

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту
Факультет інформаційно-керуючих систем та технологій
Кафедра інформаційних технологій

До захисту допустити
Завідувач кафедри ІТ,
д.т.н., проф., Каргін А.О.

12.01.2026 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

на тему: Система динамічного визначення циклограми розумного світлофору з
врахуванням небезпечних метеоумов за допомогою навчання з підкріпленням

Здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти
Студент 2-го курсу,
213-ІТ-Д24 групи
Галузь знань F - Інформаційні технології
Спеціальність F7 – Комп'ютерна інженерія
Освітньо-професійна програма - Інтелектуальні інформаційні технології (ІТ)

Снегірьов Владислав Віталійович
(ПІБ)

Керівник Тетяна Григорівна Петренко
(ПІБ)

к.т.н., доцент, доцент кафедри ІТ УкрДУЗТ
(науковий ступінь, вчене звання, посада)

Рецензент Ковтун Ірина Володимирівна
(ПІБ)
к.т.н., доцент, доцент кафедри «Транспортний зв'язок» УкрДУЗТ
(науковий ступінь, вчене звання, посада)

Рецензент Шергін Вадим Леонідович
(ПІБ)
к.т.н., доцент, доцент кафедри «Штучний інтелект» ХНУРЕ
(науковий ступінь, вчене звання, посада)

Національна шкала _____
Кількість балів: _____
Оцінка (ECTS) _____

м. Харків – 2026 рік

Сторінки 2, 4, 5, 15-50, 56-78 пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи недоступні для перегляду в даній обмеженій версії.

DO NOT COPY

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту
Факультет інформаційно-керуючих систем та технологій
Кафедра інформаційних технологій

Затверджую
Завідувач кафедри ІТ,
д.т.н., проф., Каргін А.О.

03.10.2025 р.

Завдання

На кваліфікаційну роботу здобувача другого (магістерського) рівня вищої освіти	Снегірєва Владислава Віталійовича (прізвище ім'я по батькові в родовому відмінку)
Тема кваліфікаційної роботи	Система динамічного визначення циклограми розумного світлофору з врахуванням небезпечних метеоумов за допомогою навчання з підкріпленням
Постановка завдання в стислій формі	Виконати проектування системи визначення циклограми світлофора засобами мови UML, середовищ Mental Modeler та MATLAB. Метод навчання з підкріпленням застосувати до визначення параметрів циклограми для небезпечних метеоумов. Інтеграцію системи реалізувати в Node-RED.
Джерела, які рекомендує керівник кваліфікаційної роботи	Introduction to Traffic Signal Timing. https://www.cedengineering.com/userfiles/Introduction%20to%20Traffic%20Signal%20Timing-R1.pdf Traffic Light Control Using Reinforcement Learning https://www.researchgate.net/publication/378659747_Traffic_Light_Control_Using_Reinforcement_Learning

Календарний план роботи

Дата отримання версії звіту керівником	Етап виконання роботи	Виконання (зазначає керівник)
14.11.2025	Проектування системи (включно в MATLAB). Формування версії звіту (включно підрозділ 3.3)	виконано
01.12.2025	Визначення топології апаратного прототипу. Формування версії звіту (включно підрозділ 3.4)	виконано
09.12.2025	Динамічна модель програмно-апаратного прототипу системи в Node-RED. Формування повної версії звіту	виконано
15.12.2025	Редагування пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи за зауваженнями керівника за змістом та оформленням. Формування презентації (включно відео) та докладу	виконано

Дата видачі завдання 29.09.25

Керівник (ПІБ) Тетяна Григорівна Петренко

РЕФЕРАТ

Снегірьов В.В. Система динамічного визначення циклограми розумного світлофору з врахуванням небезпечних метеоумов за допомогою навчання з підкріпленням. - На правах рукопису.

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи здобувача другого (магістерського) рівня вищої освіти: 78 сторінок, 33 рисунків, 14 таблиць, 23 джерел, 7 додатків.

Система динамічного визначення циклограми розумного світлофору спроектовано відносно локального світлофора. Основна увага в роботі приділена побудові циклограми із змінними параметрами (тривалість циклу; кількість, тривалість та послідовність фаз) і врахуванням небезпечних метеоумов для світлофора.

