



*А. М. Тригуба<sup>1</sup>, В. Р. Демчина<sup>2</sup>, А. Р. Ратушний<sup>2</sup>, Л. С. Коваль<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Львівський національний університет природокористування, м. Львів, Україна

<sup>2</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8014-5661> – А. М. Тригуба

<https://orcid.org/0000-0002-6123-5255> – В. Р. Демчина

<https://orcid.org/0000-0003-0768-6466> – А. Р. Ратушний

<https://orcid.org/0009-0002-7600-7308> – Л. С. Коваль



[trianamik@gmail.com](mailto:trianamik@gmail.com)

## МЕТОД ТА РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ ПРІОРИТЕТНИХ ОБ'ЄКТІВ ПІД ЧАС ІНІЦІАЦІЇ ПРОЕКТІВ ВІДНОВЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ У ПІСЛЯВОЄННИЙ ЧАС

**Проблема.** Як показав проведений аналіз, важливим завданням для окремих регіонів України є післявоєнне відновлення транспортної інфраструктури населених пунктів. Визначення пріоритетних об'єктів транспортної інфраструктури під час ініціації проектів з їх відновлення дасть змогу максимально ефективно використовувати обмежені ресурси. Обґрунтовано потребу вдосконалення методу визначення пріоритетних об'єктів, який лежить в основі ініціації проектів відновлення транспортної інфраструктури окремих населених пунктів у післявоєнний час.

**Мета.** Удосконалити метод визначення пріоритетних об'єктів для ініціації проектів відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний час, що базується на використанні сучасних інформаційних технологій, зокрема фреймворку OpenStreetMap та серверного програмного забезпечення Overpass API з відкритим вихідним кодом, які забезпечують швидке отримання точної інформації про зазначені об'єкти.

**Методи дослідження.** Використання методології управління проектами дало можливість означити процеси ініціації проектів відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний час та доцільність виконання управлінської операції з визначення пріоритетних об'єктів. У роботі запропоновано метод визначення пріоритетних об'єктів під час ініціації проектів відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний час, який передбачає використання фреймворку OpenStreetMap та серверного програмного забезпечення Overpass API з відкритим вихідним кодом. Для використання методу написано програмний код мовою Python із використанням інтерактивного середовища розробки Jupyter Notebook. Використано сервіс Overpass Turbo для отримання потрібної інформації про стан об'єктів транспортної інфраструктури, що надає доступ до бази даних OpenStreetMap. За допомогою мови запитів Overpass QL здійснено пошук та аналіз геоданих, необхідних для визначення стану об'єктів транспортної інфраструктури та потреб у відновленні транспортної інфраструктури. Використано метод кореляційно-регресійного аналізу для встановлення взаємозв'язків між показниками пріоритетності об'єктів транспортної інфраструктури заданих населених пунктів.

**Основні результати дослідження.** Запропонований метод визначення пріоритетних об'єктів, який передбачає 9 взаємопов'язаних кроків, лежить в основі ініціації проектів відновлення транспортної інфраструктури окремих населених пунктів у післявоєнний час. Він базується на використанні фреймворку OpenStreetMap та серверного програмного забезпечення Overpass API з відкритим вихідним кодом. Основною управлінською операцією є швидкий та точний збір інформації про транспортну інфраструктуру. Для цього пропонується отримувати просторові дані про об'єкти транспортної інфраструктури із відкритого сервісу OpenStreetMap із запитом до бази даних OSM та використанні мови запитів Overpass QL. Вони забезпечують швидке та точне виявлення, а також візуалізацію пріоритетних об'єктів, що є основою для ініціації проектів відновлення транспортної інфраструктури окремих населених пунктів у післявоєнний час. На основі звикористання запропонованого методу було визначено пріоритетні об'єкти транспортної інфраструктури для м. Краматорськ Донецької області (Україна). Встановлено дороги із найвищими нормалізованими показниками складності та пріоритетності. Це свідчить про потребу першочергового ремонту або модернізації дорожнього покриття та інфраструктури для забезпечення розвитку міста.

**Висновки та конкретні пропозиції автора.** На підставі виконаних досліджень обґрунтовано та апробовано метод визначення пріоритетних об'єктів транспортної інфраструктури для відновлення у післявоєнний час. Подальші дослідження потребують розробки системи підтримки припинення рішень для проектних менеджерів, яка базуватиметься на запропонованому методі визначення пріоритетних об'єктів, що забезпечить точну ініціацію проектів відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний час.

**Ключові слова:** управління, проект, ініціація, транспортна інфраструктура, метод, післявоєнний період, ефективність.

## THE METHOD AND RESULTS OF DETERMINING THE PRIORITY OBJECTS DURING THE INITIATION OF PROJECTS FOR THE RESTORATION OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE IN THE POST-WAR PERIOD

**Introduction.** Based on the analysis, it was found that the post-war restoration of the transport infrastructure of settlements is an important task for certain regions of Ukraine. Identification of priority transport infrastructure facilities when initiating their restoration projects will allow for the most efficient use of limited resources. The article substantiates the need to improve the method of identifying priority objects, which is the basis for initiating projects to restore the transport infrastructure of individual settlements in the post-war period.

**Purpose.** To improve the method of identifying priority objects for initiating projects for the restoration of transport infrastructure in the post-war period, based on the use of modern information technologies, in particular the OpenStreetMap framework and the open source Overpass API server software, which provide quick access to accurate information about these objects.

**Methods.** The use of the project management methodology made it possible to define the processes of initiating projects for the restoration of transport infrastructure in the post-war period and the feasibility of performing the management operation of identifying priority objects. The paper proposes a method for determining the priority objects during the initiation of projects for the restoration of transport infrastructure in the post-war period, which involves the use of the OpenStreetMap framework and the open source Overpass API server software. To use the method, the program code was written in Python using the interactive development environment Jupyter Notebook. The Overpass Turbo service was used to obtain the necessary information about the state of transport infrastructure facilities, which provides access to the OpenStreetMap database. The Overpass QL query language was used to search and analyse the geodata necessary to determine the condition of transport infrastructure facilities and the needs for the restoration of transport infrastructure. The method of correlation and regression analysis was used to establish the relationship between the indicators of priority of transport infrastructure facilities in the given settlements.

