

ПЕРЛОВ ВІКТОР

Вінницький національний технічний університет  
<https://orcid.org/0009-0005-0011-5515>  
e-mail: [perlov@vntu.edu.ua](mailto:perlov@vntu.edu.ua)

КИРИЦЯ ІННА

Вінницький національний технічний університет  
e-mail: [slk-vin@ukr.net](mailto:slk-vin@ukr.net)

## ЗАСТОСУВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПІД ЧАС ПЛАНУВАННЯ МІСТ НА ПРИКЛАДІ ВІННИЦІ

*Розглянуті питання застосування транспортного моделювання при ухваленні планувальних рішень на прикладі Вінниці. Показано перелік задач для мікро- та макромоделювання, а також важливість транспортної моделі міста як в стратегічних, так і в тактичних підходах.*

*Ключові слова: транспортна модель, макромоделювання, мікромоделювання, транспортне планування*

PERLOV VIKTOR, KYRYTSYA INNA  
Vinnytsia National Technical University

### APPLICATION OF TRANSPORT MODELING IN URBAN PLANNING USING THE EXAMPLE OF VINNYTSIA

*The issues of using transportation modeling for decision-making in urban planning are discussed using the example of Vinnytsia. Macro-simulation allows for analyzing overall traffic flow without reproducing the movement of individual vehicles in detail. It enables a quick evaluation of different scenarios for the development of the transportation network and determining the effectiveness of road traffic management strategies. The transportation model of the city enables analyzing the load on the road network in the current state and predicting this parameter for scenarios of implementing new infrastructure projects. Examples of load maps for the road network of Vinnytsia and an individual transport hub are shown from the transportation model of the city.*

*Micro-modeling is the process of creating a mathematical model for a detailed analysis of vehicle movement in small areas (intersections, street sections, enterprise areas, etc.). An example of micro-modeling results for one intersection is presented. The application of micro-modeling in evaluating changes to the transportation network is an effective tool that allows municipalities to avoid inefficient use of funds and transportation mistakes that worsen traffic conditions. A list of tasks for micro and macro-modeling is analyzed. The main advantages and disadvantages of modeling and the risks that may arise from its use are described. The importance of the transportation model of the city is shown in both strategic and tactical approaches.*

*Keywords: transport model, macromodeling, micromodeling, transport planning*

### Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

З кожним роком кількість автомобілів на дорогах міст збільшується, що призводить до заторів і затримок у русі як приватного, так і громадського транспорту [1]. Тому важливо мати ефективні засоби управління транспортними потоками, щоб забезпечити безпеку, швидкість і ефективність перевезень. Одним з таких засобів є транспортне моделювання, яке дозволяє прогнозувати і відтворювати поведінку транспортних потоків в реальному часі.

Транспортне моделювання використовує комп'ютерні програми, які аналізують дані про транспортний потік, враховуючи різноманітні фактори, такі як щільність трафіку, конфігурацію доріг і перехресть, швидкість руху транспорту та багато інших. Це дає можливість розробляти оптимальні маршрути, розраховувати час прибуття, прогнозувати затори і затримки.

У даній статті ми розглянемо різні методи транспортного моделювання, їх особливості, а також приклади застосування у місті Вінниця.

### Результати дослідження.

Одним з ефективних інструментів управління транспортними потоками є транспортне моделювання, яке дозволяє прогнозувати та аналізувати різні сценарії руху транспортних засобів в реальному часі [2].

Транспортне моделювання використовує різні методи та алгоритми, які дозволяють аналізувати поведінку транспортних потоків з урахуванням різних чинників, таких як конфігурація доріг та перехресть, щільність транспортного потоку, швидкість руху, час доби, погода та інші.

Одним з методів транспортного моделювання є макросимуляція, яка дозволяє аналізувати рух транспортних потоків в цілому, без детального відтворення руху кожного окремого засобу. Вона дозволяє швидко оцінювати різні сценарії руху транспортних потоків та визначати ефективність застосування різних стратегій управління дорожнім рухом. Транспортне моделювання також може бути використано для прогнозування заторів та затримок у русі транспорту, що дозволяє розробляти оптимальні маршрути для громадського транспорту задля уникнення затримок у русі.

