

МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТ

Постановка проблеми. Швидке зростання кількості автотранспортних засобів за останні роки призвело до перевантаження ними вулично-дорожньої мережі (ВДМ) крупних і найкрупніших міст України і особливо їх центрів. Аналізуючи ситуацію, що склалася за останні роки, можна стверджувати, що збільшення кількості автотранспортних засобів України буде продовжуватись, не зважаючи на зменшення кількості населення.

Інтенсивне збільшення автомобільного транспорту, а особливо індивідуального, за останні роки викликало погіршення умов руху і безпеки руху. Це призвело до таких негараздів, як збільшення витрат часу на проїзд, кількості вимушених зупинок, дорожньо-транспортних пригод, виникнення заторів на вулично-дорожній мережі, зменшення швидкості руху транспортних засобів, до погіршення функціонування вулично-дорожньої мережі міст.

Основна частина. У м. Києві реєструється зростання кількості транспортних засобів (до 10 відсотків щорічно). За прогнозами, на період до 2010 року, кількість транспортних засобів, зареєстрованих у місті, становитиме 1 мільйон одиниць. При існуючій щільності вулично-дорожньої мережі міста це призведе до масштабних заторів. Сьогодні також відбувається стрімке зростання рівня автомобілізації серед населення, що становить 274 авто на 1000 мешканців.

Будівництво житла та місць тяжіння (ринки, офіси, торгівельні центри тощо) здійснюється без урахування перспективи загострення проблем транспорту, обумовлених цим будівництвом. Загальна довжина вулично-дорожньої мережі міста Києва становить 1630 км [1], а щільність магістральної мережі складає — 2,13 км/ кв. км (для порівняння: у Москві — 4,4 км/кв. км; у Лондоні — 9,3; у Парижі — 15,0; у Нью-Йорку — 12,4). У столиці вулиці та дороги займають 2% території міста, а отже, аналізуючи статистичні дані, інтенсивність руху на мостах міста в години “пік” у 2—3 рази перевищує проектну пропускну здатність діючих мостів[1].

Повністю ліквідувати негативні наслідки автомобілізації на сьогодні неможливо, тому необхідно розробляти ефективні заходи щодо зменшення їх негативного впливу на міське середовище.

Тому, існує три шляхи вирішення цієї проблеми[2]:

а) великі капіталовкладення - застосування методу, що ґрунтується на реконструкції та будівництві магістралей і доріг без перетинання в одному рівні. (Недоліком цього методу є складність його застосування на вулично-шляховій мережі (ВШМ) міст);

б) середні капіталовкладення - застосування методу, що ґрунтується на реконструкції існуючої ВШМ. (Так само, як і в першому випадку, виникають окремі складності, пов'язані з існуючою забудовою міста);

в) малі капіталовкладення - застосування методів організації дорожнього руху (ОДР).

Суть підходу полягає в тому, щоб вирішити проблему, не змінюючи існуючу забудову міста, із забезпеченням максимального рівня безпеки. Реалізація методів ОДР здійснюється за допомогою технічних засобів організації дорожнього руху (ТЗ ОДР).

Найбільш економічно ефективним є застосування методів ОДР. Згідно [3] виділено сім станів організації дорожнього руху на території міста (рис 1):

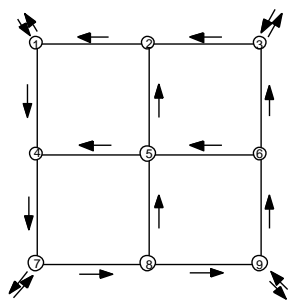
- а) однобічний рух;
- б) саморегульований рух;
- в) нерегульований рух з дорожніми знаками;
- г) ізольоване світлофорне регулювання;
- д) зелена хвиля по магістралі;
- ж) системне управління за допомогою автоматизованих систем управління дорожнім рухом (АСУДР);
- з) розподільна система регулювання з транспортними розв'язками у двох рівнях.

Із перерахованих заходів, на нашу думку, найбільш ефективним є управління дорожнім рухом за допомогою АСУДР.