**Results.** The proposed method of prioritizing objects, which involves 9 interrelated steps, is the basis for initiating projects to restore the transport infrastructure of individual settlements in the post-war period. It is based on the use of the OpenStreetMap framework and the open source Overpass API server software. The main management operation is the fast and accurate collection of information about transport infrastructure. To do this, it is proposed to obtain spatial data on transport infrastructure objects from the open service OpenStreetMap with queries to the OSM database and using the Overpass QL query language. They provide fast and accurate detection and visualisation of priority objects, which is the basis for initiating projects to restore the transport infrastructure of individual settlements in the post-war period. Based on the application of the proposed method, the priority objects of transport infrastructure for the city of Kramatorsk, Donetsk region (Ukraine) were identified. The roads with the highest normalised complexity and priority indicators were identified. This indicates the need for priority repair or modernisation of the road surface and infrastructure to ensure the development of the city.

**Conclusions and specific proposals of the author.** Based on the performed research, a method for determining the priority objects of transport infrastructure for restoration in the post-war period has been substantiated and tested. Further research requires the development of a decision support system for project managers, based on the proposed method for determining priority objects, which will ensure accurate initiation of projects for the restoration of transport infrastructure in the post-war period.

**Keywords:** management, project, initiation, transport infrastructure, method, post-war period, efficiency.

**Постановка проблеми.** Військова агресія росії на території України впродовж останніх років завдала значної шкоди транспортній інфраструктурі. Особливо постраждали територіальні громади, які розташовані в районах бойових дій або поблизу них. Багато мостів, доріг, залізничних колій та інших об'єктів інфраструктури зруйновано або пошкоджено. Це ускладнює пересування людей та товарів, а також відновлення економіки окремих регіонів та країни загалом. Після закінчення війни важливо буде якнайшвидше відновити транспортну інфраструктуру.

У післявоєнний період виникне низка невідкладних управлінських завдань, першочерговим із яких буде ефективне відновлення транспортної інфраструктури окремих населених

пунктів. Однак ресурсів буде обмаль, тому важливо буде визначити пріоритетні об'єкти для відновлення. Вирішення цієї проблеми можливе лише за використання методологій управління проектами, які забезпечать ефективне управління проектами відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний час [1]. Для вирішення цих специфічних управлінських задач виникає потреба проведення відповідних досліджень та розробки методів і моделей. Однією із таких задач є визначення пріоритетних об'єктів під час ініціації проектів відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний час.

Отже, післявоєнне відновлення транспортної інфраструктури населених пунктів є важливим завданням для України. Визначення пріоритетних

об'єктів транспортної інфраструктури під час ініціації проектів їх відновлення дозволить максимально ефективно використовувати обмежені ресурси [2-4]. У нашій статті представлено удосконалений метод та результати визначення пріоритетних об'єктів, які лежать в основі ініціації проектів відновлення транспортної інфраструктури окремих населених пунктів у післявоєнний час.

**Аналіз наукових досліджень галузі.** Відомо, що розвиток інфраструктури окремих населених пунктів, в тому числі транспортної, у післявоєнний період має вирішальне значення для відновлення економічного та соціального добробуту [5-7]. Збір даних про характеристики проектного середовища, такі як стан існуючої транспортної інфраструктури, є критично важливим процесом для успішної ініціації проектів розвитку транспортної інфраструктури [8].

Автори багатьох наукових праць підтверджують вплив специфіки збору даних на ефективність реалізації проектів в різних сферах [9-11]. Водночас деякі вчені працюють над розробкою методів та інструментів управління проектами, які передбачають розроблення моделей для управління окремими процесами [12-15]. Проте використати їх у повній мірі для визначення пріоритетних об'єктів, які лежать в основі ініціації проектів відновлення транспортної інфраструктури окремих населених пунктів у післявоєнний час, неможливо. Це зумовлене тим, що запропоновані методи та моделі не враховують особливостей формування та використання реальних даних населених пунктів під час ініціації проектів розвитку транспортної інфраструктури населених пунктів, що пошкоджені під час бойових дій.

Ми проаналізували наявні наукові роботи, пов'язані із засобами збору даних для реалізації проектів та їх використання у різних прикладних сферах. Деякі дослідження пропонують використовувати модель SMART [16]. Модель SCAT, використана в [17], заснована на системі оцінки, яка збирає дані про стан існуючої інфраструктури, і вона заслуговує на особливу увагу. Географічна інформаційна система (ГІС) [18], використовується для візуалізації та аналізу просторових даних, які можуть бути використані для планування транспортних проектів. Однак вони мають обмежене застосування для ініціації проектів відновлення транспортної інфраструктури окремих населених пунктів у післявоєнний період. Таким чином, наявні наукові роботи пропонують різні методи та моделі для збору інформації про проектне середовище для реалізації проектів розвитку транспортної інфраструктури [20-21]. Однак визначення пріоритетних об'єктів під час ініціації проектів відновлення транспортної інфраструктури окремих населених пунктів у післявоєнний час потребує удосконалення методів на підставі

використання сучасних інформаційних технологій [22].

**Не вирішені раніше частини загальної проблеми.** Післявоєнний період для населених пунктів, які перебували у зоні бойових дій, завжди характеризується значними викликами і необхідністю відновлення зруйнованої війною транспортної інфраструктури. Проте, незважаючи на наявні наукові досягнення в управлінні проектами розвитку транспортної інфраструктури, деякі науково-прикладні задачі залишаються невирішеними. Однією із таких задач є визначення пріоритетних об'єктів під час ініціації проектів відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний час. Вона зумовлена тим, що у післявоєнний період відсутні реальні дані про транспортні потоки та завантаженості об'єктів транспортної інфраструктури, що ускладнює або унеможливує використання наявних методів визначення пріоритетних об'єктів для ініціації проектів їх відновлення. Водночас, є потреба в отриманні швидких та точних управлінських рішень для проектних менеджерів про пріоритетні об'єкти для ініціації проектів, тому і стало необхідним розробити метод визначення пріоритетних об'єктів для відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний час. Цей метод базуватиметься на сучасних інформаційних технологіях для забезпечення швидкого та точного отримання управлінських рішень щодо визначення пріоритетних об'єктів.