Транспортне макромоделювання – це процес створення математичної моделі для аналізу і прогнозування транспортних потоків на великих територіях, таких як міста, регіони або країни. У транспортному макромоделюванні враховуються різні фактори, такі як густина населення, географічні умови, економічний розвиток, наявність транспортних мереж та інші.

Макромоделі дозволяють виконувати аналіз транспортних потоків на великих територіях та прогнозувати рух транспортних засобів, що є важливим для планування розвитку транспортної інфраструктури, проектування нових доріг та інших об'єктів.

Для створення транспортних макромоделей використовуються різні методи, включаючи статистичні, економетричні та інші. Такі моделі можуть бути статичними або динамічними, залежно від того, чи враховують вони зміни в часі. Етапи створення транспортної моделі та особливості розробки докладно описані в [3].

Транспортну модель м. Вінниця розроблена в 2019 році в середовищі “PTV Visum” у межах проекту “Інтегрований розвиток міст України” за фінансування Німецького товариства міжнародного співробітництва (GIZ).

На рис. 1 показаний приклад картограми завантаженості вулично-дорожньої мережі міста.

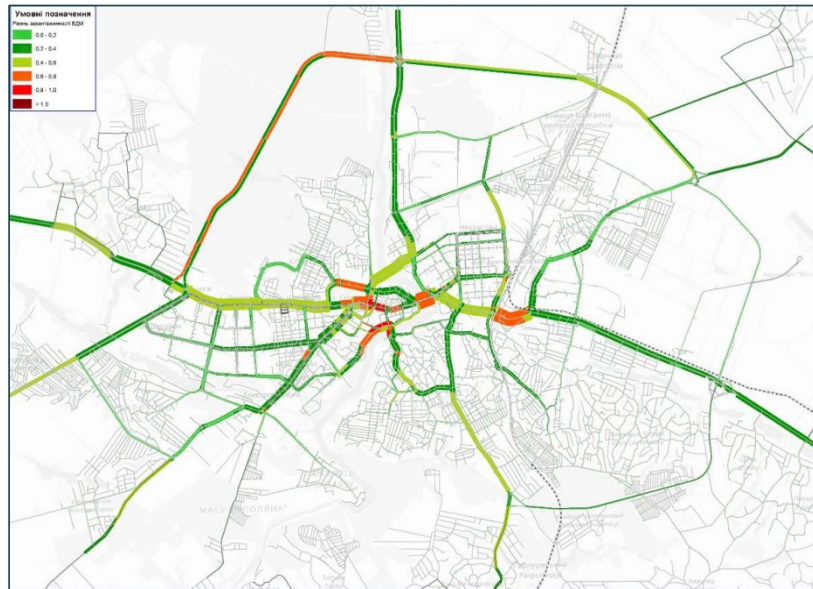


Рис. 1. Картограма завантаженості вулично-дорожньої мережі (ВДМ) м. Вінниця

Зазначена транспортна модель міста в тактичному плані дає змогу оцінити поточний стан завантаженості ВДМ, виявити проблемні ділянки, що потребують вдосконалення та конфліктні точки на маршрутах громадського транспорту (рис. 2, 3).



Рис. 2. Картограма завантаженості вузла “Майдан Небесної Сотні”

