через обмін інформацією між світлофором і транспортним засобом. Система керування може бути як централізованою (адаптивна система на основі даних від сенсорів), так і децентралізованою.

Хоча цей режим більш гнучкий, ніж фіксований за часом, він може бути неефективним, якщо на зустрічних смугах утворюються довгі черги. Налаштування максимальних таймерів ускладнюється через постійні зміни в структурі трафіку, тому для збереження ефективності максимальні часові інтервали повинні регулярно оновлюватися. Це трудомістка задача для місцевих органів управління і часто призводить до того, що світлофори з часом стають менш ефективними.

У режимі "Динамічного керування" найпоширенішим технічним рішенням є індукційна петля. Це простий приймально-передавач з дротовою антеною у формі кільця (котушка індуктивності), який встановлюється в дорожнє покриття. Спочатку укладають асфальт, потім прорізають в ньому канавку, куди вкладають петлю і герметизують її гумовою сумішшю. Індукційні петлі працюють шляхом виявлення змін індуктивності. Коли транспортний засіб зупиняється над петлею, він діє як сердечник для котушки, збільшуючи індуктивність. Вимірюючи ці зміни, можна точно визначити наявність або відсутність автомобіля. Датчик світлофора постійно контролює індуктивність петлі і при її збільшенні сигналізує про присутність транспортного засобу[4,6].

Існують і альтернативні технічні рішення, хоча вони менш поширені з різних причин. Одне з них - відеодетектори: камери, підключені до спеціалізованої плати із заданими "зонами виявлення" через програмне забезпечення для розпізнавання транспортних засобів. Вони корисні там, де неможливо встановити індукційні петлі через особливості дорожнього покриття,

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

КНУ.123.24.13.01.P1

але мають недоліки. Зокрема, вони вразливі до поганих погодних умов і можуть давати хибні спрацьовування від яскравого світла фар або тіней на сусідніх смугах. Крім того, плати для відеодетекції значно дорожчі за ті, що використовуються з індукційними петлями[7].

Геомагнітний метод базується на виявленні змін у магнітному полі. Його ефективність залежить від розмірів транспортного засобу, тому великий вантажівка може спричинити спрацьовування датчика на сусідній смузі, але загалом це більш довговічне рішення[4].

Використання радарів дозволяє виявляти лише рухомі об'єкти і часто застосовується для розпізнавання пішоходів, оскільки вони рідко залишаються нерухомими[4].

Лазерний метод вимірює відстань до поверхні дороги; проїжджаючий транспорт змінює цю відстань. Хоча вимірювання дуже точні, метод працює лише в одній точці і не дозволяє охопити велику площу для виявлення[5].

1.4 Ефективність світлофорів на сонячних панелях

З огляду на глобальний акцент на сталому розвитку, надзвичайно важливо шукати інноваційні методи використання відновлюваної енергії в повсякденному житті. У транспортному секторі одним із таких нововведень є живлення світлофорів за допомогою сонячної енергії.

Світлофори на сонячних панелях застосовують фотоелектричні панелі для перетворення сонячного світла на електрику. Розташовані зазвичай на верхівці конструкції світлофора, ці панелі поглинають сонячну енергію протягом дня та зберігають її в акумуляторах. Накопичена енергія використовується для живлення світлофорів як удень, так і вночі. Завдяки прогресу в фотоелектричних технологіях, сонячні панелі стали ефективнішими, довговічнішими та економічно вигідними, що робить їх привабливим вибором для систем керування дорожнім рухом[6].

					<i>КНУ.123.24.13.01.P1</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Сонячна енергія отримується шляхом збору сонячного випромінювання за допомогою фотоелектричних елементів, відомих як сонячні панелі. Ці панелі складаються з кількох шарів напівпровідникових матеріалів, які під впливом сонячного світла генерують електрику постійного струму (DC). Потім ця електроенергія перетворюється на змінний струм (AC) і використовується для живлення різних пристроїв.

Основні компоненти світлофорів на сонячних панелях[5]:

– *Фотоелектричні панелі*: Використовуються для збору сонячної енергії. Зазвичай виготовлені з кремнію, який ефективно генерує електрику під впливом сонячного світла. Розміри та кількість панелей залежать від енергетичних потреб світлофора.

– *Акумуляторні батареї*: Для забезпечення безперервної роботи в умовах низького освітлення або вночі світлофори оснащені акумуляторами. Вони зберігають надлишкову енергію, накопичену протягом дня, забезпечуючи стабільне живлення навіть у несприятливу погоду або темний час доби.

– *Світлодіодні лампи (LED)*: Замінивши традиційні лампи розжарювання, світлодіоди споживають значно менше енергії, забезпечуючи при цьому той самий рівень яскравості. Вони ефективно працюють навіть при низькій напрузі, що робить їх ідеальними для систем на сонячних панелях.

– *Система керування*: Ключовий компонент, що регулює роботу освітлення відповідно до запрограмованого часу та умов дорожнього руху. Вона забезпечує безперебійну та ефективну роботу світлофора, керуючи транспортним потоком без створення заторів на дорогах.

1.4.1 Переваги використання світлофорів з сонячними панелями

Екологічні переваги світлофорів з сонячними панелями[8]

Однією з головних екологічних переваг світлофорів, що працюють на сонячній енергії, є їх позитивний вплив на довкілля. Традиційні світлофори споживають електроенергію з невідновлюваних джерел, таких як вугілля чи природний газ, що сприяє викидам парникових газів, забрудненню повітря та

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.123.24.13.01.P1				

виснаженню природних ресурсів. Натомість світлофори на сонячних панелях генерують чисту енергію без вуглецевого сліду, зменшуючи загальний обсяг шкідливих викидів. Завдяки використанню сонячних панелей, міста та громади можуть активно боротися зі зміною клімату та покращувати якість повітря.

Скорочення споживання енергії та економія коштів[8]

Світлофори, що живляться від сонячної енергії, пропонують значну економію фінансів порівняно з традиційними системами. Після початкових інвестицій у сонячні панелі та акумулятори, поточні витрати є мінімальними, оскільки сонячне світло — це безкоштовний та відновлюваний ресурс. Обслуговування таких світлофорів є відносно недорогим завдяки спрощеній електропроводці та зниженій залежності від електромережі. Крім того, оскільки ці світлофори не підключені до мережі, вони не піддаються ризику відключень чи перебоїв у електропостачанні, забезпечуючи безперервну роботу. Усе це робить світлофори на сонячній енергії економічно вигідним рішенням у довгостроковій перспективі.

Гнучкість у встановленні та масштабуванні[8]

Світлофори на сонячних панелях пропонують можливість гнучкого встановлення та розширення. На відміну від звичайних систем, які потребують складної підготовки для електричних з'єднань, сонячні світлофори можна встановлювати у віддалених місцях без доступу до електромережі. Це дозволяє розміщувати світлофори в районах, де традиційні рішення є непрактичними або занадто дорогими. До того ж, такі світлофори легко масштабуються або переміщуються за потреби, оскільки не залежать від існуючої електроінфраструктури. Така адаптивність робить їх ідеальним вибором для тимчасового регулювання руху під час будівельних робіт або спеціальних подій.

Збереження ресурсів та підвищення стійкості[8]

Використовуючи енергію сонця, світлофори з сонячними панелями сприяють економії цінних ресурсів. Скорочення залежності від невідновлюваних джерел енергії допомагає зберегти запаси нафти, вугілля та природного газу. Крім того, системи на сонячній енергії підтримують енергетичну незалежність,

					КНУ.123.24.13.01.P1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оскільки виробляють електроенергію локально та не залежать від національних електромереж. Така децентралізація підвищує загальну надійність системи керування дорожнім рухом, забезпечуючи безперебійну роботу навіть під час надзвичайних ситуацій або природних катастроф, коли традиційні джерела енергії можуть бути недоступні.

1.4.2 Проблеми використання світлофорів з сонячними панелями

Хоча світлофори на сонячних панелях мають багато переваг, існують певні проблеми, які потребують ретельного вирішення [8]:

Залежність від погодних умов

Системи, що працюють на сонячній енергії, сильно залежать від погоди. Тривалі періоди хмарності або похмурого неба можуть зменшити кількість енергії, яку збирають і зберігають фотоелектричні панелі. Проте останні досягнення в технологіях сонячних панелей, зокрема підвищення їхньої ефективності та збільшення можливостей зберігання енергії, значно знизили цю проблему.

Розташування та вплив сонячного світла

Ефективність світлофорів на сонячних панелях сильно залежить від місця встановлення та орієнтації сонячних панелей. Важливо гарантувати, що вони розміщені в зонах з максимальним доступом до сонячного світла для оптимальної генерації енергії. Перешкоди, такі як високі будівлі чи дерева, можуть затінити панелі, негативно впливаючи на роботу світлофора.

Технічне обслуговування та ремонт

Регулярне технічне обслуговування є необхідним для забезпечення довговічності та надійності світлофорів на сонячних панелях. Це включає очищення панелей від пилу та сміття, перевірку та заміну пошкоджених компонентів, а також моніторинг стану акумуляторів. Для ефективного виконання цих завдань необхідно встановити відповідні графіки та протоколи обслуговування.

Арк.

КНУ.123.24.13.01.P1

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

1.5 Структура та приклади застосування

1.5.1 Приклади застосування сонячних панелей для живлення світлофорів

У Вінниці в рамках пілотного проекту забезпечили резервне живлення світлодіодних світлофорів на одному з міських перехресть за допомогою сонячних панелей, акумуляторів та міської електромережі. Для проведення експерименту обрали менш завантажене перехрестя в районі Старого Міста, де переважає малоповерхова забудова (Рис.1.4)[9].



Рисунок 1.4 – Приклад пілотного проекту у м.Вінниця

У рамках міської програми підвищення енергоефективності запущено новий проект. Світлофори залишаються підключеними до міської електромережі як резервного джерела живлення, але основне постачання забезпечують сонячні панелі (вдень) та акумуляторні батареї (вночі або за похмурої погоди). Система також оснащена інвертором для сонячних батарей та електролічильником. Для оцінки економічної доцільності проект триватиме рік, після чого буде вирішено, чи варто надалі оснащувати світлофори сонячними панелями. У разі позитивних результатів місто продовжить встановлення сонячних систем на світлофорних об'єктах.

					КНУ.123.24.13.01.P1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однак робити висновки поки що зарано. Подібні проекти реалізовані в кількох містах України, зокрема в Житомирі, Івано-Франківську та Чернівцях. На жаль, вже відомі випадки крадіжок обладнання, як це сталося на трасі Житомир–Чернівці на небезпечному пішохідному переході в селі Прадивка Ярмолинецького району, тому довелося розробляти "системи захисту" (рис. 1.5) [9].



Рисунок 1.5 – “Система захисту” від крадіжки обладнання

Замінюючи традиційні лампові світлофори на сучасні світлодіодні та інтегруючи їх в автоматизовані системи управління дорожнім рухом, ми робимо значний крок уперед у підвищенні енергоефективності міст і рівня безпеки для водіїв та пішоходів.

1.5.2 Світлофор на сонячній батареї «LGM»

Світлофор «LGM» (Рис. 1.6) є автономною та універсальною системою сигналізації пішохідних переходів, що працює на сонячних панелях[10].

Цей прилад призначений для наземних переходів та небезпечних ділянок дороги як у міських, так і в сільських районах, особливо там, де підключення до електромережі ускладнене або неможливе. Він незамінний для встановлення в

					<i>КНУ.123.24.13.01.P1</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

місяцях, де доступ до електроживлення обмежений або відсутній: на міжміських магістралях та дорогах поза населеними пунктами; на вулицях у містах, віддалених від електромережі; на ділянках, де потрібно руйнувати дорожнє покриття для підключення.

Світлофор «LGM» спеціально розроблений для наших кліматичних умов і забезпечує безперебійну роботу в найтемніші та найхолодніші місяці року (листопад–січень). Його естетичний дизайн покращить архітектурний вигляд будь-якого населеного пункту. Антивандальна конструкція пристрою гарантує збереження та функціональність протягом усього терміну експлуатації.

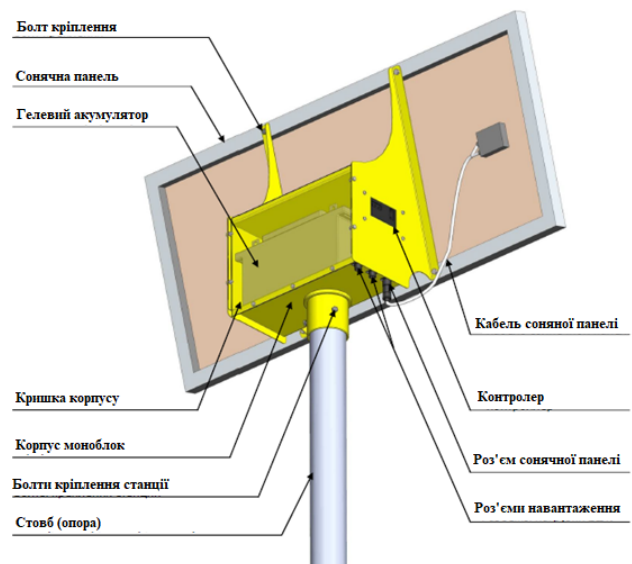


Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд та будова світлофору «LGM»

Автономні сонячні електростанції повністю автоматизовані та функціонують без участі людини.

Потужна сонячна панель заряджає акумулятор протягом світлового дня, причому зарядка відбувається навіть у похмурі дні та взимку. Контролер електростанції оснащений 17 вбудованими програмами роботи, що запобігають повному розрядженню акумулятора. Світлодіодний світлофор живиться від сонячної станції цілодобово. Інтенсивне миготіння жовтого світла дозволяє водієві з великої відстані та в будь-який час доби помітити пішохідний перехід і заздалегідь знизити швидкість.

						КНУ.123.24.13.01.P1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Переваги світлофора «LGM»:

– Не потребує підключення до електромережі, прокладання кабелів, риття траншей чи встановлення повітряних ліній.

– Працює автономно, без людського втручання та не вимагає обслуговування.

– Поєднання потужної сонячної панелі, акумулятора великої ємності, світлофора з над'яскравими світлодіодами та багатoprogramного контролера забезпечує надійну та безперебійну роботу. Низька напруга (12/24В) виключає ризик ураження електричним струмом.

– Антивандальний дизайн: виготовлений із високоякісної сталі товщиною 2 мм та покритий порошково-полімерним шаром.

– Енергоефективність: світлофор із над'яскравими світлодіодами споживає мало енергії, зберігаючи заряд акумулятора. Він добре помітний водіям за будь-яких погодних умов.

1.6 Постановка задач дослідження

На основі проведеного аналізу розвитку технологій реалізації та застосування рішень оптимізації режимів роботи світлофорів з використанням цифрових технологій та сонячних панелей необхідно розглянути та вирішити наступні задачі:

– Дослідити сучасний стан використання сонячних панелей для живлення світлофорів.

– Розглянути існуючі методи управління світлофорами та їх енергоефективність.

– Проаналізувати технічні характеристики сонячних панелей і їх придатність для забезпечення енергопотреб світлофорів у різних кліматичних умовах.

					КНУ.123.24.13.01.P1	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- Розробити алгоритм управління режимами роботи світлофора на основі кліточних автоматів.
- Запропонувати програмну реалізацію запропонованого алгоритму.

Висновки за розділом:

Було проаналізовано застосування сонячних панелей для живлення світлофорів, розглянуті приклади застосування таких рішень, висвітлено їх переваги та недоліки, а також оцінено перспективність застосування таких рішень. Розглянута структура такого рішення та визначенні необхідні завдання дослідження.

Світлофори на сонячній енергії є яскравим прикладом того, як використання сонячної енергії змінює різні сфери нашого життя. Завдяки енергії сонця, ці системи управління дорожнім рухом пропонують численні переваги: зменшення викидів вуглекислого газу, економію коштів та підвищену надійність. Хоча існують виклики, такі як залежність від погодних умов та необхідність технічного обслуговування, безперервний розвиток сонячних технологій допомагає їх подолати. Прагнучи до стійкого та екологічно чистого майбутнього, світлофори на сонячних батареях є важливим кроком у правильному напрямку.

					<i>КНУ.123.24.13.01.P1</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2 ПРОЕКТУВАННЯ СТРУКТУРИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ «СВІТЛОФОР-СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ»

2.1 Загальна ідея оптимізації електроживлення та роботи обладнання пішохідного переходу

Основна ідея полягає у підвищенні рівня безпеки пішоходів, забезпеченні ефективної роботи системи та зменшенні споживання електроенергії. Детально розглянемо ключові аспекти:

- Використання сучасних технологій, таких як світлодіодні (LED) сигнали, є важливим кроком до оптимізації. Світлодіоди споживають значно менше енергії, мають довготривалий ресурс роботи та забезпечують кращу видимість для всіх учасників дорожнього руху в порівнянні з традиційними лампами.

- Інтеграція датчиків руху суттєво підвищить безпеку та ефективність роботи пішохідного переходу. Ці сенсори здатні фіксувати присутність пішоходів і автоматично активувати сигнали світлофорів, що дозволяє зменшити час очікування на перехресті, оптимізувати рух транспорту та підвищити загальну безпеку.

- Синхронізація роботи світлофорів дозволяє налаштувати графіки їх функціонування на різних перехрестях таким чином, щоб забезпечити плавний рух транспорту, зменшити затори та підвищити комфортність пересування пішоходів.

- Використання акумуляторів та енергозберігаючих систем дозволяє значно зменшити споживання енергії, особливо в періоди низької інтенсивності руху або вночі. Акумуляторні батареї можуть заряджатися у пікові періоди та забезпечувати енергоживлення в критичних ситуаціях або за його відсутності.

					<i>КНУ.123.24.13.02.P2</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Уєдраого</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Музика</i>				у		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Кузнецов</i>				<i>Розділ 2</i>		
<i>Затверд.</i>	<i>Купін</i>				<i>КІ-23м</i>		

- Запровадження енергоефективних технологій сприяє суттєвому скороченню витрат енергії без втрати функціональності системи.