**Мета досліджень.** Удосконалити метод визначення пріоритетних об'єктів для ініціації проектів відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний час, що базується на використанні сучасних інформаційних технологій, зокрема фреймворку OpenStreetMap (OSM) та серверного програмного забезпечення Overpass API з відкритим вихідним кодом, які забезпечують швидке отримання точної інформації щодо зазначених об'єктів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– обґрунтувати метод визначення пріоритетних об'єктів, який лежить в основі ініціації проектів відновлення транспортної інфраструктури окремих населених пунктів у післявоєнний час;

– на основі запропонованого методу визначити для заданого населеного пункту пріоритетні об'єкти відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний час.

**Основні методи дослідження.** Для досягнення поставленої мети дослідження використано такі методи. На підставі використання методології управління проектами означено процеси ініціації проектів відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний час та доцільність виконання управлінської операції визначення пріоритетних

об'єктів. У нашій роботі пропонується метод визначення пріоритетних об'єктів під час ініціації проектів відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний час, який передбачає використання фреймворку OpenStreetMap (OSM) та серверного програмного забезпечення Overpass API з відкритим вихідним кодом. Для цього написано програмний код на мові Python із використанням інтерактивного середовища розробки Jupyter Notebook. Основним джерелом інформації під час визначення пріоритетних для відновлення об'єктів транспортної інфраструктури є сервіс Overpass Turbo, що надає доступ до бази даних OpenStreetMap (OSM). За допомогою мови запитів Overpass QL здійснюється пошук та аналіз геоданих, необхідних для визначення стану об'єктів транспортної інфраструктури та потреб у відновленні транспортної інфраструктури. Використання методу кореляційно-регресійного аналізу дало можливість встановити взаємозв'язки між показниками пріоритетності об'єктів транспортної інфраструктури заданих населених пунктів.

**Основна частина.** Визначення пріоритетних для відновлення об'єктів транспортної інфраструктури окремих населених пунктів у післявоєнний час є одним із базових завдань проектних менеджерів. При цьому для виконання зазначеної управлінської операції пропонується використовувати OpenStreetMap (OSM). Цей фреймворк забезпечує створення та редагування геопросторових даних із  $i$ -ми об'єктами  $O_{ki}$  транспортної інфраструктури  $k$ -х видів у заданому

населеному пункті. Завдяки OSM отримується доступ до детальної інформації про об'єкти  $O_{ki}$  транспортної інфраструктури  $k$ -х видів у заданому населеному пункті (дороги, мости, залізничні колії, велосипедні маршрути тощо).

Удосконалений метод визначення пріоритетних об'єктів транспортної інфраструктури заданого населеного пункту представлено на схемі, яку подано на рис. 1. Він на відміну від існуючих передбачає отримання просторових даних про об'єкти транспортної інфраструктури із відкритого сервісу OpenStreetMap із запитом до бази даних OSM та використанні мови запитів Overpass QL. Це забезпечує швидке та точне виявлення, а також здійснення візуалізації пріоритетних об'єктів, що є основою для ініціації проектів відновлення транспортної інфраструктури окремих населених пунктів у післявоєнний час.

Для збору інформації про транспортну інфраструктуру населеного пункту використовують серверне програмне забезпечення Overpass API з відкритим вихідним кодом. Overpass API є потужним інструментом для вилучення даних із бази OSM за запитом користувачів. Цей інструмент оптимізований для виконання завдань будь-якої складності. Зокрема для отримання даних із бази про декілька об'єктів  $O_{ki}$  транспортної інфраструктури  $k$ -х видів у заданому населеному пункті, так і отримання даних про сотні мільйонів таких об'єктів. Вони відбираються відповідно до запиту користувачів у вигляді XML або Overpass QL (модернізованої версії Overpass XML).



**Рисунок 1** – Схема удосконаленого методу визначення пріоритетних об'єктів транспортної інфраструктури заданого населеного пункту для відновлення у післявоєнний період

Насамперед виконується запит до Overpass API, що дає можливість отримати географічні дані про об'єкти  $O_{ki}$  транспортної інфраструктури  $k$ -х видів у заданому населеному пункті. Запит дає можливість отримати дані про дороги, мости, складні розв'язки тощо.

Для визначення пріоритетних об'єктів транспортної інфраструктури населеного пункту за трафіком, виконується аналіз стану доріг ( $R_c$ ):

$$R_c = f(T_r, T_c, S_c), \quad (1)$$

де  $R_c$  – стан доріг у населеному пункті;

$T_r$  – види доріг у населеному пункті;

$T_c$  – тип покриття доріг у населеному пункті;

$S_c$  – стан поверхні доріг у населеному пункті.

Тип доріг  $T_r$  у населеному пункті має наступні категорії: 1) магістральні; 2) основні; 3) вторинні; 4) міські (сільські); 5) вулиці; 6); велодоріжки; 7) неklasифіковані. Аналіз типу доріг дає можливість виявити стратегічно важливі дороги. До них належать магістральні та основні дороги. Магістральні дороги призначені для швидкісного руху автомобілів. Мають розділений рух, окремі виїзди, мости та тунелі. Також мають високу пропускну здатність та проходять поза населеними пунктами. Отже, такі важливі об'єкти  $O_{ki}$  транспортної інфраструктури, магістральні дороги, відсутні у окремих населених пунктах. Їх надалі не беруть до уваги під час ініціації проектів розвитку транспортної інфраструктури населених пунктів.

