

DOI: 10.32347/2412-9933.2024.59.105-114

УДК 005.8:628.3

**Тригуба Анатолій Миколайович**

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій,

<https://orcid.org/0000-0001-8014-5661>

Львівський національний університет природокористування, Львів

**Демчина Василь Романович**

Ад'юнкт кафедри права та менеджменту у сфері цивільного захисту,

<https://orcid.org/0000-0002-6123-5255>

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів

**Тригуба Інна Леонтіївна**

Кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри генетики, селекції та захисту рослин,

<https://orcid.org/0000-0002-5239-5951>

Львівський національний університет природокористування, Львів

**Коваль Лілія Стефанівна**

Ад'юнкт кафедри інформаційних технологій та систем електронних комунікацій,

<https://orcid.org/0009-0002-7600-7308>

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів

**ВИЗНАЧЕННЯ СЦЕНАРІЇВ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЄКТІВ ВІДНОВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ  
ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ У ПІСЛЯВОЄННИЙ ПЕРІОД  
НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ**

***Анотація.** Виконано аналіз стану пропонуваного питання в теорії та практиці. Встановлено, що в умовах післявоєнного відновлення транспортної інфраструктури важливо забезпечити ефективно планування і реалізацію проєктів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури для заданого проєктного середовища. Обґрунтовано підхід до визначення сценаріїв реалізації проєктів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури. Він базується на моделюванні транспортних потоків із використанням моделі Гріншилда та фреймворку OpenStreetMap (OSM). Модель Гріншилда описує взаємозв'язки між швидкістю, щільністю та потоком транспорту. Вона допомагає виявити вузькі місця в транспортній мережі та визначити пріоритетні ділянки для відновлення. Пропонується використовувати фреймворк OpenStreetMap (OSM), що забезпечує доступ до відкритих даних про транспортну інфраструктуру, що уможливорює створювати детальні моделі транспортних мереж. На основі запропонованого підходу визначено раціональний сценарій реалізації проєктів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури для заданого проєктного середовища – на пріоритетних для відновлення вулицях міста Краматорськ Донецької області. За результатами моделювання встановлено, що сценарій Scenario\_1.1 показав найкращі результати з точки зору середньої швидкості (31.46 км/год) та середньої затримки (3.79 с/км) руху транспортних засобів. Отримані результати підтверджують доцільність використання підходу до визначення сценаріїв реалізації проєктів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури, що базується на моделюванні транспортних потоків. Подальші дослідження слід проводити в напрямі розроблення системи підтримки прийняття рішень, яка базуватиметься на розробленому підході.*

***Ключові слова:** проєкт; відновлення; транспортна інфраструктура; післявоєнний період; підхід; раціональні сценарії; моделювання; транспортні потоки*

**Постановка проблеми**

В умовах післявоєнного відновлення населених пунктів та територій України, які постраждали від російської агресії, одним із ключових завдань є ефективно відновлення об'єктів транспортної інфраструктури. Військові дії часто призводять до

значного руйнування доріг, мостів, залізничних шляхів та інших елементів транспортної мережі, що суттєво впливає на економіку і соціальний розвиток регіону. Відновлення таких об'єктів потребує реалізації відповідних проєктів, управління якими вимагає ретельного планування і врахування численних факторів [1]. Зокрема, це стосується

прогнозування обсягів та напрямків транспортних потоків, пріоритетності відновлювальних робіт, а також доступності ресурсів для заданого проектного середовища.

Однією з головних науково-прикладних задач, яку розв'язують проектні менеджери під час реалізації проектів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури, є визначення оптимальних сценаріїв реалізації зазначених проектів. При цьому слід враховувати низку факторів, які забезпечують максимально можливе врахування потреб регіону і швидке відновлення транспортної мережі [2]. Неправильне визначення пріоритетів або недостатнє врахування реальних складових проектного середовища може призводити до значних затримок виконання робіт у термінах та додаткових витрат на реалізацію проектів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури, а також отримання продукту (транспортної інфраструктури) із максимальною цінністю для зацікавлених сторін.

Для розв'язання цієї науково-прикладної задачі потрібно використовувати сучасні методи моделювання транспортних потоків, які дають змогу точніше прогнозувати функціонування продукту проектів за використання того чи іншого сценарію. Моделювання уможливає враховувати різні сценарії відновлення, оцінювати їх ефективність та визначати оптимальні варіанти реалізації проектів. Також важливим є інтеграція отриманих результатів моделювання з іншими аспектами управління проектами, такими як бюджетування, планування ресурсів та управління ризиками [3].

Отже, існує нагальна потреба у розробці науково обґрунтованого підходу до визначення сценаріїв реалізації проектів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури на основі моделювання транспортного потоку. Його використання забезпечить ефективну реалізацію проектів відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний період, сприятиме отриманню максимальної цінності для мешканців регіонів та підвищить якість їхнього життя.

### Мета статті

Мета – обґрунтувати підхід до визначення сценаріїв реалізації проектів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури на основі моделювання транспортного потоку і на базі цього підходу виконати визначення раціонального сценарію реалізації проектів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури для заданого проектного середовища.

Для досягнення поставленої мети слід виконати такі завдання:

– обґрунтувати підхід до визначення сценаріїв реалізації проектів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури на основі моделювання транспортного потоку;

– на основі запропонованого підходу визначити раціональний сценарій реалізації проектів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури для заданого проектного середовища.

### Аналіз основних досліджень і публікацій

Відновлення об'єктів транспортної інфраструктури в умовах післявоєнного періоду є однією з найактуальніших тем у сучасних наукових дослідженнях [4]. У цьому напрямі значний внесок зробили як вітчизняні, так і зарубіжні вчені, розробляючи методи і моделі, що сприяють ефективному плануванню та реалізації проектів відновлення об'єктів у різних сферах людської діяльності [5; 19].