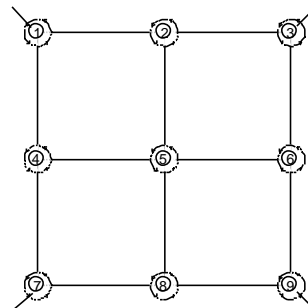
У загальній проблемі підвищення ефективності транспортних процесів важливе місце належить упровадженню автоматизованих систем управління дорожнім рухом (АСУДР) та автоматизованих систем диспетчерського управління (АСДУ), побудованих на базі сучасних засобів автоматики та обчислювальної техніки.

Автоматизовані системи управління дорожнім рухом в Україні діють у 13 містах: Києві, Дніпропетровську, Харкові, Донецьку, Одесі, Запоріжжі, Житомирі, Луганську, Миколаєві, Хмельницькому, Полтаві, Черкасах, Маріуполі.

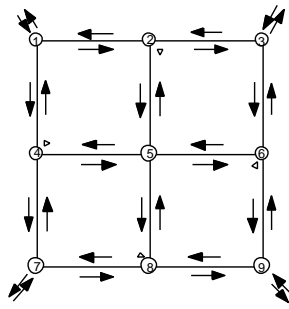
Основною метою впровадження автоматизованих систем управління дорожнім рухом (АСУДР) є підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міста. Впровадження АСУДР дозволяє покращити показники руху транспортних потоків на вулично-дорожній мережі без значних капіталовкладень. АСУДР на даний час є найбільш досконалим комплексом



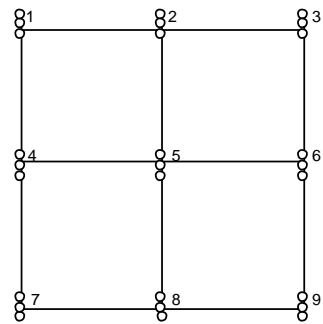
а) однобічний рух



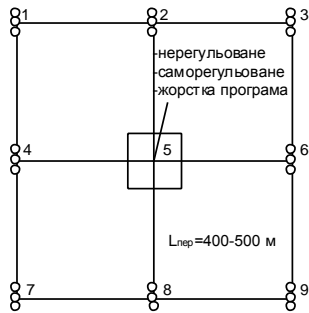
б) саморегульований рух



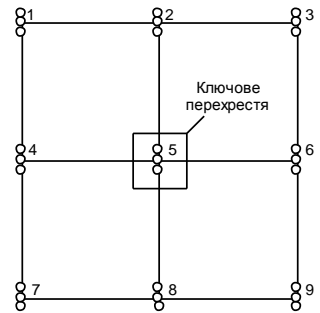
в) нерегульований рух з дорожніми знаками



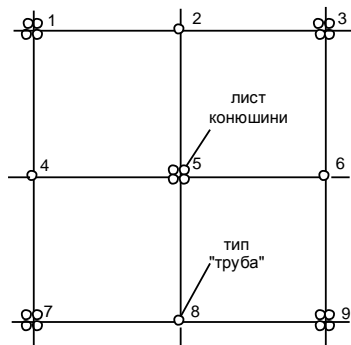
г) ізольоване світлофорне регулювання



д) зелена хвиля по магістралях 1-3; 1-7; 7-9; 3-9



ж) системне управління за допомогою АСУДР



з) розподільна система регулювання з транспортними розв'язками у різних рівнях

Рис.1.Сім станів системи організації дорожнього руху

технічних засобів та програмного забезпечення, що забезпечує максимально можливі скорочення транспортних затримок, збільшує пропускну спроможність магістралі і безпеку руху.

Але, на сьогоднішній день, структура організації дорожнього руху застаріла і уже не в змозі дієво впливати на процеси, що обумовлюють автомобільні затори.

У м. Києві діють 568 світлофорних об'єктів, із яких до існуючої АСКДР підключено 124, що складає 21,8% від загальної кількості. За оцінками фахівців, для забезпечення належного керування дорожнім рухом у м. Києві необхідно довести кількість світлофорних об'єктів, задіяних в АСКДР, до 85—

90% від загальної кількості. Основним недоліком діючої системи є те, що вона морально та фізично застаріла[1]. Діюча АСКДР являє собою примітивний фрагмент сучасних систем, який не може оперативно реагувати на зміни інтенсивності руху, що значно відрізняються від розрахункових.

Досягнення цієї мети потребує вирішення цілого комплексу наукових, технологічних, технічних та організаційних задач, пов'язаних з проектуванням, будівництвом та організацією експлуатації АСУДР.