Основна увага під час виділення пріоритетних об'єктів  $O_{ki}$  транспортної інфраструктури окремих населених пунктів припадає на основні та вторинні дороги. Такі дороги мають важливе значення у транспортній мережі заданого населеного пункту. Вони є меншими за магістральні дороги, однак можуть мати великий трафік. Це пов'язано із тим, що вони поєднують між собою важливі промислові об'єкти та адміністративні області.

Після цього визначаються найбільш завантажені дороги ( $R_{mc}$ ), тобто такі що мають найвищий трафік із врахуванням типу доріг та кількості пішохідних переходів:

$$R_{mc} = f(T_h \Leftrightarrow T_r), \quad (2)$$

де  $R_{mc}$  – найбільш завантажені дороги у населеному пункті;

$T_h$  – показники транспортних потоків на дорогах населеного пункту;  $T_r$  – види доріг у населеному пункті.

У населених пунктах після війни неможливо визначити реальне кількісне значення показника транспортних потоків  $T_h$  на окремих дорогах із використанням відомих методів та підходів. Це пов'язано з тим, що повністю або частково пошкоджені дороги не дають можливості виконувати вантажні та пасажирські перевезення. Через те, ми пропонуємо визначити показник транспортних потоків  $T_h$  на окремих дорогах за видом доріг.

Для визначення показника транспортних потоків  $T_h$  на окремих дорогах населеного пункту пропонується використовувати Overpass API. При цьому виконання запиту через Overpass API забезпечує доступ до географічних даних OpenStreetMap. Зокрема, виконання GET-запиту до сервера Overpass API дає можливість отримати географічні дані про транспортну інфраструктуру заданого населеного пункту. У OpenStreetMap тег «highway» вказує на тип дороги або автомобільного шляху. Цей тег ми використали для оцінення стану доріг ( $R_c$ ) за показниками, які представлено у виразі (1). Це дає можливість встановити види доріг, тип покриття та його стан.

За умови, що для окремої вулиці населеного пункту характерні такі типи доріг, як основні (primary) або вторинні (secondary), то показник  $T_h$  транспортних потоків збільшується на одиницю для відповідної вулиці. Це дає можливість зафіксувати кількість транспортних потоків на кожній із вулиць основних або вторинних доріг. Отже, для визначення показника  $T_h$  транспортних потоків потрібно додати кількість основних  $N_{rpj}$  і вторинних  $N_{rsj}$  доріг, які проходять через  $j$ -ту вулицю населеного пункту:

$$T_{hi} = N_{rpj} + N_{rsj}, \quad (3)$$

де  $T_{hi}$  – показник транспортних потоків на  $i$ -й вулиці населеного пункту;  $N_{rpj}$  – кількість основних доріг, які проходять через  $j$ -ту вулицю населеного пункту;  $N_{rsj}$  – кількість вторинних доріг, які проходять через  $j$ -ту вулицю населеного пункту.

На основі кількісного значення показника транспортних потоків  $T_{hi}$  на  $i$ -й вулиці

населеного пункту встановлюють її пріоритет для ремонту або модернізації. При цьому, чим більше значення показника транспортних потоків  $T_{hi}$  на  $i$ -й вулиці, тим вищий буде пріоритет для ремонту або модернізації.

Аналіз стану об'єктів транспортної інфраструктури за складністю передбачає визначення показника складності ( $I_{ci}$ ):

$$I_{ci} = f(T_c, S_c, N_b, N_{ii}, N_{pc}), \quad (4)$$

де  $T_c$  – тип покриття доріг у населеному пункті;

$S_c$  – стан поверхні доріг у населеному пункті;

$N_b$  – кількість мостів на дорогах населеного пункту;

$N_{ii}$  – кількість складних транспортних розв'язок на дорогах населеного пункту;

$N_{pc}$  – кількість пішохідних переходів на дорогах населеного пункту.

Тип покриття доріг  $T_c$  у населеному пункті має такі категорії: 1) асфальт; 2) щебінь; 3) гравій; 4) бруківка; 5) ґрунт; 6) бетонні плити; 7) бетон; 8) природний ґрунт; 9) камінь; 10) плитка. При цьому категорія покриття доріг  $T_c$  у населеному пункті впливає на пріоритетність об'єктів розвитку транспортної інфраструктури. Дорогам із якісним покриттям, таким як асфальт, надається вищий пріоритет, оскільки вони потребують меншого обсягу виконання робіт із ремонту або відновлення, а ґрунтовим дорогам - нижчий пріоритет.

Стан поверхні доріг  $S_c$  у заданому населеному пункті поділяється на п'ять категорій: 1) відмінний; 2) хороший; 3) середній; 4) поганий; 5) жахливий. Від категорії стану поверхні доріг  $S_c$  значною мірою залежить зміст виконуваних робіт у проектах їх відновлення, а також бюджет проектів. Окрім того,  $S_c$  впливає на значення показника складності  $I_{ci}$ . Найнижче значення показника складності  $I_{ci}$  об'єктів транспортної інфраструктури спостерігається за відмінного стану поверхні доріг, а найвище - за жахливого стану.

Наявність мостів  $N_b$ , складних транспортних розв'язок  $N_{ii}$  та пішохідних переходів  $N_{pc}$  на окремих дорогах заданого населеного пункту впливає на складність транспортної інфраструктури. Також кількість  $N_b$ ,  $N_{ii}$  та  $N_{pc}$  на дорогах заданого населеного пункту впливає на складність реалізації проектів розвитку їх транспортної інфраструктури. Відновлення або будівництво мостів і складних транспортних розв'язок потребує виконання

значних обсягів інженерних робіт та технічної експертизи. Наявність різних перешкод, таких як річки, пагорби або житлові райони, ускладнює проектування та будівництво доріг, мостів тощо. Будівництво мостів та інших транспортних об'єктів потребує значних фінансових вкладень у матеріали, технології та робочу силу. Отже, кількість  $N_b$ ,  $N_{ii}$  та  $N_{pc}$  на дорогах заданого населеного пункту створює як виклики, так і можливості для реалізації проектів розвитку транспортної інфраструктури у післявоєнний період. Однак, за обмежених ресурсів слід визначати пріоритетні з-поміж них.