Заслужують на увагу методи моделювання транспортного потоку. Одним із фундаментальних підходів до моделювання транспортних потоків є використання моделі Гріншилда. Модель Гріншилда (Greenshields) є однією з перших та найбільш відомих моделей, що описує взаємозв'язок між швидкістю, щільністю та потоком руху транспорту [6; 20]. Згідно з цією моделлю швидкість транспорту лінійно зменшується зі збільшенням щільності потоку до точки, де транспортний потік досягає свого максимального значення, після чого швидкість різко зменшується до нуля. Це уможливає визначити оптимальні умови для функціонування транспортної мережі та виявити вузькі місця, які потребують першочергового відновлення.

Також слід зазначити про доцільність використання фреймворку OpenStreetMap (OSM). Фреймворк OpenStreetMap (OSM) є потужним інструментом для моделювання й аналізу транспортних мереж [7]. OSM надає відкриті дані про дорожню інфраструктуру. Це допомагає дослідникам і проектним менеджерам створювати детальні моделі транспортних мереж. При цьому враховуються різноманітні параметри й особливості місцевості. Використання OSM у комбінації з іншими моделями транспортного потоку, такими як модель Гріншилда, дає змогу більш точно й ефективно планувати сценарії реалізації проектів відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний період.

У науковій літературі представлені численні дослідження, присвячені питанням відновлення транспортної інфраструктури. Наприклад, роботи [8; 9] розглядають методи оцінки пріоритетності відновлення об'єктів інфраструктури на основі аналізу транспортних потоків та економічних показників. Дослідження [10] акцентують увагу на

використанні сучасних інформаційних технологій та геоінформаційних систем (ГІС) для моделювання транспортних мереж у післявоєнний період.

Значний внесок у дослідження питань моделювання транспортних потоків зробили вчені у роботах [11], які детально аналізують застосування моделі Гріншилда для прогнозування транспортних потоків у міських та сільських районах. Окремі із них розглядають можливості інтеграції OSM з іншими ГІС-інструментами для підвищення точності та ефективності моделювання [12].

Незважаючи на наявність низки наукових праць у зазначеному напрямі, виникають певні виклики, що потребують подальшого дослідження. Зокрема, необхідно враховувати динамічні зміни транспортних потоків у післявоєнний період, адаптацію моделей до локальних умов та інтеграцію різних джерел даних для покращення точності прогнозів. Перспективними напрямками досліджень є розроблення підходу, який забезпечить створення більш гнучких та адаптивних моделей, що враховують специфіку регіонів і особливості проектного середовища проектів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури.

Отже, використання моделі Гріншилда та фреймворку OpenStreetMap у поєднанні із сучасними методами аналізу транспортних потоків є основою для обґрунтування підходу для визначення раціональних сценаріїв реалізації проектів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури у післявоєнний період. Це дасть змогу підвищити ефективність планування й управління зазначеними проектами, а також сприятиме швидшому відновленню та розвитку регіонів, постраждалих від воєнних дій.

### Виклад основного матеріалу

Для відомих пріоритетних об'єктів транспортної інфраструктури заданого населеного пункту, щоб обґрунтувати сценарії реалізації відповідних проєктів, є потреба у виконанні моделювання транспортного потоку. Це дає можливість визначити показники транспортного потоку, які лежать в основі ідентифікації найбільш завантажених відтинків транспортної мережі. Для моделювання транспортного потоку пропонується використовувати макроскопічну модель Гріншилда [11]. Особливістю цієї моделі є те, що вона забезпечує прогнозування безперервного транспортного потоку й отримання тенденцій, які характерні для реальних транспортних потоків [6]. Зазначена модель Гріншилда є достатньо точною та простою, що дає можливість за обмеженого доступу до інформації у післявоєнний час виконувати моделювання транспортних потоків для визначення сценаріїв реалізації проектів відновлення

пріоритетних об'єктів транспортної інфраструктури в заданих населених пунктах.

Для збору даних про пріоритетні об'єкти транспортної інфраструктури у заданих населених пунктах пропонується використовувати фреймворк OpenStreetMap (OSM) [7]. Із його використанням отримано карту дорожньої мережі із відображенням пріоритетних об'єктів транспортної інфраструктури, а також показників: 1) вузол 1; 2) вузол 2; 3) пропускна здатність; 4) відстань; 5) максимальна швидкість руху транспортних засобів; 6) кількість смуг руху; 7) ширина дороги; 8) тип дороги; 9) назва дороги (вулиці).

Одним із показників, який характеризує транспортний потік на заданому відрізку дорожньої мережі (між вузлами 1 та 2), є інтенсивність руху транспортних засобів. Під інтенсивністю руху транспортних засобів ( $q$ ) розуміється кількість транспортних засобів, які проїжджають точку на ділянці дороги протягом певного інтервалу часу (одиниць транспортних засобів/год). Цей показник визначається за формулою [13]:

$$q = \frac{n}{t}, \quad (1)$$

де  $q$  – інтенсивність руху транспортних засобів між заданими вузлами 1 та 2 дорожньої мережі, од/год;  $n$  – кількість транспортних засобів, які проїжджають між заданими вузлами 1 та 2 дорожньої мережі, од;  $t$  – інтервал часу спостереження, год.

Також використовують показник середньої інтенсивності руху, який відображає середню кількість транспортних засобів, яка визначається відповідно до заданої одиниці часу. Переважено її відображають як середньодобову інтенсивність руху.

Відомо, що показники транспортного потоку можна поділити на два види – макроскопічні та мікроскопічні [14]. Макроскопічні показники характеризують загальний транспортний потік, а мікроскопічні показники характеризують індивідуальну поведінку транспортних засобів, які надають один одному можливості для руху. До макроскопічних показників транспортного потоку належать такі показники, як наявність заторів, базова та розрахункова щільність потоку транспортних засобів, швидкість руху транспортних засобів, тривалість перебування в дорозі, тривалість затримки транспортних засобів.

Для отримання кількісного значення локальної швидкості руху транспортних засобів використовують спрощені формули, які базуються на визначенні відстані, яку проходять транспортні засоби за одиницю часу (км/год, м/с). Швидкість руху транспортних засобів визначають за формулою [14]:

$$V = \frac{L}{t}, \quad (2)$$

де  $V$  – швидкість руху транспортних засобів, км/год (м/с);  $L$  – пройдений шлях, км (м);  $t$  – тривалість перебування в дорозі, год (с).