Оптимізація електроживлення та функціонування пішохідного переходу включає використання інноваційних технологій, створення надійної системи живлення та впровадження сучасних рішень для підвищення безпеки та ефективності роботи переходу.

Мета оптимізації полягає у досягненні максимальної ефективності, надійності та безпеки системи, зменшенні енергоспоживання та впровадженні сучасних технологій. Одним із важливих завдань є забезпечення резервного живлення через встановлення батарей або генераторів, які гарантують безперебійну роботу навіть у разі аварійного відключення основного джерела енергії. Енергоефективність також досягається за рахунок встановлення LED-підсвітки, що забезпечує достатній рівень освітлення при мінімальному споживанні.

Передові технології відіграють ключову роль у покращенні функціональності переходу. Наприклад, датчики руху активують світлофори чи переводять їх у миготливий режим у разі появи пішоходів, що підвищує безпеку та сприяє економії енергії. Системи моніторингу та дистанційного керування дозволяють своєчасно виявляти збої та оперативно їх усувати.

Усі ці заходи спрямовані на забезпечення безпеки для пішоходів та підвищення ефективності роботи пішохідних переходів. Беручи до уваги місцеві умови та дотримуючись норм безпеки, такі оптимізації дозволяють створити максимально функціональний і надійний комплекс пішохідного переходу[6].

2.2 Інтелектуальні системи керування світлофорами на пішохідних переходах з використанням сонячних панелей

Проектування інтелектуальних систем керування дорожнім рухом є актуальною темою досліджень, і науковці у всьому світі розробляють нові

					<i>КНУ.123.24.13.02.P2</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підходи та інноваційні рішення для розв'язання цієї проблеми. Математичні моделі та рівняння використовуються для аналізу часу очікування транспортних засобів на перехрестях, оцінки черг на смугах руху, визначення щільності трафіку та оптимального розподілу сигналів світлофорів (зелених, жовтих, червоних). Ці моделі адаптуються до реальної дорожньої ситуації, пропонуючи оптимальні маршрути для руху транспорту. Взаємозв'язок між сусідніми перехрестями ускладнює формулювання рішень, адже параметри часто змінюються, є випадковими, а іноді небезпечними. Це робить задачу створення динамічної, ефективної та узгодженої системи надзвичайно складною[11].

Для створення таких систем дослідники застосовують сучасні методи, зокрема алгоритми оптимізації, машинне навчання та аналіз даних. Вони збирають інформацію в реальному часі за допомогою сенсорів, камер та інших джерел, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення і налаштовувати потоки руху. Також до систем інтегруються сучасні комунікаційні технології, наприклад, взаємодія між транспортними засобами (V2V) або зв'язок між транспортними засобами та інфраструктурою (V2I), що підвищує координацію та ефективність роботи[11].

Кінцева мета таких систем - оптимізація транспортного потоку, зменшення заторів, скорочення часу у дорозі, підвищення безпеки та забезпечення комфортного пересування для водіїв і пішоходів. Дослідження у цій сфері спрямовані на створення сучасних і надійних транспортних мереж для міських зон.

Науковці різних напрямків співпрацюють, аби запропонувати реальні рішення для зменшення заторів. Постійно розробляються нові методики, використовуються сучасні мікроконтролери, сенсори та інноваційні алгоритми для моделювання роботи світлофорів. Наприклад, багато систем базуються на інфрачервоних сенсорах, які фіксують проїзд автомобілів між ІЧ-передавачами та приймачами. Ці дані використовуються для регулювання часу зеленого сигналу залежно від інтенсивності руху.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Для управління екстремими транспортними засобами застосовують радіочастотні передавачі, які надсилають сигнали на трансивери, розташовані на перехрестях, змінюючи послідовність роботи світлофорів для створення безпечного маршруту. Також деякі дослідники інтегрують GPS-технології, які передають попереджувальні сигнали світлофорам, або використовують модулі GSM для зв'язку з лікарнями, забезпечуючи своєчасне отримання інформації про стан пацієнта.

Обробка зображень також використовується для оцінки щільності руху, однак цей підхід залежить від якості зображень, яка може знижуватись за несприятливих погодних умов (дощ, туман). Інші методи включають використання складних алгоритмів, таких як нечітка логіка та генетичні алгоритми, для моделювання різних сценаріїв дорожнього руху.

Більшість досліджень фокусуються на окремих перехрестях, і вплив сусідніх вузлів мережі часто ігнорується, що ускладнює розв'язання задач на глобальному рівні. Тому необхідно докладати додаткових зусиль для розробки комплексних рішень, які дозволяють здійснювати моніторинг і керування декількома синхронізованими перехрестями.

Сонячні панелі - це пристрої, які перетворюють енергію сонця на електричну. Вони можуть слугувати джерелом живлення для різних пристроїв, зокрема світлофорів на пішохідних переходах. Завдяки сучасним технологіям сонячні панелі стали значно ефективнішими та надійнішими[9].

Коефіцієнт корисної дії - одна з ключових характеристик сонячних панелей, яка відображає ефективність перетворення сонячної енергії в електричну. Чим вищий коефіцієнт корисної дії, тим більший обсяг енергії може бути отриманий від панелі.

Ефективність застосування сонячних панелей для живлення світлофорів залежить від ряду факторів, серед яких:

- Місце розташування панелей: правильний вибір місця забезпечує максимальне потрапляння сонячного світла.
- Кут нахилу: панелі слід розташовувати під оптимальним кутом до сонця.

					КНУ.123.24.13.02.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Кліматичні умови: кількість сонячних днів і рівень інсоляції впливають на загальну продуктивність системи.

При ретельному проектуванні та правильному встановленні сонячні панелі можуть стати економічно вигідним і високоефективним джерелом живлення для світлофорів.

Основна перевага використання сонячних панелей - це їх автономність. Відсутність потреби у підключенні до централізованої електромережі дозволяє зменшити витрати на електроенергію та знизити навантаження на мережу.

Проте використання сонячних панелей має і деякі недоліки:

– Залежність від погодних умов: продуктивність панелей знижується в похмурі дні або взимку.

– Ризики вандалізму та крадіжок, які потребують додаткових заходів захисту.

Загалом використання сонячних панелей для живлення світлофорів є екологічно безпечним і ефективним рішенням. Для забезпечення максимальної надійності та продуктивності системи при проектуванні та монтажі слід враховувати всі можливі фактори, зокрема кліматичні особливості, правильне розташування та захист від пошкоджень[10].

Типи сонячних панелей та їхні особливості:

– Монокристалічні сонячні панелі: виготовляються з одного кристалічного блоку кремнію, мають високий коефіцієнт корисної дії.

– Полікристалічні сонячні панелі: складаються з кількох кремнієвих кристалів, що знижує їхню вартість у порівнянні з монокристалічними панелями.

– Аморфні сонячні панелі: виготовляються з аморфного кремнію, мають тонку й гнучку структуру.

– Безкристалічні сонячні панелі: створюються з матеріалів без кристалічної структури, наприклад, з органічних сполук.

Перваги та недоліки наведених типів сонячних панелей представимо у вигляді таблиці 2.1, а у таблиці 2.2 наведено аналіз переваг та недоліків розглянутих типів панелей у випадку використання для живлення світлофорів.

					КНУ.123.24.13.02.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір типу сонячних панелей (СП) для живлення світлофорів на пішохідних переходах слід здійснювати з урахуванням умов експлуатації, фінансових обмежень та очікуваної ефективності. Важливо врахувати, як панелі будуть функціонувати в реальних умовах, таких як погодні умови, рівень освітленості та необхідна надійність системи[12].

Таблиця 2.1 – Порівняння типів сонячних панелей

Тип СП	Переваги	Недоліки
Монокристалічні	Висока ефективність перетворення сонячної енергії	Вища вартість порівняно з іншими типами панелей
	Хороша продуктивність при слабкому освітленні.	Зниження ефективності при високих температурах.
Полікристалічні	Добра ефективність перетворення сонячної енергії	Трохи менша ефективність порівняно з монокристалічними панелями.
	Більш доступна ціна порівняно з монокристалічними панелями.	Вплив температури на продуктивність.
Аморфні	Гнучкість та тонкість, що дозволяє їх використовувати в різних формах та розмірах.	Нижча ефективність перетворення сонячної енергії порівняно з кристалічними панелями
	Низька вартість виробництва	Вищий рівень деградації з плином часу
Безкристалічні	Можливість створювати різні форми та кольори.	Зазвичай низька ефективність перетворення сонячної енергії.
	Інтеграція в різні поверхні.	Швидший рівень деградації порівняно з іншими типами панелей.

Для ефективного живлення світлофорів на пішохідних переходах доцільно використовувати монокристалічні або полікристалічні панелі, залежно від вимог до потужності та бюджету. Аморфні та безкристалічні панелі краще підходять для специфічних завдань, наприклад, як допоміжні джерела енергії.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.123.24.13.02.P2					

Оптимальний вибір панелей залежить від кліматичних умов, рівня освітлення та особливостей конкретного пішохідного переходу.

Таблиця 2.2 – Порівняння типів сонячних панелей

Тип СП	Переваги	Недоліки
Монокристалічні	Найкраще підходять для місць з високою інсоляцією; забезпечують стабільне живлення світлофорів у різних умовах.	Дороге рішення, яке може бути невиправданим для менш завантажених пішохідних переходів.
Полікристалічні	Доступніша альтернатива з хорошим коефіцієнтом корисної дії, оптимально підходять для міських зон із середньою інтенсивністю трафіку.	Менш ефективні в умовах слабого освітлення.
Аморфні	Ідеальні для перехідних конструкцій, де важлива гнучкість і низька вартість.	Не підходять для високого навантаження через низький коефіцієнт корисної дії
Безкристалічні	Можуть використовуватися в інтегрованих системах, наприклад, для живлення невеликих індикаторів або допоміжних пристроїв	Не здатні забезпечити достатнє живлення для повноцінного функціонування світлофорів.

При впровадженні СП на пішохідних переходах необхідно враховувати всі фактори - від ефективності панелей до їхньої стійкості до зовнішніх впливів. Гнучкі панелі підходять для мобільних або нестандартних конструкцій, тоді як високоефективні панелі ідеальні для зон із високим рівнем енергоспоживання. Оптимальний вибір залежить від умов експлуатації та специфічних вимог до системи.

Пропонуємо розглянути дві перспективні області, які заслуговують особливої уваги (див. табл.2.3). Оцінка потенціалу новітніх технологій, таких як гнучкі сонячні панелі і панелі з високим коефіцієнтом корисної дії, потребує глибоких досліджень. Ці технології відкривають перспективи для підвищення

					КНУ.123.24.13.02.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергоефективності світлофорів та використання відновлюваних джерел енергії на пішохідних переходах[12].

Їх застосування може значно зменшити споживання енергії та вплив на довкілля, підвищуючи водночас рівень безпеки та надійності систем освітлення.

Таблиця 2.3 – Порівняння перспективних типів

Тип СП	Переваги	Недоліки
Гнучкі	Гнучкість і легкість, що дозволяє їх встановлювати на різних поверхнях, включаючи нерівні.	Зазвичай мають меншу ефективність перетворення порівняно з жорсткими панелями.
	Інтеграція з архітектурними елементами, такими як дахи, фасади будівель.	Вища вартість виробництва.
	Висока стійкість до ударів та вібрацій	
Панелі з високою ефективністю перетворення:	Використовуючи передові матеріали та передові технології досягли високого рівня коефіцієнту корисної дії.	Зазвичай мають вищу вартість порівняно з традиційними панелями.
	Маючи досить велику вихідну потужність на одиницю площини, досягають більшої кількості енергії з обмеженої поверхні.	Можуть бути більш чутливими до умов навколишнього середовища, таких як висока температура або тінь.

Ключовими аспектами для оцінки є наступні[14]:

1. Ефективність перетворення

а) Необхідно оцінити коефіцієнт корисної дії панелей різних типів, щоб визначити їх здатність забезпечувати необхідну потужність.

б) Важливо враховувати рівень доступного сонячного освітлення, а також можливі перешкоди, як-от затінення від будівель чи дерев.

Традиційні сонячні панелі: Кристалічний кремній має коефіцієнт корисної дії 15-20%, тонкоплівкові панелі (CIS, CIGS) - 10-15%.

Гнучкі сонячні панелі: Технології аморфного кремнію або CIS/CIGS забезпечують коефіцієнт корисної дії 6-12%.

					КНУ.123.24.13.02.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Високоефективні сонячні панелі: Новітні технології, як-от багатоперехідні сонячні елементи, досягають коефіцієнту корисної дії 20% і вище.

2. Вплив умов навколишнього середовища

а) *Тінь:* Може значно знижувати продуктивність сонячних панелей. Технології, такі як перовскітові панелі, забезпечують кращу стійкість до затінення завдяки багатошаровій структурі.

б) *Погодні умови:* Панелі повинні бути захищені від впливу опадів. Захисні покриття збільшують довговічність і продуктивність панелей.

с) *Температура:* Високі температури можуть знижувати ефективність. Рекомендовано впровадження вентиляції для зниження негативного впливу.

3. Міцність і довговічність

а) *Механічна стійкість:* Панелі повинні витримувати вітрові навантаження, удари та інші фізичні впливи.

б) *Стійкість до ультрафіолету:* Важливо враховувати, наскільки матеріали сонячних панелей захищені від деградації під впливом УФ-променів.

с) *Захист від вологості:* Панелі мають бути водонепроникними та стійкими до корозії для роботи у вологому середовищі.

Ретельне дослідження механічних факторів дозволяє оцінити надійність та довговічність кожного типу сонячних панелей. Аналіз умов експлуатації, зокрема механічних навантажень, гарантує, що панелі здатні витримувати вплив зовнішніх факторів протягом усього терміну служби.

Важливі аспекти для врахування:

– *Ризик вандалізму:* Панелі, розташовані у публічних місцях, піддаються потенційним загрозам пошкодження, несанкціонованого втручання або крадіжок.

– *Міцність матеріалів:* Сонячні панелі мають виготовлятися з високоміцних матеріалів, таких як скловолокно або спеціальні полімери, які забезпечують стійкість до механічних впливів. Це може підвищити їх захищеність від пошкоджень.

					КНУ.123.24.13.02.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– *Тестування:* Перед впровадженням сонячних панелей необхідно провести симуляційні випробування для оцінки впливу механічних факторів у реальних умовах.

Заходи для підвищення довговічності:

– *Захисні конструкції:* Використання рам або спеціальних покриттів дозволить запобігти пошкодженням, викликаним механічними впливами.

– *Оптимальне розташування:* Встановлення сонячних панелей у місцях з мінімальним ризиком пошкоджень, із застосуванням додаткового захисту, наприклад, захисних надбудов або систем відеоспостереження.

– *Технічне обслуговування:* Регулярний огляд і профілактика сонячних панелей допоможуть вчасно виявити та усунути потенційні проблеми, що продовжить термін їх експлуатації.

Урахування механічних факторів та впровадження превентивних заходів дозволяють забезпечити тривалу та надійну роботу сонячних панелей навіть у несприятливих умовах. Дослідження нових матеріалів і технологій, таких як перовськітові панелі, відкривають перспективи створення більш довговічних і ефективних рішень. Ці зусилля є важливим кроком у підвищенні надійності сонячної енергетики та сприятимуть її подальшому розвитку. Гнучкі панелі підходять для мобільних або нестандартних конструкцій, тоді як високоефективні панелі ідеальні для зон із високим рівнем енергоспоживання. Оптимальний вибір залежить від умов експлуатації та специфічних вимог до системи

Окрім механічних впливів, на міцність та довговічність сонячних панелей значний вплив мають ультрафіолетове випромінювання та волога.

Для забезпечення надійної роботи сонячних панелей на пішохідних переходах необхідно враховувати вплив механічних навантажень, УФ-випромінювання та вологи. Застосування якісних матеріалів, захисних технологій і стандартів довговічності забезпечить тривалу та ефективну експлуатацію панелей у реальних умовах.

					КНУ.123.24.13.02.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Проектування системи «світлофор -сонячна панель»

2.3.1 Технічне забезпечення

Світлофор має змінювати сигнали при наявності транспортного засобу, що очікує, або за вимогою пішохода. У даному випадку використання індукційних петель не є оптимальним через проблеми з дорожнім покриттям. Для виявлення транспортних засобів пропонується застосувати датчик відстані SHARP-GP2Y0A710K0F. Як мікроконтролер планується використати плату Arduino Uno на основі ATmega328 або один з його аналогів[16,17,19].

Arduino Uno [5](Рис. 2.1) побудований на мікроконтролері ATmega328 і має 14 цифрових входів/виходів та 6 аналогових входів. Для роботи він може підключатися до ПК через USB-кабель або отримувати живлення від адаптера змінного/постійного струму (AC/DC). Його технічні характеристики наведені у табл. 2.4.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд Arduino Uno

Таблиця 2.4 – Характеристики Arduino Uno

Мікроконтролер	ATmega328
Напруга роботи	5 В
Напруга входу	7-15 В
Предельне напруга входу	6-20 В

					КНУ.123.24.13.02.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.4

Оперативная память	2 Кб
Тактовая частота	16 МГц
Количество аналоговых входов	6

Аналогами даного контролеру можна вважати Arduino Leonardo (Рис.2.2) та Arduino Mega 2560 [5](Рис. 2.3). Технічні характеристики наведені у таблицях 2.5-2.6



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд Arduino Leonardo



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд Arduino Mega 2560

					КНУ.123.24.13.02.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблица 2.5 – Характеристики Arduino Leonardo

Микроконтроллер	ATmega32i4
Напряжение работы	5 В
Напряжение входа	7-15 В
Предельное напряжение входа	6-20 В
Оперативная память	2 Кб
Тактовая частота	16 МГц
Количество аналоговых входов	12

Таблица 2.6 – Характеристики Arduino Mega 2560

Микроконтроллер	ATmega2560
Напряжение работы	5 В
Напряжение входа	7-15 В
Предельное напряжение входа	6-20 В
Оперативная память	8 Кб
Тактовая частота	16 МГц
Количество аналоговых входов	16

Як видно з характеристик, контролери мають несуттєві відмінності між собою. Вибір було зупинено на Arduino Uno, оскільки для роботи запланованого світлофора цілком достатньо 6 аналогових входів та 2 кБ оперативної пам'яті, а також через його нижчу ціну порівняно з іншими доступними контролерами.

