

УДК 711.73(045)

DOI <https://doi.org/10.36059/978-966-397-312-8-18>

## ОСОБЛИВОСТІ ТА ЗАКОНОМІРНОСТІ РУХУ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА

**О. В. Степанчук**

доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри комп'ютерних технологій  
будівництва та реконструкції аеропортів  
Національного авіаційного університету  
ORCID: 0000-0002-2822-3471  
olstnau@gmail.com

*В основу роботи покладено теоретичні та експериментальні дослідження особливостей та закономірностей транспортного та пішохідного руху на вулично-дорожній мережі міста. У роботі розглянуто та проаналізовано сучасні проблеми міст, що пов'язані з особливостями переміщення його мешканців. На основі проведених експериментальних досліджень було визначено значення швидкості різної забезпеченості для легкового та маршрутного транспорту, що рухається на магістральних вулицях міста Києва.*

*Розглянуто основні підходи щодо організації пішохідного руху на вулично-дорожній мережі міст та основні характеристики пішохідного руху: інтенсивність руху, швидкість руху пішоходу, щільність пішохідного потоку. На основі натурних спостережень встановлені залежності швидкості транспортного потоку від його щільності, а також залежність інтенсивності руху пішохідних потоків від щільності людського потоку і залежність щільності від швидкості руху пішохідного потоку.*

**Ключові слова:** вулично-дорожня мережа, транспортні потоки, пішохідний рух, транспортний засіб, затор.

## Oleksandr Stepanchuk. FEATURES AND REGULATIONS OF TRAFFIC ON THE STREET NETWORK OF THE CITY

*The work is based on theoretical and experimental studies of the peculiarities and regularities of traffic and pedestrian traffic on the city's street network. The work examines and analyzes the modern problems of cities, which are related to the peculiarities of the movement of its inhabitants. On the basis of the conducted experimental studies, the value of the speed of various facilities was determined for passenger and route transport moving on the main streets of the city of Kyiv. The main approaches to the organization of pedestrian traffic on the street network of cities and the main characteristics of pedestrian traffic are considered: the intensity of traffic, the speed of pedestrian movement, the density of pedestrian flow. On the basis of field observations, the dependence of the speed of the traffic flow on its density, as well as the dependence of the intensity of the movement of pedestrian flows on the density of the human flow and the dependence of the density on the speed of movement of the pedestrian flow were established.*

**Keywords:** *street network, traffic flows, pedestrian traffic, vehicle, traffic jam.*

**Вступ.** Планування та забудова території міст передбачає вирішення не тільки архітектурно-планувальних задач і проблем інженерного обладнання територій, а й удосконалення транспортної системи міста, в тому числі вулично-дорожньої мережі. Вулично-дорожня мережа (ВДМ) — це система транспортних і пішохідних зв'язків між елементами планувальної структури міста, яка призначена для організації руху транспорту і пішоходів, прокладання інженерних комунікацій, озеленення і благоустрою вулиць. Вулично-дорожня мережа міста формується як цілісна система, що взаємозв'язана з мережею транспортних магістралей району розселення. Структура мережі визначається загальною планувальною структурою та розмірами міста, взаєморозміщенням його частин.

Щоденні переміщення тисячі людей у місті створюють на вулично-дорожній мережі міста (ВДМ) транспортні і пішохідні

потоки великої інтенсивності, що призводить до значних затрат часу на переміщення, а також виникнення «транспортної втоми» від некомфортних умов поїздки.

Витрати часу на пересування від місць проживання до місць прикладення праці для 90 % трудящих (в один кінець), як правило, не повинні перевищувати наступні показники: у містах з населенням понад 800 тис. осіб — 45 хв, від 500 тис. до 800 тис. осіб — 40 хв, від 250 тис. до 500 тис. осіб — 35 хв, до 250 тис. осіб — 30 хв і в малих містах до 50 тис. осіб — не більше 20 хв [1]. Тому на сьогодні стан роботи транспортної системи значних і найзначніших міст України, і особливо міста Києва, не можна назвати задовільним. Дуже часті затримки транспорту перевищують затрати часу на переміщення по місту як громадським транспортом, так й індивідуальними автомобілями.

Ситуація, яка склалася сьогодні на вулицях і дорогах значних і найзначніших міст України у зв'язку з інтенсивним збільшенням кількості транспортних засобів і відставанням у своєму розвитку необхідної для ефективного функціонування транспортної інфраструктури, потребує виявлення можливих оптимальних шляхів покращення транспортної ситуації на ВДМ таких міст.

До сучасних проблем міст, пов'язаних із потребами переміщення його населення, відносяться:

- виникнення заторів і збільшення витрат часу на переміщення;
- збільшення витрат пального й електроенергії транспортними засобами;
- збільшення кількості дорожньо-транспортних пригод;
- збільшення потреби в території, необхідної для будівництва ВДМ та реконструкції її елементів;
- зношеність дорожнього одягу і погіршення дорожніх умов;
- погіршення умов роботи масового пасажирського транспорту;
- збільшення негативного впливу транспортних засобів на навколишнє середовище;
- погіршення умов і складність організації вуличних стоянок транспорту;

- збільшення фінансових витрат і складність виконання робіт по утриманню вулично-дорожньої мережі міста.

Вирішення цих питань потребує розробки та впровадження нових та ефективних заходів покращення умов руху міського транспорту та пішоходів, що зокрема значно залежить від технічного стану та умов завантаження вулично-дорожньої мережі міста.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** На сьогодні в Україні нараховується 460 міст, у яких проживає 69,1 % населення. У великих, значних і найзначніших містах проживає 52,9 % всього населення України [2]. Тому постає задача відповідного забезпечення зручності проживання і переміщення для більшості населення міст України.

Шелейховський Г. В. у своїх наукових дослідженнях відстоював думку про те, що місто повинно бути зручним щодо розселення і переміщення, але у зручності є свої закони і свої вимоги [3]. Також він зазначав, що місто повинно бути економічним. Саме вулично-дорожня мережа, після будівель, є найдорожчою частиною міського середовища. Вулиці й дороги міста займають значну його територію, а також потребують значних і дорогих засобів благоустрою та значних експлуатаційних витрат. Тому й досі важливим є питання про транспортний максимум і оптимум міста щодо чисельності його населення, площі, довжини, вуличної мережі та необхідної кількості елементів її інфраструктури і т. ін., а саме відповідності транспортної пропозиції міста до її попиту.

