

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0826U001077

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 16-04-2026

Статус: Запланована

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Мацелюх Юрій Романович

2. Yurii R. Matseliukh

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-1721-7703

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 124

Назва наукової спеціальності: Системний аналіз

Галузь / галузі знань:

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Системний аналіз

Дата захисту:

Спеціальність за освітою: Системний аналіз

Місце роботи здобувача:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 12863

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 28.29

Тема дисертації:

1. Методи та засоби організації пасажирських перевезень у розумному місті
2. Methods and means of organizing passenger transportation in a smart city

Реферат:

1. Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі організації пасажирських перевезень громадським транспортом в умовах розумного міста шляхом розробки та застосування методів і засобів на основі системного аналізу, інтелектуального аналізу даних та моделей глибокого навчання. У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження. Визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію результатів дисертації та публікації. У першому розділі здійснено комплексний систематичний аналіз сучасного стану, проблем та практичних підходів до організації пасажирських перевезень в умовах переходу до парадигми П'ятої промислової революції у межах концепції розумного міста. Розглянуто трансформацію пасажирських перевезень громадським транспортом під впливом новітніх інформаційних технологій, зокрема системного аналізу, великих даних, штучного інтелекту та хмарних обчислень, а також виявлено критичні розриви між зібраними даними та існуючими методами, засобами та інструментами їх опрацювання. Проведено критичний порівняльний аналіз існуючих

методів інтелектуального аналізу даних. Розглянуто концепції цифрових двійників у різних предметних сферах. У другому розділі набула подальшого розвитку методологія дослідження затримок руху громадського транспорту. Розвинуто підхід до ідентифікації режимів роботи транспортної мережі та виявлення прихованих патернів у часових рядах тривалості виконання перегонів шляхом інтеграції методів жорсткої (K-середніх) та м'якої (нечітких C-середніх) кластеризацій. У роботі детально висвітлено процедуру визначення оптимальної кількості кластерів на основі порівняльного аналізу внутрішніх метрик валідації. Досліджено, що розбіжності у результатах цих метрик дозволяють виявити можливі латентні фактори впливу, такі як погодні умови. Для підтвердження існування такого впливу погоди набув подальшого розвитку метод аналізу факторів затримок, який базується на застосуванні ансамблевого методу градієнтного бустингу XGBoost. Використовуючи метод інтерпретації моделей машинного навчання SHAP було встановлено, що детерміністичні операційні фактори, такі як часові та маршрутні характеристики, є домінуючими предикторами затримок, тоді як метеорологічні умови виступають значущими модераторами. У третьому розділі здійснено системний аналіз та математичне моделювання задачі середньострокового прогнозування пасажиропотоків. З позицій системного аналізу виконано формалізацію транспортної мережі як динамічної системи з дискретним часом, де цільовою функцією є мінімізація відхилення прогнозу пасажиропотоків. Удосконалено метод прогнозування пасажиропотоку на основі глибокої рекурентної нейронної мережі з двонапрявленою архітектурою Bi-LSTM. Ключовою особливістю удосконаленого методу є застосування моделі навчання на залишках, де нейронна мережа прогнозує відхилення від базового тижневого патерну. Реалізовано процедуру оптимізації навчання та валідації моделі на хронологічно розділених вибірках, що дозволило досягти високих показників детермінації на тестових даних. У четвертому розділі вперше розроблено комплексну модель цифрового двійника системи громадського транспорту міста, яку формалізовано у вигляді динамічного орієнтованого графа з атрибутами на основі ребро-центричної моделі прогнозування для оцінки попиту безпосередньо на перегонах між зупинками, а не на вузлах мережі. Розроблено архітектуру гібридної просторово-часової графової нейронної мережі (HST-GNN), яка виступає обчислювальним ядром цифрового двійника і поєднує в собі механізми графової уваги (GATv2) для виявлення просторових залежностей між зупинками, рекурентні LSTM-шари для аналізу часових патернів та повнозв'язні шари на виході, що агрегують результати роботи просторового та часового енкодерів, для забезпечення регресійного прогнозування на ребрах графа. На вхід розробленої моделі нейронної мережі подавався деталізований вектор статичних ознак, сформований на основі даних OpenStreetMap, і топологічної структури маршрутної мережі добутої з розпізнаних потокових GTFS даних, а також динамічні часові ряди, що включають параметри погоди з OpenWeather. Як цільову змінну для навчання розробленої гібридної просторово-часової графової моделі нейронної мережі було обрано синтетично генерований проксі-попит. Експериментальна оцінка на тестовій вибірці, віддаленій у часі, підтвердила високу узагальнюючу здатність розробленої моделі нейронної мережі та її стійкість до сезонних змін. Це підтверджує потенціал використання розробленого цифрового двійника як інструменту для стратегічного прогнозування зміни пасажирського попиту на ребрах, тобто перегонах між зупинками, а також як і у відповідь на фізичну зміну параметрів міської інфраструктури.