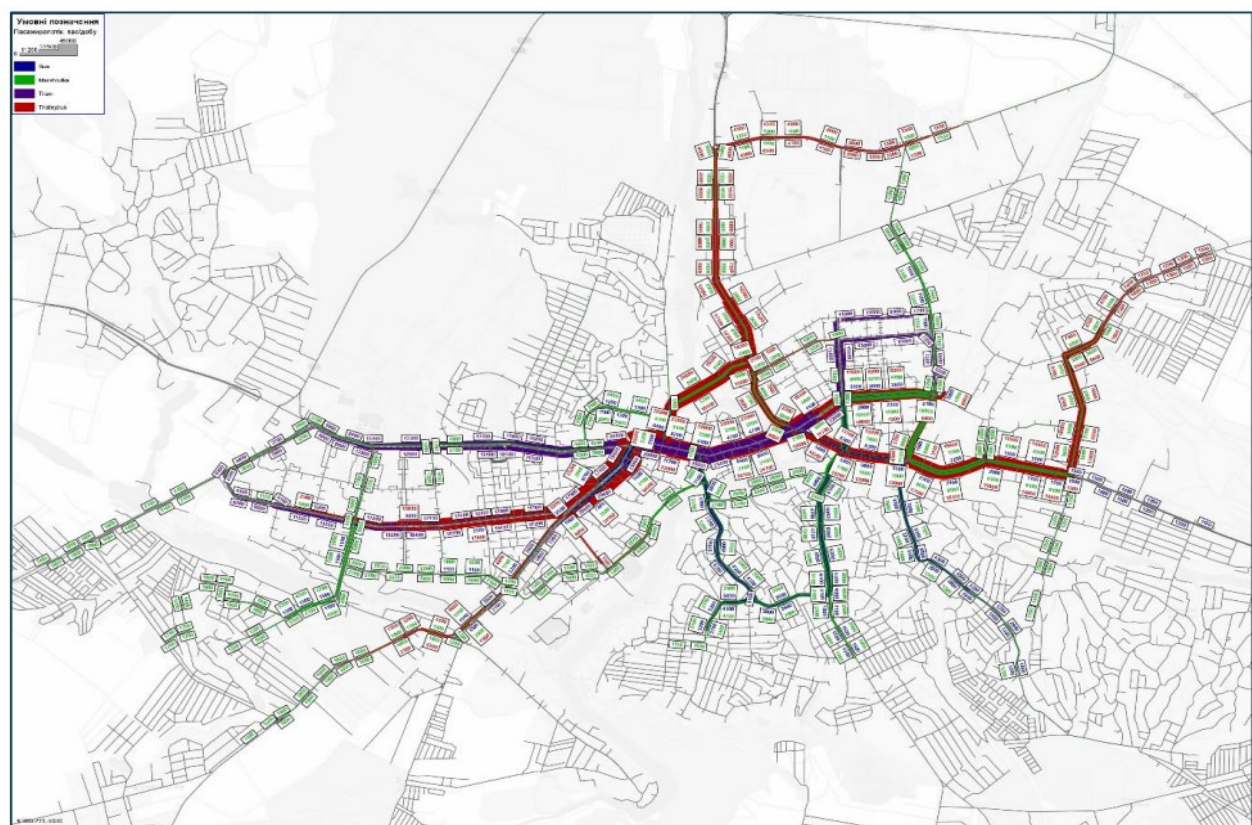


Рис. 3. Картограма пасажиропотоків за видами транспорту

В стратегічному плані модель дає змогу оцінити вплив великих інфраструктурних проєктів на дорожню мережу міста в цілому та проаналізувати доцільність їх втілення. Наприклад: будівництво шляхопроводу Янгеля-Ватутіна, проєкт “Вінницька Миля” (реконструкція проспекту Коцюбинського), розробка детальних планів територій тощо.

Транспортне макромоделювання є важливим інструментом для управління транспортними потоками на великих територіях, що дозволяє забезпечити ефективне планування і розвиток транспортної інфраструктури, зменшити затори і затримки на дорогах та підвищити рівень безпеки руху.

Іншим методом транспортного моделювання є мікросимуляція. Вона дозволяє детально відтворювати рух кожного транспортного засобу в окремоті, з використанням математичних моделей і алгоритмів, які враховують поведінку водіїв та взаємодію між транспортними засобами на дорозі [4].

Транспортне мікромоделювання – це процес створення математичної моделі для детального аналізу руху транспортних засобів на малих відрізках доріг або вулиць. У транспортному мікромоделюванні враховуються різні фактори, такі як поведінка водіїв, розташування світлофорів, розв'язок перехресть та інші параметри.

Транспортне мікромоделювання дозволяє докладно проаналізувати транспортний потік на малій ділянці дороги, що є важливим для планування та розробки дорожньої інфраструктури, дослідження дорожньої безпеки та визначення найбільш ефективних рішень для поліпшення руху транспорту [5].