Організація регулювання дорожнім рухом повинна здійснюватися на основі використання методів моделювання транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міст України.

У сучасних умовах особливо гостро постає питання удосконалення методів прогнозування і планування розвитку транспортної системи, включаючи всі питання розвитку її інфраструктури. Важливого значення в цьому вимірі набуває створення методики комплексної оцінки й оптимізації розвитку вулично-дорожньої мережі в містах та системи організації руху автомобільного транспорту.

Це, перш за все, буде залежати від існуючого стану організації дорожнього руху у підрайоні. Для можливості прийняття раціональних заходів по покращенню стану організації дорожнього руху на ВДМ, необхідно досліджувати властивості вулично-дорожньої мережі як геометричного об'єкта.

Рух автотранспортних потоків здійснюється по вулично-дорожній мережі, тому АТП є визначальними при описі законів функціонування ВДМ.

Відзначимо, що в назві вулично-дорожня мережа є присутнім термін "мережа"[4]. Як математичний термін, він означає наступне: мережею називається зв'язний граф (рис 2). Таким чином, математичне визначення виділяє основні властивості мережі — зв'язність, тобто можливість транспортування з будь-якого вузла мережі в будь-який інший. Якщо ж з якої-небудь причини проїзд по деяких дорогах стає неможливим (затор, ремонт, аварія і т.д.) і при цьому вся ВДМ розпадається на деяку кількість k незв'язаних між собою частин (рис.3.), то ВДМ перестає бути мережею, а стає просто графом з k зв'язковими компонентами.

Для вирішення цих задач у теорії графів [5] вводяться такі числові характеристики, що дозволяють описати якісні властивості мережі, такі як:

- надійність;
- стійкість;
- транспортна доступність вільної мережі;
- транспортна доступність навантаженої мережі.

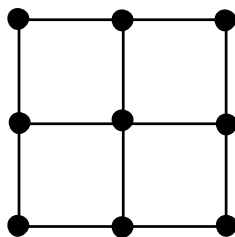


Рис 2. Зв'язний граф

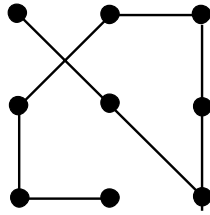


Рис.3. Граф з k зв'язковими компонентами

Основу сучасних АСКДР складають системи моніторингу транспортних потоків та математичне моделювання. За допомогою інтегрованих систем управління, які спроможні реагувати на будь-які зміни дорожньої ситуації, приймаються правильні рішення щодо збільшення швидкості руху транспорту на окремих відрізках та мережі загалом. Затримки часу на світлофорах повинні зводитися до мінімуму завдяки використанню адаптивних методів управління. Вирішальну роль відіграє при цьому вміння збирати та обробляти дані про дорожній рух з будь-яких джерел.

Для того, щоб система управління дорожнім рухом була ефективною, на сьогоднішній день потрібно створити її такою, яка б могла миттєво реагувати на ситуацію, що склалася на ВДМ. Вона повинна бути чутливою до факторів, які характеризують дорожню обстановку, і повинна бути надійною. Надійність є важливою умовою функціонування ВДМ.

Вирішення проблеми потребує перерозподілити транспортні потоки таким чином, щоб працюючі ділянки мережі дозволили рухатися без перешкод.

На основі аналізу цих характеристик можуть бути запропоновані методи оптимізації функціонування вулично-дорожньої мережі міст України шляхом здійснення моделювання транспортних потоків з використанням теорії графів.

Узагальнюючи вищенаведене, можна ввести якісні характеристики вулично-дорожньої мережі. Розглянемо цю процедуру на прикладі району Русанівка у Києві, який лише розглядається як елементарна замкнута частинка міської території, що має усього три входи (виходи).

Представимо даний підрайон у вигляді графа [6] (рис.4), у якого три вершини відповідають зовнішнім входам, а загальне число вершин дорівнює семи, що відповідає числу перехресть. Кожна пара вершин з'єднана ребром, що в реальній ситуації відповідає двосторонньому руху.

Задача ставиться в такий спосіб: чи можна по величині тільки вхідних потоків побудувати картограму інтенсивності руху транспорту усередині даного підрайону, знаючи (чи задаючи) індикатор розподілу у процентному співвідношенні потоків по напрямках у кожному вузлі району.