Визначення щільності потоку транспортних засобів ( $D$ ) здійснюється на основі даних щодо інтенсивності ( $q$ ) та швидкості ( $V$ ) їх руху. Зокрема, це виконується на підставі порівняння значень інтенсивності ( $q$ ) зі швидкістю ( $V$ ) руху транспортних засобів для окремого спостереження:

$$D = \frac{q}{V}. \quad (3)$$

Значення щільності транспортного потоку ( $D$ ) виражається в одиницях легкових автомобілів (одиниця транспортного потоку) на кілометр ділянки дороги. Одиницею легкових автомобілів вважають одиницю транспортного потоку, в якій потоки різних типів транспортних засобів переводять у легкові автомобілі (включаючи легкові) за допомогою еквіваленту легкового автомобіля (ЕМР). Це дає можливість полегшити виконання аналізу транспортного потоку за допомогою коефіцієнтів переводу в одиниці легкових автомобілів (PCU) для кожного виду транспортного засобу (вантажні транспортні засоби  $NV = 1,30$ ; легкові автомобілі  $LV = 1,00$ ; мотоцикли  $MC = 0,40$ ; немоторизовані транспортні засоби  $NMV = 1,00$ ) [15].

Відомо, що існують взаємозв'язки між швидкістю, щільністю та інтенсивністю руху транспортних засобів [16]. Зазначені взаємозв'язки графічно проілюстровано на рис. 1.

Відповідно до моделі Гріншилда, існує лінійна залежність між швидкістю та щільністю потоку транспортних засобів, як зазначено в рівнянні (3). Ця модель є найпершою моделлю, яка була створена для спостереження за поведінкою транспортних потоків. Гріншилд отримав результат – залежність між швидкістю та щільністю має вигляд лінійної кривої [17].

Швидкість, за якої досягається максимальна пропускна здатність проїжджої частини, описується рівнянням:

$$V_s = V_f - \frac{V_f}{D_j} D. \quad (4)$$

Максимальна швидкість руху транспортних засобів  $V_m$  виникає, коли щільність досягає точки  $D_m$  (пропускна здатність проїжджої частини досягнута). Після досягнення цієї точки інтенсивність руху буде зменшуватись, навіть якщо

щільність буде зменшуватись, хоча щільність зростатиме, доки в точці  $D_j$  не виникне затор.

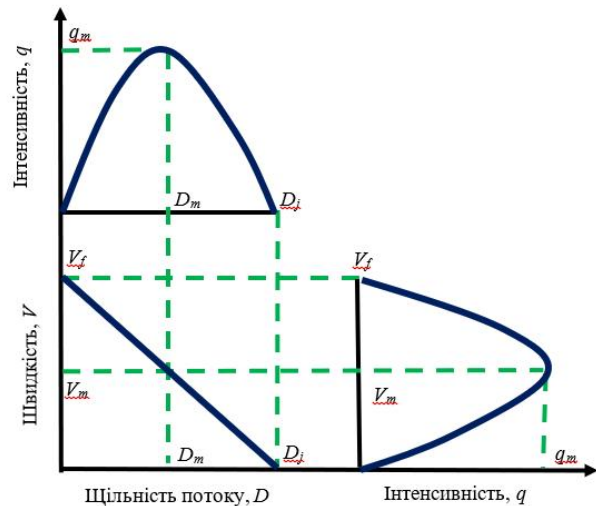


Рисунок 1 – Взаємозв'язки між швидкістю, щільністю та інтенсивністю руху транспортних засобів:  $q_m$  – максимальна інтенсивність руху транспортних засобів між заданими вузлами 1 та 2 дорожньої мережі, од/год;  $V_m$  – швидкість руху транспортних засобів при максимальному транспортному потоці, км/год;  $D_m$  – максимальна щільність транспортного потоку, епр/год;  $D_j$  – щільність за заданих умов транспортного потоку, епр/год;  $V_f$  – швидкість руху транспортних засобів за умови, що щільність наближена до 0 (нуля), км/год

Взаємозв'язок між інтенсивністю ( $q$ ) та щільністю транспортного потоку ( $D$ ) описується формулою:

$$q = V_f \times D - \frac{V_f}{D_j} D^2. \quad (5)$$

Взаємозв'язок між інтенсивністю ( $q$ ) до швидкістю руху транспортних засобів ( $V$ ) описується формулою:

$$q = D_f \times V_s - \frac{V_j}{V_f} \times V_s^2, \quad (6)$$

де  $V_s$  – середня швидкість руху транспортних засобів, км/год;  $V_f$  – швидкість руху транспортних засобів в умовах вільного потоку, км/год;  $D$  – щільність транспортного потоку, епр/год;  $D_j$  – щільність в умовах годинного режиму, км/год.

Максимальну інтенсивності ( $q_m$ ) руху транспортних засобів для моделі Гріншилда можна розрахувати за допомогою формули:

$$q_m = D_m \times V_m, \quad (7)$$

де  $D_m$  – максимальна щільність транспортного потоку, епр/год;  $V_m$  – швидкість руху транспортних



засобів при максимальному транспортному потоці, км/год.

Максимальну щільність транспортного потоку ( $D_m$ ) для моделі Гріншилда можна розрахувати за допомогою формули:

$$D = D_m = \frac{D_j}{2} \cdot \quad (8)$$

Швидкість руху транспортних засобів ( $V_m$ ) при максимальному транспортному потоці для моделі Гріншилда можна розрахувати за допомогою формули:

$$V_s = V_m = \frac{V_f}{2} \cdot \quad (9)$$

Якщо рівняння (8) та (9) підставити у рівняння (7), то максимальну інтенсивності ( $q_m$ ) руху транспортних засобів можна розрахувати за допомогою формули:

$$q_m = \frac{D_j \cdot V_f}{2} \cdot \quad (10)$$

Отже, модель Гріншилда, також відома як модель транспортного потоку Гріншилда, є основою для моделювання транспортного потоку з метою визначення сценаріїв реалізації проєктів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури у післявоєнний час. Вона скерована на оцінювання зв'язку між щільністю транспортних засобів (кількістю транспортних засобів на одиницю довжини дороги) та їхньою середньою швидкістю. Модель Гріншилда відома своєю простотою і

легкістю використання. Це робить її практичним інструментом для різноманітних застосувань, в тому числі і для прогнозування показників транспортного потоку. Водночас вона не враховує всю множину складових реальних транспортних потоків, базується на емпіричних спостереженнях, а не на глибоких теоретичних формулах.