Транспортна проблема більшості міст полягає в тому, що на досить обмеженій території (2–5 %) зосереджено від 50 до 90 % населення [4]. Наприклад, місто Київ має 2,76 млн зареєстрованих жителів, а фактично в ньому проживає 3,1 млн чоловік. Денна кількість людей складає 3,5 млн чоловік. І досі не вирішено проблеми диспропорції між розселенням та місцями прикладання праці: в економічному комплексі міста існує 1,35 млн робочих місць, при цьому на Лівобережжі проживає 36,2 % мешканців міста, але функціонує лише 19,7 % робочих місць, на Правобережжі — 63,8 % мешканців з 81,3 % робочих місць [5].

Відомо, що під час збільшення площі території міста збільшується і дальність переміщення населення.

Одним із основних елементів міської транспортної інфраструктури будь-якого міста, що забезпечує умови зручного переміщення населення, є його вулично-дорожня мережа.

Для забезпечення потрібної пропускної спроможності вулично-дорожньої мережі міста є необхідність у створенні відповідних умов, зокрема проведення робіт із будівництва нових і реконструкції існуючих інженерно-транспортних споруд та елементів вулиць і доріг. Але не завжди вирішення цих питань може покращити роботу всієї мережі, тому що паралельно із заходами, в основі яких лежить будівництво і реконструкція елементів вулиць і доріг, треба вирішувати питання застосування заходів із організації дорожнього руху, що дозволяє управляти транспортними потоками на міських вулицях.

Для нормальної роботи міського транспорту необхідна відповідна інфраструктура, розвиток якої вимагає набагато більше ресурсів, ніж на створення самого транспортного засобу. Тому транспортний потенціал міських вулиць і рівень їхньої пропускної спроможності не встигає за розвитком парку автомобілів. Особливо ця проблема проявляється у містах, де можливості розвитку транспортної інфраструктури обмежені. Через перевантаження ВДМ виникають транспортні черги, які паралізують рух на значній території.

У результаті перевантаження окремих ділянок ВДМ, яке викликане збільшенням інтенсивності та щільності руху, знижується швидкість руху транспортних засобів. У визначеному часовому інтервалі вулично-дорожні умови фіксовані, точніше, їхні головні характеристики не змінюються (довжина ВДМ, ширина проїзної частини, планові та профільні елементи), і тому процес зниження швидкості руху розповсюджується до моменту зміни цих умов. За умови недостатньо розвинутої вулично-дорожньої мережі інтенсивність і щільність транспортних та пішохідних потоків збільшується, і це викликає суттєве зниження швидкості руху та утворення заторів.

Неможливо точно передбачити інтенсивність у заданий момент часу, але можна точно визначити її середнє значення, межі і характер змін. Відомо, що на неї впливає життєвий устрій міста (перш за все початок і кінець роботи підприємств), рівень автомобілізації і кількість рухомого складу на лінії, склад транспортного потоку, сезон року і погодні умови, розпланування ВДМ, методи організації і регулювання дорожнім рухом та інші чинники.

Тому на цьому етапі дослідження нас цікавить вплив саме життєвого устрою міста на завантаженість його транспортної мережі, а зокрема на те, як розподіляються транспортні та пасажирські потоки під впливом такого чинника і які існують шляхи щодо управлінського впливу на нього. Звідси, для досягнення нашої мети необхідно звернути увагу саме на переміщення населення міста, враховуючи об'єм та напрям переміщення населення по території міста, визначити показник середньої дальності переміщення по місту його жителів. Це дозволить виявити напрямки кореспонденцій для його мешканців і основні маршрути руху ТЗ та виявити найбільш завантажені транспортні вузли і ділянки вулиць на кожному маршруті, а також передбачити альтернативні шляхи перерозподілу.

Характерною особливістю переміщення жителів будь-якого міста є те, що кожний із них самостійно приймає рішення про вибір району тяжіння, маршруту руху та виду транспортних засобів, при цьому надаючи перевагу своїй індивідуальній меті. У якості обмежень виступає ємкість місць розселення та наявних місць для праці. Формування кореспонденцій носить достатньо стихійний характер, і на процес цього формування можна впливати, змінюючи параметри елементів планувальної структури міста, але неможливо безпосередньо управляти ним.

Особливістю значних і найзначніших міст є скупчення значної кількості людей, які переміщуються певним чином. Тому вивчення переміщення населення є одним із основних завдань теорії містобудування, на якій ґрунтується проектування і подальший розвиток усієї транспортної системи міста та її вулично-дорожньої мережі.

Професор Рейцен Є. О. у своїй роботі [6] зазначав, що на вулиці значних міст щоденно виїжджають десятки тисяч автомобілів, автобусів, тролейбусів, і, на перший погляд, здається, що у цих транспортних потоках немає ніякої закономірності, насправді ж, кожному місту є притаманний лише йому транспортний ритм. Транспортний ритм міста — це об'єктивна просторово-часова закономірність у режимах руху інтегрованого транспортного потоку, він залежить від містобудівних, планово-економічних, соціальних аспектів та від методів і засобів організації руху.

До утворення стану затору на міських вулицях призводить поєднання основних факторів, а саме [7]:

- організаційно-керівного, де схема організації та керування дорожнім рухом розроблена без урахування особливостей формування та розподілу транспортних потоків на даній ділянці дорожньої мережі;
- дефіцитного, де не вистачає значних розмірів смуги проїзної частини;
- непередбачуваного: можливі утворення ДТП з тяжкими наслідками, несприятливі погодні умови, стихійні лиха; значні ремонтні та будівельні роботи на ділянці дорожньої мережі без застосування відповідних заходів організації та керування дорожнім рухом.

У роботі [7] виділено базові причини виникнення заторів, які можуть поєднуватися одна з іншою в різних комбінаціях: зовнішні причини (дорожні пригоди, проведення дорожніх робіт, погодні умови); рівень транспортного попиту (щоденні коливання в інтенсивності руху, коливання, які пов'язані з проведенням різного роду заходів); фізичні параметри доріг (технічні засоби організації руху, зміни в пропускній спроможності). Вказані причини мають деякий зв'язок між собою.

Затори, які виникають зокрема на вулично-дорожній мережі міст, бувають нерегулярні і регулярні [8]. Нерегулярні затори не піддаються прогнозуванню, вони спричинюються тихохідними транспортними засобами, погодними умовами, випадковими дорожньо-транспортними подіями і викликають різке зменшення

швидкості або взагалі зупинку руху. Регулярні затори спричинюються незадовільними дорожніми умовами: недостатньою видимістю, крутими підйомами, горизонтальними кривими малого радіуса, а також примиканнями з'їздів до дороги зі значною кількістю автомобілів, що виїжджають на неї.

У роботі [9] зазначено, що ключовими причинами незадовільного функціонування ВДМ у містах є:

- неоптимальний розподіл транспортних потоків по ВДМ;
- недосконалість системи управління дорожнім рухом;
- недосконалість контролю за паркуванням автомобілів;
- збільшення попиту на пересування над можливістю його реалізації.