Моделювання системи виконано засобами UML діаграм. Сценарії визначення циклограми реалізовані в середовищах Mental та Modeler MATLAB. У якості алгоритму навчання з підкріпленням обрано Soft Actor-Critic (SAC). Розроблено власне середовище SmartTrafficEnv та сформовано синтетичний набір даних, який моделює різні погодні й транспортні умови, зокрема умови нормального руху і умови наявності туману та ожеледиці. Навчений агент визначає тривалості зеленого, жовтого, червоного сигналів і захисного інтервалу безпеки залежно від стану метеоумов оточення світлофору.

Інтеграцію модулів системи реалізовано у середовищі Node-RED для обробки даних, виконання розрахунків параметрів циклограми та відображення результатів. Проведене тестування підтвердило здатність системи динамічно змінювати параметри циклограми відповідно до умов середовища з пріоритетом безпеки руху.

РОЗУМНИЙ СВІТЛОФОР, НАВЧАННЯ З ПІДКРІПЛЕННЯМ, SOFT АСТОР-СРІТІС, ДИНАМІЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЦИКЛОГРАМИ, НЕБЕЗПЕЧНІ МЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ

ABSTRACT

Vladyslav Snehirov. System for dynamic determination of smart traffic light cyclegrams taking into account hazardous weather conditions using reinforcement learning.

Explanatory note to the qualification work of an applicant for the second (master's) level of higher education: 78 pages, 33 figures, 14 tables, 23 sources, 7 appendices.

The system for dynamic determination of the smart traffic light cycle is designed for a local traffic light. The main attention in the work is paid to the construction of a cycle with variable parameters (cycle duration; number, duration and sequence of phases) and taking into account dangerous weather conditions for the traffic light.

The system is modeled using UML diagrams. The cycle definition scenarios are implemented in the Mental and Modeler MATLAB environments. Soft Actor-Critic (SAC) is selected as the reinforcement learning algorithm. The SmartTrafficEnv environment has been developed and a synthetic dataset has been formed that simulates various weather and transport conditions, in particular, normal traffic conditions and conditions of fog and ice. The trained agent determines the durations of green, yellow, red signals and the all-red clearance interval depending on the weather conditions surrounding the traffic light.

The integration of the system modules is implemented in the Node-RED environment for data processing, calculation of cycle parameters and display of results. The testing confirmed the system's ability to dynamically change the cyclegram parameters according to environmental conditions with traffic safety as a priority.

SMART TRAFFIC LIGHT, REINFORCEMENT LEARNING, SOFT ACTOR-CRITIC, DYNAMIC CYCLOGRAM DETERMINATION, UNSAFE METEOROLOGICAL CONDITIONS

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	13
РОЗДІЛ 2 ОПИС ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ І ОГЛЯД ПІДХОДІВ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАВДАННЯ	15
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ ДИНАМІЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ЦІКЛОГРАМИ РОЗУМНОГО СВІТЛОФОРУ З ВРАХУВАННЯМ НЕБЕЗПЕЧНИХ МЕТЕОУМОВ ЗА ДОПОМОГОЮ НАВЧАННЯ З ПІДКРІПЛЕННЯМ	27
3.1 Концептуальна модель системи. UML Use case	27
3.2 Логічна модель системи. Моделювання в Mental Modeler	29
3.3 Логічна модель системи. Моделювання в MATLAB	33
3.4 Фізична модель системи. Апаратний прототип системи в Tinkercad	36
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ ПРОТОТИП СИСТЕМИ	39
4.1 Архітектура програмної частини прототипу системи	39
4.2 Компоненти програмної частини прототипу системи в Node-RED	43
4.3 Опис даних та бібліотек підтримки компонентів системи	44
4.4 Опис контрольних прикладів і результатів тестування	46
4.5 Опис інструкцій користувачеві	47
ВИСНОВКИ	51
СПИСОК ПОСИЛАНЬ	53
ДОДАТОК А ДІАГРАМИ UML	56
ДОДАТОК Б МОДЕЛЮВАННЯ В MENTAL MODELER	58
ДОДАТОК В МОДЕЛЮВАННЯ В MATLAB	61
ДОДАТОК Г МОДЕЛЮВАННЯ В TINKERCAD	67
ДОДАТОК Ґ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ В NODE-RED	71
ДОДАТОК Д ТЕКСТИ ПРОГРАМ	72
ДОДАТОК Е РЕЗУЛЬТАТИ ТЕСТУВАННЯ	78