На сьогодні модель Гріншилда, незважаючи на свої обмеження, відіграє важливу роль у дослідженнях транспортних потоків під час проєктування нових та модернізації наявних об'єктів транспортної інфраструктури заданих населених пунктів. Вона є основою для моделювання транспортного потоку з метою визначення сценаріїв реалізації проєктів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури у післявоєнний час.

Для проведення досліджень вибрано один із районів міста Краматорськ Донецької області, яке опинилося в зоні бойових дій і має пошкоджену транспортну інфраструктуру. Для визначення координат розташування та завантаження даних про задані об'єкти транспортної інфраструктури пропонується використовувати фреймворк OpenStreetMap (OSM) [7] (рис. 2).

Для виконання моделювання транспортних потоків використано програмне забезпечення для аналізу трафіку IFN-Transport, яке має відкритий вихідний код [18]. На підставі отриманих даних побудовано залежності показників транспортних потоків за різних сценаріїв використання об'єктів транспортної інфраструктури на пріоритетних для відновлення вулицях міста Краматорськ Донецької області (рис. 3).

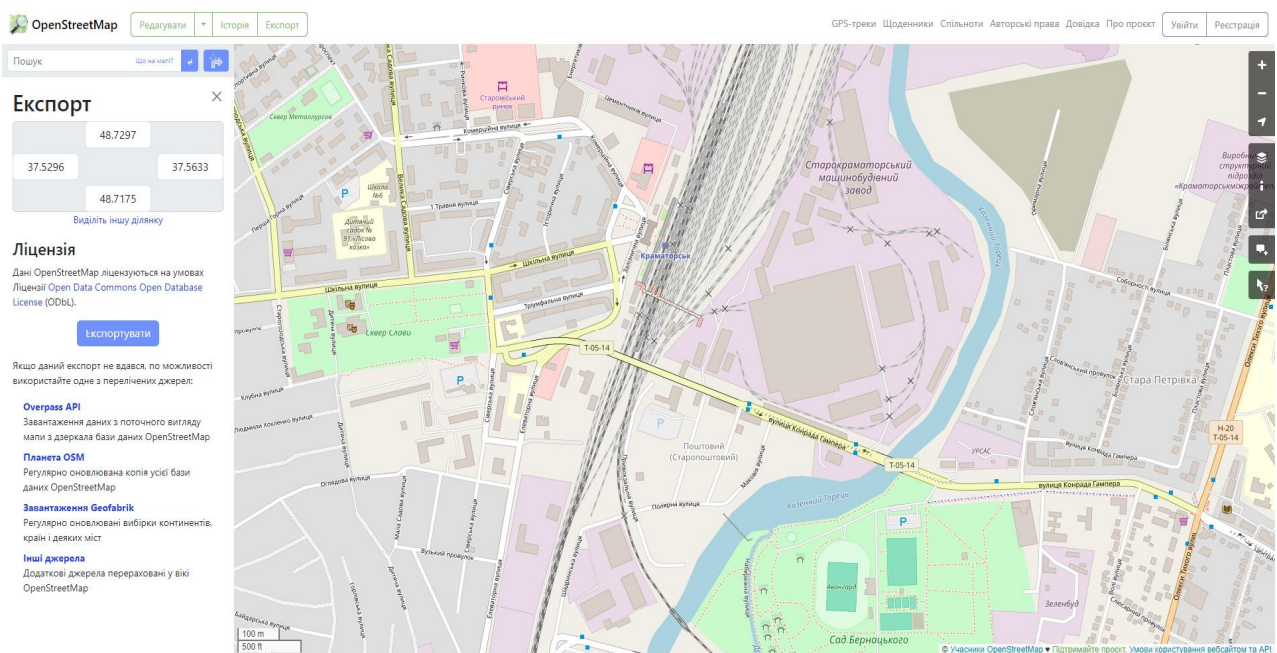


Рисунок 2 – Визначення координат розташування об'єктів транспортної інфраструктури із використанням фреймворку OpenStreetMap (OSM)