Визначення пріоритетних об'єктів транспортної інфраструктури заданого населеного пункту потребує попереднього визначення таких показників, як: 1) загальна кількість вулиць у населеному пункті ( $N$ ); 2) кількість транспортних потоків ( $N_{Ti}$ ) на  $i$ -й вулиці; 3) тип покриття ( $S_i$ ) на  $i$ -й вулиці; 4) кількість мостів  $N_{bi}$  на  $i$ -й вулиці; 3) кількість складних транспортних розв'язок  $N_{ii}$  на  $i$ -й вулиці; 4) кількість пішохідних переходів  $N_{pci}$  на  $i$ -й вулиці.

На підставі означених показників можна визначити показник пріоритетності ( $P_{str}$ )  $i$ -х вулиць у заданому населеному пункті:

$$P_{str} = \alpha \cdot N_{Ti} + \beta \cdot N_{S_i} + \gamma \cdot N_{bi} + \delta \cdot N_{ii} + \varepsilon \cdot N_{pci}, \quad (5)$$

де  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon$  – відповідно коефіцієнти транспортних потоків, типу покриття вулиці, наявності мостів, складних транспортних розв'язок та пішохідних переходів, які визначають важливість кожного із критеріїв пріоритетності  $i$ -х вулиць у заданому населеному пункті;  $N_{Ti}$  – нормалізована кількість транспортних потоків на  $i$ -й вулиці;  $N_{S_i}$  – нормалізований тип покриття на  $i$ -й вулиці;  $N_{bi}$  – нормалізована кількість мостів на  $i$ -й вулиці;  $N_{ii}$  – нормалізована кількість складних транспортних розв'язок на  $i$ -й вулиці;  $N_{pci}$  – нормалізована кількість пішохідних переходів на  $i$ -й вулиці.

Для нормалізації показників  $N_{nor}$ , які представлено у формулі (5) використовується мінімаксний метод. Він забезпечує отримання значень відповідних показників у діапазоні від 0 до 1. Для цього використовується така формула:

$$N_{nor} = \frac{N_i - N_{\min}}{N_{\max} - N_{\min}}, \quad (6)$$

де  $N_{нор}$  – нормалізований показник;  $N_i$  – поточне значення показника;  $N_{min}, N_{max}$  – мінімальне та максимальне значення показника.

Представлений вираз (5) дає можливість врахувати основні критерії оцінювання вулиць під час визначення їх пріоритету. Цей вираз адаптують до умов заданої транспортної інфраструктури населеного пункту. Після визначення показників пріоритетності ( $P_{str}$ ) для кожної  $i$ -х вулиць у заданому населеному пункті виконують їх ранжування у порядку спадання:

$$P_{str1} \geq P_{str2} \geq \dots \geq P_{strn}, \quad (7)$$

де  $1, 2, \dots, n$  – відповідно індекс першої, другої та  $n$ -ї вулиць заданого населеного пункту у впорядкованому їх списку;  $P_{str1}, P_{str2}, \dots, P_{strn}$  – відповідно значення показника пріоритетності для першої, другої та  $n$ -ї вулиць заданого населеного пункту у впорядкованому їх списку.

Останнім кроком виявлення пріоритетних об'єктів транспортної інфраструктури є візуалізація пріоритетних вулиць та представлення на них об'єктів у заданому населеному пункті. Під час цього будуються графіки зміни показників пріоритетності об'єктів транспортної інфраструктури та зазначені об'єкти відображаються на карті населеного пункту.

Для обґрунтування пріоритетних об'єктів транспортної інфраструктури, які потребують відновлення або розвитку ми використали запропонований метод. Для цього вибрали один із населених пунктів, який розташований поблизу зони бойових дій і має пошкоджені об'єкти

транспортної інфраструктури. Таким населеним пунктом обрано місто Краматорськ Донецької області. Для збору інформації про транспортну інфраструктуру м. Краматорськ використано фреймворк OpenStreetMap (OSM) та серверне програмне забезпечення Overpass API з відкритим вихідним кодом. Їх використання зумовило написання програмного коду мовою Python з використанням інтерактивного середовища розробки Jupyter Notebook.

На підставі використання написаного коду ми виконали запит до Overpass API, що дало можливість отримати географічні дані про об'єкти  $O_{ki}$  транспортної інфраструктури  $k$ -х видів у м. Краматорськ Донецької області. Зокрема отримано дані про наявні дороги, мости, складні розв'язки, пішохідні переходи тощо. На підставі отриманих пріоритетних доріг для ремонту або модернізації за показниками транспортних потоків  $T_h$  та складності  $I_{ci}$  у місті Краматорськ Донецької області, а також із використанням формули (5) визначено показник пріоритетності ( $P_{str}$ )  $i$ -х вулиць у заданому населеному пункті. Враховуючи післявоєнний стан заданого населеного пункту ми прийняли коефіцієнти транспортних потоків та складності, як відповідно становлять  $\alpha = 0,7$  та  $\delta = 0,3$ . Це пов'язано із тим, що відновлення транспортних потоків буде сприяти економічному розвитку міста у післявоєнний час. Отже, важливість критерію відновлення транспортних потоків має значно вище значення для визначених пріоритетних  $i$ -х вулиць у заданому населеному пункті. Отримані результати представлено у табл. 1.

**Таблиця 1**

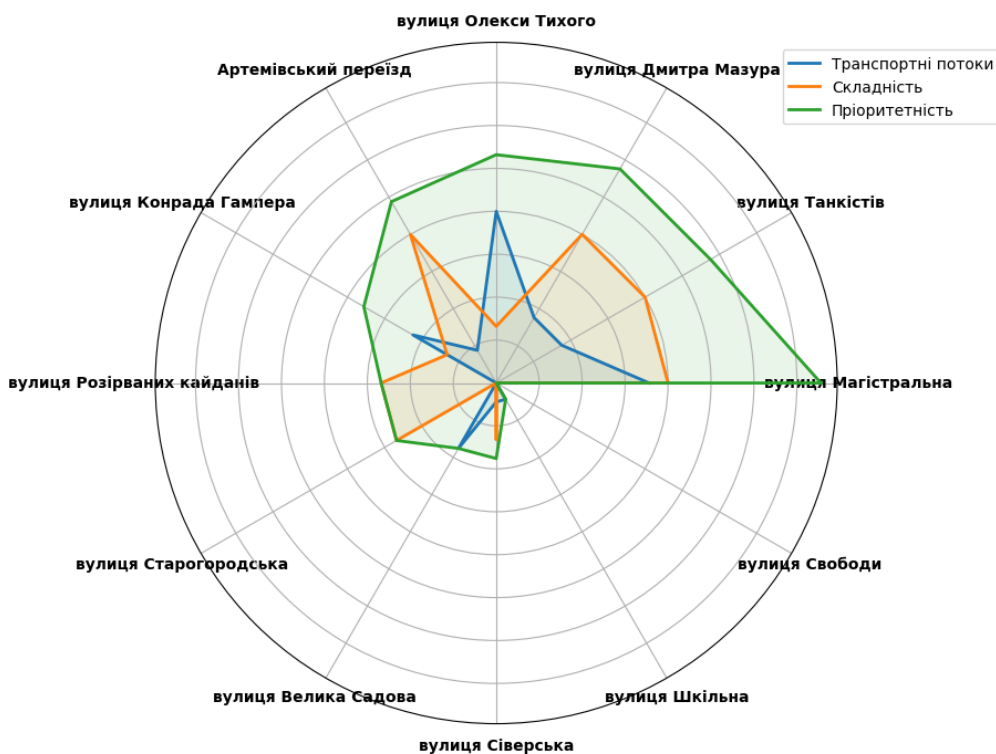
Результати визначення показників пріоритетності ( $P_{str}$ )  $i$ -х вулиць для відновлення у місті

Краматорськ Донецької області

Назва вулиці	Показник транспортних потоків		Показник складності		Показник пріоритетності ( $P_{str}$ ) $i$ -х вулиць
	$T_h$	$N_{T_h}$	$I_{ci}$	$N_{I_{ci}}$	
Магістральна	9	0,89	3	1,00	1,89
Танкістів	5	0,44	3	1,00	1,44
Дмитра Мазура	5	0,44	3	1,00	1,44
Олекси Тихого	10	1,00	1	0,33	1,33
Артемівський переїзд	3	0,22	3	1,00	1,22
Конрада Гампера	6	0,56	1	0,33	0,89
Розірваних кайданів	1	0,00	2	0,67	0,67
Старгородська	1	0,00	2	0,67	0,67
Велика Садова	5	0,44	0	0,00	0,44
Сіверська	2	0,11	1	0,33	0,44
Шкільна	2	0,11	0	0,00	0,11
Свободи	1	0,00	0	0,00	0,00

Отримані результати розрахунку показників пріоритетності ( $P_{str}$ ) і-х вулиць для відновлення у місті Краматорськ Донецької області свідчать про те, що вулиця Магістральна характеризується найвищим нормалізованим показником транспортних потоків ( $N_{T_h} = 0.89$ ), що свідчить

про значний обсяг транспортного руху на цій ділянці міста (рис. 2). Водночас, на вулиці Свободи спостерігається найнижчий нормалізований показник транспортних потоків ( $N_{T_h} = 0$ ), що може вказувати на низьку транспортну активність на цій ділянці міста або на її обмежену доступність для транспортних засобів.



**Рисунок 2** – Пелюсткова діаграма показників пріоритетності ( $P_{str}$ ) і-х вулиць для відновлення у місті Краматорськ Донецької області

На вулицях Магістральна, Танкістів, Дмитра Мазура та Артемівський переїзд спостерігається найвищий нормалізований показник складності, який становить  $N_{I_{ci}} = 1.0$ . Це означає, що на цій транспортній ділянці міста є обмеження руху транспорту через різноманітні чинники, такі як пішохідні переходи, мости, складні розв'язки. Водночас, на вулиці Велика Садова спостерігається найнижчий показник складності, який становить  $N_{I_{ci}} = 0.0$ . Це означає відсутність перешкод для руху транспортних засобів, а також організовану та безпечну ділянку транспортної інфраструктури міста.

Щодо показника пріоритетності ( $P_{str}$ ) виконання ремонтів та відновлення об'єктів транспортної інфраструктури на і-х вулицях, то найвище його значення спостерігається для вулиці Магістральна ( $P_{str} = 1.89$ ). Це свідчить про важливість цієї дороги для розвитку транспортної інфраструктури міста. Однак,

вулиця Свободи має найнижчий показник пріоритетності ( $P_{str} = 0.0$ ). Це вказує на меншу важливість цієї вулиці з точки зору розвитку транспортної інфраструктури міста.

**Загальні висновки.** За результатами вище викладено можна зробити такі висновки:

1. Запропонований метод визначення пріоритетних об'єктів, який передбачає 9 взаємопов'язаних кроків, лежить в основі ініціації проектів відновлення транспортної інфраструктури окремих населених пунктів у післявоєнний час та базується на використанні фреймворку OpenStreetMap та серверного програмного забезпечення Overpass API з відкритим вихідним кодом. При цьому, основною управлінською операцією є швидкий та точний збір інформації про транспортну інфраструктуру. Для цього пропонується отримувати просторові дані про об'єкти транспортної інфраструктури із відкритого сервісу OpenStreetMap із запитом до



бази даних OSM та використанні мови запитів Overpass QL. Вони забезпечують швидке та точне виявлення, а також візуалізацію пріоритетних об'єктів, що є основою для ініціації проектів відновлення транспортної інфраструктури окремих населених пунктів у післявоєнний час.

2. На основі запропонованого методу визначення пріоритетних об'єктів, який лежить в основі ініціації проектів відновлення транспортної інфраструктури, було зібрано дані про стан транспортної інфраструктури м. Краматорськ Донецької області (Україна), транспортна інфраструктура якого пошкоджена через військову агресію росії. Ми використали фреймворк OpenStreetMap (OSM) та серверне програмне забезпечення Overpass API з відкритим вихідним кодом. Для цього написано програмний код на мові Python із використанням інтерактивного середовища розробки Jupyter Notebook. Встановлено, що на вулицях Магістральна, Танкістів, Дмитра Мазура та Артемівський переїзд спостерігається найвищий нормалізований показник складності, який становить  $N_{I_{ci}} = 1.0$ . Це означає, що на цій транспортній ділянці міста є обмеження руху транспорту через різноманітні чинники, такі як пішохідні переходи, мости, складні розв'язки. Щодо показника пріоритетності ( $P_{str}$ ) виконання ремонтів та відновлення об'єктів транспортної інфраструктури, то найвище його значення спостерігається для вулиці Магістральна ( $P_{str} = 1.89$ ). Це свідчить про важливість цієї вулиці для розвитку транспортної інфраструктури міста. Водночас ці вулиці потребують першочергового ремонту або модернізації дорожнього покриття та інфраструктури для забезпечення розвитку міста.

#### Список літератури:

1. Bushuyev S., Bushuyeva N., Bushuiev D., Bushuieva V. Cognitive Readiness of Managing Infrastructure Projects Driving by SMAR Tification. *IEEE European Technology and Engineering Management Summit, E-TEMS 2022 - Conference Proceedings*, 2022, 196-201.

2. Tryhuba A., Koval N., Shevchuk V., Tryhuba I., Bashynsky O. System Model of Formation of the Value of Projects of Digital Transformation in Rural Communities. *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*, 2022, 2022-November, pp. 398–401.

3. Ratushny R., Bashynsky O., Ptashnyk V. Planning of Territorial Location of Fire-Rescue Formations in Administrative Territory Development Projects. *CEUR Workshop Proceedings*. 2020, 2565, pp. 93-105.

4. Kondysiuk I., Lub P. Approach and Software for Risk Assessment of Stakeholders of Hybrid Projects of Transport Enterprise. *CEUR Workshop Proceedings*, 2022, 3295, pp. 86–96.

5. Teslia I., Yehorchenkova N., Kataieva Y., Iegorchenkov O. Enterprise information planning - A new class of systems in information technologies of higher educational institutions of Ukraine. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, 4(2), pp. 11–23.

6. Pitera V., Kolesnikov O., Lukianov D., Kolesnikova K., Gogunskii V., Olekh T., Shakhov A., Rudenko S. Development of the Markovian model for the life cycle of a project's benefits. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018, 4(95), pp. 30-39.

7. Zachko O., Grabovets V., Pavlova I., Rudynets M., Examining the effect of production conditions at territorial logistic systems of milk harvesting on the parameters of a fleet of specialized road tanks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018, 5(3-95), pp. 59–69.

8. Kondysiuk I., Bashynsky O., Dembitskyi V., Myskovets I. Formation and risk assessment of stakeholders value of motor transport enterprises development projects. *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*, 2021, 2, pp. 303–306.

9. Bushuyev S., Bushuyeva N., Bushuiev D., Bushuieva V. SMART Intelligence Models for Managing Innovation Projects. *CEUR Workshop Proceedings*, 2022, 3171, pp. 1463–1474.

10. Padyuka R., Tymochko V., Lub P. Mathematical model for forecasting product losses in crop production projects. *CEUR Workshop Proceedings*, 2022, 3109, pp. 25–31.

11. Nebesnyi R., Kunanets N., Vaskiv R., Veretennikova N. Formation of an IT Project Team in the Context of PMBOK Requirements. *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*, 2021, 2, pp. 431-436.

12. Tryhuba A., Boyarchuk V., Tryhuba I., Boyarchuk O., Ftoma O. Evaluation of Risk Value of Investors of Projects for the Creation of Crop Protection of Family Daily Farms. *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis*, 67(5) (2019) 1357-1367.  
doi:10.11118/actaun201967051357

13. Kovalchuk O., Zachko O. and Kobylkin D., Criteria for intellectual forming a project teams in safety oriented system. *17th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, 2, 2022, pp. 430-433.