Для створення транспортних мікромоделей використовуються різні методи, включаючи мультиагентні, дискретно-подібні та інші. Такі моделі можуть бути динамічними або стохастичними, залежно від того, чи враховують вони непередбачуваність поведінки водіїв.

На рис. 4 показано результати мікромоделювання перехрестя на площі Калічанській у м. Вінниця, які дали змогу оцінити потенційні результати втілення запропонованого проєкту та ухвалити аргументовані управлінські рішення щодо його впровадження.

Транспортне мікромоделювання є важливим інструментом для управління транспортними потоками на малих відрізках доріг, що дозволяє забезпечити ефективну роботу світлофорів, визначити оптимальні розв'язки перехресть та зменшити кількість аварій. Використання транспортного мікромоделювання є особливо важливим в міських районах з високою щільністю населення, де затори на дорогах можуть бути серйозною проблемою та дозволяє уникнути неефективного витрачання коштів громади й уберегти місто від проєктів, що мають потенційні ризики.

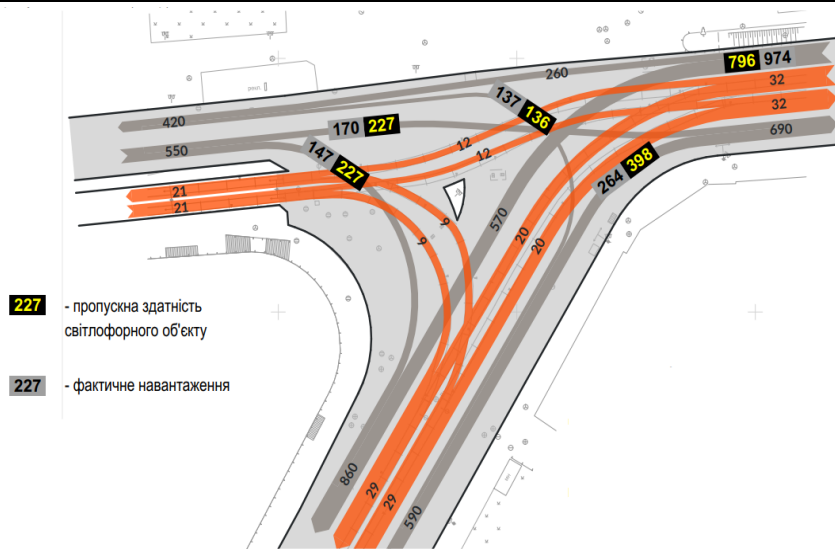


Рис. 4. Моделювання пропускної здатності площі Калічанської (кол. Гагаріна)

Основні переваги застосування транспортного моделювання включають:

- ефективність: транспортне моделювання дозволяє швидко та ефективно оцінювати різні альтернативні рішення, що стосуються розвитку транспортної інфраструктури. Застосування транспортного моделювання дозволяє виявити проблемні ділянки доріг та зони заторів, зрозуміти причини проблем та розробити оптимальні рішення для їх вирішення.

- економія коштів: транспортне моделювання дозволяє розробляти та оцінювати різні варіанти планування транспортної інфраструктури, що дозволяє зменшити витрати на будівництво та експлуатацію доріг та інших об'єктів.

- підвищення безпеки дорожнього руху: застосування транспортного моделювання дозволяє оцінити ризики дорожньо-транспортних пригод та розробити ефективні стратегії для їх запобігання. Моделювання також дозволяє визначити найбільш небезпечні ділянки доріг та вжити необхідних заходів для їх поліпшення.

- поліпшення руху транспорту: транспортне моделювання дозволяє визначити оптимальні рішення для покращення руху транспорту, такі як оптимізація сигналів світлофорів, розробка розв'язок перехресть та інших заходів.

- прогнозування: транспортне моделювання дозволяє прогнозувати майбутнє становище транспортної інфраструктури та руху транспорту, що дозволяє розробляти довгострокові стратегії розвитку транспортної мережі міст.