Датчик відстані SHARP-GP2Y0A710K0F [5](Рис. 2.4,а) є доступним, ефективним і простим у використанні. Він дає змогу визначати відстань до об'єкта або перешкоди в межах від 100 до 550 см.

Його технічні характеристики наведено у табл.2.7.

					КНУ.123.24.13.02.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

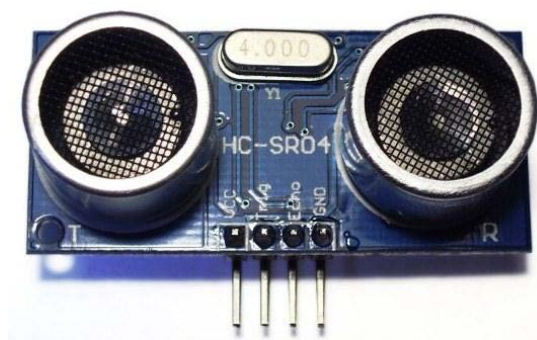
Таблиця 2.7 – Характеристики датчика расстояния SHARP-GP2Y0A710K0F

Диапазон измерения расстояния	От 100 до 550 см
Размеры	58x17.6x22.5 мм
Потребление тока	30 мА
Питающее напряжение	от 4.5 до 5.5 В

Альтернативним варіантом обраного датчика є датчик відстані HC-SR04 (Рис. 2.4,б): цей сенсор здатний виявляти об'єкти на дистанції від 2 до 400 см.



а)



б)

Рисунок 2.4 – Датчик відстані: а) SHARP-GP2Y0A710K0F; б) HC-SR04

Вибір датчика відстані SHARP-GP2Y0A710K0F є виправданим, оскільки його діапазон виявлення об'єктів найбільше відповідає вимогам нашого завдання.

2.3.2 Розробка структурної схеми

На рисунку 2.5 наведено схематичне представлення структурної схеми рішення на основі обраного обладнання. Відповідно до вибраних елементів дана схема складається з таких основних блоків:

Блок 1: Перший світлофор з відповідним позначенням кольорів роботи та супутніми елементами у вигляді реле, індикаторів та ламп;

					КНУ.123.24.13.02.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Блок 2: Другий світлофор з відповідним позначенням кольорів роботи та супутними елементами у вигляді реле, індикаторів та ламп;

Блок №3: Безпосередньо мікроконтролер разом з датчиков відстані;

Блок 4: Сонячна панель, яка забезпечує живлення.

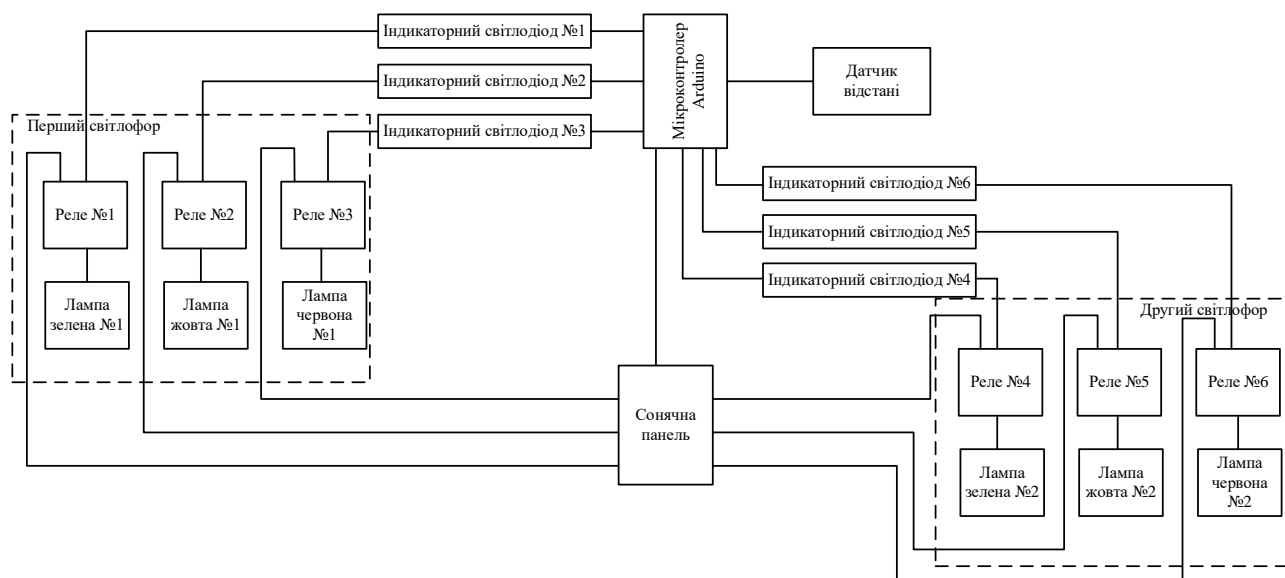


Рисунок 2.5 – Структурна схема

2.3.3 Алгоритм функціонування

Спершу потрібно визначити, як має діяти програма, яку ми розробляємо. Для цього складемо блок-схему алгоритму роботи програми.

Дана блок-схема (рисунок 2.3) охоплює всі режими роботи світлофора. Для спрощення розглянуто роботу двох світлофорів з урахуванням їх почергової роботи в залежності від наявності транспортних засобів на прилеглих дорогах.

В алгоритмі враховано ситуацію блимаючого жовтого та зеленого кольорів при перемиканні з червоного на зелений та з зеленого на червоний. Також за допомогою затримки можна регулювати час дозволяючого та забороняючого світла даних світлофорів. У Додатку А наведено лістинг програмної реалізації відповідно до наведеного алгоритму

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

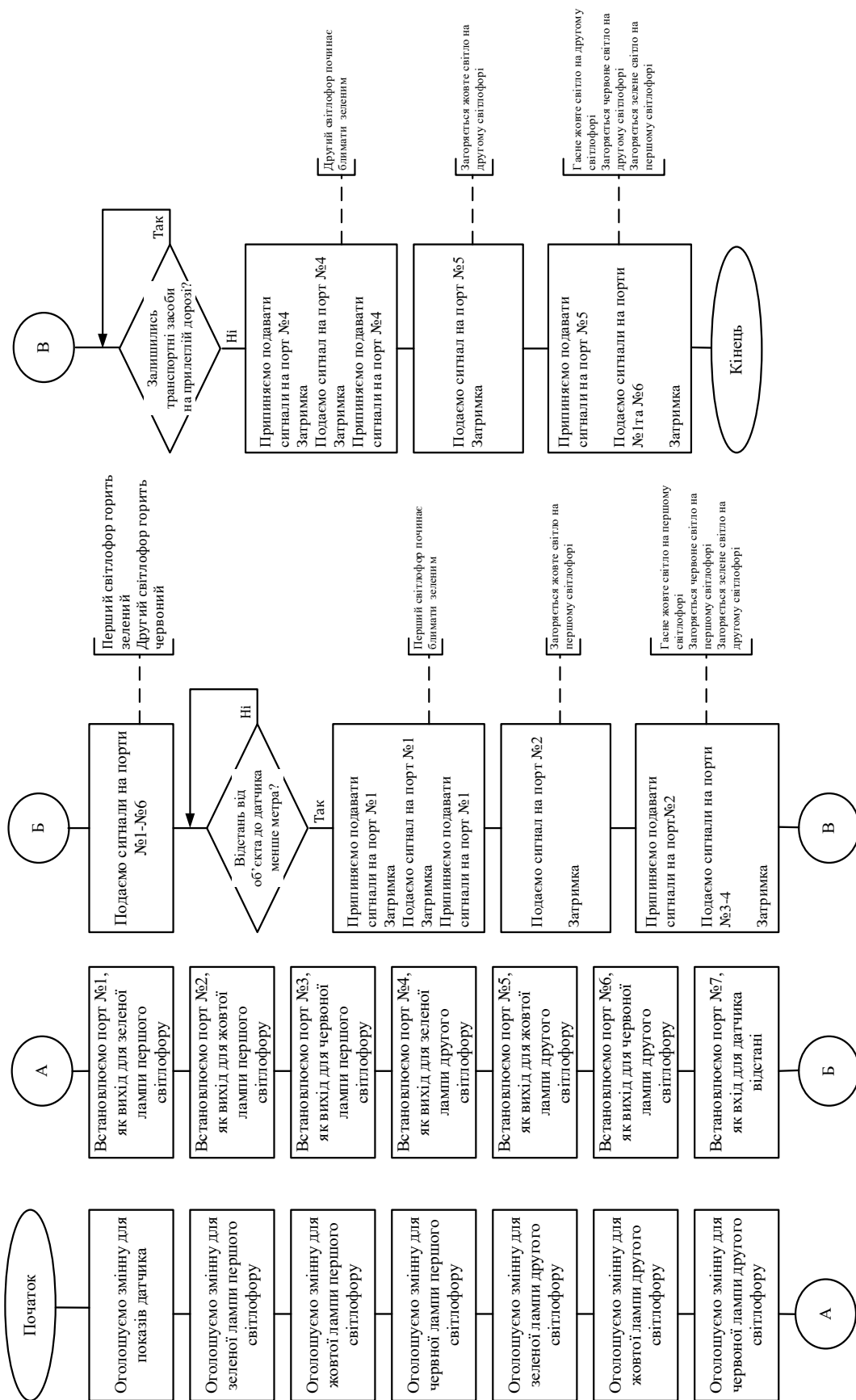


Рисунок 2.6 – Блок-схема алгоритму програми

2.3.4 Можливість застосування орієнтації сонячної панелі

Як відомо, Сонце розташоване не в одній точці неба, в результаті обертання Землі навколо Сонця. Оскільки відомо, що найбільше вироблення сонячної енергії відбувається при попаданні сонячних променів під кутом 90° до акумулятора, необхідно орієнтувати сонячну батарею на Сонце. Щоб вирішити цю проблему, необхідно передбачити можливість обертання сонячних панелей щодо руху Сонця[17].

Для цього можна вдосконалити схему (рис.2.5) шляхом додавання окремих елементів. Так на рисунку 2.7 наведено один з варіантів такої реалізації.

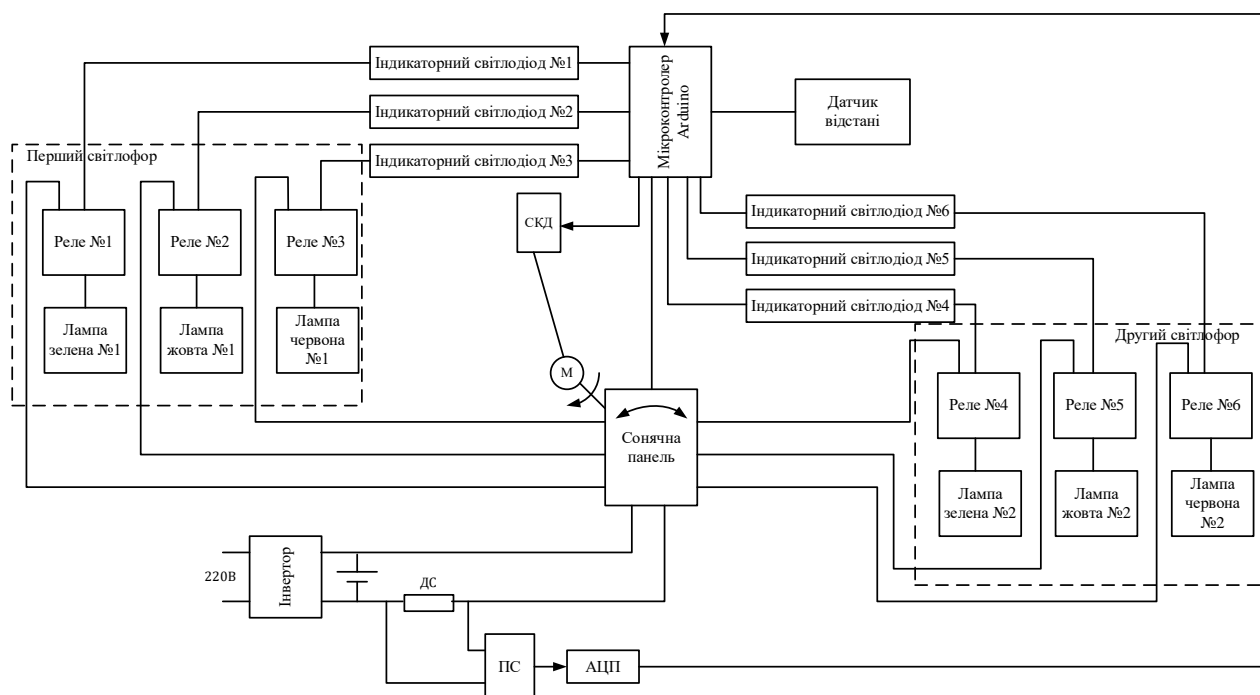


Рисунок 2.7 – Структурна схема з можливістю обертання сонячної панелі

На даному рисунку додані такі елементи: Інвертор з акумуляторною батареєю, датчик струму (ДС), підсилювач сигналу (ПС), аналого-цифровий перетворювач (АЦП) та кроковий двигун (М) з системою керування (СКД).

За допомогою цієї схеми сонячну батарею повертають в горизонтальній площині і знаходять кут α , при якому сонячна батарея буде давати максимальний струм I_{CBmax} . Зворотний зв'язок здійснюється на поточні значення. В якості датчика струму виступає шунт. Сигнал від шунта надходить на підсилювач сигналу. Після посилення сигналу надходить аналого-цифровий перетворювач,

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

після чого сигнал надходить на мікроконтролер. Мікроконтролер обробляє сигнал i , в залежності від результату, подається необхідна команда на систему управління кроковим двигуном. На кроковий двигун надходить сигнал i за допомогою черв'ячного редуктора і шестерні сонячна батарея повертається в необхідному напрямку. Після обертання сонячної батареї повторно вимірюється струм, що надходить від сонячної батареї з попереднім значенням. Якщо різниця більше нуля, то подається команда на поворот сонячної батареї в ту ж сторону на одну дискретну. Якщо різниця менше нуля, то надходить команда на повернення до попередньої точки. В кінцевому підсумку система функціонує в області точки екстремуму M . Також є можливість запрограмувати додаткову функцію системи обертання сонячної батареї. Додаткове програмування полягає в тому, що при знаходженні оптимального кута нахилу сонячної панелі система зупиняється на певний інтервал часу, який необхідно встановити. Для вертикальної орієнтації сонячної батареї застосовують аналогічну схему. Тобто схема реалізує пошук екстремума (рис.2.8)

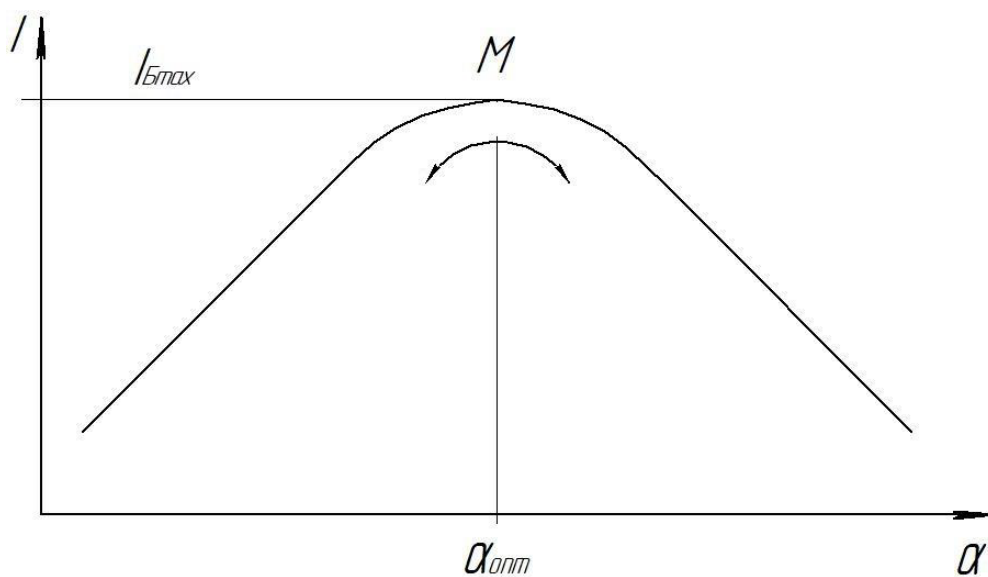


Рисунок 2.8 – Принцип пошуку екстремума

На рисунку 2.9 показані криволінійні залежності, що генеруються сонячною панеллю разом з механізмом обертання та без нього, також на рисунку відображено знаходження кута α .