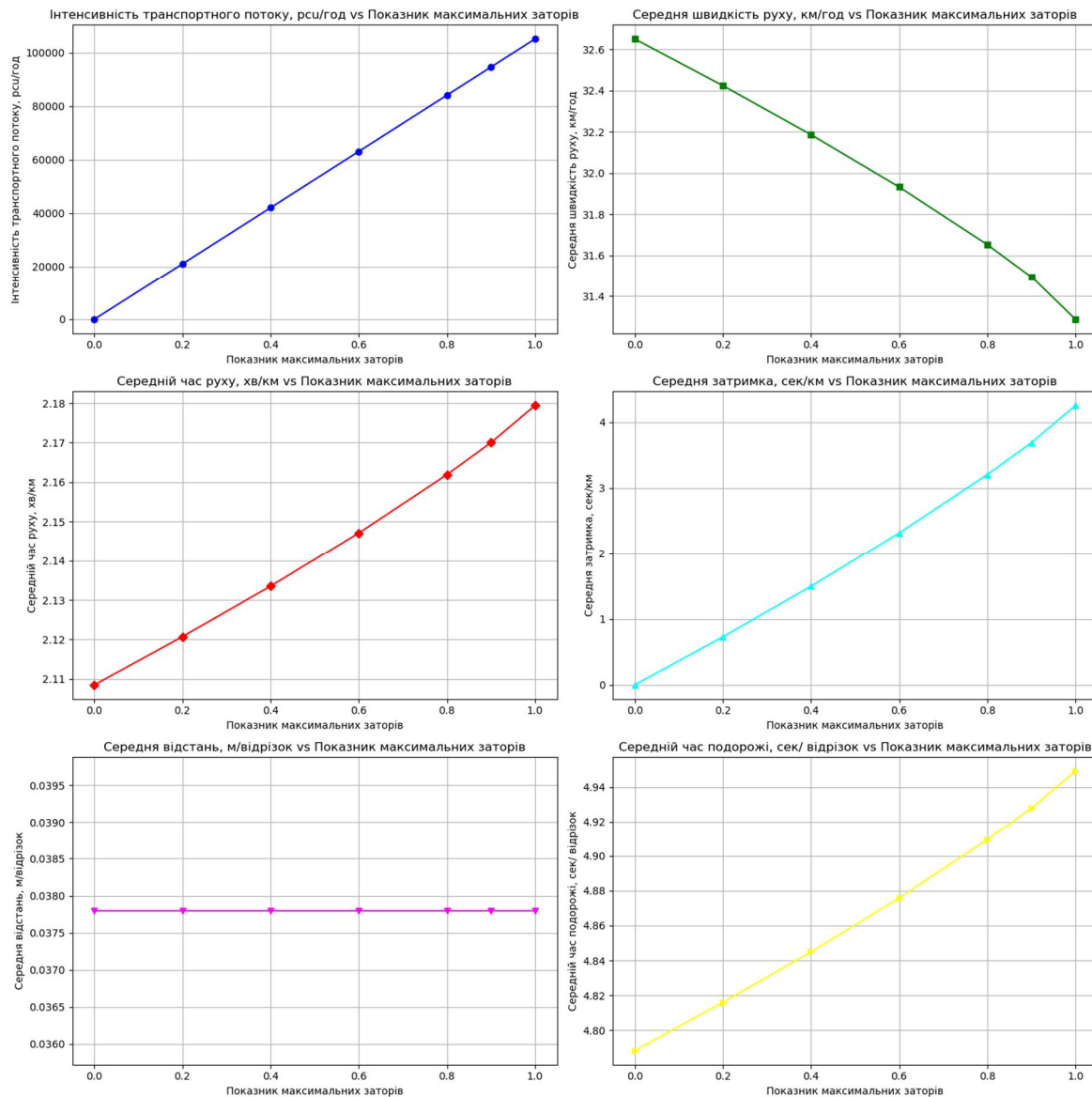


Рисунок 3 – Залежності показників транспортних потоків за різних сценаріїв використання об’єктів транспортної інфраструктури на пріоритетних ( $P_{str}$ ) для відновлення вулицях

На підставі отриманих залежностей (рис. 3) встановлено, що зі зростанням інтенсивності транспортного потоку від 21035 рси/год до 105178 рси/год спостерігається зменшення середньої швидкості від 32,42 км/год до 31,28 км/год та збільшення середнього часу руху від 2,12 хв/км до 2,18 хв/км, середньої затримки від 0,72 с/км до 4,25 с/км, а також середньої затримки на відрізку від 0,02 с/відміток до 0,16 с/відміток. Це свідчить про те, що за умови збільшення трафіку транспортна мережа стає більш завантаженою, що призводить до зниження її продуктивності.

За базовий сценарій взято Scenario\_1.0, який передбачає відновлення об’єктів транспортної інфраструктури на пріоритетних ( $P_{str}$ ) вулицях до стану, який був перед пошкодженнями або руйнуваннями під час воєнних дій. Окрім того,

пропонується для розгляду Scenario\_1.1, Scenario\_1.2 та Scenario\_1.3. Сценарій Scenario\_1.1 передбачає створення доріжки для пішоходів та велосипедистів із наявної транспортної мережі, що забезпечує зменшення транспортного потоку, покращує безпеку на дорогах та зменшує затори.

Сценарій Scenario\_1.2 передбачає збільшення кількості смуг руху транспортних засобів, що забезпечує зростання пропускної здатності доріг, особливо на попередньо визначених відрізках пріоритетних ( $P_{str}$ ) вулиць з великим транспортним потоком, що забезпечить зменшення заторів. Сценарій Scenario\_1.3 передбачає створення нової об’їзної дороги. Результати моделювання транспортних потоків за означеними сценаріями представлено на рис. 4.