На сьогодні накопичено великий досвід у дослідженні міських проблем, викликаних потребами переміщення населення у містах. Однак, загальний рівень досліджень та рівень їхнього практичного використання недостатній з огляду на наступні фактори:

- транспортний потік нестабільний та багатогранний: отримання об'єктивної інформації про нього є найбільш складним та ресурсоємним елементом системи управління;
- критерії якості управління дорожнім рухом протилежні: необхідно забезпечити безперебійність руху, одночасно мінімізуючи рівень нанесення шкоди від руху і накладаючи обмеження на швидкість та напрям руху;
- дорожні умови, за всієї стабільності, мають непередбачувані фактори як у частині відхилення погодно-кліматичних параметрів, так і, власне, дороги;
- виконання рішень з керування вуличним рухом завжди неточне під час реалізації та, враховуючи природу процесу руху, призводить до непередбачуваних ефектів.

Необхідно зазначити, що раціональний розвиток вулично-дорожньої мережі міст зводиться до забезпечення наступних параметрів:

- ємності мережі, що характеризується можливістю ВДМ забезпечити потрібні обсяги міського руху;
- завантаження мережі, що характеризується максимально очікуваним розміром міського руху.



За умови завантаженості мережі більше від її ємності, ВДМ не функціонує належним чином, вона не забезпечує належних умов для переміщення зростаючих пасажирських і транспортних потоків. А за умови, коли ємність більше від завантаженості, місто має надлишкову мережу шляхів сполучення, що призводить до неефективного використання коштів на будівництво та утримання ВДМ.

Також необхідно зауважити, що в багатьох містах, навіть за умови відповідності завантаження мережі щодо її ємності, виникають перевантажені місця на окремих ділянках та елементах ВДМ, які призводять до значних втрат часу, зниження швидкості руху тощо.

Вирішення цих проблем потребує теоретичного дослідження та узагальнення наукових праць та положень, які направлені на підвищення умов функціонування ВДМ. Для цього необхідно розробити науково обґрунтовану методологію управління та розподілу транспортних потоків, що дозволяє забезпечити відповідний рівень зручності та безпеки руху транспортних засобів і пішоходів на вулицях міст.

Таким чином, складнощі формалізації процесу руху пішохідного та транспортного потоку стали серйозною причиною відставання наукових досліджень від вимог практики.

Рух у міських населених пунктах складають пішохідні і транспортні потоки різноманітного призначення та різної величини відповідно до часу доби, дня тижня, періоду року тощо. У більшості переміщень, що здійснюються мешканцями міст протягом дня, спостерігається поєднання пішохідного руху та руху з використанням транспортних засобів.

Щоб організувати міський рух та забезпечити його належну зручність і безпеку, а також звести до мінімуму перешкоди, шкідливість і незручність від руху для населення необхідно:

- детально вивчити особливості транспортних та пішохідних потоків;
- забезпечити умови і виявити можливості пропуску потоків по існуючій вулично-дорожній мережі;

- виявити основні причини ускладнення руху і намітити ефективні заходи щодо покращення загальних умов руху з урахуванням інтересів населення.

У загальному обсязі міських переміщень частка пішохідного руху складає 26–30 %, а самі пішоходи є найчисленнішою групою серед учасників руху [6]. Тому пішохідні потоки є одним із основним факторів, що впливає на функціонування транспортної системи всього міста. У практиці містобудування існує поняття «пішохідної доступності» міських об'єктів і «дальності пішохідних підходів», що вимірюється у хвилинах і метрах. Пішохідна доступність і дальність пішохідних підходів закладають основу реалізації пішохідного руху. Зона пішохідної доступності визначається як відстань, на подолання якої пішоходу потрібно менше часу, ніж на подолання цієї відстані за допомогою транспортних засобів. Вибір способу переміщення здійснюється, виходячи із певних умов (відстань до зупинки, завантаження вулиці, час очікування, вартість проїзду та ін.).

Імовірність користування транспортом залежить від дальності переміщення. За даними, наведеними у [10], за необхідності переміщення на відстань до 1 км, 75 % жителів не користуються транспортом, від 1 до 2 км — цей показник становить 45 %, від 2 до 3 км — 25 %, від 3 км до 4 км — 10 %. Відповідно до опитування жителів деяких європейських міст допустима дальність пішохідного переміщення складає приблизно 1 км.

У багатьох країнах світу відсоток користування індивідуальним автомобілем дуже високий — більше половини всіх переміщень виконується саме автомобілем; найменше автомобіль використовують у європейських країнах — більшість переміщень у цих країнах виконується пішки (табл. 1, див. с. 418) [11]. Питома вага пішохідного переміщення різна, навіть у містах однієї країни відсоток пішохідного переміщення може значно відрізнятись (табл. 2, див. с. 418) [11]. Очевидно, що питома вага пішохідного переміщення залежить від планування та забудови міста.

Забезпечення зручності та безпеки руху пішоходів є одним із найбільш відповідальних заходів, але водночас ще досі

недостатньо розробленим розділом організації дорожнього руху. Складність полягає в тому, що поведінка пішоходів важче піддається регламентації, ніж поведінка водіїв, а в розрахунках режимів

**Таблиця 1** — Питома вага переміщення людей у різних країнах світу, за видами транспорту, %

Країна	Автомобіль	Громадський транспорт	Велосипед	Пішки	Інші види
Австрія	39	13	9	31	8
Великобританія	62	14	8	12	4
Данія	42	14	20	21	3
Канада	74	14	1	10	1
Нідерланди	44	8	27	19	1
Німеччина	52	11	10	27	0
США	84	3	1	9	2
Франція	54	12	4	30	0
Швейцарія	38	20	10	29	3
Швеція	36	11	10	39	4

**Таблиця 2** — Питома вага переміщення людей у європейських містах, %

Місто	Пішки і велосипедом, %	Громадський транспорт, %	Автомобіль, %	Населення, чол.
Амстердам	47	16	34	718 000
Гронінген	58	6	36	170 000
Делфт	49	7	40	93 000
Копенгаген	47	20	33	562 000
Орхус	32	15	51	280 000
Оденсе	34	8	43	102 000
Барселона	32	39	29	1 643 000
Оспіталет	35	36	28	273 000
Вігорія	66	16	17	215 000
Брюссель	10	26	54	952 000
Гент	17	17	56	226 000
Брюгге	27	11	53	116 000

регулювання важко враховувати психофізіологічні фактори з усіма відхиленнями, що притаманні окремим групам людей. Пішохідний рух у містах характеризується нерівномірним часовим розподілом. У ньому є чітко виражені піки [12]:

- ранковий — 8–9 год;
- денний — 12–14 год;
- вечірній — 18–19 год.