					КНУ.123.24.13.02.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

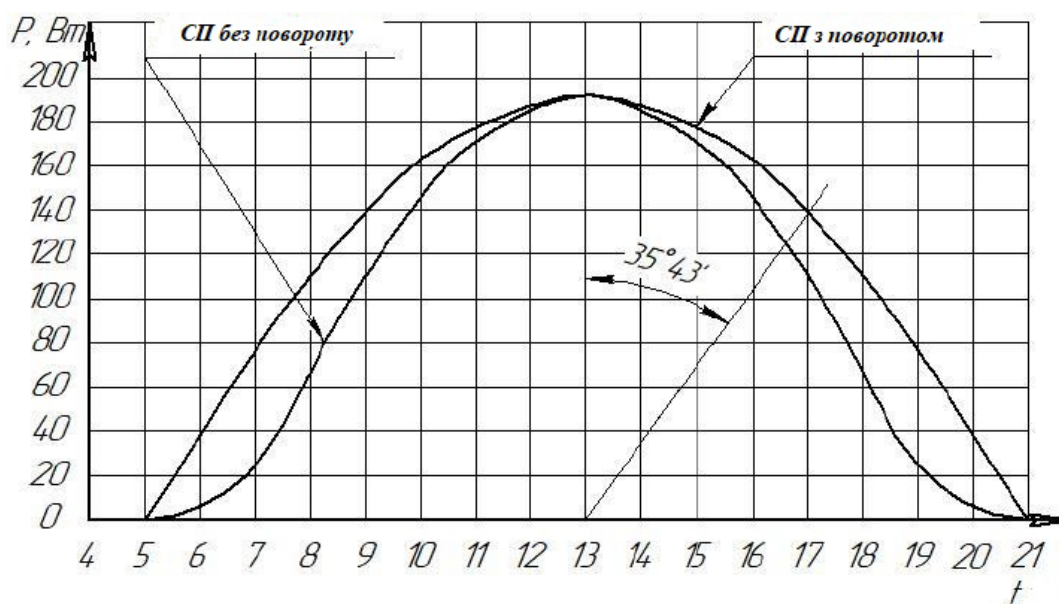


Рисунок 2.9 – Графічне порівняння варіантів реалізації

Для того щоб визначити процентне збільшення ефективності сонячної батареї з механізмом обертання, необхідно розрахувати різницю площ двох криволінійних фігур під червоною і синьою лініями.

Щоб обчислити площу цих криволінійних фігур, скористаємося методом апроксимації. Метод апроксимації має на увазі використання більш простих форм, максимально наближених до вихідної. Для обчислення цих цифр ми будемо використовувати прямокутні трапеції, підстави яких будуть розташовуватися на осі ординат, довжини підстав будуть чисельно рівні показанням потужності в даний годину, висота буде на осі абсцис і дорівнюватиме 1 годині.

Щоб обчислити площу фігури під лінією сонячної батареї з механізмом обертання, скористаємося наступною формулою:

$$S_{7,8} = \frac{AB + DC}{2} \cdot AD = \frac{76,72 + 110,29}{2} \cdot 1 = 93,505$$

Для наочного прикладу на рисунку 2.10 показана апроксимація частини фігури, а інші значення обчислюються аналогічним чином.

					КНУ.123.24.13.02.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

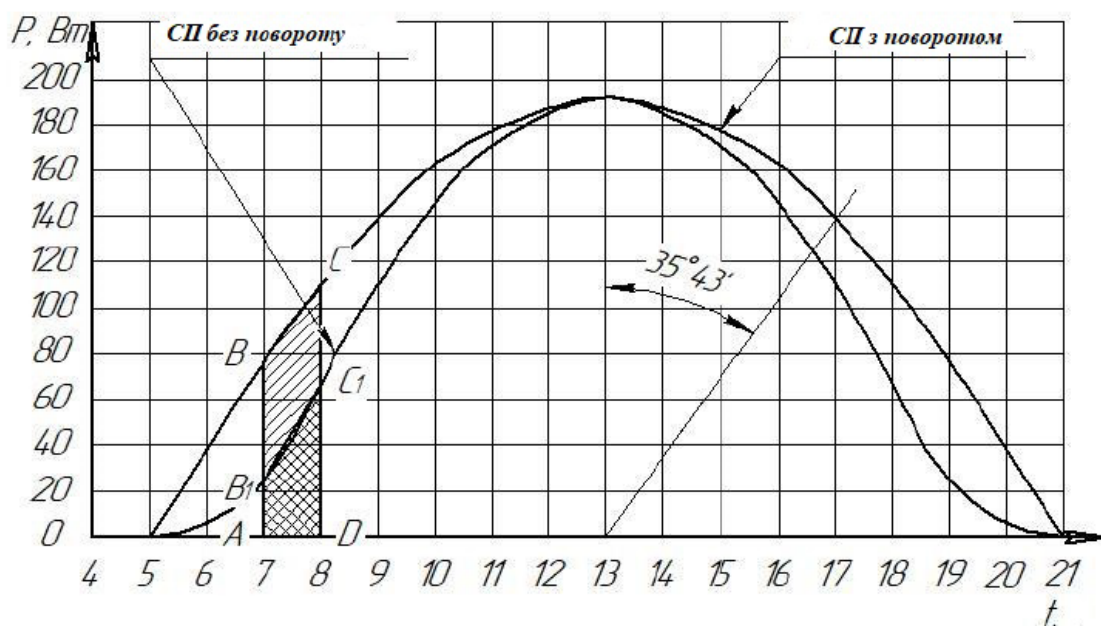


Рисунок 2.10 – Приклад апроксимації одержаних кривих

У результаті розрахунків отримані такі значення шуканих площин: $S_1=1659,07$ та $S_2=1975,54$. Ефективність застосування панелі з механізмом повороту можна обрахувати таким чином:

$$E = \frac{S_2 + S_1}{S_2} \cdot 100\% = \frac{1975,54 - 1659,07}{1975,54} = 16,02\%$$

Таким чином загальне підвищення ефективності застосування позионування сонячної панелі складає 16%

2.4 Розробка та оптимізація конструкції сонячних панелей для використання на світлофорах

Розгляньмо інтелектуальну систему керування світлофорами на перехресті, яка включає два триколірні світлофори (позначені як А та В) і два двоколірні світлофори для сигналізації правого (R) та лівого (L) поворотів. У системі також застосовуються інфрачервоні передавачі та приймачі, встановлені по обидва боки дороги.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Світлофорна система має дві конфігурації. Перша конфігурація дозволяє транспортним засобам рухатися з дороги 1 на дорогу 3 та здійснювати правий поворот на дорогу 4. Друга конфігурація надає можливість автомобілям їхати з дороги 2 на дорогу 4 або повертати ліворуч для продовження руху по дорозі 3. При перетині цих доріг враховується наявність пішохідних переходів. [6]

Стан світлофорів позначається літерами А, В, L та R, кожна з яких відповідає певним кольоровим сигналам. Наприклад, позначення А-Г ON означає, що світлофор А світить зеленим світлом. Фаза I першої конфігурації активує зелений сигнал на світлофорах А та R, дозволяючи автомобілям з дороги 1 перетинати перехрестя.

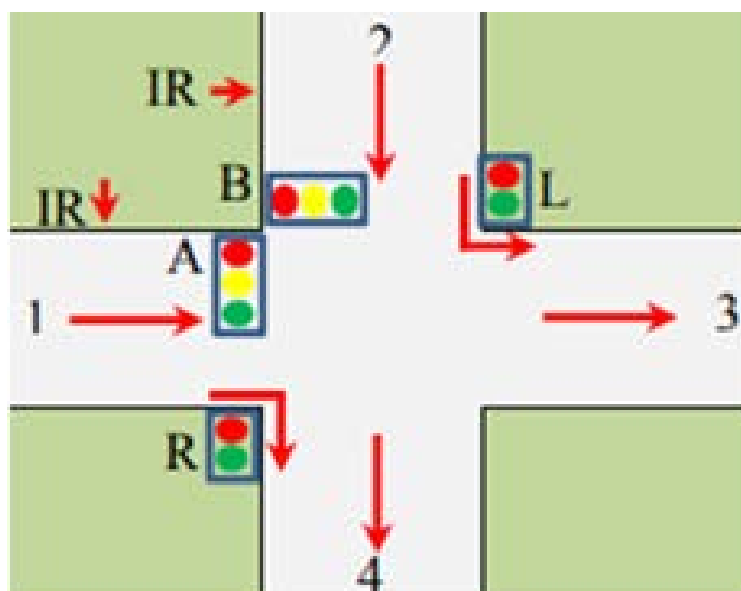


Рисунок 2.11 - Схема перехрестя з 4 однонапрямковими дорогами

Фаза II служить попередженням про зупинку: світлофор А показує жовтий сигнал протягом 5 секунд. У цей період світлофори В та L залишаються з червоним світлом. Однією з проблем існуючих світлофорних систем є фіксовані часові інтервали для зміни сигналів, які встановлені в програмному кодї.

У таблиці 2.8 наведено різні стани світлофорів А, В, L та R для двох різних конфігурацій руху. Кожна фаза складається з різних комбінацій увімкнених та вимкнених світлових сигналів. Наприклад, позначення А-Г ВКЛ. означає, що на світлофорі А горить зелений сигнал. Фаза I першої конфігурації відповідає

					КНУ.123.24.13.02.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

увімкненню зеленого світла на світлофорах А та R, дозволяючи транспортним засобам з дороги 1 перетинати перехрестя.

Таблиця 2.8 - Стани світлофорів

Конфігурація 2	Фаза I	Фаза II
A-G УВІМК.	A-Y ВІМК.	A-R ВІМК.
A-G ВІМК.	A-Y УВІМК.	A-R ВІМК.
A-G ВІМК.	A-Y ВІМК.	A-R УВІМК.
B-G ВІМК.	B-Y ВІМК.	B-R УВІМК.
B-G ВІМК.	B-Y УВІМК.	B-R ВІМК.
B-G УВІМК.	B-Y ВІМК.	B-R ВІМК.
B-G ВІМК.	B-Y ВІМК.	B-R УВІМК.
A-G УВІМК.	A-Y ВІМК.	A-R ВІМК.

Фаза II слугує попередженням про зупинку: протягом 5 секунд на світлофорі А горить жовтий сигнал, тоді як світлофори В та L залишаються з червоним світлом. У другій конфігурації стани світлофорів змінюються на протилежні. [8]

Така система не здатна ефективно вирішити ситуації, коли затор утворюється лише в одному напрямку. Це часто спостерігається в багатьох містах, коли мешканці передмість їдуть до центру вранці та повертаються додому ввечері. Крім того, під час негоди, коли потік автомобілів зростає, або вночі, коли він зменшується, необхідно відповідно коригувати тривалість зеленого сигналу. Для виявлення проїзду автомобілів використовуються інфрачервоні передавачі та приймачі, розміщені з обох боків дороги. ІЧ-передавач генерує сигнал із частотою 38 кГц, який приймається ІЧ-приймачем, підключеним до контролера світлофора, і система залишається неактивною. Коли автомобіль проїжджає між передавачем і приймачем, сигнал відбивається, активуючи систему. Контролер аналізує цей процес, коригує лічильник щільності трафіку та реагує на отримані дані. У системі передбачено три режими

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.123.24.13.02.P2					

роботи світлофорів: нормальний, заторний та режим із низькою інтенсивністю руху.

Перехід між цими режимами відбувається динамічно та в реальному часі. Кількість транспортних засобів, зафіксованих у фазі I певної конфігурації, безпосередньо впливає на тривалість зеленого сигналу в наступній фазі I наступної конфігурації. Тривалість інтервалів для нормального, заторного та режиму з низькою інтенсивністю руху становить відповідно 30, 50 та 15 секунд. Ці параметри можна налаштовувати за допомогою програмного забезпечення.

У нормальному режимі фаза I кожної конфігурації триває 30 секунд. Проте, якщо на дорозі 1 утворюється затор, а на дорозі 2 спостерігається слабкий трафік, тривалість фази I першої конфігурації збільшується до 50 секунд, тоді як фаза I другої конфігурації скорочується до 15 секунд.

Однією з важливих проблем у системах світлофорів є забезпечення пріоритетного проїзду екстрених служб через перехрестя. До екстрених служб належать швидка допомога, рятувальні автомобілі, пожежні бригади, поліція та особи зі статусом VIP, які можуть затримуватися в дорожніх заторах. Ця проблема може виникати в різних критичних ситуаціях, таких як ДТП з постраждалими, пожежі, пограбування тощо. Для її вирішення необхідно розробити відповідні технології та стратегії. [9]

Таблиця 2.9 - Приклад роботи інтелектуальних систем управління

Режим руху	Конфігурація	Фаза I	Фаза II
Нормальний рух	Конфігурація 1	30 с	5 с
Нормальний рух	Конфігурація 2	30 с	5 с
Затори	Конфігурація 1	50 с	5 с
Затори	Конфігурація 2	15 с	5 с
М'який рух	Конфігурація 1	30 с	5 с
М'який рух	Конфігурація 2	30 с	5 с

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Важливість застосування інтелектуальних систем керування світлофорами на пішохідних переходах зумовлена збільшенням кількості учасників дорожнього руху та необхідністю забезпечення безпеки й оптимізації транспортних потоків.

Використання таких технологій має потенціал суттєво покращити ці показники. Системи можуть автоматично виявляти пішоходів на переходах і гарантувати їм безпечний перехід, що сприяє зменшенню кількості ДТП і підвищенню рівня безпеки пішоходів. Крім того, інтелектуальні системи можуть оснащуватися датчиками для розпізнавання пішоходів, таймерами зворотного відліку, а також звуковими та візуальними сигналами, що підвищує обізнаність учасників руху та покращує взаємодію з пішоходами[21].

Оптимізація дорожнього трафіку є ще одним важливим аспектом цієї теми. Впровадження інтелектуальних систем керування дозволяє раціонально розподіляти транспортні потоки, регулювати світлофори відповідно до реальної ситуації на дорозі та забезпечувати оптимальну пропускну спроможність мережі. Це веде до зменшення заторів, скорочення часу очікування на світлофорах і зниження рівня шкідливих викидів в атмосферу[23].

Також важливо враховувати вплив використання сонячної енергії на енергоефективність та екологічні характеристики світлофорів на пішохідних переходах.

2.5 Оптимальний режиму перетворення сонячної енергії та його моделювання

Визначення обсягу енергії, яку сонячна панель може генерувати протягом визначеного проміжку часу, є складним завданням, оскільки енергопродукція залежить від численних чинників. Ці чинники можна класифікувати на дві основні категорії: технічні параметри самої панелі та умови навколишнього середовища[23].

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.123.24.13.02.P2				

До першої категорії належать такі параметри, як вольт-амперна характеристика сонячних модулів, напруга при відсутності навантаження, струм при короткому замиканні та інші технічні показники. Друга група включає такі чинники, як інтенсивність сонячної радіації, що потрапляє на одиницю площі панелі, температура навколишнього повітря, рівень вологості та атмосферний тиск. На основі аналізу результатів дослідження [85] можна зробити висновок, що основним фактором є обсяг сонячної радіації, що досягає панелей. Вплив інших чинників є незначним, тому їх можна ігнорувати.

Обсяг енергії, яку може виробити сонячна панель (E), визначається залежністю[24]:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} f_{tr}(f_i(t))dt, \quad (2.1)$$

де f_i – функція, яка показує, як з часом змінюється сумарна інтенсивність сонячної радіації на одиницю площі сонячних панелей.;

f_{tr} – функція, яка показує, як потужність сонячних панелей залежить від сумарної інтенсивності сонячної радіації, що падає на їхню поверхню.

Для моделювання процесу трансформації сонячної енергії в електричну застосовують різні підходи [85]. Серед них виділяють: метод, що базується на коефіцієнті ефективності, метод коригувальних коефіцієнтів, підхід, оснований на фізичних моделях, а також статистичні методики.

Для імітації процесу перетворення сонячної енергії в електричну застосовано метод, оснований на коефіцієнті корисної дії. Обраний підхід виправданий тим, що він не потребує значних обсягів статистичних даних, на відміну від статистичних методів, а також не вимагає інформації про вольт-амперну характеристику (ВАХ) сонячних панелей[24]:

$$f_{tr}(I) = kI, \quad (2.2)$$

де k – коефіцієнт, який визначає ефективність перетворення сонячною панеллю сонячної енергії в електричну.

В загальному випадку, сумарна інтенсивність сонячної радіації визначається залежністю:

					КНУ.123.24.13.02.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{\text{пох}} = B_{\text{пох}} + D_{\text{пох}} + R_{\text{пох}}, \quad (2.3)$$

де $B_{\text{пох}}$ – інтенсивність прямого сонячного випромінювання, що потрапляє на сонячні панелі, Вт/м²;

$D_{\text{пох}}$ – інтенсивність розсіяного сонячного випромінювання, яке досягає сонячних панелей, Вт/м²;

$R_{\text{пох}}$ – інтенсивність відбитого сонячного випромінювання, що падає на сонячні панелі, Вт/м².

Інтенсивність відбитого сонячного випромінювання не буде враховуватись, оскільки її вплив у даному випадку є незначним.

Загальну потужність сонячної радіації, що досягає сонячних панелей, можна визначити за допомогою наступної залежності[24]:

$$Q_{\text{сер}} = B_{\text{пох}}(1 - k_{\text{зат}}) + D_{\text{пох}}, \quad (2.4)$$

де $k_{\text{зат}}$ – коефіцієнт затемнення, це показник, який вказує, який відсоток панелі перебуває в тіні від іншої панелі у даний момент часу. Для визначення інтенсивності прямого сонячного випромінювання використаємо залежність Кастрова [26]:

$$B_{\text{пох}} = \frac{B_0 \sin \alpha}{\sin \alpha + P} \cos \theta, \quad (2.5)$$

де B_0 – сонячна стала, Вт/м²;

P – коефіцієнт прозорості атмосфери;

α – висота сонця над горизонтом;

θ – кут, який утворюється між нормаллю до сонячної панелі та напрямком падіння сонячних променів.

Сонячна стала визначається як інтенсивність сонячного випромінювання, що падає на одиницю площі, орієнтованої перпендикулярно до напрямку сонячних променів, перед їх проникненням у земну атмосферу [25]. При середній відстані між Сонцем і Землею вона становить 1353 Вт/м². Проте залежно від місяця

					КНУ.123.24.13.02.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

року її значення буде коливатися від 1321 Вт/м² до 1412 Вт/м². Таким чином, річні зміни сонячної сталої складають 6,9%.

Кут, утворений між нормаллю сонячної панелі та напрямком падіння сонячних променів, можна обчислити за допомогою наступної формули[25]:

$$\theta = \begin{cases} 0, & \text{if } \alpha < 0, \beta < 0 \\ 0, & \text{if } \beta_{sun} < 0 \\ \arctg(\sqrt{tg(\alpha)^2 + tg(\beta)^2}), & \\ \text{if } \alpha > 0, \beta > 0, \beta_{sun} > 0 \end{cases} \quad (2.6)$$

де β_{sun} – висота сонця над горизонтом;

I_n – інтенсивність сонячного випромінювання на рівні землі, виміряна на одиницю площі, перпендикулярної до променів;

θ – кут між нормаллю до сонячних панелей і напрямком на сонце;

α – проекція кута між нормаллю до сонячних панелей і напрямком на сонце на горизонтальну площину панелей;

β – проекція кута між нормаллю до сонячних панелей і напрямком на сонце на вертикальну площину сонячних панелей.

На рисунку 2.12 представлено графічне розташування згаданих вище величин, а позначення СП-Н - це нормаль до сонячної панелі.

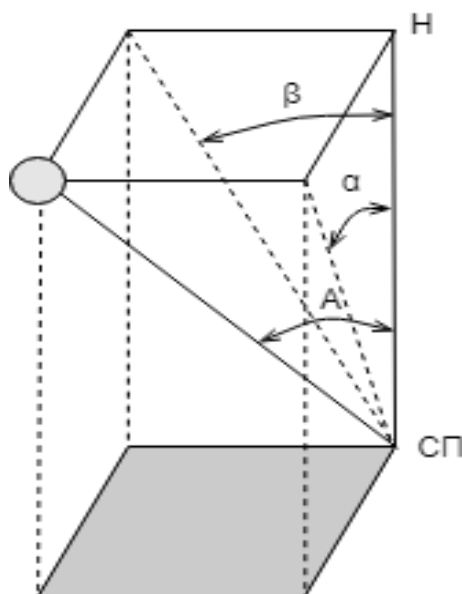


Рисунок 2.12 - Представлення кутів для розрахунку, між нормаллю до сонячної панелі та відповідною позицією сонця

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Коефіцієнт затінення $k_{\text{зат}}$ визначається як співвідношення площі сонячних модулів, що безпосередньо освітлюються сонячним промінням, до площі тих модулів, які перебувають у тіні[23].

На рисунку 2.13 представлено схематичне розміщення сонячної панелі з фіксованим кутом нахилу.

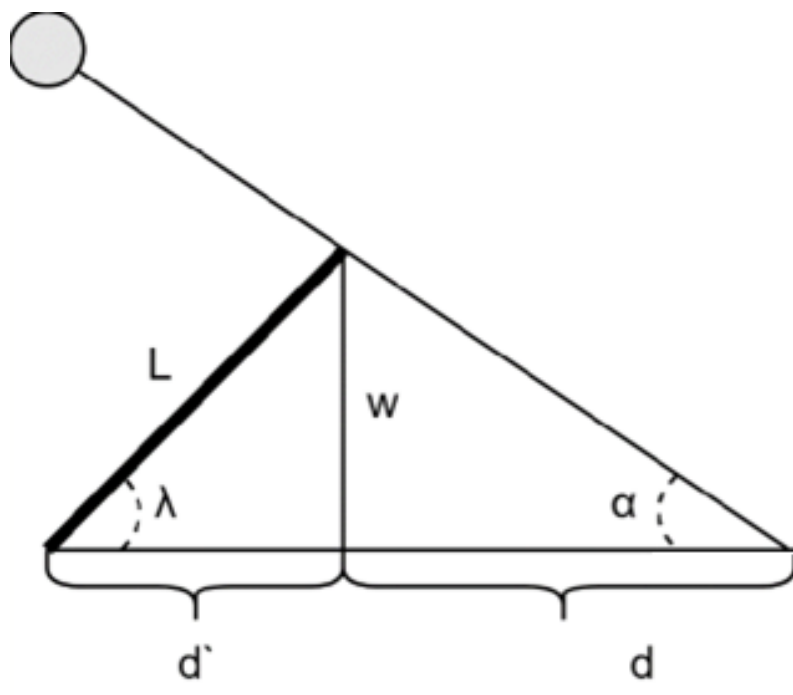


Рисунок 2.13 – Схематичне зображення семи розрахунку

На рисунку 2.13 прийняті наступні позначення: λ – кут нахилу сонячних панелей, w – висота сонячної панелі; d' – ширина сонячної панелі; d – відстань до центральної вісі; L – довжина сонячної панелі; α – проекція кута між горизонтом та сонцем на відповідну площину, яка перпендикулярна до сонячної панелі.

Відповідно, умову часткового затемнення запишемо наступним чином:

$$\frac{\cos(\gamma)}{\text{tg}(\alpha)} \leq k \quad (2.7)$$

де γ – абсолютне значення різниці між азимутом сонця та азимутом сонячної панелі.

Зробивши підстановку kw замість d , ми одержимо:

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$$\frac{w \cos(\gamma)}{\operatorname{tg}(\acute{\alpha})} \leq d \quad (2.8)$$

Виходячи з розрахункової схеми, зображеної на рис. 2.14, можна сформулювати систему рівнянь для обчислення коефіцієнта затінення у випадку, коли довжина тіні сонячної панелі перевищує відстань між вісями[25]:

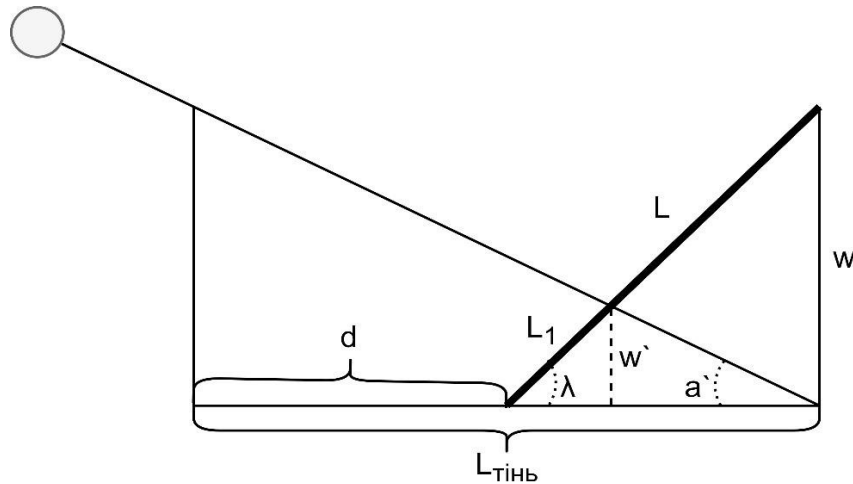


Рисунок 2.14 - Схематичне зображення розрахункової системи розташування панелі

$$\begin{cases} l_1 \operatorname{tg}(\lambda) = w' \\ (L_{\text{тінь}} - l_1) \operatorname{tg}(\acute{\alpha}) = w' \end{cases} \quad (2.9)$$

Розв'язавши систему рівнянь (2.9) отримаємо:

$$w' = \frac{\operatorname{tg}(\acute{\alpha}) \operatorname{tg}(\lambda) L_{\text{тінь}}}{\operatorname{tg}(\acute{\alpha}) + \operatorname{tg}(\lambda)} \quad (2.10)$$

$$L_{\text{тінь}} = \frac{w \cos(\gamma)}{\operatorname{tg}(\acute{\alpha})} - d \quad (2.11)$$

Розділивши формулу (2.10) на w , ми отримаємо необхідну пропорцію між площею сонячної панелі, що знаходиться у тіні, та її загальною площею.

Таким чином, коефіцієнт затінення можна визначити за наступною формулою[26]:

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$k_{\text{зат}} = \begin{cases} 1, \alpha \leq 0 \\ \frac{\cos(\gamma) - k \operatorname{tg}(\acute{\alpha})}{1 + \operatorname{tg}(\acute{\alpha})/\operatorname{tg}(\lambda)}, \frac{\cos(\gamma)}{\operatorname{tg}(\acute{\alpha})} \leq k \\ 0, \frac{\cos(\gamma)}{\operatorname{tg}(\acute{\alpha})} > k \end{cases} \quad (2.12)$$

Застосовуючи методики, викладені у джерелах [23, 25] та інших дослідженнях, можна визначити азимутальний кут та висоту Сонця для конкретної географічної точки. Підходи до обчислення позиції Сонця у визначений час для заданої географічної координати детально розглянуті в роботах [17, 19, 21].

Для визначення інтенсивності розсіяного сонячного випромінювання використано модель Дж. Хела [23, 26]:

$$D_{\text{пох}} = D_{\text{гор}} F \frac{\cos \theta}{\sin \alpha} + (1 - F) \cos^2 \theta, \quad (2.13)$$

$$F = \frac{B_{\text{гор}}}{B_{\text{огор}}}; \quad D_{\text{гор}} = \frac{1}{3} (B_0 - B_{\text{орт}}), \quad (2.14)$$

де $D_{\text{гор}}$ – інтенсивність розсіяної сонячної радіації, що падає на горизонтальну поверхню, Вт/м²;

$B_{\text{гор}}$ – інтенсивність прямої сонячної радіації, що падає на горизонтальну поверхню, Вт/м²;

$B_{\text{огор}}$ – інтенсивність прямої сонячної радіації, що падає на горизонтальну поверхню, без врахування розсіювання в атмосфері, Вт/м²;

$B_{\text{орт}}$ – інтенсивність прямої сонячної радіація, що падає на ортогональну поверхню, Вт/м².

На рисунку 2.15 приведено приклад моделювання потужності сонячної панелі протягом однієї доби.

					КНУ.123.24.13.02.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

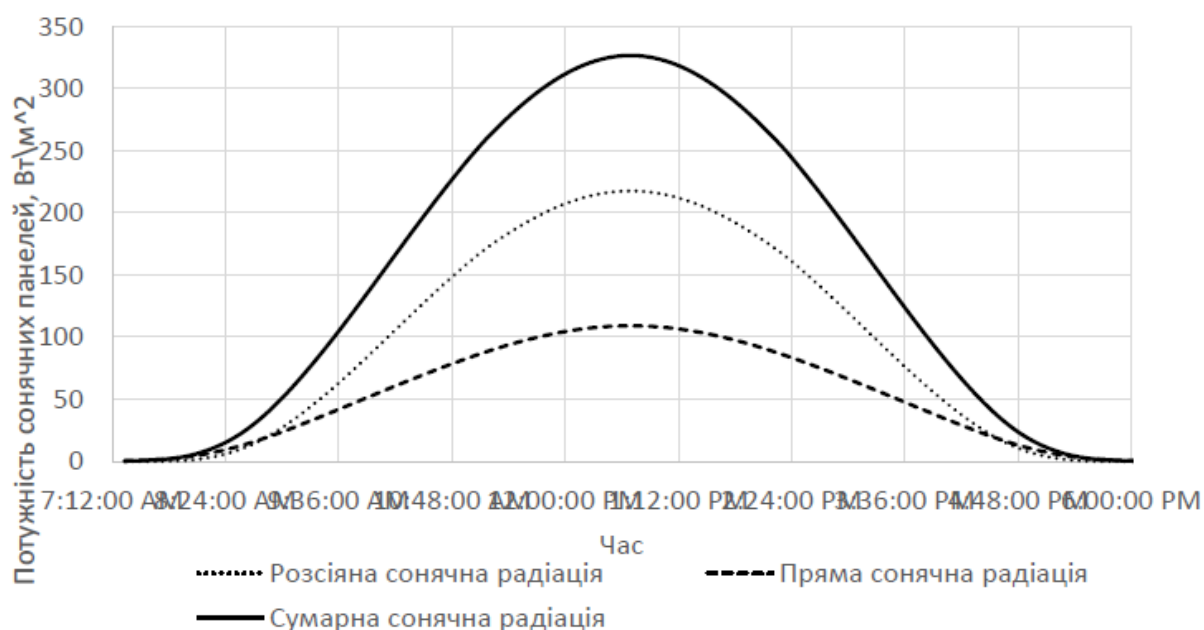


Рисунок 2.15 - Моделювання змін потужності сонячної панелі протягом доби.

Таким чином, для обчислення загальної інтенсивності сонячної радіації протягом визначеного періоду необхідно виконати певний ряд кроків. Послідовність цих дій представлена у блок-схемі на рисунку 2.16.

Оптимізація двох параметрів, а саме співвідношення між відстанню між рядами сонячних панелей та їх висотою (k) та кутом нахилу панелей (λ), була здійснена за допомогою градієнтного методу сходження з подрібненням кроку [13]. Тобто:

$$f(k, \lambda) \rightarrow \max, k \in [0,4; 5], \lambda \in [0; 120], \quad (2.15)$$

Цей тип градієнтного методу було обрано, оскільки він не вимагає попереднього встановлення розміру кроку на початковому етапі роботи алгоритму. Розмір кроку визначається під час кожної ітерації за допомогою методу золотого перетину [13]. Блок-схема алгоритму представлена на рисунку 2.17.

Діапазон варіювання параметра k охоплює $[0,4; \infty]$. При малих значеннях k модель Дж. Хела, яка застосовується для визначення інтенсивності розсіяного сонячного випромінювання, перевищує фактичні показники цієї інтенсивності.



Рисунок 2.16 - Блок-схема для визначення сумарної інтенсивності сонячного випромінювання.



Рисунок 2.17- Блок-схема алгоритму градієнтного спуску зі зменшенням розміру кроку.

Значення параметра λ коливаються від 0° до 180° , оскільки пошук екстремальних точок поза цим діапазоном не має сенсу.

Для обчислення загальної площі сонячних панелей ($S_{\text{спан}}$) використовується схема, представлена на рис. 2.11, отже:

$$S_{\text{спан}} = a \left(L \frac{b}{d+d'} \right), \quad (2.16)$$

де a, b – довжина і ширина сонячної панелі.

Співвідношення між загальною площею сонячних панелей і площею сонячної електростанції можна визначити за допомогою наступного відношення:

$$k_s = \frac{S_{\text{з пан}}}{S_{\text{сес}}} = \frac{L}{d+d'} = \frac{1}{k \sin \lambda + \cos \lambda'} \quad (2.17)$$

					КНУ.123.24.13.02.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виявлено, що цільова функція має два максимуми. Перший максимум досягається при куті нахилу 0° . Другий максимум спостерігається, коли кут нахилу сонячних панелей фіксований і становить 25° , що є оптимальнішим значенням для весняно-осіннього періоду.

Висновки за розділом:

В даному розділі проведено аналіз типів сонячних панелей, які можна використовувати для наших цілей та неведені їх недоліки та перевагию Також наведено приклад технічного забезпечення на базі якого можна реалізувати саме роботу зв'язки сонячної панелі зі світлофором. Нажаль на даний час широкого застосування не можливо через ряд факторів, які впливають на розповсюдження таких технологій від технічних до навіть широким випадків вандалізму.

Реалізувати таке рішення можна на основі мікроконтролеру Arduino Uno, але у випадку застосування функцій позиціонування, то Arduino Mega. Таким чином загальне підвищення ефективності застосування позиціонування сонячної панелі складає 16%, але така реалізація складніша і набагато дорожча.

Оптимізація дорожнього трафіку є ще одним важливим аспектом цієї теми. Впровадження інтелектуальних рішень дозволяє раціонально розподіляти транспортні потоки, регулювати світлофори відповідно до реальної ситуації на дорозі та забезпечувати оптимальну пропускну спроможність мережі. Це веде до зменшення заторів, скорочення часу очікування на світлофорах і зниження рівня шкідливих викидів в атмосферу. Також важливо враховувати вплив використання сонячної енергії на енергоефективність та екологічні характеристики світлофорів на пішохідних переходах.

Визначення обсягу енергії, яку сонячна панель може генерувати протягом визначеного проміжку часу, є складним завданням, оскільки енергопродукція залежить від численних чинників. Ці чинники можна класифікувати на дві основні категорії: технічні параметри самої панелі та умови навколишнього

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.123.24.13.02.P2					

середовища. Для моделювання процесу трансформації сонячної енергії в електричну застосовують різні підходи. Серед них виділяють: метод, що базується на коефіцієнті ефективності, метод коригувальних коефіцієнтів, підхід, оснований на фізичних моделях, а також статистичні методики.

Виявлено, що цільова функція має два максимуми. Перший максимум досягається при куті нахилу 0° . Другий максимум спостерігається, коли кут нахилу сонячних панелей фіксований і становить 25° , що є оптимальнішим значенням для весняно-осіннього періоду.

					КНУ.123.24.13.02.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ МОДЕЛІ «СВІТЛОФОР- СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ»

3.1 Застосування теорії клітинних апаратів

Історія виникнення клітинних автоматів сходить до праць вчених Конрада Цузе і Джона фон Неймана [11, 12]. Клітинний автомат можна визначити як дискретну динамічну систему. Поведінка цієї системи визначається в термінах локальних залежностей (в динамічних неперервних системах поведінка визначається диференціальними рівняннями з частинними похідними). У певному сенсі клітинні автомати мають аналог фізичного поняття «поле» [13].

Космічний апарат можна представити у вигляді сітки (масиву, таблиці, матриці) з осередків довільного розміру. З часом стан сітки оновлюється, при цьому стан кожної комірки в наступний момент часу залежить від стану її найближчих сусідів, а в деяких випадках і від її власного стану в поточній ітерації.

Властивості класичного клітинного автомата:

- Місцевість правил. На новий стан клітини можуть впливати тільки елементи її оточення і, можливо, сама клітина;
- Скінченність безлічі можливих станів клітини. Для отримання нового стану клітини потрібне кінцеве число операцій;
- Однорідність системи. Жодна площа сітки не може відрізнитися від іншої ніякими особливостями правил;
- Одночасний перехід в новий стан для всіх осередків – значення у всіх осередках змінюються одночасно, в кінці ітерації, а не в міру їх обчислення. В іншому випадку порядок клітинок сітки мав би значний вплив на результат.