ВСТУП

Актуальність теми пов'язана з активним розвитком інтелектуальних транспортних систем, які дозволяють підвищити ефективність управління дорожнім рухом у містах. Одним із ключових елементів таких систем є розумний світлофор, здатний автоматично адаптувати параметри своєї роботи до поточних умов навколишнього середовища. Особливо важливою є адаптація циклограми під час виникнення небезпечних метеорологічних умов (туман, ожеледиця, снігопад), які значно впливають на безпеку дорожнього руху. Саме тому створення такої системи є актуальним науково-прикладним завданням.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення системи динамічного визначення циклограми розумного світлофора з урахуванням небезпечних метеоумов за допомогою навчання з підкріпленням. Для досягнення мети сформульовані наступні завдання:

- 1) Проаналізувати існуючі підходи до інтелектуального керування транспортними потоками.
- 2) Спроектувати архітектуру системи визначення циклограми засобами UML.
- 3) Побудувати нечітку когнітивну модель взаємодії компонентів системи у середовищі Mental Modeler.
- 4) Розробити модель визначення параметрів циклограми у MATLAB.
- 5) Реалізувати інтеграцію системи у середовищі Node-RED.
- 6) Провести тестування та оцінити ефективність роботи системи.

Об'єктом дослідження в роботі є процес інтелектуального керування світлофорними об'єктами в умовах змінних метеорологічних факторів.

Предметом дослідження є методи і засоби побудови системи AIoT для динамічного визначення циклограми розумного світлофора з використанням підходів навчання з підкріпленням.

Для вирішення поставлених завдань були використані методи: системного аналізу, когнітивного моделювання, нечіткої логіки, навчання з підкріпленням,

UML-моделювання, а також методи візуального програмування та моделювання у середовищі Node-RED.

Рішення поставлених завдань дозволило отримати автору наступні результати: створено проєкт інтелектуальної системи світлофора, розроблено нечітку когнітивну модель у Mental Modeler, виконано моделювання визначення циклограми у MATLAB, отримано параметри циклограми з врахуванням метеоумов та реалізовано інтегровану систему в Node-RED.

Практичне значення отриманих результатів: розроблена система може бути застосована як частина інтелектуальної транспортної інфраструктури міста (AIoT системи), що дозволяє підвищити безпеку дорожнього руху, знизити аварійність і покращити керування транспортними потоками.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у поєднанні підходів когнітивного моделювання, нечіткої логіки та навчання з підкріпленням для формування динамічної циклограми світлофора, з урахуванням небезпечних погодних умов.

Особистий внесок здобувача полягає у проведенні аналізу існуючих систем, розробленні UML моделей, створенні нечіткої когнітивної карти системи та моделі визначення циклограми в MATLAB, реалізації навчання з підкріпленням та інтеграції системи у середовище Node-RED.

Тематика кваліфікаційної роботи узгоджена з науковим напрямом кафедри інформаційних технологій, що передбачає дослідження інтелектуальних систем керування транспортом і компонентів розумного міста та виконується в межах навчального плану спеціальності «Комп'ютерна інженерія».

Основні положення і результати кваліфікаційної роботи були представлені та обговорювались на конференціях - 38-ї МНПК «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» 09 жовтня 2025 року та 85-ї «Студентської науково-технічної конференції» 10 грудня 2025 року.

По темі кваліфікаційної роботи виконано 2 науково-технічних публікації - 2 публікації у збірниках тез конференцій.

Кваліфікаційна робота виконана відповідно науково-дослідної роботи Українського державного університету залізничного транспорту «Розумні машини та інтернет речі зі штучним інтелектом», № ДР 0120U104276.

Звіт по кваліфікаційній роботі складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку посилань з 23 найменувань і 7 додатків. Звіт містить 33 рисунки, 14 таблиць. Повний обсяг звіту становить 78 сторінок, в тому числі 55 сторінок основного тексту.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і завдання дослідження, а також охарактеризовано особистий внесок здобувача, практичне значення і наукова новизна отриманих результатів.