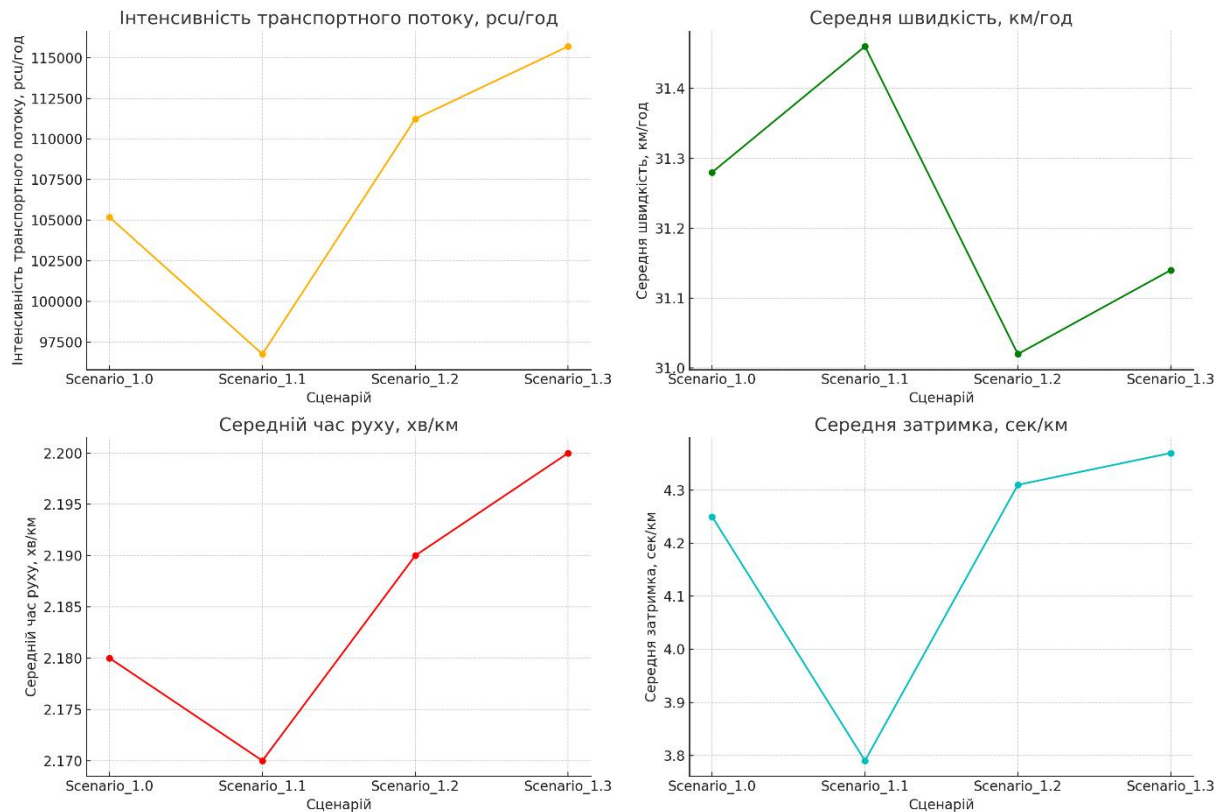


Рисунок 4 – Результати моделювання транспортних потоків за різними сценаріями відновлення та/або розвитку пріоритетних об'єктів транспортної інфраструктури

На підставі отриманих результатів можна стверджувати, що продуктивність транспортної мережі за сценарію Scenario\_1.1 її відновлення має дещо нижчу інтенсивність транспортного потоку 96764 рси/год порівняно зі сценарієм Scenario\_1.0 – 105178 рси/год. Стосовно швидкості та тривалості руху транспортних засобів, то за сценарію Scenario\_1.1 спостерігається найвища середня швидкість руху транспортних засобів 31,46 км/год та водночас дещо менша середня тривалість руху транспортних засобів – 2,17 хв/км, у порівнянні із базовим сценарієм Scenario\_1.0, який відповідно забезпечує 31,28 км/год та 2,18 хв/км. Це свідчить про те, що транспортні засоби за сценарію Scenario\_1.1 відновлення транспортної мережі рухаються дещо швидше та витрачають менше часу на подолання відстані в дослідженій пріоритетній для відновлення мережі.

Важливо зазначити, що різниця між сценаріями незначна. Це зумовлює потребу у вартісному оціненні кожного із зазначених сценаріїв та визначенні раціонального сценарію ( $S_r$ ) реалізації проектів відновлення та/або розвитку об'єктів транспортної інфраструктури.

### Висновки

На підставі проведеного аналізу стану питання в теорії та практиці встановлено, що в умовах післявоєнного відновлення транспортної інфра-

структури важливо забезпечити ефективне планування та реалізацію проектів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури для заданого проектного середовища. Однією з головних науково-прикладних задач, яку розв'язують проектні менеджери під час реалізації проектів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури, є визначення оптимальних сценаріїв реалізації зазначених проектів. Для розв'язання цієї задачі слід розробити підхід, який базується на сучасних інформаційних технологіях, що дають можливість врахувати низку специфічних чинників проектного середовища та підвищити ефективність управління зазначеними проектами.

Обґрунтований нами підхід до визначення сценаріїв реалізації проектів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури базується на моделюванні транспортних потоків із використанням моделі Гріншилда та фреймворку OpenStreetMap (OSM). Модель Гріншилда, що описує взаємозв'язок між швидкістю, щільністю та потоком транспорту, дає змогу виявити вузькі місця в транспортній мережі та визначити пріоритетні ділянки для відновлення. Її використання забезпечує точне прогнозування параметрів транспортного потоку за різних сценаріїв проектів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури. Застосування фреймворку OpenStreetMap (OSM) забезпечує доступ



до відкритих даних про транспортну інфраструктуру, що уможливило створювати детальні моделі транспортних мереж. Інтеграція OSM з моделлю Гріншилда та іншими ГІС-інструментами підвищує точність та ефективність моделювання, що є достатньо важливим для обґрунтування сценаріїв проєктів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури.

На основі запропонованого підходу визначено раціональний сценарій реалізації проєктів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури для заданого проєктного середовища – на пріоритетних для відновлення вулицях міста Краматорськ Донецької області. За результатами моделювання сценарій Scenario\_1.1 засвідчив найкращі результати з точки зору середньої швидкості (31.46 км/год) та середньої затримки (3.79 с/км). На основі проведеного аналізу для відновлення пріоритетних вулиць міста Краматорськ

Донецької області рекомендується впровадити сценарій Scenario\_1.1. Це вказує на те, що запропонований сценарій є раціональним для реалізації відновлення об'єктів транспортної інфраструктури, оскільки забезпечує оптимальний баланс між інтенсивністю потоку та затримками.

Отримані результати підтверджують доцільність використання підходу до визначення сценаріїв реалізації проєктів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури, що базується на моделюванні транспортних потоків. Подальші дослідження слід проводити у напрямі розроблення системи підтримки прийняття рішень, яка базуватиметься на розробленому підході, що дасть можливість для проєктних менеджерів значно пришвидшити розв'язання задачі визначення оптимальних сценаріїв реалізації проєктів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури для заданого проєктного середовища.