					<i>КНУ.123.24.13.03.РЗ</i>					
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Розділ 3</i>					
<i>Розроб.</i>	<i>Уєдраого</i>							<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Музика.</i>									
<i>Н. Контр.</i>	<i>Кузнецов</i>							<i>КІ-23М</i>		
<i>Затверд.</i>	<i>Купін</i>									

Космічні апарати знайшли застосування в різних галузях науки. Деякі живі організми виявляють властивості клітинного автомату: забарвлення луски ящірки, забарвлення раковин і морських молюсків (рисунок 1) [14]. Рослини регулюють приплив і відтік газоподібних речовин за допомогою механізму, який може бути імітований космічним апаратом. Кожна продиха на поверхні листка функціонує як клітина клітинного автомату [15]. Згорткові нейронні мережі можуть бути представлені у вигляді клітинного автомату [16], вони знайшли особливе застосування в моделюванні екосистем і динаміці популяцій [17]. Вони використовуються для прогнозування лісових пожеж [18]. Клітинні автомати можуть бути використані навіть в криптографії як можливий блоковий шифр (для генерації випадкових чисел) [19].



Рисунок 3.1 – Візерунок на поверхні раковини *Conus textile*

3.2 Використання клітинних автоматів для моделювання транспортних потоків

Багато публікацій присвячено моделюванню транспортних потоків за допомогою клітинних автоматів.

Перші клітинні автомати для моделювання доріг були використані в роботах Нагеля і Шрекенберга. У [20] розглядалася єдина дорожня лінія (автомобілі рухалися в одному напрямку). У моделі Нагеля-Шрекенберга (NS) дорога ділиться на L-клітин. Кожна клітинка має довжину 7,5 м, і в кожній

					КНУ.123.24.13.03.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

клітинці може міститися автомобіль або залишатися порожньою. $x_i(t)$, $v_i(t)$ позначають положення і швидкість i -го вагона в момент часу t відповідно. Швидкість приймає ціле значення зі змінними від 0 до v_{max} , де v_{max} – максимальна швидкість руху транспортного засобу. $d_i(t)$ позначає відстань між i та $i+1$ вагоном. Дана модель складається з 4 правил:

1. Прискорення. Якщо $v_i < v_{max}$, то швидкість i -го автомобіля збільшується на одиницю; якщо $v_i = v_{max}$, то швидкість не змінюється:

$$v_i(t + 1) = \min(v_i(t) + 1, v_{max}) \quad (3.1)$$

2. Гальмування – якщо перед i -м автомобілем є перешкода, то швидкість дорівнює відстані до перешкоди:

$$v_i(t + 1) = \min(v_i(t) + 1, d_i(t)) \quad (3.2)$$

3. Випадкові збурення – існує ймовірність p , при якій швидкість автомобіля зменшується на одиницю:

$$\text{if } e(t) < p \text{ then } v_i(t + 1) = \max(v_i(t) - 1, 0) \quad (3.3)$$

4. Рух автомобілів - це зміна положення машини на полі космічного корабля відповідно до знову розрахованою швидкістю:

$$x_i(t + 1) = v_i(t + 1) + x_i(t) \quad (3.4)$$

Незважаючи на тривалий період часу, що минув з моменту публікації цієї роботи,

Наприклад, в [21] китайські дослідники проаналізували 3-є правило моделі NS і прийшли до висновку, що ймовірність p не повинна бути постійною, а залежати від поточної швидкості і відстані до наступного автомобіля. Пояснюється це тим, що якщо наступна машина знаходиться далеко, то ймовірність того, що водій зменшить швидкість, невелика. У [22] автори доповнюють модель NS правилами, які дозволяючи машинам переходити з однієї лінії на іншу. Стаття [23] додає правила не тільки переходу автомобілів з лінії на лінію, а й правила обгону автомобілів.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.123.24.13.03.P3				

Однак більшість робіт, присвячених моделюванню транспортних потоків за допомогою стільникових автоматів, не описують перехрестя в своїх моделях. У даній роботі буде реалізована модель з двома смугами руху і регульованим перехрестям.

1.2 Модель транспортних потоків на основі клітинних автоматів

Опишемо модель транспортних потоків з одним регульованим перехрестям і симетричним двосмуговим рухом. Як вже говорилося вище, використання клітинних автоматів має на увазі наявність матриці (масиву) станів. Зміна станів відбувається одночасно. Також введені додаткові матриці напрямків і допустимих переміщень для моделювання перехресть і трафіку.

Створення матриць станів. Визначимо розташування автомобілів, доріг, світлофорів та об'єктів, які не входять до дорожньої мережі і назовемо їх «стіною», у матриці станів.

Wall	Wall	Wall	Car	Road	Wall	Wall	Wall
Wall	Wall	Wall	Road	Road	Wall	Wall	Wall
Wall	Wall	Traffic light	Road	Car	Wall	Wall	Wall
Road	Road	Car	Road	Road	Road	Road	Car
Road	Car	Road	Car	Road	Car	Road	Road
Wall	Wall	Wall	Road	Car	Wall	Wall	Wall
Wall	Wall	Wall	Road	Road	Wall	Wall	Wall
Wall	Wall	Wall	Car	Car	Wall	Wall	Wall

(а)

(0,0)	(0,0)	(0,0)	(-1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(-1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(-1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,1)	(0,1)	(0,1)	(-1,1)	(1,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)
(0,-1)	(0,-1)	(0,-1)	(-1,-1)	(1,-1)	(0,-1)	(0,-1)	(0,-1)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(-1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(-1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(-1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)

(б)

Рисунок 3.2 – Матриця станів комірок (а), матриця напрямків комірок (б)

На рисунку 3.2,а представлено сіткову структуру станів клітинок. Відповідні категорії станів включають: стіни (wall), дороги (road), автомобілі (car), світлофор (traffic light).

Визначимо матрицю напрямків (див. рисунок 3.2,б). Ця матриця демонструє напрямок, у якому буде рухатися автомобіль. Перше число масиву відповідає переміщенню по вертикальній осі, а друге — по горизонтальній. Таким чином, додатне значення по горизонталі означає рух вправо, а додатне по вертикалі — вниз, тоді як від'ємні значення вказують на протилежні напрямки.

Матриця дозволених переміщень описує можливі на даний момент переміщення, які залежать від стану світлофора (див. рисунок 3.3). Наприклад, коли горить «зелений» сигнал, дозволено лише рух по горизонтальній осі (0,1). У випадку «червоного» сигналу переміщення можливе тільки по вертикальній осі (1,0). Сигнал «жовтий» встановлює всі компоненти масиву дозволених переміщень всередині перехрестя як нульові (0,0), що означає заборону руху всередині перехрестя.

(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	Green	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	Red	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(1,0)	(1,0)	(0,1)	(0,1)	(0,1)
(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(0,1)	(1,0)	(1,0)	(0,1)	(0,1)	(0,1)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(1,0)	(1,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)

(а)

(б)

Рисунок 3.3 – Матриця переміщень для зеленого (а), для червоного (б) режимів роботи світлофора

Визначимо матрицю швидкостей автомобілів. На рисунку 3.4 кожній клітинці, що містить автомобіль, призначимо швидкість, яка залежить від напрямку його руху.

(0,0)	(0,0)	(0,0)	(-3,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,2)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,2)
(0,0)	(0,-3)	(0,0)	(0,-2)	(0,0)	(0,-2)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)
(0,0)	(0,0)	(0,0)	(-2,0)	(3,0)	(0,0)	(0,0)	(0,0)

Рисунок 3.4 – Матриця швидкостей

Тут швидкість відповідає кількості клітин, на які автомобіль може переміститися по вертикальній та горизонтальній осях. У клітинках без автомобілів швидкості не задаються. Відповідні алгоритми ініціалізації та заповнення матриць наведені в додатку В.

3.4 Алгоритм знаходження відстані до найближчої перешкоди

Перешкодою вважається автомобіль, що рухається в заданому напрямку, ділянка перехрестя при забороні руху по відповідній траєкторії, а також клітинки типу WALL. Визначення перешкод здійснюється шляхом огляду клітин, розташованих уздовж напрямку руху.

Перехрестя стає перепоною, коли матриця дозволених переміщень для певного напрямку набуває нульового значення. Для горизонтального руху це

					<i>КНУ.123.24.13.03.РЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можуть бути (1,0) або (0,0), а для вертикального – (0,1) або (0,0). У таких випадках перехрестя утворює перешкоду.

Оскільки кількість клітин обмежена, масив не зберігає безмежну кількість елементів. Тому, у разі відсутності перешкоди, відстань встановлюється як нескінченність і набуває максимально можливого цілого значення типу Integer. В цьому випадку автомобіль прискорюється до максимально дозволеної швидкості.

3.5 Алгоритм руху машини

Основними правилами руху автомобілів є принципи моделі Нагеля-Шрекенберга. Згідно з цими принципами, автомобілі переміщуються в межах матриці станів. Рух автомобілів здійснюється шляхом зміни координатних значень у матриці станів. До координат матриці, які містять автомобілі, додається швидкість. Швидкість визначається за правилами Нагеля-Шрекенберга: автомобіль прискорюється (його швидкість збільшується на одиницю) до максимально заданого значення, якщо на шляху руху немає перешкод; автомобіль гальмує (швидкість встановлюється рівною відстані до перешкоди), якщо його поточна швидкість перевищує відстань до наступної перешкоди. У правилах Нагеля-Шрекенберга також передбачено випадок стохастичного гальмування: швидкість автомобіля зменшується на одиницю з певною ймовірністю, проте автор цієї роботи вважає за доцільне відмовитися від останнього правила про випадкові збурення, оскільки відстань між перехрестями в реальному місті недостатньо велика, щоб водій постійно гальмував.

Таким чином, автомобіль переміщується всередині матриці станів. Нова матриця станів записується в іншу матрицю станів, щоб забезпечити одночасність переходів та уникнути ручного видалення попередніх станів.

					КНУ.123.24.13.03.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.6 Класичний алгоритм режимів роботи світлофора

У цьому розділі розглядається класичний алгоритм роботи світлофора, при якому зміна станів здійснюється через фіксовані часові інтервали.

Світлофор має чотири стани:

- ЧЕРВОНИЙ (RED),
- ПЕРЕХІД ЧЕРВОНИЙ-ЗЕЛЕНИЙ (RED_TO_GREEN),
- ЗЕЛЕНИЙ (GREEN),
- ПЕРЕХІД ЗЕЛЕНИЙ-ЧЕРВОНИЙ (GREEN_TO_RED).

При червоному сигналі дозволено рух лише по вертикальній осі, а при зеленому — тільки по горизонтальній. Стани ПЕРЕХІД ЧЕРВОНИЙ-ЗЕЛЕНИЙ та ПЕРЕХІД ЗЕЛЕНИЙ-ЧЕРВОНИЙ відповідають жовтому світлу світлофора і використовуються для зміни сигналу з червоного на зелений або з зеленого на червоний відповідно. Стани активуються у вказаній послідовності.

Часовим параметром є змінна цілого типу `numberOfIterations`, яка відображає кількість ітерацій. Під ітерацією мається на увазі кожне оновлення матриці станів. При кожному оновленні матриці значення `numberOfIterations` збільшується на одиницю.

Змінні `time_green_red` та `time_yellow` необхідні для відліку тривалості роботи червоного та зеленого світла, а також жовтого сигналу відповідно.

Таким чином, якщо світлофор знаходиться у стані ЧЕРВОНИЙ, значення матриці дозволених переміщень всередині перехрестя дорівнюють (0,1). Коли `numberOfIterations` перевищує тривалість роботи червоного сигналу `time_green_red`, світлофор переходить у стан ПЕРЕХІД ЧЕРВОНИЙ-ЗЕЛЕНИЙ. У цей момент значення `numberOfIterations` обнуляється, а значення матриці дозволених переміщень стають (0,0). Тривалість цього стану визначається змінною `time_yellow`.

Як тільки `numberOfIterations` перевищує значення `time_yellow`, змінна `numberOfIterations` обнуляється, і світлофор переходить у стан ЗЕЛЕНИЙ. У цьому стані дозволених переміщення всередині перехрестя мають значення (1,0).

					<i>КНУ.123.24.13.03.РЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коли `numberOfIterations` перевищує тривалість роботи зеленого сигналу `time_green_red`, світлофор змінюється на стан ПЕРЕХІД ЗЕЛЕНИЙ-ЧЕРВОНИЙ. Знову ж таки, `numberOfIterations` обнуляється, а матриця дозволених переміщень набуває значення (0,0). Тривалість цього переходу також визначається `time_yellow`. Після цього світлофор повертається до стану ЧЕРВОНИЙ і цикл повторюється.

Для кращої наочності схема переходів між станами зображена на рисунку 3.5.

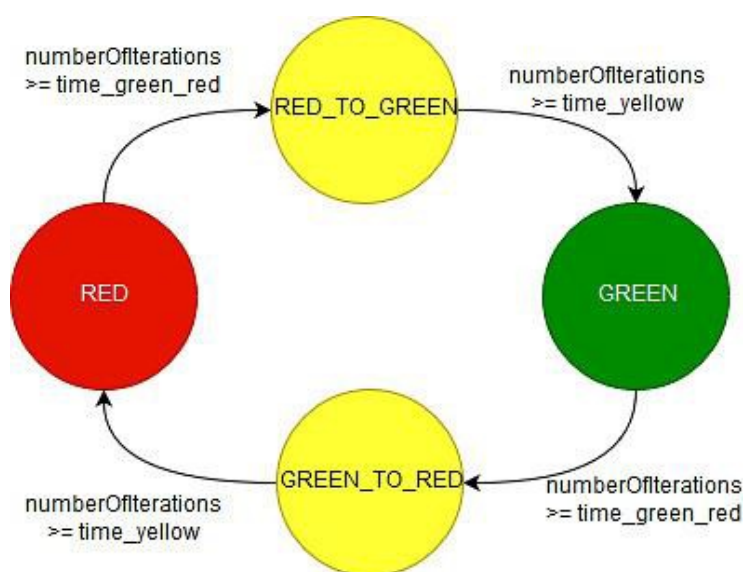


Рисунок 3.5 – Схема перемикання світлофора за класичним алгоритмом

Класичний алгоритм зміни станів світлофора представлено в додатку Г (рисунок Г1).

3.7 Оптимізований алгоритм режимів роботи світлофора

3.7.1 Опис алгоритму

Запропонований алгоритм враховує кількість автомобілів, що рухаються у напрямку до перехрестя, а також відстань кожного з них від перехрестя. Схема цього алгоритму представлена в додатку Г (рисунок Г2). Основні етапи роботи алгоритму наведені нижче.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

1. На кожній ітерації клітинного автомата для вертикальних та горизонтальних напрямків обчислюються значення наступних функцій:

$$f_V(t) = \sum_i \left(\frac{1}{\text{distance}_{V_{0i}}(t)} \right)^p + \sum_i \left(\frac{1}{\text{distance}_{V_{1i}}(t)} \right)^p, \quad (3.5)$$

$$f_H(t) = \sum_i \left(\frac{1}{\text{distance}_{H_{0i}}(t)} \right)^p + \sum_i \left(\frac{1}{\text{distance}_{H_{1i}}(t)} \right)^p, \quad (3.6)$$

$\text{distance}_{V_{0i}}(t)$ – відстань до перехрестя для першої смуги руху для i -го автомобіля, що рухається по вертикалі;

$\text{distance}_{V_{1i}}(t)$ – відстань до перехрестя для другої смуги руху для i -го автомобіля, що рухається по вертикалі;

$\text{distance}_{H_{0i}}(t)$ – відстань до перехрестя для першої смуги руху для i -го автомобіля, що рухається по горизонталі;

$\text{distance}_{H_{1i}}(t)$ – відстань до перехрестя для другої смуги руху для i -го автомобіля, що рухається по горизонталі;

$p > 0$ – степеневий параметр.

На наступному етапі визначається відношення обчислених функцій, після чого здійснюється зміна стану світлофора. Перемикання залежить від поточного стану світлофора. Так:

а) Якщо поточний стан світлофора – RED і $\frac{f_H(t)}{f_V(t)} > k$, то відбувається перехід у стан RED_TO_GREEN, де k – інерційний параметр;

б) Якщо поточний стан світлофора – GREEN і $\frac{f_V(t)}{f_H(t)} > k$ то відбувається перехід у стан GREEN_TO_RED, де k – інерційний параметр;

в) Якщо поточний стан світлофора – RED_TO_GREEN, то обробка станів відбувається так само, як представлено в пункті 3.3: після того, як `numberOfIterations` перевищить тривалість даного стану, що визначається змінною `time_yellow`, стан світлофора перемикається в GREEN;

г) Якщо поточний стан світлофора – GREEN_TO_RED, обробка станів відбувається так само, як представлено в пункті 3.3: після того, як

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.123.24.13.03.РЗ				

numberOfIterations перевищить тривалість даного стану, що визначається змінною `time_yellow`, стан світлофора перемикається в RED.

Для більшої наочності рисунку 3.6 представлена схема переходів між станами.

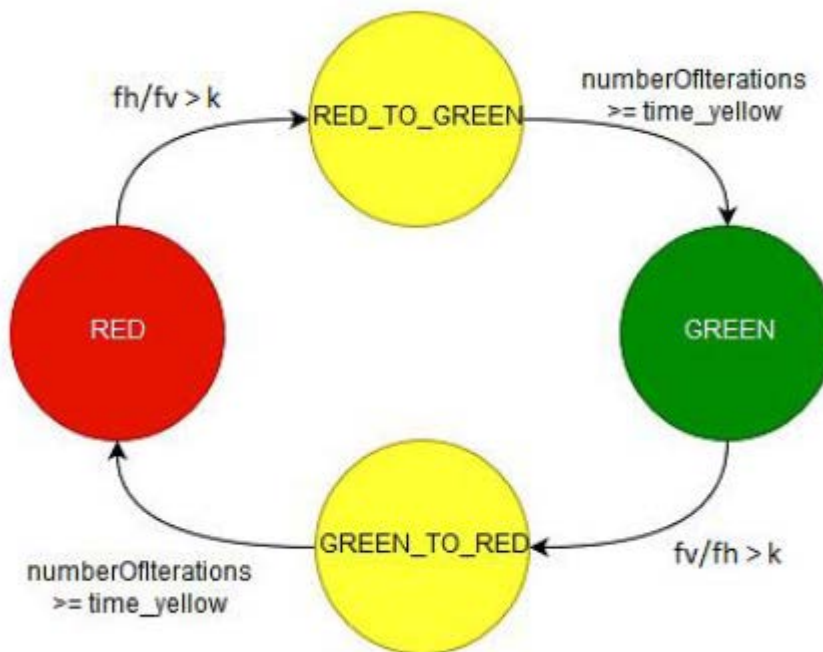


Рисунок 3.6 – Схема перемикання світлофора за оптимізованим алгоритмом

Запропонований алгоритм включає два параметри, які можна вільно налаштовувати: показник p та коефіцієнт k . Вибір цих параметрів впливає на тривалість, необхідну для зняття навантаження з перехрестя, а також на час простою автомобілів. Далі було вирішено задачу багатокритеріальної оптимізації з метою визначення найбільш ефективних значень цих параметрів для відповідного транспортного потоку.