Пікові навантаження в різних частинах міста неоднакові: в сельбищних районах інтенсивність пішохідного руху рівномірно розподілена в період з 8 до 19 год, в промислових районах найбільше завантаження відбувається в ранкові і вечірні години, в загально-міських і торговельних центрах — в денні години.

Пішохідні потоки підпорядковуються певним закономірностям і характеризуються розподілом у часі, залежністю між щільністю потоку і швидкістю пересування, способом організації руху і транспортного потоку.

Основними характеристики пішохідного руху є [13]:

- інтенсивність руху (чол./с, чол./хв, чол./год);
- швидкість руху пішоходу (м/с, км/год);
- щільність пішохідного потоку (чол./м<sup>2</sup>).

Наведені характеристики можна описати залежністю:

$$N = V \times q, \quad (1)$$

де  $N$  — інтенсивність руху пішоходів;

$V$  — швидкість руху пішоходів;

$q$  — щільність потоку.

Інтенсивність пішохідного руху коливається залежно від функціонального призначення вулиці або дороги і від розташування на них об'єктів тяжіння. Особливо висока інтенсивність руху пішоходів спостерігається на головних і торгових вулицях, а також у зоні транспортно-пересадочних вузлів.

Швидкість руху пішоходів залежить від багатьох факторів: вона має зворотну функціональну залежність від температури повітря, крім того деякий вплив на її величину має час доби, що пояснюється однорідною функціональною спрямованістю пересувань.

Швидкість пішохідного потоку обумовлена швидкістю пересування пішоходів у потоці. Швидкість руху людини спокійним кроком залежить від віку й стану здоров'я, мети пересування, дорожніх умов, стану навколишнього середовища. Численними спостереженнями встановлено діапазон швидкості пішоходів, що складає від 0,33 до 1,8 м/с [6].

Щільність пішохідного потоку визначається ступенем свободи руху [13]:

- вільний рух — 0,3 чол./м<sup>2</sup>;
- допустимо вільний рух — 0,31–0,6 чол./м<sup>2</sup>;
- щільний рух — 0,61–1,0 чол./м<sup>2</sup>;
- дуже щільний рух — 1,01–1,5 чол./м<sup>2</sup>;
- затор (тіснява, юрба) — 1,51–3,0 чол./м<sup>2</sup>.

Існують певні закономірності формування пішохідних потоків:

- більша частина пішохідних потоків цілеспрямована, існує мета тяжіння (зупинка пасажирського транспорту, станція метро, торговий центр, прохідна підприємства, стадіон та ін.), винятком є пішохідні вулиці, паркові доріжки, бульвари;
- вибір найкоротшого шляху;
- пішоходи рухаються з індивідуальною швидкістю, з урахуванням віку, статі, ситуації тощо;
- пішоходи тримаються на певній відстані один від одного.

Важливою умовою оптимальної організації пішохідного руху є врахування психофізіологічних особливостей та фізичних можливостей людей під час розробки відповідних технічних рішень. Як показує практика, тільки правильне врахування цих умов дозволяє досягнути максимуму доцільності вжитих заходів щодо організації руху пішоходів. Але необхідно відзначити, що наявні людські потоки зазвичай мають змінний склад учасників руху, такий потік завжди поповнюється новими людьми, замінюючи тих, які вибули з потоку, змінивши напрямок свого руху.

У результаті проведеного обстеження пішохідного руху в центральній зоні міста Києва були зафіксовані різні значення

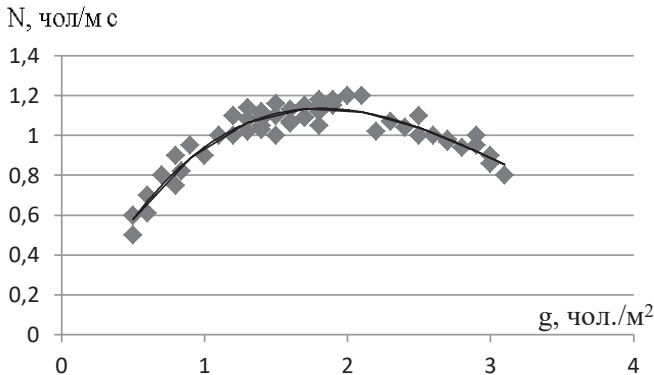
швидкості та щільності потоку людей, які рухаються в одному напрямку. Дослідження проводилося в місцях, де спостерігався довготривалий існуючий людський потік. Інтенсивність руху людських потоків є основним параметром, який визначає пропускну спроможність пішохідних шляхів.

Для аналізу та обґрунтування результатів дослідження були побудовані графіки експериментальних значень інтенсивності двобічного зустрічного руху залежно від щільності людського потоку. На графіку (рис. 1) наведено середні значення інтенсивності руху залежно від щільності пішохідного потоку.

На основі встановленої графічної залежності інтенсивності руху людського потоку та його щільності можна перейти до математичної залежності, необхідної в подальшому для визначення характеру руху людського потоку за певних умов [10].

$$N=0,0581g^3-0,5619g^2+1,4652g-0,0207. \quad (2)$$

Коефіцієнт детермінації  $R^2=0,9103$ .



**Рисунок 1** — Залежність інтенсивності руху пішохідних потоків від щільності людського потоку

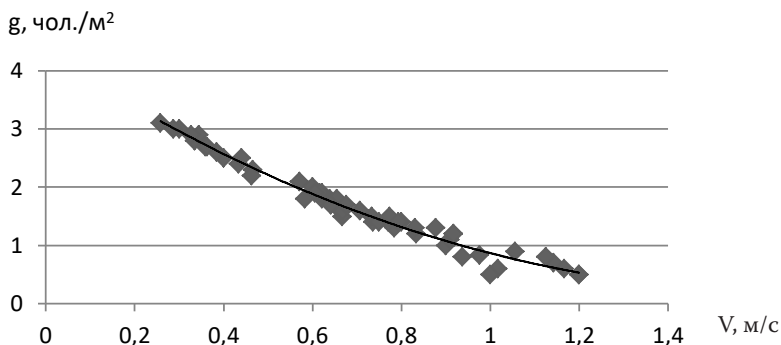
Маючи відповідні результати обстежень, можна побудувати залежність між щільністю та швидкістю руху людського потоку (рис. 2, див. с. 422).

На основі отриманого результату та внаслідок проведеного кореляційного аналізу встановлено регресійну залежність між щільністю та швидкістю руху людського потоку [10]:

$$g = 1,4855V^2 - 4,9223V + 4,301. \quad (3)$$

Коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,979$ .

Швидкість неорганізованого потоку людей залежить від щільності потоку, а щільністю доцільно вважати  $1 \text{ м}^2$  площі пішохідного шляху.