## Список літератури

1. Демчина В. Р., Зачко О.Б. Моделі управління безпекою транспортних інфраструктурних проєктів. Актуальні проблеми пожежної безпеки та запобігання надзвичайним ситуаціям в умовах сьогодення: збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Львів, 12-13 жовтня 2022 року. Львів, ЛДУ БЖД, 2022. С. 501–503.
2. Тригуба А. М., Демчина В. Р., Ратушний А. Р., Коваль Л. С. Метод та результати визначення пріоритетних об'єктів під час ініціації проєктів відновлення транспортної інфраструктури у післявоєнний час. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*, 2024, 29. С. 141-151. <https://doi.org/10.32447/20784643.29.2024.15>
3. Бушуєв С. Д., Бушуєв Д. А., Бушуєва В. Б., Козир Б. Ю. Лідерство у застосуванні гнучких методологій управління проєктами створення інформаційних технологій. *Інформаційні технології і засоби навчання*, 2019, Том 70, № 2. С. 1–15.
4. Тригуба А. М., Ратушний А. Р., Демчина В. Р., Коваль Л. С. Особливості управління проєктами відновлення транспортної та безпекової інфраструктури сільських громад у післявоєнний період. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*, 2023, 28. С. 44–54. <https://doi.org/10.32447/20784643.28.2023.05>
5. Бушуєва Н. С., Черниш О. В. Менеджмент проєктів сталого розвитку неприбуткових організацій в ризиковому оточенні. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2023. № 55. С. 12–17, URL: <http://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.55.12-17>
6. Greenshield's Model. URL: [https://www.webpages.uidaho.edu/niatt\\_labmanual/chapters/trafficflowtheory/theoryandconcepts/GreenshieldsModel.htm](https://www.webpages.uidaho.edu/niatt_labmanual/chapters/trafficflowtheory/theoryandconcepts/GreenshieldsModel.htm)
7. OpenStreetMap. URL: <https://www.openstreetmap.org/>
8. Тригуба А. М., Демчина В. Р. Підхід до збору даних для реалізації проєктів розвитку транспортної інфраструктури у післявоєнний період на основі фреймворку OpenStreetMap. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2024) [Збірник матеріалів XVI Міжнародної науково-практичної конференції (29–31 травня 2024 р., м. Одеса)]*. Одеса: Херсонська державна морська академія, 2024. С. 258–261.
9. Бушуєв С., Веренич О., Терейковська Л., Войтенко О. Інфраструктурні проєкти організації дорожнього руху: вибір методології управління. *Управління розвитком складних систем*. 2023, 56. С. 24–30. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.56.24-30>.
10. Крижановський Є. М., Мокін В. Б., Яцолт А. Р., Скорина Л. М. Системний аналіз та проєктування ГІС. Вінниця : ВНТУ, 2015. 127 с.
11. Reddy, S. P., Tallam, T., Lakshmana Rao, K. M. Calibration of Pedestrian Flow Model Using Greenshield's Macroscopic Stream Model for a Signalized Midblock. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 2020, 71, pp. 101–111.
12. Teknomo, K., Gardon, R. and Saloma, C. Ideal Flow Traffic Analysis: A Case Study on a Campus Road Network, *Philippine Journal of Science*, 2019, 148 (1): 5162.
13. Morlok Edward K. *Pengantar teknik dan perencanaan transportasi*. Erlangga, 1985. 834 p.
14. Fang, J., Wang, J., Fu, L., Lu, M., Xu, M. A macro-microscopic traffic flow data-driven optimal control strategy for freeway. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 2024. <https://doi.org/10.1177/09544070241237847>
15. Bermawi Y., Mutiara Sari N. and Herlinawati H. Evaluation of Service at the 4-Way Intersection on Soekarno Hatta Street Palembang City. *First-Escsi*, 2023, 14. P. 294–306.



16. Perdana M. G., Surya A. Analisis hubungan volume, kecepatan dan Kepadatan arus lalu lintas dengan membandingkan metode Greenshield dan metode Greenberg, 2023, 6, 1, 114–127. <https://doi.org/10.31602/jk.v6i1.11684>.
17. Mcshane, W. R & Roes, R. P. Traffic Engineering. Penerbit: Prentice Hall, Inc. New Jersey. 2011. 739p.
18. Ideal Flow Network Python Library. URL: <https://github.com/teknomo/IdealFlowNetwork>.
19. Ковальчук О. І., Зачко О. Б., Кобилкін Д. С. Моделі і методи проєктування організаційної структури віртуальної команди. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2022. № 50. С. 5 – 12, URL: [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2022.50.5-12](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.50.5-12).
20. Tryhuba A., Kondysiuk I., Tryhuba I., Boiarchuk O., Tatomyr A. Intellectual information system for formation of portfolio projects of motor transport enterprises. *CEUR Workshop Proceedings*, 2022, 3109, 44–52.

Стаття надійшла до редколегії 12.07.2024

### Tryhuba Anatoliy Mykolaiovych

DSc (Eng.), Professor, Head of the Department of Information Technologies,  
<https://orcid.org/0000-0001-8014-5661>

Lviv National Environmental University, Lviv

### Demchyna Vasyl Romanovych

Associate Professor of the Department of Law and Management in the Field of Civil Defense,  
<https://orcid.org/0000-0002-6123-5255>

Lviv State University of Life Safety, Lviv

### Tryhuba Inna Leontiivna

DSc (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Genetics, Plant Breeding and Protection,  
<https://orcid.org/0000-0002-5239-5951>

Lviv National Environmental University, Lviv

### Koval Liliia Stefanivna

Associate Professor of the Department of Information Technologies and Electronic Communications Systems,  
<https://orcid.org/0009-0002-7600-7308>

Lviv State University of Life Safety, Lviv

## DETERMINATION OF SCENARIOS FOR THE IMPLEMENTATION OF PROJECTS FOR THE RESTORATION OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE FACILITIES IN THE POST-WAR PERIOD BASED ON TRAFFIC FLOW MODELING

**Abstract.** The author analyzes the state of the art in theory and practice. It has been established that in the context of post-war restoration of transport infrastructure, it is important to ensure effective planning and implementation of transport infrastructure restoration projects for a given project environment. The purpose of the study is to substantiate an approach to determining scenarios for the implementation of transport infrastructure rehabilitation projects based on traffic flow modeling and, on its basis, to determine a rational scenario for the implementation of transport infrastructure rehabilitation projects for a given project environment. The approach to determining scenarios for the implementation of transport infrastructure rehabilitation projects is substantiated. It is based on the modeling of traffic flows using the Greenshield model and the OpenStreetMap (OSM) framework. The Greenshield model describes the relationships between speed, density, and traffic flow. It allows to identify bottlenecks in the transportation network and prioritize areas for rehabilitation. It is proposed to use the OpenStreetMap (OSM) framework, which provides access to open data on transport infrastructure, allowing the creation of detailed models of transport networks. Based on the proposed approach, a rational scenario for the implementation of transport infrastructure rehabilitation projects for a given project environment – on the priority streets of Kramatorsk, Donetsk region - has been determined. According to the modeling results, it was found that Scenario\_1.1 showed the best results in terms of average speed (31.46 km/h) and average delay (3.79 sec/km) of vehicle traffic. The obtained results confirm the feasibility of using an approach to determining scenarios for the implementation of transport infrastructure rehabilitation projects based on traffic flow modeling. Further research in this area should be conducted in the direction of developing a decision support system based on the developed approach.