3.7.2 Пошук оптимальних параметрів

Для оцінки ефективності цих параметрів використовуються два критерії: час простою автомобіля (період, протягом якого автомобіль перебуває у стані стоянки) та час розвантаження перехрестя (час, необхідний для того, щоб усі

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

автомобілі покинули зону перехрестя). Завдання оптимізації полягає у мінімізації обох цих показників.

Розроблена модель передбачає випадкове розміщення автомобілів на різних ділянках дороги. Для досягнення більш точних результатів було проведено 20 експериментів для кожної заданої кількості автомобілів. У підсумку обчислювалося середнє арифметичне значення часу простою та часу розвантаження.

Для ілюстрації результатів дослідження побудовано графіки, що демонструють залежність часу простою (рисунок 3.6) та часу розвантаження перехрестя (рисунок 3.7) від параметрів p та k при кількості автомобілів 50, 100 та 250.

Підсумовуючи отримані дані з графіків, можна зробити висновок, що в діапазоні степеневого показника $p < 2$ та при коефіцієнті $k > 5$ як час простою, так і час розвантаження досягають найнижчих значень. Подальше збільшення значення k не спричинило покращення результатів: час простою та час розвантаження залишалися приблизно на однаковому рівні.

Розроблена модель транспортних потоків може вміщувати до 252 автомобілів.

Як вже було зазначено вище, оптимальні значення параметрів знаходяться в таких діапазонах: для степеневого параметра p від 0 до 2, а для інерційного коефіцієнта k більше 5.

Рисунки 3.8 – 3.9 демонструють залежність середнього арифметичного часу розвантаження та середнього арифметичного часу простою від початкової кількості автомобілів при використанні адаптивного алгоритму з різними параметрами, а також класичного алгоритму управління світлофором. На основі цих даних можна зробити висновок про ефективність розробленого алгоритму: з ростом кількості автомобілів він працює більш ефективно. Таблиця 3.1 представляє порівняльні характеристики, де адаптивний алгоритм має параметри: $p = 0,5$ та $k = 5$.

					КНУ.123.24.13.03.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

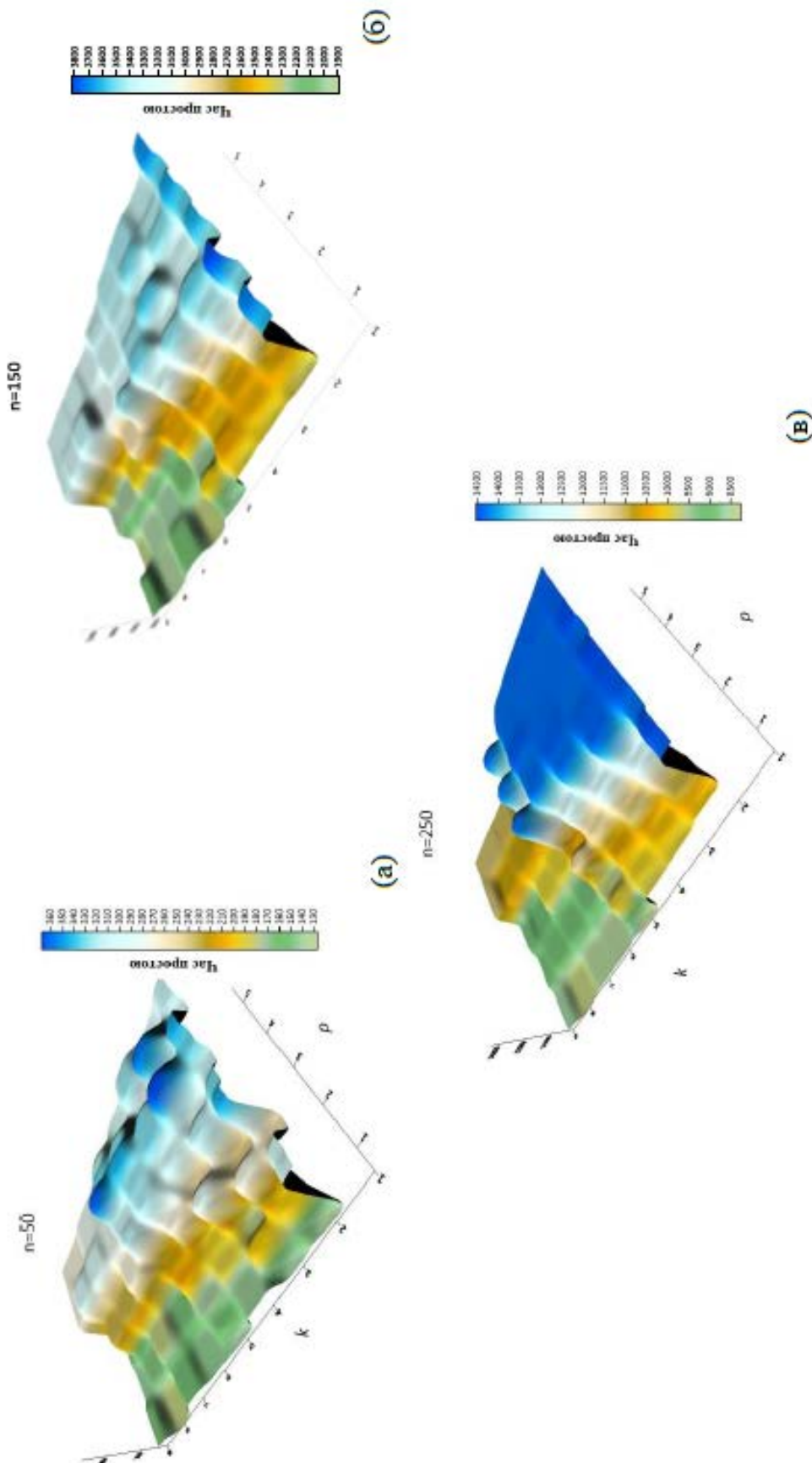


Рисунок 3.6 – Тривимірні графіки залежності часу простою від параметрів при кількості машин рівному (а) 50, (б) 150, (в) 250

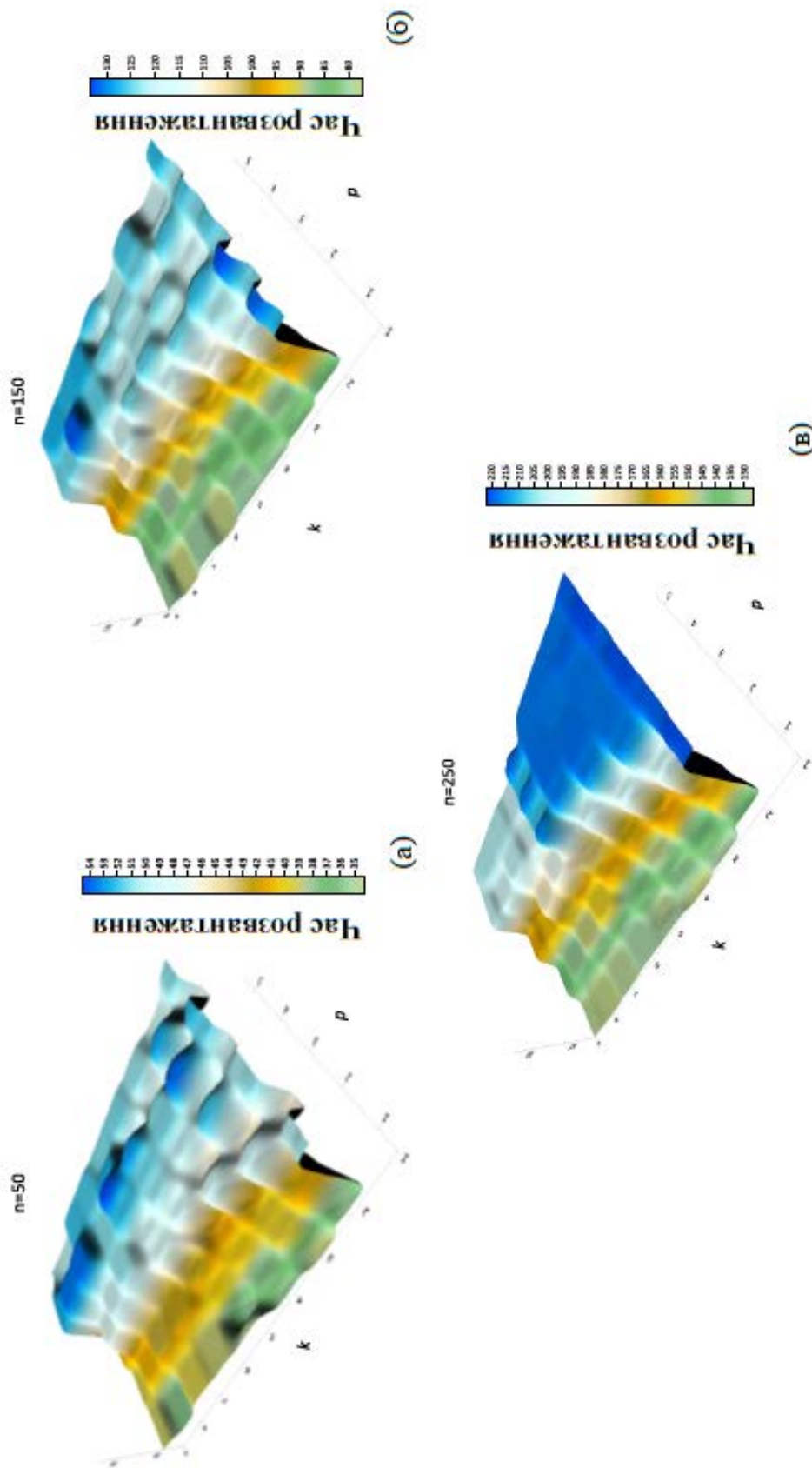


Рисунок 3.7 – Тривимірні графіки залежності часу розвантаження від параметрів при кількості машин рівному (а) 50, (б) 150, (в) 250

Наприклад, при кількості автомобілів, що дорівнює 100, час розвантаження перехрестя зменшується на 30 ітерацій, а час простою — на 300 ітерацій порівняно з класичним алгоритмом. При кількості автомобілів 200 час розвантаження перехрестя скорочується на 40 ітерацій, а час простою — на 1600 ітерацій у порівнянні з класичним підходом.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика алгоритмів

Алгоритм	Кількість машин					
	50		150		250	
	Час простою	Час розвантаження	Час простою	Час розвантаження	Час простою	Час розвантаження
Класичний	50,15	218,2	108,3	2819,7	12759,1	174,9
Адаптивний	36,8	155,7	77,9	2016,9	8354,8	129,9
Різниця	13,3	62,5	30,4	802,8	4404,3	45

Таким чином, було доведено ефективність розробленого оптимізованого алгоритму керування транспортними потоками.

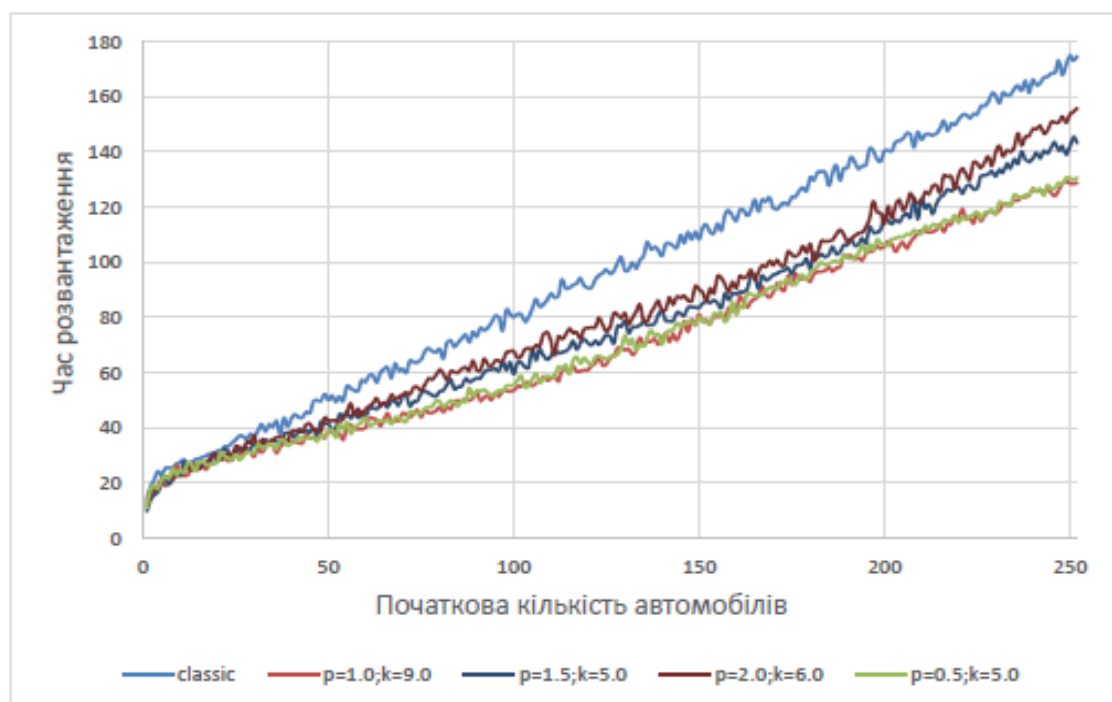


Рисунок 3.8 – Залежність часу навантаження від початкової кількості автомобілів

					КНУ.123.24.13.03.РЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

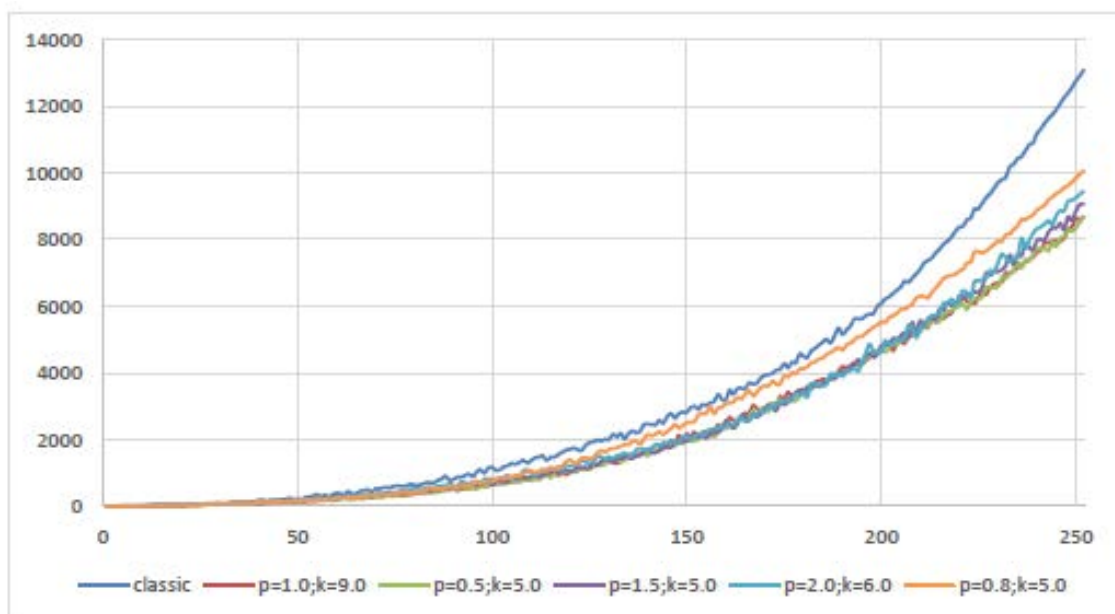


Рисунок 3.9 – Залежність часу простою від початкової кількості автомобілів

Висновки за розділом:

Була побудована модель транспортних потоків на основі клітинних автоматів, що описує двосторонній рух, перехрестя, що регулюється світлофором і до неї застосовано розроблений оптимізований алгоритм управління світлофорами.

Розроблений алгоритм включає в себе два параметри: силовий і інерційний. Шляхом побудови тривимірних графіків були визначені найбільш оптимальні значення цих параметрів. Наприклад, для параметра потужності оптимальні значення знаходяться в діапазоні $(0, 2]$, а оптимальні значення інерційного параметра - в діапазоні $(5, \infty)$. При цих значеннях параметрів адаптивний алгоритм на 70% перевершує класичний алгоритм для даної моделі.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.123.24.13.03.Р3					

ВИСНОВКИ

Було проаналізовано застосування сонячних панелей для живлення світлофорів, розглянуті приклади застосування таких рішень, висвітлено їх переваги та недоліки, а також оцінено перспективність застосування таких рішень. Розглянута структура такого рішення та визначенні необхідні завдання дослідження.

Світлофори на сонячній енергії є яскравим прикладом того, як використання сонячної енергії змінює різні сфери нашого життя. Завдяки енергії сонця, ці системи управління дорожнім рухом пропонують численні переваги: зменшення викидів вуглекислого газу, економію коштів та підвищену надійність. Хоча існують виклики, такі як залежність від погодних умов та необхідність технічного обслуговування, безперервний розвиток сонячних технологій допомагає їх подолати. Прагнучи до стійкого та екологічно чистого майбутнього, світлофори на сонячних батареях є важливим кроком у правильному напрямку.