**Рисунок 2** — Залежність щільності від швидкості руху людського потоку

Щільність потоку може бути виражена [10]:

$$g = N / l \times d, \quad (4)$$

де  $d$  — ширина відповідної ділянки шляху;  
 $N$  — інтенсивність руху пішоходів;  
 $l$  — довжина відповідної ділянки шляху;  
 $g$  — щільність потоку.

Тому звідси виходить, що, маючи показники швидкості руху людського потоку в місцях масових пішохідних переміщень, можна визначити щільність та інтенсивність людського потоку, а звідси, — визначити необхідну ширину, яку займатиме потік для забезпечення нормальних умов руху певної кількості людей.

$$d = N / l \times g. \quad (5)$$

Для правильної організації руху на пішохідній мережі у містах необхідно враховувати також потреби користувачів шляхом урахування поведінки пішоходів на вулицях і основних закономірностей формування та руху людських потоків.

Основні завдання організації руху пішоходів:

- забезпечення шляхів для руху людей уздовж вулиць та доріг;
- організація пішохідних зон, закритих для руху транспортних засобів;
- облаштування зупиночних пунктів та пересадочних вузлів пасажирського транспорту;
- комплексна організація руху на специфічних пішохідних маршрутах.

Раціональна організація пішохідного руху є визначальною не тільки для підвищення пропускної спроможності міської вулиці, а й для забезпечення умов ефективного функціонування всієї транспортної системи міста.

Основними завданнями вулично-дорожньої мережі міста є створення і забезпечення найкращих умов руху пішоходів; високоефективної роботи транспорту; забезпечення безпеки руху.

Транспортні засоби, які рухаються в транспортному потоці по вулично-дорожній мережі міст, розділяють на три групи [14]:

- транспортні засоби, які рухаються за чітким графіком руху;
- транспортні засоби, які працюють за графіками роботи підприємств і організацій;
- транспортні засоби, які рухаються вільно не за стабільними графіками руху.

Наявність у потоці трьох видів транспортних засобів, по суті, створює неорганізований характер руху по вуличній мережі. Тому організація руху транспортних засобів становить дуже складну проблему, вирішити яку можна шляхом управління транспортними потоками й організацією руху. До цього питання треба підходити, використовуючи містобудівні методи та методи організації та управління рухом, які дозволяють ще на стадії проектування розробити схеми функціонального зонування території міста таким чином, щоб передбачити



наслідки автомобілізації і можливі проблеми транспортного обслуговування міста.

Міські транспортні потоки є неоднорідними, причому ця неоднорідність залежить і від часу доби, і від місця розташування. В реальних умовах характеристики дорожнього руху — такі як інтенсивність транспортного потоку, швидкість і концентрація автотранспорту — є параметрами, що підкорюються законам статистичного розподілу, а не конкретними числовими величинами.

Транспортний потік, що рухається по вулично-дорожній мережі, складається з багатьох автомобілів, які мають різні початкові та кінцеві пункти руху. Виходячи з різних місць відправлення в різні місця призначення, автомобілі утворюють на дорозі транспортні потоки. У кожному транспортному потоці між автомобілями встановлюються інтервали, розмір яких залежить від індивідуальних особливостей та віку водіїв, швидкості руху автомобіля, що йде попереду і кожен водій самостійно встановлює таку відстань, яка їм здається безпечною. Зміна дорожніх умов, що позначається на швидкості, викликає відповідну зміну відстаней між автомобілями. Відмінність в умовах руху, які здаються різним водіям оптимальними, призводить до виникнення в кожному транспортному потоці внутрішніх перешкод.

Опис закономірностей руху автомобілів на дорогах є предметом теорії транспортних потоків, що аналізує режими руху транспортних засобів за різних умов із врахуванням їхніх динамічних якостей, складу потоку і психофізіологічних особливостей водіїв [13].

У кожному транспортному потоці відбувається взаємодія між автомобілями:

- встановлюються інтервали між автомобілями, величина яких залежить від швидкості руху, індивідуальних особливостей водія і дорожніх умов;
- виконуються обгони транспортних засобів, які їдуть із меншою швидкістю, транспортними засобами, що рухаються з більшою швидкістю;
- здійснюється гальмування автомобілів і їхня зупинка під час виникнення на вулиці або дорозі заторів.

Транспортний потік — це складна система, яка включає транспортні засоби, проїзну частину і навколишнє середовище, до якої входять усі облаштування вулиць і доріг та пішохідний рух. Основним принципом системи «транспортний потік» є цілісність процесу руху, де первісним є цілісність потоку, а вторинним — положення і швидкість автомобілів у потоці [15].

Залежно від завантаження ВДМ розрізняють наступні режими руху транспортних потоків [16]: вільний, частково пов'язаний, пов'язаний щільний, або насичений.

Через відмінності в умовах руху для кожного із зазначених режимів виникає потреба в застосуванні для їхнього опису різноманітних закономірностей формування транспортних потоків. Оскільки інтенсивність руху коливається в різні дні й години доби на одній і тій самій ділянці дороги, то режими руху також змінюються. На транспортний потік впливає цілий ряд факторів, але й він зі свого боку впливає на міський рух (рис. 3, див. с. 426) [13].

Рух транспортних засобів на міських вулицях і дорогах відбувається в умовах постійної взаємодії між собою різних видів транспортних засобів, зокрема: легкових автомобілів, пасажирського наземного транспорту (автобусів, тролейбусів, трамваїв, маршрутного таксі та ін.), вантажних автомобілів різної вантажопідйомності. Транспортний потік на міських вулицях відрізняється значною наявністю різних видів транспортних засобів, які за технічно-експлуатаційними характеристиками суттєво відрізняються один від одного. Склад транспортного потоку відіграє важливу роль у формуванні умов руху. На магістральних міських вулицях наявний наступний склад транспортного потоку: масовий пасажирський транспорт — 3–25 %; вантажні автомобілі 2–15 %; легкові автомобілі 60–95 % [17]. Реальний транспортний потік має стохастичний характер руху, який залежить від випадкових змін транспортної ситуації та індивідуальних особливостей водіїв транспортних засобів, тому пропускна спроможність вулично-дорожньої мережі підпорядковується статистичним закономірностям.

Швидкість транспортного потоку є найважливішою характеристикою дорожнього руху. У зв'язку з цим завдання

прогнозування швидкості транспортних потоків у різних умовах є актуальною. Вивченню закономірностей зміни швидкостей транспортних потоків присвячена достатня кількість досліджень, що дозволяють прогнозувати швидкість потоку в різних умовах. В якості незалежної змінної використовують різноманітні чинники.