У першому розділі сформульована загальна постановка задачі та стисло описані етапи вирішення проблеми адаптивного керування світлофором у небезпечних погодних умовах, визначено мету, завдання, структуру системи та вимоги до її функціонування. Висновки за розділом підтверджують виділення основних етапів створення системи та обґрунтовують вибір методів моделювання для подальшої розробки.

У другому розділі виконано огляд і аналіз підходів до інтелектуального керування світлофорними об'єктами. За результатами огляду та аналізу зроблені висновки: традиційні алгоритми керування мають обмежені можливості адаптації, тоді як методи машинного навчання, зокрема навчання з підкріпленням, забезпечують гнучке реагування на змінні зовнішні фактори, у тому числі небезпечні метеоумови. Висновки за розділом підтверджують виділення найбільш суттєвих характеристик системи що потребують втілення в прототипі, таких як адаптивність, самонавчання та стійкість до непередбачуваних ситуацій.

У третьому розділі побудований проєкт та виконано моделювання системи засобами UML, а також в середовищах Mental Modeler та MATLAB. Висновки за розділом підтверджують формування моделей системи, які описують функціональність системи з точки зору користувача системи та з точки зору розробника прототипу системи та забезпечуючи зв'язок між структурною,

поведінковою та нечіткою когнітивною моделями, а також підтверджують обґрунтованість побудованої логіки прийняття рішень у різних погодних сценаріях.

У четвертому розділі описана реалізація системи у вигляді динамічної моделі в Node-RED, здійснено інтеграцію результатів моделювання MATLAB і нечіткої когнітивної моделі, реалізовано обмін даними між умовними сенсорними модулями, блоком прийняття рішень і умовними виконавчими елементами світлофора. Висновки за розділом підтверджують позитивні результати синтезу програмно-апаратної системи в середовищі Node-RED та результати тестування системи, що демонструють її здатність адаптувати циклограму у реальному часі залежно від змін метеоумов.

У висновках роботи представлені теоретичні та практичні результати роботи та перспективи подальшого розвитку системи, зокрема розширення моделі для координації декількох світлофорних об'єктів у межах інтелектуальної транспортної мережі, підвищення точності визначення станів дорожнього руху та інтеграція з системами моніторингу погоди.

РОЗДІЛ 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Розвиток інтелектуальних транспортних систем вимагає створення адаптивних засобів керування дорожнім рухом, здатних враховувати поточний стан середовища та своєчасно реагувати на зміни погодних умов. У цьому контексті актуальним завданням є розроблення системи динамічного визначення циклограми розумного світлофора, яка б забезпечувала безпечне та ефективне регулювання транспортних потоків під час дії небезпечних метеорологічних умов.

Для створення такої системи необхідно виконати комплекс робіт, спрямованих на дослідження предметної області, побудову моделей і реалізацію алгоритмів навчання з підкріпленням. Основні етапи постановки задачі включають:

- 1) Аналіз предметної області і джерел щодо систем інтелектуального керування світлофорами, визначення ключових понять та термінів предметної області, опису можливих функцій майбутньої системи, її користувачів, а також меж застосування. Особливу увагу треба приділити характеристикам метеорологічних факторів, які впливають на зміну параметрів циклограми.
- 2) Проектування системи шляхом побудови кількох поглядів на неї - структурного (архітектура апаратної та програмної частини), поведінкового (динаміка змін станів при зміні погодних умов) і функціонального (зв'язок між підсистемами та користувачами). Для цього треба використати засоби UML моделювання.
- 3) Виявлення взаємозв'язків між компонентами предметної області, визначення ключових факторів, що впливають на роботу системи, а також найважливіших зв'язків між ними. Треба побудувати нечітку когнітивну карту у середовищі Mental Modeler, яка дозволить виявити найбільш впливові компоненти та оцінити взаємний вплив компонентів системи з метою досягнення головної мети - формування циклограми, що забезпечує

безпечний рух транспортних засобів і пішоходів без утворення заторів у задовільний можливий час.