**Keywords:** project; restoration; transport infrastructure; post-war period; approach; rational scenario; modeling; traffic flows

### References

1. Demchyna, V. R., Zachko, O. B. (2022). Models of safety management of transport infrastructure projects. *Actual problems of fire safety and prevention of emergencies in today's conditions: collection of abstracts of the All-Ukrainian scientific and practical conference with international participation*, Lviv, October 12-13, 2022. 501–503.
2. Tryhuba, A. M., Demchyna, V. R., Ratushnyi, A. R., Koval, L. S. (2024). Method and results of determining priority objects during the initiation of projects for the restoration of transport infrastructure in the post-war period. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, 29, 141-151. <https://doi.org/10.32447/20784643.29.2024.15>.

3. Bushuyev, S. D., Bushuyev, D. A., Bushuyeva, V. B., Kozyr, B. Y. (2019). Leadership in the application of flexible methodologies for managing information technology projects. *Information Technologies and Learning Tools*, 70, 2, 1–15.
4. Tryhuba, A. M., Ratushnyi, A. R., Demchyna, V. R., Koval, L. S. (2023). Features of project management of the restoration of transport and security infrastructure of rural communities in the post-war period. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, 28, 44–54. <https://doi.org/10.32447/20784643.28.2023.05>.
5. Bushuyeva, N. S., Chernysh, O. V. (2023). Project management of sustainable development of non-profit organizations in a risky environment. *Management of development of complex systems*, 55, 12-17, URL: <http://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.55.12-17>.
6. Greenshield's Model. URL: [https://www.webpages.uidaho.edu/niatt\\_labmanual/chapters/trafficflowtheory/theoryandconcepts/GreenshieldsModel.htm](https://www.webpages.uidaho.edu/niatt_labmanual/chapters/trafficflowtheory/theoryandconcepts/GreenshieldsModel.htm)
7. OpenStreetMap. URL: <https://www.openstreetmap.org/>
8. Tryhuba, A. M., Demchyna, V. R. (2024). Approach to data collection for the implementation of transport infrastructure development projects in the post-war period based on the OpenStreetMap framework. *Modern Information and Innovative Technologies in Transport (MINTT - 2024) [Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference (May 29-31, 2024, Odesa)]*. Odesa: Kherson State Maritime Academy. P. 258–261.
9. Bushuyev, S., Verenysh, O., Tereykovska, L., Voitenko, O. (2023). Infrastructure projects of road traffic organization: selection of management methodology. *Management of the development of complex systems*, 56, 24–30. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2023.56.24-30>.
10. Kryzhanovskiy, E. M., Mokin, V. B., Yashcholt, A. R., Skoryna, L. M. (2015). System analysis and design of GIS. Vinnytsia: VNTU, 127.
11. Reddy, S. P., Tallam, T., Lakshmana Rao, K. M. (2020). Calibration of Pedestrian Flow Model Using Greenshield's Macroscopic Stream Model for a Signalized Midblock. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 71, 101–111.
12. Teknomo, K., Gardon, R. & Saloma, C. (2019). Ideal Flow Traffic Analysis: A Case Study on a Campus Road Network, *Philippine Journal of Science*, 148 (1), 5162.
13. Morlok, Edward K. (185). Pengantar teknik dan perencanaan transportasi. *Erlangga*, 834.
14. Fang, J., Wang, J., Fu, L., Lu, M., Xu, M. (2024). A macro-microscopic traffic flow data-driven optimal control strategy for freeway. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, <https://doi.org/10.1177/09544070241237847>
15. Bermawi, Y., Mutiara, Sari N. & Herlinawati, H. (2023). A Evaluation of Service at the 4-Way Intersection on Soekarno Hatta Street Palembang City. *First-Escsi*, 14, 294–306.
16. Perdana, M. G., Surya, A. (2023). Analisis hubungan volume, kecepatan dan Kepadatan arus lalu lintas dengan membandingkan metode Greenshield dan metode Greenberg. *Studi Empiris Ruas Jalan Ahmad Yani Km 37 Kota Banjarbaru*, 6, 1, 114–127. <https://doi.org/10.31602/jk.v6i1.11684>.
17. Mcshane, W. R & Roes, R. P. (2011). Traffic Engineering. *Penerbit: Prentice Hall, Inc. New Jersey*, 739.
18. Ideal Flow Network Python Library. URL: <https://github.com/teknomo/IdealFlowNetwork>.
19. Kovalchuk, O. I., Zachko, O. B., Kobylkin, D. S. (2022). Models and methods for designing the organizational structure of a virtual team. *Management of the development of complex systems*, 50, 5–12, <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2022.50.5-12>.
20. Tryhuba, A., Kondysiuk, I., Tryhuba, I., Boiarchuk, O., Tatomyr, A. (2022). Intellectual information system for formation of portfolio projects of motor transport enterprises. *CEUR Workshop Proceedings*, 3109, 44–52.

---

#### Посилання на публікацію

- APA Tryhuba, A. M., Demchyna, V. R., Tryhuba, I. L. & Koval, L. S. (2024). Determination of scenarios for the implementation of projects for the restoration of transport infrastructure facilities in the post-war period based on traffic flow modeling. *Management of Development of Complex Systems*, 59, 105–114, [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2024.59.105-114](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.59.105-114).
- ДСТУ Тригуба А. М., Демчина В. Р., Тригуба І. Л., Коваль Л. С. Визначення сценаріїв реалізації проєктів відновлення об'єктів транспортної інфраструктури у післявоєнний період на основі моделювання транспортних потоків. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2024. № 59. С. 105 – 114; [dx.doi.org/10.32347/2412-9933.2024.59.105-114](https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.59.105-114).