Залежність інтенсивності від щільності та швидкості може бути виражена [18]:

$$N(q) = qV(q). \quad (6)$$

У табл. 3 (див. с. 427) [19] наведена залежність швидкості транспортного потоку від його щільності для ВДМ, яка має дві або три смуги руху (рис. 4 (див. с. 427), 5 (див. с. 428)). За наведеними графічними залежностями можна визначити, з якою швидкістю буде рухатися транспортний потік.

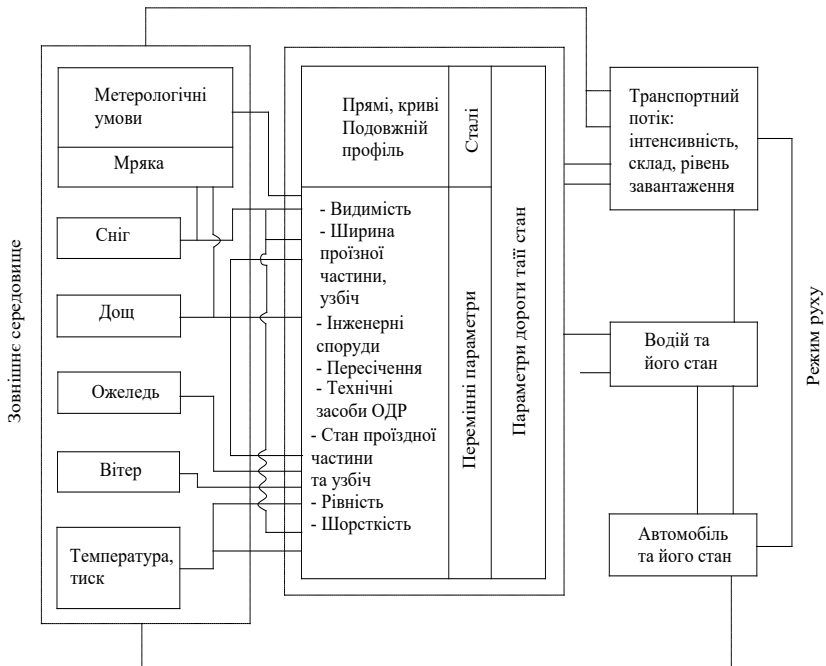


Рисунок 3 — Фактори, що впливають на транспортний потік

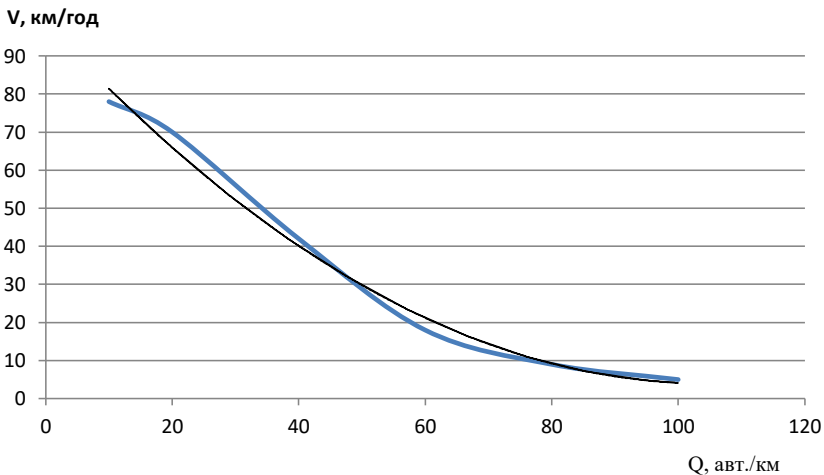
**Таблиця 3** — Залежність швидкості транспортного потоку від його щільності для ВДМ

Число смуг руху в обох напрямках			
4		6	
швидкість, км/год	щільність, авт./км	швидкість, км/год	щільність, авт./км
78–80	0–22	83–85	0–36
64–78	22–50	73–83	36–72
28–64	50–100	31–73	72–150
12–28	100–140	14–31	150–210
5–12	140–200	4–14	210–300

Звідси, рівняння регресії залежності швидкості транспортного потоку від його щільності для автомобільної дороги, яка має дві смуги руху, має вигляд:

$$V=0,0086x^2-1,8101x+98,663.$$

Коефіцієнт детермінації  $R^2=0,991$ .



**Рисунок 4** — Графік залежності швидкості транспортного потоку від його щільності для автомобільної дороги, яка має дві смуги руху

Рівняння залежності швидкості транспортного потоку від його щільності для автомобільної дороги, яка має дві смуги руху має вигляд:

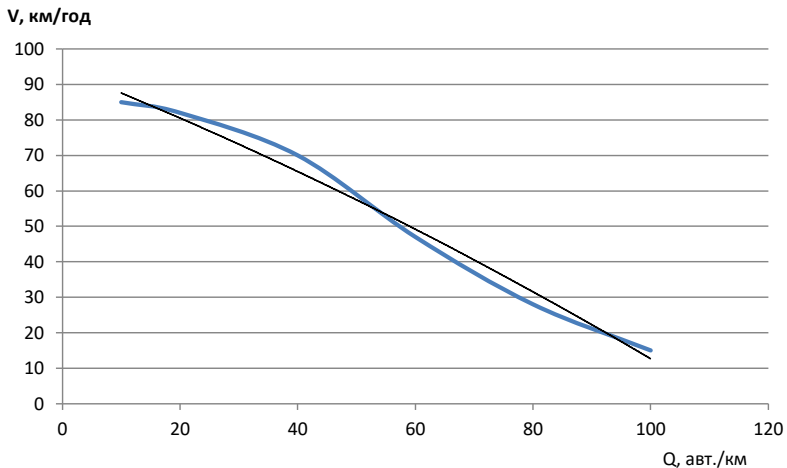
$$V = -0,0016x^2 - 0,6566x + 94,296.$$

Коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,988$ .

Виходячи з проаналізованого матеріалу, був проведений експеримент, який полягав в отриманні даних, а саме: середньої швидкості сполучення транспортних засобів (легкових автомобілів та громадського пасажирського транспорту під час руху по вуличній мережі міста Києва).

За допомогою отриманих результатів визначено швидкості різної забезпеченості. Значення швидкості 15 % забезпеченості характеризує найбільш повільну швидкість сполучення для автомобілів. Величину цієї швидкості слід приймати за мінімально допустиму. Відповідно до отриманих даних цей показник складає для міста Києва 20 км/год.

Показник 85 % забезпеченості показує максимальну швидкість сполучення основної частини переміщень легковим автомобільним транспортом. Для міста Києва цей показник



**Рисунок 5** — Графік залежності швидкості транспортного потоку від його щільності для автомобільної дороги, яка має три смуги руху

складає 31,9 км/год. А також маємо результати 90 %, 75 %, 25 %, 10 % забезпеченості:

$V_{90}$  — швидкість 90 % забезпеченості, складає 33,1 км/год;

$V_{75}$  — швидкість 75 % забезпеченості, складає 28,2 км/год;

$V_{25}$  — швидкість 25 % забезпеченості, складає 23,0 км/год;

$V_{10}$  — швидкість 10 % забезпеченості, складає 18,8 км/год.