2. The dissertation is devoted to solving the current scientific and applied problem of organizing passenger transportation by public transport in a smart city by developing and applying methods and tools based on system analysis, data mining, and deep learning models. The introduction substantiates the relevance of the topic, formulates the goal, objectives, object, subject and methods of the research. The scientific novelty and practical significance of the results obtained are determined, data on the personal contribution of the applicant, approval of the results of the dissertation and publication are provided. Chapter 1 provides a comprehensive systematic analysis of the current state, problems, and practical approaches to organizing passenger transportation in the context of the transition to the Industry 5.0 paradigm within the framework of the smart city concept. The transformation of passenger transportation by public transport under the influence of the latest information technologies, in particular system analysis, big data, artificial intelligence and cloud computing, is considered, and critical gaps between the collected data and existing methods, means and tools for their processing are identified.

A critical comparative analysis of existing methods of intelligent data analysis is carried out. The concepts of digital twins in various subject areas are considered. In Chapter 2, the methodology for studying public transport delays was further developed. An approach to identifying transport network operating modes and detecting hidden patterns in time series of journey durations was developed by integrating hard (K-means) and soft (fuzzy C-means) clustering methods. The manuscript details the procedure for determining the optimal number of clusters based on a comparative analysis of internal validation metrics. It was investigated that discrepancies in the results of these metrics allow identifying possible latent influencing factors, such as weather conditions. To confirm the existence of such weather effects, a method for analyzing delay factors was further developed, which is based on the use of the ensemble gradient boosting method XGBoost. Using the SHAP machine learning model interpretation method, it was established that deterministic operational factors, such as time and route characteristics, are the dominant predictors of delays, while meteorological conditions act as significant moderators. In Chapter 3, a system analysis and mathematical modeling of the problem of medium-term passenger flow forecasting are carried out. From the standpoint of system analysis, a formalization of the transport network as a dynamic system with discrete time is performed, where the objective function is to minimize the deviation of the passenger flow forecast. The passenger flow forecasting method is improved based on a deep recurrent neural network with a bidirectional Bi-LSTM architecture. The key feature of the improved method is the use of a residual learning model, where the neural network predicts deviations from the baseline weekly pattern. The procedure for optimizing training and validating the model on chronologically separated samples was implemented, which allowed achieving high determination rates on test data. In Chapter 4, a comprehensive model of the digital twin of the city's public transport system is developed for the first time, which is formalized as a dynamic directed graph with attributes based on an edge-centric forecasting model to estimate demand directly on the segments between stops, rather than on the network nodes. The architecture of a Hybrid Spatio-Temporal Graph Neural Network (HST-GNN) is developed, which acts as the computational core of the digital twin and combines graph attention mechanisms (GATv2) to detect spatial dependencies between stops, recurrent LSTM layers for analyzing temporal patterns, and fully connected output layers that aggregate the results of the spatial and temporal encoders to provide regression forecasting on the edges of the graph. The input of the developed neural network model was a detailed vector of static features generated based on OpenStreetMap data, and the topological structure of the route network mined from recognized GTFS streaming data, as well as dynamic time series, which include weather parameters from OpenWeather. As a target variable for training the developed hybrid spatio-temporal graph model of the neural network, a synthetically generated proxy demand was selected. Experimental evaluation on a test sample, remote in time, confirmed the high generalization ability of the developed neural network model and its resistance to seasonal changes. This confirms the potential of using the developed digital twin as a tool for strategically forecasting changes in passenger demand on edges, i.e., between stops, as well as in response to physical changes in urban infrastructure parameters.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Інформаційні та комунікаційні технології

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Розвиток сучасних інформаційних, комунікаційних технологій, робототехніки

Підсумки дослідження: Теоретичне узагальнення і вирішення важливої наукової проблеми

Публікації:

- Мацелюх Ю. Р., Литвин В. В. Концепція цифрового двійника пасажирських перевезень громадським транспортом у розумному місті. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. 2025. № 4, ч. 1. С. 425–436. DOI: <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.4.1.40>
- Мацелюх Ю. Р., Литвин В. В. Кількісна оцінка впливу погоди на надійність міського транспорту, використовуючи XGBoost та SHAP. Social Development and Security. 2025. Vol. 15, iss. 6. P. 260–274. DOI:

<https://doi.org/10.33445/sds.2025.15.6.23>

- Мацелюх Ю. Р., Литвин В. В. Метод кластеризації нечітких С-середніх в організації пасажирських перевезень у розумному місті. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. 2025. № 1. С. 245–253. DOI: <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.1.24>
- Мацелюх Ю. Р., Литвин В. В. Моделювання систем аналізу пасажиропотоків низьковуглецевих перевезень у розумному місті. Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. Серія: Інформаційні системи та мережі. 2024. Вип. 15. С. 430–448. DOI: <https://doi.org/10.23939/sisn2024.15.430>
- Мацелюх Ю. Р., Бублик М. І., Висоцька В. А. Інтелектуальна система динамічної 2D-візуалізації пасажиропотоків маршрутів громадського транспорту. Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. Серія: Інформаційні системи та мережі. 2022. Вип. 12. С. 79–119. DOI: <https://doi.org/10.23939/sisn2022.12.079>
- Matseliukh Y., Lytvyn V., Bublyk M. Simulating urban futures: a digital twin framework for proactive mobility management based on hybrid spatio-temporal graph neural network. Mathematical Modeling and Computing. 2025. Vol. 12, iss. 4. P. 1199–1210. DOI: <https://doi.org/10.23939/mmc2025.04.1199>
- Matseliukh Y., Lytvyn V., Bublyk M. Development of a neural network for forecasting passenger flows in smart city public electric transport. Технологічний аудит та резерви виробництва. 2025. Vol. 5, No. 2 (85) : Information and control systems. С. 20–25. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.339550>
- Мацелюх Ю. Р., Литвин В. В. Метод К-середніх для аналізу даних з організації пасажирських перевезень у розумному місті. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2025. № 1 (31). С. 83–101. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2025.1.083>
- Мацелюх Ю. Р., Литвин В. В. Аналіз пасажирських перевезень та вплив громадського транспорту на скорочення викидів вуглецю в розумному місті. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2024. № 1 (27). С. 109–127. DOI: <https://doi.org/10.30837/itssi.2024.27.109>
- Литвин В. В., Бублик М. І., Висоцька В. А., Мацелюх Ю. Р. Технологія візуальної симуляції пасажиропотоків у сфері громадського транспорту Smart City. Радіоелектроніка, інформатика, управління. 2021. № 4 (59). С. 106–121. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-4-10>
- Matseliukh Y., Lytvyn V., Bublyk M., Hu Z. Predictive modelling and factor analysis of public transport delays in smart city using interpretable machine learning. International Journal of Information Technology and Computer Science. 2025. Vol. 17, No. 6. P. 1–28. DOI: <https://doi.org/10.5815/ijitcs.2025.06.01>

Наукова (науково-технічна) продукція:

Соціально-економічна спрямованість:

Охоронні документи на ОПВ:

Впровадження результатів дисертації: Впроваджено

Зв'язок з науковими темами:

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Литвин Василь Володимирович

2. Vasyl V. Lytvyn

Кваліфікація: д. т. н., професор, 01.05.03

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-9676-0180

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 56446930100; Web of Science Researcher ID: P-8557-2016;
<https://scholar.google.com.ua/citations?user=bIeBe9kAAAAJ>

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Ковальська-Штицень Агнешка --

2. Agnieszka -. Kowalska-Styczeń

Кваліфікація: д.е.н., професор, 08.00.04

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-7404-9638

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Сілезький технологічний університет

Код за ЄДРПОУ: 631-020-07

Місцезнаходження: Akademicka 2A, Глівіце, 44-100, Польща

Форма власності: Державна

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Мокін Віталій Борисович

2. Vitalii Mokin

Кваліфікація: д.т.н., професор, 01.05.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-1946-0202

Додаткова інформація: <https://scholar.google.com/citations?user=B9mranwAAAAJ&hl=en>;

<https://www.researchgate.net/profile/Vitalii-Mokin>

Повне найменування юридичної особи: Вінницький національний технічний університет

Код за ЄДРПОУ: 02070693

Місцезнаходження: вул. Хмельницьке шосе, Вінниця, Вінницький р-н., 21021, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Шафроненко Аліна Юріївна
2. Alina Shafronenko

Кваліфікація: д. т. н., доц., 05.13.23

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-8040-0279

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Харківський національний університет радіоелектроніки

Код за ЄДРПОУ: 02071197

Місцезнаходження: проспект Науки, Харків, Харківський р-н., 61166, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Назаркевич Марія Андріївна
2. Mariia A. Nazarkevych

Кваліфікація: д.т.н., професор, 21.05.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-6528-9867

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Басюк Тарас Михайлович
2. Taras M. Basyuk

Кваліфікація: к. т. н., доцент, 01.05.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-0813-0785

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
голови ради**

Пасічник Володимир Володимирович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
головуючого на засіданні**

Пасічник Володимир Володимирович

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Лучкевич Михайло Михайлович

Реєстратор

Юрченко Тетяна Анатоліївна

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна