

# Вибір моделі для дослідження транспортного потоку на вулично-дорожній мережі міст України

## A model for the study of traffic flow on the Ukrainian cities road network

**Анотація.** Окреслено проблеми ефективного функціонування вулично-дорожньої мережі міст України. Представлено метод, за допомогою якого їх можна вдосконалити. Він полягає у використанні всіх ресурсів цієї мережі для створення необхідних умов її надійної і ефективної експлуатації та зниження негативних наслідків автомобілізації. Доведено, що для забезпечення ефективного функціонування вулично-дорожньої мережі необхідно здійснити комплекс заходів з організації її управління дорожнього руху. Виявлено фактори, які впливають на погіршення умов, та, навпаки, ефективне функціонування вулично-дорожньої мережі; обґрунтовано вибір моделі для якісного функціонування вулично-дорожньої мережі міст України.

**Ключові слова:** вулично-дорожня мережа, ефективне функціонування, методи, умови.

**Аннотация.** Обозначены проблемы эффективного функционирования улично-дорожной сети городов Украины. Представлен метод, с помощью которого ее можно усовершенствовать. Он заключается в использовании всех ресурсов сети для создания необходимых условий ее надежной и эффективной эксплуатации, а также снижения негативных последствий автомобилизации. Доказано, что для обеспечения эффективного функционирования улично-дорожной сети необходимо осуществлять комплекс мероприятий по организации и управлению дорожнего движения. Описаны факторы, влияющие на ухудшение условий и, наоборот, эффективное функционирование улично-дорожной сети; обоснован выбор модели для качественного функционирования улично-дорожной сети городов Украины.

**Ключевые слова:** улично-дорожная сеть, эффективное функционирование, методы, условия.

**Abstract.** The problems of efficient functioning of the city road network are outlined. The method by which it is possible to improve the functioning of the street-road network of Ukrainian cities is presented. Improving the efficiency of the urban road network is to use all the resources of this network to create the necessary languages for its reliable and efficient operation and reduce the negative effects of motorization. It is proved that in order to ensure the effective functioning of the road network it is necessary to carry out a set of measures for the organization and management of traffic.

The purpose of this article is to identify factors that affect the deterioration of operating conditions; identify the conditions for the effective functioning of the road network; the choice of a model for the effective functioning of the street-road network of Ukrainian cities is grounded. Because the management impact on traffic flow can be estimated on the basis of the developed models.

**Keywords:** road network, efficient operation, methods, conditions.

### Вступ

При зростаючій кількості автомобільного транспорту гостро постала проблема створення умов для ефективного функціонування вулично-дорожньої мережі міст України. Підвищення якості роботи транспортних засобів у міському середовищі базується на збільшенні швидкості доставки вантажів та пасажирів, комфортності та безпеці руху.

Аналізуючи розвиток транспортних систем міст України варто зазначити, щороку за активного зросту кількості легкових автомобілів вулично-дорожня мережа залишається незмінною.

Вирішення проблем значної кількості затримок і погіршення умов експлуатації транспортних засобів потребує низки заходів щодо покращення умов вулично-дорожньої мережі.

Основними вимогами у функціонуванні вулично-дорожньої мережі є створення відповідних умов, а саме забезпечення:

- мінімальних витрат часу на переміщення;
- мінімальних матеріальних і фінансових витрат;
- безпеки руху транспортних засобів, велосипедистів, мотоциклістів і пішоходів;
- комфортних і зручних умов під час переміщення за допомогою транспортних засобів та для пішоходів.

Сьогодні у містах України спостерігається тенденція до витіснення житлових функцій із центральних районів із заміною їх на адміністративні, торговельні та ділові об'єкти. Працівники цих об'єктів віддають перевагу поїздкам на роботу на індивідуальному транспорті. Наслідки цих поїздок відомі:

- вранці затори на в'їздах до центру;

- ввечері затори на виїздах із центру.

Нескінченні ряди автомобілів, припарковані на проїзній частині, тротуарах і газонах не дають змоги для нормального, комфортного, безпечного руху транспорту та пішоходів, не кажучи про осіб з особливими потребами.

Завантаження вулично-дорожньої мережі міста транспортом залежить від його розміру, планувальної структури, частоти і дальності переміщення. Чим більше місто, тим більші транспортні потоки. Його інтенсивне збільшення викликало погіршення умов функціонування вулично-дорожньої мережі і безпеки руху. Це призвело до збільшення витрат часу на проїзд, кількість вимушених зупинок, виникнення дорожньо-транспортних пригод, заторів, зменшення швидкості руху транспортних засобів.

*Метою статті* є виявлення факторів, які впливають на погіршення умов, та, навпаки, ефективне функціонування вулично-дорожньої мережі; обґрунтування вибору моделі для якісного функціонування вулично-дорожньої мережі міст України.

### Основна частина

Серед основних факторів, що впливають на погіршення умов функціонування вулично-дорожньої мережі міст, – висока інтенсивність руху, склад транспортного потоку та режим руху транспорту.

Щодо інтенсивності руху, то можна стверджувати, що у містах інтенсивність більша ніж на автомобільних дорогах за їх межами. Склад транспортного потоку різний. Окрім легкових та вантажних автомобілів містом рухаються трамваї, тролейбуси, велосипеди тощо. Для транспортного та пішохідного потоків окрім безперервного руху є регульований рух, який в основному регулюється світлофорами.

Основними умовами для ефективного функціонування вулично-дорожньої мережі є:

- створення системи доріг для проїзду транзитних і вантажних транспортних потоків;
- створення єдиної цілісної мережі магістральних вулиць;
- створення умов для ефективної роботи громадського транспорту;
- покращення технічного стану громадського транспорту;
- покращення експлуатаційного стану дорожнього покриття.

Функціонування вулично-дорожньої мережі міст базується на забезпеченні надійності, комфортності, безперебійності, безпечності її роботи.

Підвищення якості рівня функціонування вулично-дорожньої мережі міст полягає у використанні всіх ресурсів цієї мережі для створення необхідних умов її надійної, ефективної експлуатації та зниження негативних наслідків автомобілізації. Одним із важливих принципів такої експлуатації є умови, що реалізується через збалансованість роботи всіх її елементів мережі. До таких належать заходи, які передбачають будівництво нових автомобільних доріг, транспортних розв'язок, реконструкцію діючої вулично-дорожньої мережі, а також максимально раціональне використання підземного простору.

Отже, необхідно здійснити комплекс заходів з організації й управління дорожнього руху. Це може бути впровадження світлофорних об'єктів, дорожніх знаків, дорожньої розмітки, використання реверсивного, або одностороннього руху, а за необхідності, взагалі заборона руху транспортних засобів і пішоходів.

Впровадження перерахованих вище заходів буде першочерговими і важливими умовами для ефективного функціонування вулично-дорожньої мережі міст України.

Та в більшості міст вже неможлива зміна розміру проїзної частини, а її удосконалення є тривалим і вартісним процесом. Кращі результати дає другий спосіб – підвищення ефективності управління транспортними потоками з використанням сучасних інформаційних технологій. Проте вирішення проблем керування рухом неможливе без її комплексного вивчення та аналізу.

Для моделювання транспортних потоків створено багато математичних моделей, які дають змогу дослідити різні параметри руху транспортних потоків.

Управління завантаженнями полягає у запобіганні утворенню черг, а отже, надмірних затримок руху. Щоб запобігти виникненню заторів необхідно створити оптимальні умови, які можна розробити за допомогою адаптивних систем.

При дослідженні і проектуванні організації руху береться до уваги опис транспортних потоків математичними методами [1-2]. Основи математичного моделювання закономірностей дорожнього руху було закладено ще у 1912 р. російським ученим, професором Г. Д. Дубеліром [3]. Перша спроба узагальнити математичні дослідження транспортних потоків і подати їх у вигляді самостійного розділу прикладної математики була зроблена Ф. Хейтом [4]. Подальші дослідження і розробки в цій галузі знайшли відображення у працях багатьох науковців, таких як:

В. В. Сильянов [5], Е. Лобанов [6-7], А. О. Белятинський, Н. В. Кужель [8], В. П. Поліщук [9], та інші.

Всі моделі транспортного потоку можна розділити на три класи, а саме:

- моделі-аналоги;
- моделі слідування за лідером;
- імовірнісні моделі.

У моделях-аналогах, рух транспортного засобу характеризується як гідро й газодинамічні моделі. Цей клас моделей прийнято називати макроскопічними моделями. Транспортний потік розглядається як течія «рідини» зі специфічними властивостями, що утворюється автомобілями, які перебувають у русі (при цьому рух окремих автомобілів не враховується). До фундаментальних характеристик транспортного потоку, якими оперують моделі цієї групи, є:

- густина (кількість автомобілів на одиницю довжини дороги);
- потік (кількість автомобілів, що проходить через деякий перетин дороги за одиницю часу);
- середня швидкість автомобілів у потоці (різниться на різних ділянках дороги).

У моделях слідування за лідером враховується час реакції водія, досліджувався рух на багато-смугових дорогах, вивчалася стабільність руху. Цей клас моделей називають мікроскопічними. Мікроскопічною її назвали тому, що вона розглядає елемент потоку, пару транспортних засобів, які слідуєть один за одним. Особливістю цієї моделі є те, що в ній відображені закономірності комплексу «водій – автомобіль – дорога – середовище», зокрема, психологічний аспект управління автомобілями. Він полягає у тому, що під час руху в щільному транспортному потоці дії водія обумовлені змінами швидкості лідируючого автомобіля і дистанції до нього.

У моделях слідування за лідером рух керованого транспортного засобу певним чином пов'язаний із переміщенням головного автомобіля. Розроблено лінійну і нелінійну моделі слідування за лідером. Вони дуже детальні для аналізу руху у великих транспортних системах, їх використовують для аналізу характеристик потоку на перетинах, регульованих перехрестях тощо.

В імовірнісних моделях транспортний потік розглядається як результат взаємодії транспортних засобів і елементів транспортної мережі. У зв'язку з обмеженням характеристик мережі та транспортного руху в транспортному потоці складаються закономірності формування черг, інтервалів, завантажень за смугами руху тощо. Ці закономірності мають стохастичний характер.

Після короткого аналізу можна стверджувати, що для створення оптимального варіанту моделі, варто враховувати всі складові дорожнього руху для забезпечення мінімізації затримок. Враховувати події, які впливають на умови оптимізації: прогнозовані та не прогнозовані.

До прогнозованих подій належать щоденні параметри транспортних потоків за нормальних умов руху.

До не прогнозованих подій належать:

- ДТП;
- затор;
- дорожні роботи;
- погіршення погодних умов;
- масові події (мітинги, демонстрації, страйки).

Кожен тип подій, який впливає на умови оптимізації, потребує різних методів з моніторингу, ідентифікації, мінімізації та усунення наслідків (у випадку виникнення певної події). За допомогою моделі вибирається оптимальний маршрут, який можна отримати на основі аналізу коефіцієнта завантаження смуги руху.

Під час вибору моделі необхідно врахувати характеристики руху транспортних засобів, зокрема зважати дискретний він чи безперервний. Адаже у дискретних моделях показники змінюються в певні моменти імітаційного часу. Час може прийматися як безперервний, так і дискретний залежно від того, чи можуть дискретні показники змінних відбуватися в будь-який момент імітаційного часу або тільки в певні моменти.

У безперервних моделях змінні процеси є постійними, а час може бути як безперервним, так і дискретним, залежно від того, чи є безперервні зміни доступними в будь-який момент імітаційного часу або тільки в певні моменти.

В обох моделях передбачають блок завдання часу, який імітує просування модельного часу. Зазвичай модельний час є прискореним відносно реального часу.

Найважливішими умовами ефективного використання моделі є перевірка її на адекватність та достовірність вихідних даних.

Тому для застосування і подальшого використання ефективних методів управління транспортними потоками і підвищення ефективного функціонування вулично-дорожньої мережі, варто розглядати транспортний потік як імовірнісний процес у відповідних моделях міста. У імовірнісних моделях транспортний потік розглядається як результат взаємодії транспортних засобів на елементах транспортної мережі.

Отже, зі всіх перерахованих вище моделей віддаємо перевагу імовірнісним. Саме за допомогою таких моделей можна визначити час, за який буде створена максимальна довжина черги; швидкість, з якою потрібно пересуватися, щоб не створити затор та відстань, яка буде впливати на те, що б уникнути створення черги, якщо виникне непередбачувана ситуація на автомобільній дорозі.

### Висновки

Для ефективного функціонування вулично-дорожньої мережі міст України, найбільш обґрунтованою є імовірнісна модель. Вона ґрунтується на аналізі випадкових, стохастичних подій. Ці події можуть відбутися або ні. Вона передбачає визначення як оцінки ймовірності виникнення дорожньо-транспортних пригод, так і розрахунок ймовірностей певного шляху розвитку процесів.

Отже, імовірнісна модель передбачає сценарій розвитку транспортного потоку, який оцінюють за допомогою методів теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії випадкових процесів, теорії надійності, «дерева подій», «дерева відмов», а також методів суб'єктивної логіки (експертних оцінок). Ці методи використовують під час аналізу складних систем. Вони дають змогу враховувати оцінки різних аспектів, таких як технічні та людські, у разі небезпеки аварій. Отже, імовірнісна модель може слугувати основою для розробки конкретних програм керування транспортним потоком у майбутньому.

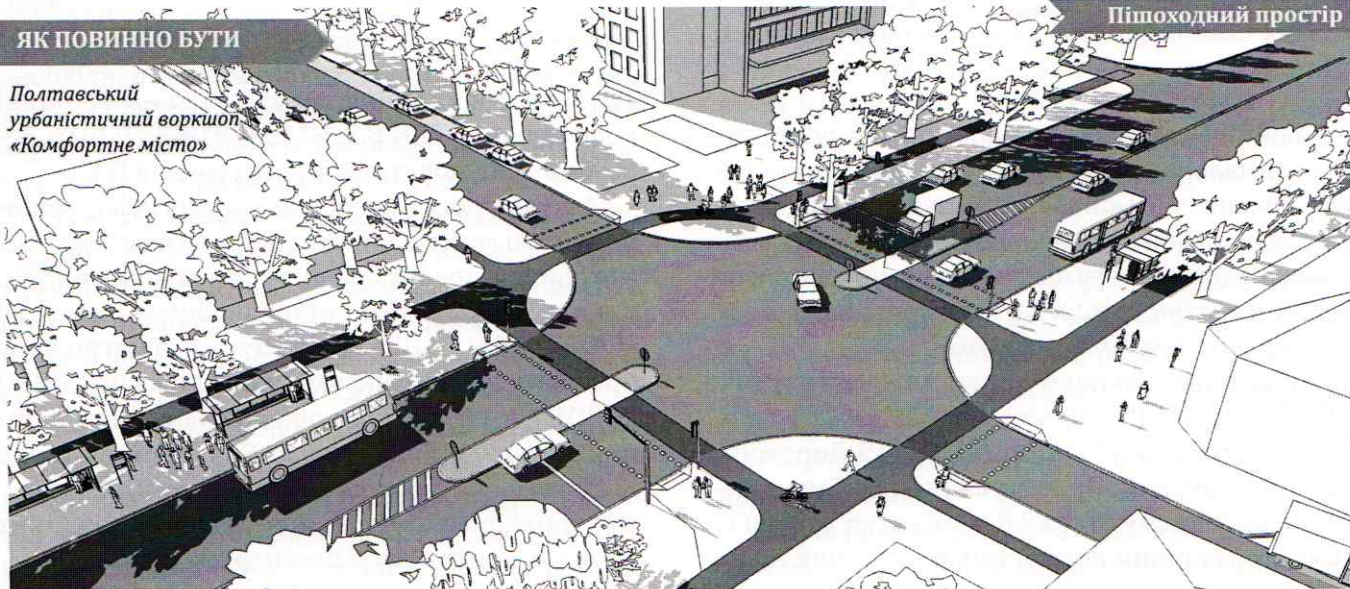
Наведений матеріал враховує лише найтипівіші фактори, що впливають на транспортний потік. Тому врахування додаткових факторів є шляхом вдосконалення описаної моделі та підґрунтям до подальших досліджень.