Проведено аналіз типів сонячних панелей, які можна використовувати для наших цілей та неведені їх недоліки та перевагию Також наведено приклад технічного забезпечення на базі якого можна реалізувати саме роботу зв'язки сонячної панелі зі світлофором. Нажаль на даний час широкого застосування не можливо через ряд факторів, які впливають на розповсюдження таких технологій від технічних до навіть широких випадків вандалізму.

Реалізувати таке рішення можна на основі мікроконтролеру Arduino Uno, але у випадку застосування функцій позиціонування, то Arduino Mega. Таким чином загальне підвищення ефективності застосування позиціонування сонячної панелі складає 16%, але така реалізація складніша і накішталк дорожча.

Оптимізація дорожнього трафіку є ще одним важливим аспектом цієї теми. Впровадження інтелектуальних рішень дозволяє раціонально розподіляти

					<i>КНУ.123.24.13.00.ВС</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Висновки</i>		
<i>Розроб.</i>	<i>Уєдраого</i>						
<i>Перевір.</i>	<i>Музика.</i>						
<i>Н. Контр.</i>	<i>Кузнецов</i>						
<i>Затверд.</i>	<i>Купін</i>						
					<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
					<i>КІ-23М</i>		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) C. Diakaki, M. Papageorgiou, K. Aboudolas. A multivariable regular approach to traffic responsive network-wide signal control / *Control Engineering Practice*: 2002, pp.183–195.
- 2) J.H. Holland. Ann Arbor. Adaptation in natural and artificial systems. / MI: University of Michigan Press, 1992.
- 3) K. Zaatouri, M. H. Jeridi, T. Ezzedine. Adaptive traffic light control system based on WSN: algorithm optimization and hardware design. / *International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM). Split, Croatia*, 2018 pp.1–6.
- 4) An IoT based Intelligent Traffic Congestion Control System for Road Crossings: URL: https://www.researchgate.net/publication/323279531_An_IoT_based_Intelligent_Traffi (Дата звернення: 20.09.2024).
- 5) Arduino Mega 2560 R3: URL: <https://amperka.ru/product/arduino-mega-2560> (Дата звернення: 20.09.2024).
- 6) N.H. Gartner, C. Stamatidis. Arterial-based control of traffic flow in urban grid networks. / *Mathematical and computer modelling*: 2002, pp.657– 671 с.
- 7) Automated Real-Time Intelligent Traffic Control System for Smart Cities Using Wireless Sensor Networks: URL: <https://www.hindawi.com/journals/wcmc/2020/8841893/#B5> (Дата звернення: 20.09.2024).
- 8) Automatic Traffic Management System: URL: <https://www.parknsecure.com/automatic-traffic-management-system> (Дата звернення: 20.09.2024).
- 9) How Servo Motor Works & Interface It With Arduino. URL: <https://lastminuteengineers.com/servo-motor-arduino-tutorial/> (Дата звернення: 20.09.2024).

					<i>КНУ.123.24.13.00.СВД</i>					
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Список використаних джерел					
<i>Розроб.</i>	<i>Уєдраого</i>							<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Музыка</i>									
<i>Н. Контр.</i>	<i>Кузнецов</i>							<i>КІ-23М</i>		
<i>Затверд.</i>	<i>Купін</i>									

21) В. Павловський, Л. Лук'яненко, І. Гончаренко, А. Захаров, Обмеження потужності відновлюваних джерел енергії за умови приєднання до електричної мережі, *Праці ІЕД НАНУ*, № 43, pp. 18-23, 2016.

22) M. Medykovskyy, R. Melnyk. Modeling of the energy-dynamic modes of the wind farm with the battery energy storage system (BESS), *Journal of Computational Problems of Electrical Engineering*, т. 11, № 1, 2021.

23) M. Medykovskyy, R. Melnyk. Processing of data on the intensity of solar radiation for solar power plant management systems, *Econtechmod. An international quarterly journal*, т. 7, № 3, pp. 33 - 38, 2018.

24) M. Medykovskyy, R. Melnyk. Method of optimizing the parameters of the photovoltaic solar power plant, *Computer Science and Information Technologies XIV International Scientific and Technical Conference*, Львів, 2019.

25) Т. Сабірзянов, М. Кубкін, В. Солдатенко, В. Мартиненко, «Узагальнена математична модель накопичувача енергії. *Збірник наукових праць кіровоградського національного технічного університету*, р. 145–150, 2012.

26) Л. Ладієва, Оптимальне керування системами. Навчальний посібник., 2000: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ.

27) А. Барило, М. Бенменні, В. Будько, М. Будько, П. Васько, Відроджувальні джерела енергії. Монографія, Київ, 2020.

28) J. Duffie та W. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, New Jersey, 2013

29) ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, ДП «УкрННЦ», 2015. 26с. (Інформація та документація).

30) ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання Київ, ДП «УкрННЦ», 2016. 16 с. (Інформація та документація).

31) ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень в українській мові. Загальні вимоги та правила. Київ, ДП «УкрННЦ», 2013. 23 с. (Інформація та документація)

					<i>КНУ.123.24.13.00.ВС</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лістинг алгоритму динамічного режиму роботи світлофора

```

// Задаємо номери портів для світлодіодів
const int SensorPin = 9; // датчик
int SensorState = 0; // змінна для зчитування статусу датчика
int GPin = 13; // Зелений
int YPin = 12; // Жовтий
int RPin = 11; // Червоний
int switchPin = 7; // Порт кнопки
boolean lastButton = LOW; // Встановлюємо останнє значення кнопки - вимкнено
boolean currentButton = LOW; // Встановлюємо поточне значення кнопки - увімкнено
boolean ledOn = false; // Стан світлофору: false - вимкнено (блимає жовтий), true -
увімкнено
boolean yellowOn = LOW; // Блимаючий жовтий.
unsigned long loopTime; // Допоміжна змінна для циклу
unsigned long currentTime; // Змінна, що зберігає поточне значення часу
void setup() {
// Встановлюємо 3 порти, як вихід для світлодіодів pinMode(GPin, OUTPUT);
pinMode(YPin, OUTPUT);
pinMode(RPin, OUTPUT);
currentTime = millis();
loopTime = currentTime;
SensorState = digitalRead(SensorPin);
}
// Цикл дій при вимкненому світлофорі
if(currentTime >= (loopTime + 500) && ledOn == false)
{
yellowOn = !yellowOn; // Інвертуємо значення змінної.
digitalWrite(GPin, LOW);
digitalWrite(YPin, yellowOn);
digitalWrite(RPin, LOW);
loopTime = currentTime;
}
// Цикл дій при увімкненому світлофорі
if(ledOn == true) {
// Горить зелений
if(currentTime >= loopTime && currentTime < (loopTime + 10000)) { digitalWrite(GPin,
HIGH); digitalWrite(YPin, LOW); digitalWrite(RPin, LOW); }
// Зелений починає блимати
if(currentTime >= (loopTime + 10000) && currentTime < (loopTime + 10500)) {
digitalWrite(GPin, LOW);
}
if(currentTime >= (loopTime + 10500) && currentTime < (loopTime + 11000)) {
digitalWrite(GPin, HIGH);
}
if(currentTime >= (loopTime + 11000) && currentTime < (loopTime + 11500)) {
digitalWrite(GPin, LOW);
}
}

```


Лістинг коду орієнтації сонячної панелі

```

#include <Servo.h> // Підключення бібліотеки сервоприводів
Servo horizontal; // Горизонтальний сервопривід
int servoh = 90; // Початкове положення 90 градусів
Servo vertical; // Вертикальний сервопривід
int servov = 0; // Початкове положення 0 градусів
// LDR pin (Контакти фоторезистора)
// name = analogpin;
int ldrd = 1; //LDR Правий нижній
int ldrt = 2; //LDR Справа вгорі
int ldrl = 3; //LDR Нижній лівий
int ldrt = 4; //LDR зверху ліворуч
/*int ldrt = 4; //LDR зверху ліворуч
int ldrl = 3; //LDR Нижній лівий
int ldrt = 2; //LDR Справа вгорі
int ldrd = 1; //LDR Правий нижній
*/
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  // servo connections
  // name.attach(pin);
  horizontal.attach(9);
  vertical.attach(10);
}
void loop()
{
  int lt = analogRead(ldrt); // зверху ліворуч
  int rt = analogRead(ldrt); // Справа вгорі
  int ld = analogRead(ldrl); // Нижній лівий
  int rd = analogRead(ldrd); // Правий нижній
  int dtime = analogRead(6)/10; // Зчитування значень зі змінних резисторів
  int tol = analogRead(7)/4;
  int avt = (lt + rt) / 2; // Середнє з значення верхнього
  int avd = (ld + rd) / 2; // Середнє значення нижнього
  int avl = (lt + ld) / 2; // Середнє значення лівого
  int avr = (rt + rd) / 2; // Середнє значення правого
  int dvert = avt - avd; // Перевірте різницю між верхом і низом
  int dhoriz = avl - avr; // Перевірте різницю між лівим і правим
  // данные с датчиков
  /* Serial.println(lt);
  Serial.println(rt);
  Serial.println(ld);
  Serial.println(rt);
  Serial.println(dtime); // 1-й потенціометр
  Serial.println(tol); // 2-й потенціометр
  */

```

if (-1*tol > dvert || dvert > tol) // Перевіряємо, чи є різниця в допуску, в іншому випадку змінюємо вертикальний кут

```
{
  if (avt > avd)
  {
    servov = --servov;
    if (servov > 25)
    {
      servov = 25;
    }
    else if (avt < avd)
    servov= ++servov;
    if (servov < 5)
    {
      servov = 5;
    }
    vertical.write(servov);
```

if (-1*tol > dhoriz || dhoriz > tol) // Перевіряючи, чи є різниця допусків, в іншому випадку мінємо горизонтальний кут

```
{
  if (avl > avr)
  {
    servoh = --servoh;
    if (servoh < 10)
    {
      servoh = 10;
    }
    else if (avl < avr)
    {
      servoh = ++servoh;
      if (servoh > 90)
      servoh = 90;
    }
    else if (avl = avr)
    {
      // nothing
    }
    horizontal.write(servoh);
  }
  delay(dtime);
}
```

					КНУ.123.24.13.00.ВС	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Схеми заповнення матриць

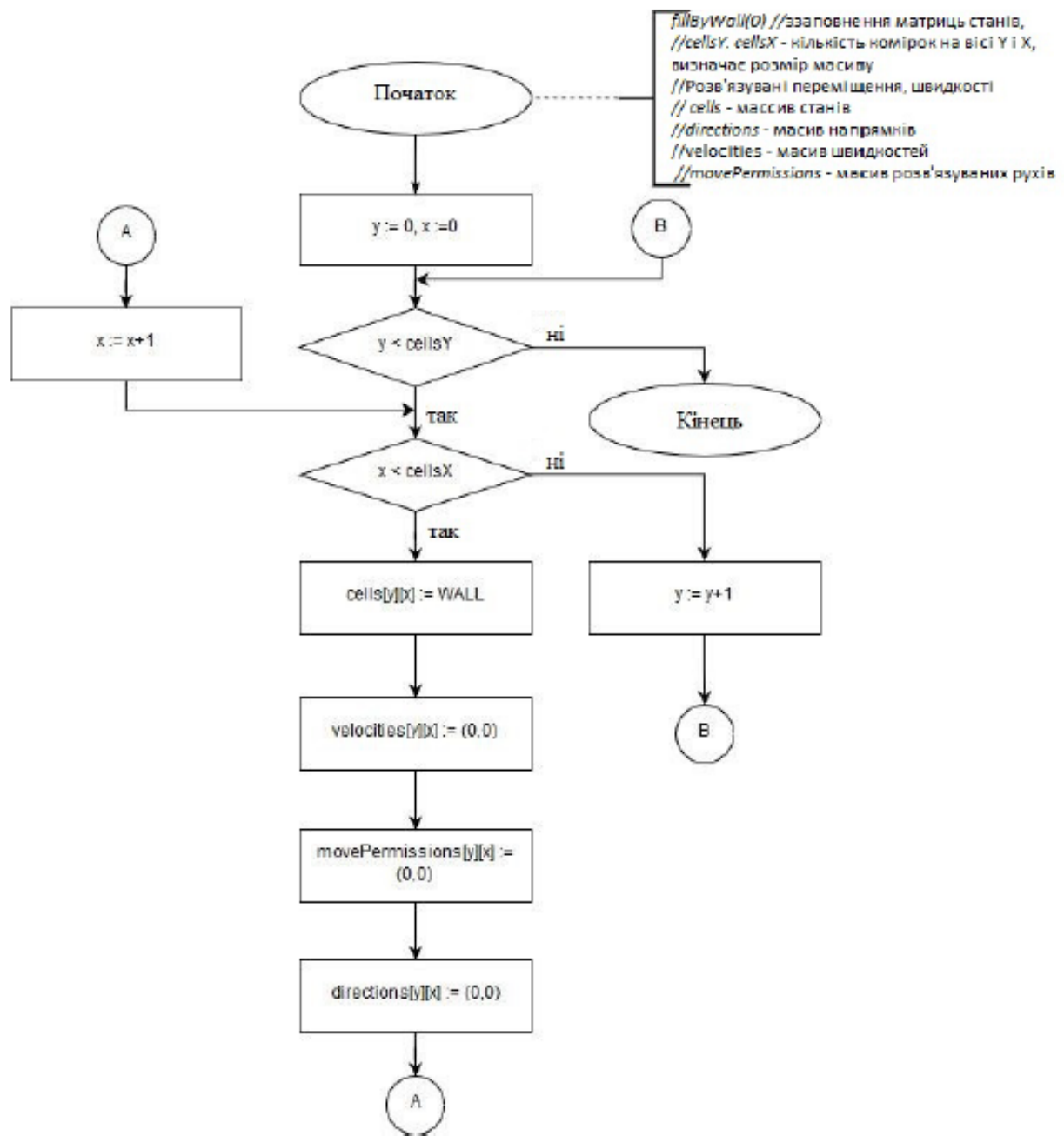


Рисунок В.1 - Схема алгоритму заповнення матриць станів, напрямків, розв'язуваних переміщень для початкових умов

					КНУ.123.24.13.00.ВС	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

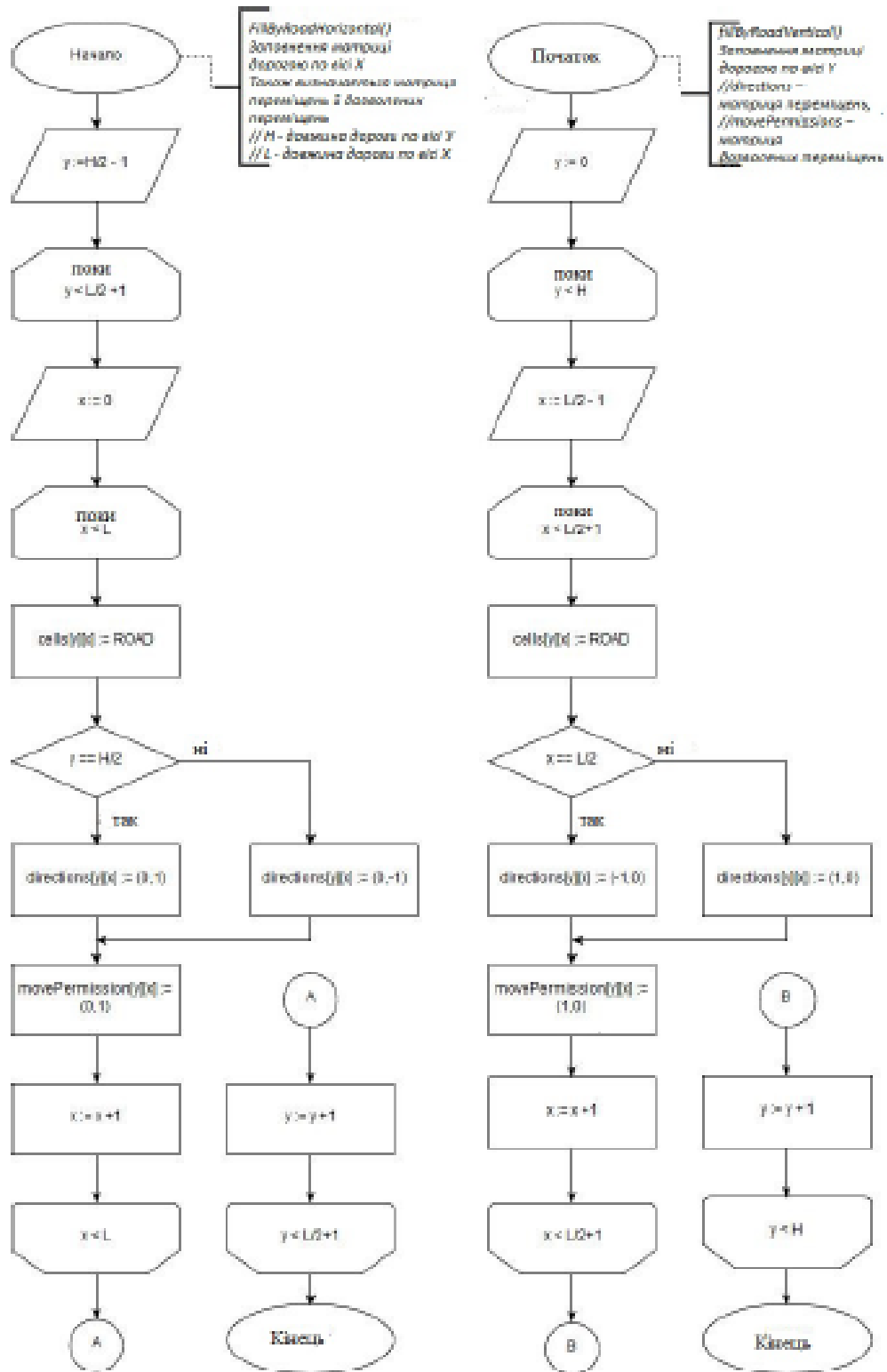


Рисунок В.2 – Схема заповнення матриці дорогами (ROAD)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