- 4) Моделювання нечіткості у процесі керування, треба визначити рівень невизначеності (нечіткості) у поведінці системи при динамічній зміні станів середовища, описати логіку прийняття рішень за допомогою методів нечіткої логіки, а також реалізувати моделювання визначення циклограми у MATLAB для вибору параметрів циклограми.
- 5) Інтеграція системи в середовищі Node-RED, треба виконати інтеграцію всіх компонентів системи у середовищі Node-RED для побудови динамічної моделі, що відтворює процес переходу від стандартного режиму роботи світлофора до режиму, який враховує небезпечні метеоумови та коригується відповідно до результатів навчання з підкріпленням.

Таким чином, у розділі 1 сформульовано загальну постановку задачі створення інтелектуальної системи динамічного визначення циклограми розумного світлофора, визначено основні етапи її розроблення та засоби реалізації.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано проектування та реалізацію програмно-апаратного прототипу системи динамічного визначення параметрів циклограми залежно від стану середовища світлофора. Основну увагу приділено врахуванню небезпечних метеорологічних умов, які впливають на безпеку руху та ефективність транспортних потоків.

На основі аналізу предметної області та сучасних підходів до інтелектуального керування світлофорами обґрунтовано доцільність застосування методів навчання з підкріпленням для задач динамічного визначення циклограми світлофору. Розглянуто різні групи алгоритмів, що дозволило визначити переваги та обмеження підходів глибокого навчання з підкріпленням. З урахуванням безперервного характеру параметрів циклограми обрано алгоритм Soft Actor-Critic, який забезпечує стабільне навчання та здатність працювати з неперервним простором дій.

У ході роботи розроблено архітектуру системи, описано взаємодію її компонентів та реалізовано власне середовище навчання SmartTrafficEnv. Для формування навчальних прикладів створено синтетичний набір даних, що моделює різні погодні та транспортні умови. Проведено навчання моделі, яка формує тривалості зеленого, жовтого, червоного сигналів і захисного інтервалу залежно від параметрів середовища.

Прототип системи інтегровано з середовищем Node-RED, де реалізовано цикл роботи: формування стану, запуск обчислення параметрів циклограми та візуалізацію результатів у Dashboard. Проведене тестування на контрольних сценаріях (нормальний рух, туман, ожеледиця) показало, що система змінює тривалості сигналів відповідно до умов середовища, зменшуючи пропускну здатність за несприятливих умов та підвищуючи рівень безпеки.

Разом із тим, виконана робота має низку обмежень. Навчання моделі здійснювалося виключно на синтетичних даних без використання реальних сенсорних вимірювань, що може впливати на точність і здатність моделі до

правильних висновків при впровадженні у реальних умовах. Крім того, у межах роботи вибір параметрів моделі здійснювався на основі рекомендацій авторів методу Soft Actor-Critic без додаткової оптимізації. Обрана система також не враховує жорстко задані порогові правила безпеки, а формує реакцію поступово на основі функції винагороди, що може бути недоліком у критичних ситуаціях.

Ефективність навченої моделі залежить від статистичних властивостей середовища, на якому вона навчалася. Зміна сезонних умов руху (перехід між літнім та зимовим періодами), а також поява нових факторів середовища можуть призводити до зниження якості визначення параметрів циклограми світлофора. У зв'язку з цим доцільним є періодичне перенавчання моделі або розширення вектору стану за рахунок додаткових параметрів, що дозволяє підготувати систему до змінних умов експлуатації та підвищити її надійність.

Аналіз різних підходів до динамічного визначення циклограми світлофору та практична реалізація обраної архітектури дозволили сформулювати рішення, яке відповідає поставленій меті й наявним обчислювальним ресурсам. Отримані результати підтверджують доцільність використання методів навчання з підкріпленням для поставленої задачі.

Основні положення кваліфікаційної роботи опубліковані як тези [22,23].