Основні недоліки та ризики застосування транспортного моделювання включають:

- Невідповідність реальності: транспортне моделювання базується на припущеннях та даних, що можуть не відповідати реальній ситуації. Наприклад, модель може не враховувати нові дорожні об'єкти або зміни в поведінці водіїв.

- Обмеженість даних: застосування транспортного моделювання потребує наявності точних та повних даних про транспортну інфраструктуру та рух транспорту. Недостатня кількість даних або їх недостатня якість може призвести до неточностей та недостовірних результатів.

- Складність моделювання: транспортне моделювання може бути складним технічним процесом, що потребує високої кваліфікації та досвіду фахівців. Невірна інтерпретація результатів моделювання може призвести до неправильних рішень.

- Високі витрати: застосування транспортного моделювання може бути дорогим процесом. Необхідність зібрати та обробити велику кількість даних, використання складних алгоритмів моделювання та найм кваліфікованих фахівців можуть збільшити витрати на проект.

- Необхідність постійного оновлення: транспортна інфраструктура та поведінка водіїв постійно змінюються, що вимагає постійного оновлення моделей. Недостатня частота оновлення може призвести до застарілих результатів, що не відповідають поточній ситуації.

### Висновки

Транспортне макромоделювання є ефективним способом оцінки поточного стану транспортної мережі міста в цілому, а також потенційних результатів пропонує проєктувальниками рішень по зміні конфігурації транспортної системи (сценаріїв розвитку). Застосування транспортної моделі також дає змогу оцінити вплив окремих інфраструктурних об'єктів на завантаженість вулично-дорожньої мережі, що є вкрай важливим при розробці генеральних планів та детальних планів територій. Макромоделювання також дає змогу отримувати вихідні дані для мікромоделювання.

Транспортне мікромоделювання є важливим інструментом оцінки проектів при ухваленні рішень щодо реконструкції перехресть, ділянок вулиць тощо. Його застосування дає змогу виявити та виправити потенційні ризики проекту до його втілення, що забезпечує ефективне використання ресурсів громади.

### Література

1. Статистичні дані по галузі автомобільного транспорту. Державна служба статистики України. Дата оновлення: 23.03.2023. URL: [https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu\\_u/tr.htm](https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/tr.htm) (дата звернення 03.04.2023).
2. Ortuzar D., Willumsen G. Modelling Transport, 3rd Edition, London, 2006.
3. Осетрін М. М., Беспалов Д. О., Дорош М. І. Основні принципи створення транспортної моделі міста. Містобудування та територіальне планування. 2015. № 57. С. 309–320.
4. Любий Є. В., Пономарьова, Н. В., Чернишова, О. С. Транспортне планування міст: сучасні інструменти транспортного моделювання автотранспортних систем. Комунальне господарство міст. 2019. № 128. С. 76–82.
5. Осетрін М. М., Беспалов Д. О., Дорош М. І., Тарасюк В. П. Транспортне моделювання як один із методів оцінки ефективності інженерно-планувальних елементів розв'язок в різних рівнях. Містобудування та територіальне планування. 2019. № 70. С. 417–430.

### References

1. Statystychni dani po haluzi avtomobilnoho transportu. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. Data onovlennia: 23.03.2023. URL: [https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu\\_u/tr.htm](https://ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/tr.htm) (data zvernennia 03.04.2023).
2. Ortuzar D., Willumsen G. Modelling Transport, 3rd Edition, London, 2006.
3. Osietrin M. M., Bepalov D. O., Dorosh M. I. Osnovni pryntsyipy stvorennia transportnoi modeli mista. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. 2015. № 57. S. 309–320.
4. Liubyi Ye. V., Ponomarova, N. V., Chernyshova, O. S. Transportne planuvannia mist: suchasni instrumenty transportnoho modeliuвання avtotransportnykh system. Komunalne hospodarstvo mist. 2019. № 128. S. 76–82.
5. Osietrin M. M., Bepalov D. O., Dorosh M. I., Tarasiuk V. P. Transportne modeliuвання yak odyin iz metodiv otsinky efektyvnosti inzhenerno-planuvalnykh elementiv rozv'iazok v riznykh rivniakh. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. 2019. № 70. S. 417–430.