Показник середнього значення швидкості сполучення для громадського пасажирського транспорту складає 23,2 км/год.

Швидкості 15 % забезпеченості відповідає 16,1 км/год, 50 % забезпеченості — 21,5 км/год, а 85 % — 28,2 км/год. Швидкість сполучення, що менше 16 км/год, характерна для руху маршрутного таксі (50 % — довжини маршруту) у насиченому транспортному потоці. За умови швидкості сполучення маршрутного таксі від 16 до 21,5 км/год — рух відбувається в режимі пов'язаного транспортного потоку; за швидкості від 21,5 до 28,2 км/год — рух у частково пов'язаному потоці і за швидкості більше 28,2 км/год — рух транспорту, характерний для вільного потоку.

Автомобілі в транспортному потоці залежно від наповнення, стану проїжджої частини та швидкості автомобілів, можуть рухатися в певних межах своїх швидкісних можливостей.

Для характеристик різних станів потоку й умов руху В. Сильянов [20] увів поняття коефіцієнту завантаження рухом (де розрізняють чотири рівні зручності), під яким розуміє відношення інтенсивності руху до пропускнув здатності ділянки дороги.

У роботі [21] зазначено, що рівні зручності, передбачені В. Сильяновим у той час, коли рівень автомобілізації був нижче 100 авт. на 1000 мешканців, і в потоці переважали вантажні автомобілі, складаючи 50–70 %, на сьогодні є неактуальними.

На сьогодні склад і чисельність транспортних потоків різко змінилася і досягла міжнародного рівня, тому раціональніше використовувати градацію рівнів обслуговування, прийняту в американській практиці [21], де запропоновано характеризувати комфортність руху в потоці за рівнем обслуговування та рівнем наявного сервісу, а саме [21; 22]:

- рівень обслуговування А: вільний рух автомобілів у транспортному потоці при щільності  $q$  до 6 авт./км;
- рівень обслуговування В: комфортний рух автомобілів у потоці при щільності  $q=6-12$  авт./км;
- рівень обслуговування С: стабільний стан, але вже статичний рух у потоці при щільності  $q=13-18$  авт./км;
- рівень обслуговування D: характеризує перехід до нестабільного руху, виникають групи з автомобілів, що поволі рухаються, щільність потоку  $q=19-31$  авт./км;
- рівень обслуговування Е: умови руху незадовільні, насичений потік на рівні пропускної здатності, стан руху нестабільний, щільність потоку  $q=32-50$  авт./км;
- рівень обслуговування F: максимально насичений транспортний потік рухається повільно, швидкість потоку  $V_i < 0,5V_0$ , щільність потоку  $q=51-100$  авт./км.

Рівень обслуговування залежить від основних характеристик транспортного потоку: інтенсивності  $N$ , швидкості  $V$ , щільності потоку  $q$ :

$$PO=f(N, V, q). \quad (7)$$

Із наведеної класифікації рівня обслуговування зрозуміло, що під час управління транспортними потоками необхідно не допускати режиму перевантаження елементів ВДМ, які характеризуються рівнем обслуговування D...F, а за умови виникнення подібної ситуації необхідно терміново забезпечити зворотній перехід транспортного потоку у ненасичений стан із рівнем обслуговування А...С.

Головними завданнями у забезпеченні відповідного рівня зручності руху транспортних засобів по ВДМ міст є мінімізація затримок транспорту і підвищення її пропускної спроможності та безпеки руху. Завантаження міської вулиці пішохідними та транспортними потоками безпосередньо впливає на ступінь зручності руху пішохода та автомобіля, на ефективність використання автомобільного транспорту і витрату пального.

**Висновки.** Одним із заходів, що дозволяє покращити умови руху транспортних засобів по ВДМ міст і який направлений

на отримання швидкого результату, є удосконалення механізмів управління пішохідним та транспортним рухом.

Управління складними об'єктами, якими є транспортні та пішохідні потоки, функціонування яких проходить під впливом багатьох факторів зовнішнього середовища, є досить складним процесом. Розробка і дослідження ефективності різних методів управління транспортними і пішохідними потоками вимагають знання закономірностей поведінки транспортних потоків і пішоходів на вулично-дорожній мережі: розподілення інтервалів між транспортними засобами у потоці в заданому перерізі і часу проїзду по заданому перегону та ін.

Велика концентрація населення саме в значних і найзначніших містах потребує удосконалення і пристосування її транспортної інфраструктури до потреб сьогодення шляхом забезпечення її надійного і гнучкого функціонування. Характерною особливістю значних і найзначніших міст є те, що інтенсивне зростання кількості ТЗ в місті, їхнє територіальне розширення або ущільнення забудови новими житловими будівлями, супроводжується різким збільшенням середньої дальності поїздки населення і транспортного впливу на деякі локальні елементи ВДМ, які знаходяться на основних напрямках переміщення транспортних і пасажирських потоків. Саме такі фактори і призводить до погіршення умов транспортного обслуговування міста, значних перевитрат часу і значних фінансових збитків.

Створення умов щодо забезпечення транспортного попиту до належної її пропозиції вимагає чіткого взаємозв'язку цих показників між собою, що базуються на створенні ефективної системи функціонування всього транспорту міста. Треба зазначити, що побудова ефективної системи управління всіма видами транспорту міста полягає у створенні наукової методології організації ефективного функціонування її ВДМ. Упровадження різноманітних заходів із удосконалення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міста неможливе без взаємного розвитку і управління всією транспортною системою міста (розглядаючи спільно роботу вуличного і позавуличного транспорту).



## ЛІТЕРАТУРА

1. Планування і забудова територій: ДБН Б.2.2-12:2019. Чинний від 2019-10-01. Київ : Мінрегіон України, 2019. 177 с.
2. Міста України (за населенням). URL: <https://uk.wikipedia.org>
3. Шелейховський Г. В. Композиция городского плана как проблема транспорта. Москва : Гипрогор, 1946. 242 с.
4. Дубова С. В., Васильева А. Ю., Сильчук В. А. Методы ограничения легкового транспорта в городах. *Містобудування та територіальне планування*. Київ : КНУБА, 2009. № 32. С. 121–127.
5. Генеральний план розвитку м. Києва та його приміської зони до 2025 року (проект). Київ, 2015. URL: [tps://drive.google.com/file/d/0VxbGBoNdb1j6TTRuS3RMQjFINTA/view](https://drive.google.com/file/d/0VxbGBoNdb1j6TTRuS3RMQjFINTA/view)
6. Рейцен Є. О. Організація і безпека міського руху : навчальний посібник. Київ : ТОВ «СІК ГРУП Україна», 2014. 454 с.
7. Дослідження транспортних потоків в аспекті заторових станів дорожнього руху / Першаков В. М., Белятинський А. О., Степанчук О. В., Кротов Р. В. Київ : Національний авіаційний університет, 2015. 176 с.
8. Степанчук О. В. Ефективні методи розподілення транспортних потоків на вулично-дорожній мережі в сучасних умовах. *Вісник Інженерної академії України*. 2013. Вип. 3–4. С. 171–174.
9. Лобашов О. О. Моделювання впливу мережі паркування на транспортні потоки в містах : монографія. Х. : ХНАМГ, 2010. 170 с.
10. Степанчук О. В. Обстеження пішохідних потоків на вулично-дорожній мережі міст. *Проблеми розвитку міського середовища*. Київ : НАУ, 2020. Вип. 2 (25). С. 171–181.
11. Лептюхова О. Ю. Комплексная оценка потребительского качества пешеходных коммуникаций в городских районах : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.22. Москва, 2014. 191 с.
12. Організація та регулювання дорожнього руху : підручник / Поліщук В. П., Бакуліч О. О., Дзюба О. П. та ін. Київ : Знання України, 2014. 467 с.
13. Систематологія на транспорті. Організація дорожнього руху / Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін. Київ : Знання України, 2007. 452 с.
14. Кизима С. С. Експлуатація автомобільний доріг : навч. посібник для студентів вищ. навч. закл. Київ : НТУ, 2009. 272 с.
15. Степанчук О. В. Вплив планувальних особливостей міст на розподілення транспортних потоків на вулично-дорожній мережі. *Проблеми розвитку міського середовища*. Київ : НАУ, 2020. Вип. 1 (24). С. 116–127.

16. Бабков В. Ф. Автомобильные дороги : учебник для вузов. Москва : Транспорт, 1983. 280 с.
17. Степанчук О. В., Тімкіна С. Ю. Аналіз особливостей проектування зупинок громадського пасажирського транспорту на магістральних вулицях. *Наукоємні технології*. Київ : НАУ, 2015. Випуск № 3 (27). С. 266–270.
18. Проектування автомобільних доріг : підручник / Білятинський О. А., Заворицький В. Й., Старовойда В. П., Хомяк Я. В. Київ : Вища школа, 1997. 518 с.
19. Степанчук О. В. Методологія підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст : дис. доктора техн. наук : 05.23.20. Київ, 2018. 427 с.
20. Сильянов В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. Москва : Транспорт, 1977. 303 с.
21. Гук В. І., Шкодовський Ю. М. Транспортні потоки: теорія їх застосування в урбаністиці. Х. : Золоті сторінки, 2009. 232 с.
22. Highway Capacity Manual. — Washington : U. S. Department Commerce, Bureau Public Roads, 2000. 690 p.

## REFERENCES

1. Planning and development of territories: Building code B.2.2-12:2019. Effective from 2019-10-01. Kyiv : Ministry of Regions of Ukraine, 2019. 177 p.
2. Cities of Ukraine (by population). URL: <https://uk.wikipedia.org>
3. Sheleykhovskiy, G. V. Urban plan composition as a problem of transport. Moscow : Giprogor, 1946. 242 p.
4. Dubova, S. V., Vasylieva, A. Yu., Silchuk, V. A. Methods of restricting passenger transport in cities. Urban planning and territorial planning. Kyiv : KNUCA, 2009. № 32. P. 121–127.
5. General plan for the development of the city of Kyiv and its suburban area until 2025 (project). Kyiv. 2015. URL: <https://drive.google.com/file/d/0BxbGBoNdb1j6TTRuS3RMQjFINTA/view>
6. Reitzen, E. O. Organization and safety of urban traffic : study guide. Kyiv : SIK GROUP Ukraine LLC, 2014. 454 p.
7. Study of traffic flows in the aspect of traffic congestion / V. M. Pershakov, A. O. Beliatinsky, O. V. Stepanchuk, R. V. Krotov. Kyiv : National Aviation University, 2015. 176 p.
8. Stepanchuk, O. V. Effective methods of distribution of traffic flows on the street network in modern conditions. Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine. 2013. № 3–4. P. 171–174.

9. Lobashov, O. O. Modeling the impact of the parking network on traffic flows in cities : monograph. Kharkiv National University of Urban Economy, 2010. 170 p.
10. Stepanchuk, O. V. Survey of pedestrian flows on the street and road network of cities. Problems of urban environment development. Kyiv : NAU, 2020. 2 (25). P. 171–181.
11. Leptyukhova, O. Y. Comprehensive assessment of the consumer quality of pedestrian communications in urban areas : dis. cand. tech. sciences : 05.23.22. Moscow, 2014. 191 p.
12. Organization and regulation of traffic : a textbook / Polishchuk V. P., Bakulich O. O., Dzyuba O. P., et al. Kyiv : Knowledge of Ukraine, 2014. 467 p.
13. Systematology in transport. Traffic organization / E. V. Gavrilov, M. F. Dmytrychenko, V. K. Dolya, etc. Kyiv : Znannia Ukrainy, 2007. 452 p.
14. Kyzima, S. S. Operation of roads : education. guide for higher education students. education close. Kyiv : NTU, 2009. 272 p.
15. Stepanchuk, O. V. The influence of planning features of cities on the distribution of traffic flows on the street-road network. Problems of urban development. Kyiv : NAU, 2020. 1 (24). P. 116–127.
16. Babkov, V. F. Highways : Textbook for universities. Moscow : Transport, 1983. 280 p.
17. Stepanchuk, O. V., Timkina, S. Y. Analysis of design features of public passenger transport stops on main streets. Science-intensive technologies. Kyiv : NAU, 2015. № 3 (27). P. 266–270.
18. Motorway design : textbook / O. A. Bilyatinsky, V. Y. Zavorytskyi, V. P. Starovoyda, Y. V. Khomyak. Kyiv : Vyshcha shkola, 1997. 518 p.
19. Stepanchuk, O. V. Methodology for increasing the efficiency of the functioning of the street and road network of cities : diss. doctor of technology Sciences : 05.23.20. Kyiv, 2018. 427 p.
20. Silyanov, V. V. Theory of traffic flows in the design of roads and organization of traffic. Moscow : Transport, 1977. 303 p.
21. Huk, V. I., Shkodovskiy, Yu. M. Transport flows: the theory of their application in urban planning. Kh. : Golden Pages, 2009. 232 p.
22. Highway Capacity Manual. — Washington : U. S. Department Commerce, Bureau Public Roads, 2000. 690 p.