14. Chernova L., Zhuravel A., Chernova L., Kunanets N., Artemenko O. Application of the Cognitive Approach for IT Project Management and Implementation. *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*, 2022, 2022- November, pp. 426-429.
15. Ratushnyi R., Khmel P., Martyn E., Prydatko O. Substantiating the effectiveness of projects for the construction of dual systems of fire suppression. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(3-100) (2019) 46–53. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175275>
16. Teslia I., Grygor O., Khlevna I., Yehorchenkova N., Yehorchenkov O. Structure and Functions of Supporting Subsystems in Management of Project-Oriented Businesses of Companies. *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*, 2021, 2, pp. 379–382.
17. OpenStreetMap. URL: <https://www.openstreetmap.org/>
18. Foody G., Fritz S., Fonte C., Bastin L. Mapping and the Citizen Sensor. 2017. P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.5334/bbf.a>. License: CC-BY 4.0
19. Thirunavukkarasu K., Wadhwa M. Spatial Data System: Architecture and Applications. *International Journal of Computer Science Trends and Technology*, 2016, 4. P. 133-139.
20. Zhang Yingjia, Li Xueming, Wang Aiming, Bao Tongliga, Tian Shenzhen. Density and diversity of OpenStreetMap road networks in China. *Journal of Urban Management*, 2015, Amsterdam, Vol. 4, Iss. 2, P. 135-146, <https://doi.org/10.1016/j.jum.2015.10.001>
21. Tryhuba A., Ratushny R., Tryhuba I., Koval N., Androshchuk I. The Model of Projects Creation of the Fire Extinguishing Systems in Community Territories. *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis*. 68(2) (2020) 419-431. doi:10.11118/actaun202068020419
22. Kondysiuk I., Boiarchuk O., Tatomyr A. Intellectual information system for formation of portfolio projects of motor transport enterprises. *CEUR Workshop Proceedings*, 2022, 3109, pp. 44–52.
- References:**
1. Bushuyev S., Bushuyeva N., Bushuiev D., Bushuieva V. (2022), Cognitive Readiness of Managing Infra structure Projects Driving by SMARTification. *IEEE European Technology and Engineering Management Summit, E-TEMS 2022 - Conference Proceedings*, pp. 196-201. (in Eng.)
2. Tryhuba A., Koval N., Shevchuk V., Tryhuba I., Bashynsky O. (2022), System Model of Formation of the Value of Projects of Digital Transformation in Rural Communities. *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*, 2022-November, pp. 398–401. (in Eng.)
3. Ratushny R., Bashynsky O., Ptashnyk V. (2020), Planning of Territorial Location of Fire-Rescue Formations in Administrative Territory Development Projects. *CEUR Workshop Proceedings*. 2565, pp. 93-105. (in Eng.)
4. Kondysiuk I., Lub P. (2022), Approach and Software for Risk Assessment of Stakeholders of Hybrid Projects of Transport Enterprise. *CEUR Workshop Proceedings*, 3295, pp. 86–96. (in Eng.)
5. Teslia I., Yehorchenkova N., Kataieva Y., Iegorchenkov O. (2016), Enterprise information planning - A new class of systems in information technologies of higher educational institutions of Ukraine. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(2), pp. 11–23. (in Eng.)
6. Pitera V., Kolesnikov O., Lukianov D., Kolesnikova K., Gogunskii V., Olekh T., Shakhov A., Rudenko S. (2018), Development of the Markovian model for the life cycle of a project's benefits. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(95), pp. 30-39. (in Eng.)
7. Zachko O., Grabovets V., Pavlova I., Rudynets M., (2018), Examining the effect of production conditions at territorial logistic systems of milk harvesting on the parameters of a fleet of specialized road tanks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(3-95), pp. 59–69. (in Eng.)
8. Kondysiuk I., Bashynsky O., Dembitskyi V., Myskovets I. (2021), Formation and risk assessment of stakeholders value of motor transport enterprises development projects. *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*, 2, pp. 303–306. (in Eng.)
9. Bushuyev S., Bushuyeva N., Bushuiev D., Bushuieva V. (2022), SMART Intelligence Models for Managing Innovation Projects. *CEUR Workshop Proceedings*, 3171, pp. 1463–1474. (in Eng.)
10. Padyuka R., Tymochko V., Lub P. (2022), Mathematical model for forecasting product losses in crop production projects. *CEUR Workshop Proceedings*, 3109, pp. 25–31. (in Eng.)
11. Nebesnyi R., Kunanets N., Vaskiv R., Veretennikova N. (2021), Formation of an IT Project Team in the Context of PMBOK Requirements. *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*, 2, pp. 431-436. (in Eng.)
12. Tryhuba A., Boyarchuk V., Tryhuba I., Boyarchuk O., Ftoma O. (2019), Evaluation of Risk Value of Investors of Projects for the Creation of Crop Protection of Family Daily Farms. *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis*, 67(5), pp. 1357-1367. doi:10.11118/actaun201967051357 (in Eng.)

13. Kovalchuk O., Zachko O. and Kobylkin D. (2022), Criteria for intellectual forming a project teams in safety oriented system. *17th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, 2, pp. 430-433. (in Eng.)
14. Chernova L., Zhuravel A., Chernova L., Kunanets N., Artemenko O. (2022), Application of the Cognitive Approach for IT Project Management and Implementation. *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*, 2022- November, pp. 426-429. (in Eng.)
15. Ratushnyi R., Khmel P., Martyn E., Prydatko O. (2019), Substantiating the effectiveness of projects for the construction of dual systems of fire suppression. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(3-100), pp. 46–53. URL: [doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175275](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.175275) (in Eng.)
16. Teslia I., Grygor O., Khlevna I., Yehorchenkova N., Yehorchenkov O. (2021), Structure and Functions of Supporting Subsystems in Management of Project-Oriented Businesses of Companies. *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*, 2, pp. 379–382. (in Eng.)
17. OpenStreetMap. URL: <https://www.openstreetmap.org/> (in Eng.)
18. Foody G., Fritz S., Fonte C., Bastin L. (2017), Mapping and the Citizen Sensor. pp. 1-12. DOI: [hdoi.org/10.5334/bbf.a](https://doi.org/10.5334/bbf.a). License: CC-BY 4.0 (in Eng.)
19. Thirunavukkarasu K., Wadhwa M. (2016), Spatial Data System: Architecture and Applications. *International Journal of Computer Science Trends and Technology*, 4, pp. 133-139. (in Eng.)
20. Zhang Yingjia, Li Xueming, Wang Aiming, Bao Tongliga, Tian Shenzhen. (2015), Density and diversity of OpenStreetMap road networks in China. *Journal of Urban Management*, Amsterdam, Vol. 4, Iss. 2, pp. 135-146, <https://doi.org/10.1016/j.jum.2015.10.001> (in Eng.)
21. Tryhuba A., Ratushnyi R., Tryhuba I., Koval N., Androshchuk I. (2020), The Model of Projects Creation of the Fire Extinguishing Systems in Community Territories. *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis*, 68(2), pp. 419-431. [doi:10.11118/actaun202068020419](https://doi.org/10.11118/actaun202068020419) (in Eng.)
22. Kondysiuk I., Boiarchuk O., Tatomyr A. (2022), Intellectual information system for formation of portfolio projects of motor transport enterprises. *CEUR Workshop Proceedings*, 3109, pp. 44–52. (in Eng.)

© А. М. Тригуба, В. Р. Демчина, А. Р. Ратушний, Л. С. Коваль, 2024.

**Науково-методична стаття.**

Надійшла до редакції 09.04.2024.

Прийнято до публікації 12.06.2024.