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- 1) Петренко Т.Г. Методичні вказівки щодо порядку та змісту підготовки, оформлення і захисту звіту з переддипломної практики та пояснювальної записки здобувача другого рівня вищої освіти (магістр). Харків: УкрДУЗТ, 2025. 70 с. URL: <http://lib.kart.edu.ua/handle/123456789/30265> (Дата звернення 26.12.2025)
- 2) Traffic Signal Timing. URL: <https://files.lasvegasnevada.gov/public-works/Traffic%20Engineering/Traffic%20Signal%20Timing.pdf> (Last accessed 14.12.2025)
- 3) Introduction to Traffic Signal Timing. URL: <https://www.cedengineering.com/userfiles/Introduction%20to%20Traffic%20Signal%20Timing-R1.pdf> (Last accessed 14.12.2025)
- 4) Traffic Signal Timing Manual. URL: <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08024/chapter6.htm#:~:text=Coordinated%20Timing%20Plan-,Illustrates%20the%20concept%20of%20moving%20vehicles%20through%20a%20system%20of,policies%20associated%20with%20the%20community> (Last accessed 14.12.2025)
- 5) Wei H. et al. IntelliLight: A Reinforcement Learning Approach for Intelligent Traffic Light Control. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3219819.3220096> (Last accessed 15.12.2025)
- 6) Swapno M. et al. Traffic Light Control Using Reinforcement Learning. URL: <https://www.doi.org/10.1109/ICICACS60521.2024.10498933> (Last accessed 15.12.2025)
- 7) Sravani M. et al. Smart Control of Traffic Light Using Artificial Intelligence. URL: <https://www.doi.org/10.32628/CSEIT25111282> (Last accessed 15.12.2025)

- 8) Lai S. et al. LLMLight: Large Language Models as Traffic Signal Control Agents. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2312.16044> (Last accessed 14.12.2025)
- 9) Zhang X. Artificial Intelligence in Intelligent Traffic Signal Control. URL: <https://doi.org/10.54254/2755-2721/2025.20846> (Last accessed 14.12.2025)
- 10) Ayoubi M. et al. AI-Enabled Traffic Light Control System: An Efficient Model to Manage the Traffic at Intersections using Computer Vision. URL: <https://doi.org/10.59890/ijist.v2i8.2438> (Last accessed 14.12.2025)
- 11) Gaur A. et al. Dynamic Traffic Light Management System using AI and ML. URL: <https://ijercse.com/article/dynamic-traffic-light.pdf> (Last accessed 14.12.2025)
- 12) Node-RED. Low-code programming for event-driven applications. URL: <https://nodered.org/> (Last accessed 14.12.2025)
- 13) Petrenko T., Zadorozhnyi A. Platform for integration of meteorological processing tools and services using artificial intelligence. URL: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2025.3.073> (Last accessed: 14.12.2025)
- 14) SAC. URL: <https://stable-baselines3.readthedocs.io/en/master/modules/sac.html> (Last accessed 14.12.2025)
- 15) ChatGPT 5.2. URL: <https://chatgpt.com/> (Last accessed: 22.12.2025)
- 16) Visual-Paradigm. URL: <https://online.visual-paradigm.com/> (Last accessed 14.12.2025)
- 17) Mental Modeler. URL: <https://www.mentalmodeler.com/> (Last accessed 14.12.2025)
- 18) Fuzzy Logic Toolbox. URL: https://www.mathworks.com/help/fuzzy/?s_tid=srchbrm (Last accessed 14.12.2025)
- 19) Tinkercad. URL: <https://www.tinkercad.com> (Last accessed 14.12.2025)

- 20) Kaggle Urban-Traffic Data. URL:
<https://www.kaggle.com/datasets/jvthunder/urban-traffic-flow-csv>
(Last accessed 14.12.2025)
- 21) Kaggle Weather Data. URL:
<https://www.kaggle.com/datasets/muthuj7/weather-dataset/data>
(Last accessed 14.12.2025)
- 22) Petrenko T., Zadorozhnyi A., Snehirov V., Aleksieieva K. Design of a smart traffic light control system based on fuzzy cognitive maps. Information and control systems in railway transport. 2025, 3 (annex), pp.16-17. URL:
https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2025/10/dodatok_do_zhurnalu_ikszt_-3_2025_z_tezami_dopovidej_38_mnpk.pdf (Last accessed 14.12.2025)
- 23) Снегірьов В. Система динамічного визначення циклограми розумного світлофора з урахуванням небезпечних метеорологічних умов. Тези 85 студентської наукової-технічної конференції. УкрДУЗТ, Харків, 10-11 грудня, 2025, с.118. URL: <https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2025/12/tezi-sntk-85.pdf> (Last accessed: 22.12.2025)