### Література

1. Lighthill, M. J., Whitham, F.R.S. Onkinetic waves II. A theory of traffic flow on crowded roads // Proc. Of the Royal Society ser. A. – 1995. – Vol. 229. – No. 1178. – P. 317–345.
2. Семенов, В. В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса. – Москва: Институт прикладной математики РАН, 2004. – 45 с.
3. Дубелир, Г. Д. Городские улицы и мостовые. – Киев, 1912. – 148 с.
4. Хейт, Ф. Математическая теория транспортных потоков. – Москва: Мир, 1966. – 286 с.
5. Сильянов, В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. – Москва: Транспорт, 1977. – 300 с.
6. Лобанов, Е. М., Сильянов, В. В. Продолжительность реакции водителей в реальных дорожных условиях // Проектирования дорог и безопасность движения. – Москва: Издательство МАДИ, 1974. – С. 155–160.
7. Лобанов, Е. М. Время реакции водителя. – Москва: Труды МАДИ, 1975. – Вып. 95. – С. 84–109.
8. Белятинский, А. О., Кужель, Е. В. Метод численного розрахунку похідної з використанням швидкого сплайн-перетворення // Вісник інженерної Академії України. – 2010. – № 2. – С. 50–53.
9. Поліщук, В. П., Нагребельна, Л. П. Аналіз факторів, що спричиняють ДТП на автомобільних дорогах загального користування та пропозиції по їх ліквідації // Дороги і мости. – 2016. – Вип. 16. – С. 82–85.

### References

1. Lighthill, M. J., Whitham, F.R.S. (1995). Onkinetic waves II. A theory of traffic flow on crowded roads. Proc. Of the Royal Society ser. A, 229, 1178, 317–345.
2. Semenov, V. V. (2004). Mathematical modeling of the dynamics of transport flows of a megalopolis. Moscow, Institute of Applied Mathematics RAS, 45. [in Russian].
3. Dubelir, G. D. City streets and pavements. (1912). Kyiv, 148. [in Russian].
4. Heith, F. (1966). The mathematical theory of traffic flows. Moscow, Publishing house "Mir", 286. [in Russian].
5. Silyanov, V. V. (1977). The theory of traffic flows in road design and traffic management. Moscow, Transport, 300. [in Russian].
6. Lobanov, E. M., Silyanov, V. V. (1974). The duration of the reaction of drivers in real road conditions. Moscow, Road design and traffic safety, MADI Publishing House, 72, 155–160. [in Russian].
7. Lobanov, E. M. (1975). The reaction of the driver. Moscow, Trudy MADI, 95, 84–109. [in Russian].
8. Belyatinsky, A. O., Kuzhel, E. V. (2010). A method of numerically calculating a derivative using fast spline conversion. Newsletter of the Engineering Academy of Ukraine, 2, 50–53. [in Ukrainian].
9. Polishchuk, V. P., Nahrebelna, L. P. (2016). Analysis of the factors causing road accidents on public roads and proposals for their elimination. Kyiv, *Dorohy i mosty*, 16, 82–85. [in Ukrainian].



ЯК ПОВИННО БУТИ

Полтавський  
урбаністичний воркшоп  
«Комфортне місто»

Пішохідний простір