Розглянемо вибраний граф (рис 5). Між кожною парою суміжних вершин є двосторонні зв'язки. На першому етапі граф із двосторонніми зв'язками розчленовується на три ізоморфних графа з однобічними зв'язками по ребрах, з

одним входом і двома виходами на мережі, для кожного з яких (графів) визначається елементарна задача розподілу.

Необхідно вибрати такі три чи більше графи, "сума" яких, по-перше, цілком показує початкового графа, по-друге, досить повно передає найбільш ймовірні ланцюжки руху потоків транспорту в підрайоні. Для вирішення цих задач складено програми для РС, що дають гарні результати. При цьому вони дозволяють змінювати умови.

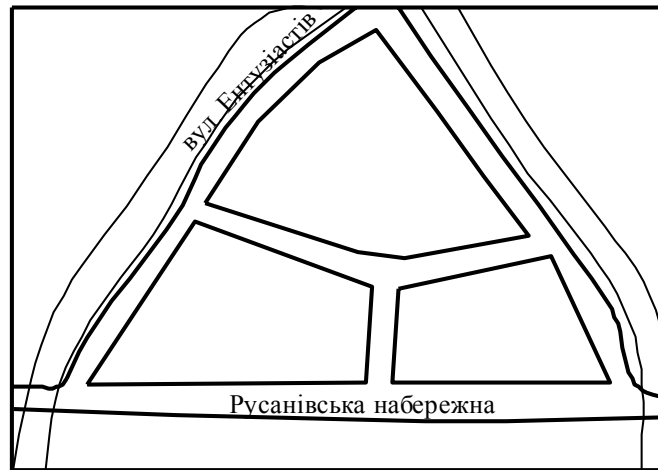


Рис.4. Схема масиву Русанівка

Працюючи над удосконаленням методики моделювання [7], ми звернули увагу на те, що, якщо у вихідному графі на всіх його ребрах задати двосторонній рух транспорту, то процес моделювання зациклюється. Цього можна уникнути, якщо двосторонній граф розчленити на графи з односторонніми зв'язками на ребрах. Таке розчленування на більш прості графи повинне виконуватись таким чином, щоб сума потоків, змодельованих у цих графах, давала початковий граф.

Використовуючи методику моделювання транспортних потоків [10] і розподілу міста на планувально-транспортні елементи (коли район можна розбити на "М" окремих районів, використовуючи методику кафедри міського будівництва КНУБА), можна визначити площу, необхідну для забезпечення руху і стоянки автомашин:

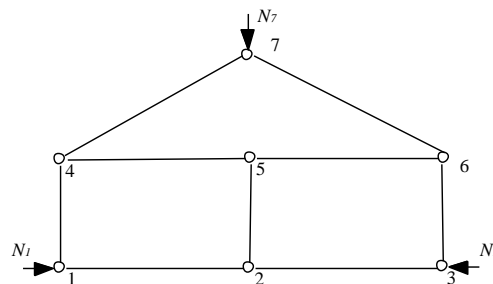


Рис. 5. Русанівка у вигляді графа.

- 1) Визначаємо q - максимальне значення інтенсивності транспортного потоку, який рухається в межах замкнутого району міської вулично-дорожньої мережі.

$$q = \frac{S - S^{\wedge}}{\left\{ \frac{IW(1+P)}{C} + \frac{S_p \gamma}{m} \right\}} \quad (1)$$

де S - загальна площа району;

S^{\wedge} - частина площі району, яка знаходиться під забудовою;

I - середня дальність руху одного автомобіля;

W - ширина однієї смуги;

P – відношення ширини тротуару до ширини смуги руху;

C - пропускна спроможність однієї смуги руху;

S_p – площа, яка необхідна для стоянки однієї автомашини;

γ – коефіцієнт, що враховує долю автомашин, які перебувають на стоянці, в загальному об'ємі руху автомобілів.

- 2) Якщо територія міста розбита на “ M ” окремих замкнутих районів, то для транспортного потоку q_{ci} , який має пункти призначення в іншому районі, можна записати:

$$q_{ci} = \sum_{j=1}^M q_{ji} \quad (2)$$

q_{ji} - потік автомобілів, які рухаються із $j^{го}$ в $i^{ий}$ район

- 3) Площа S_{ci} , яка необхідна для того, щоб забезпечити потоку q_{ci} можливості руху і стоянки автомашин, може бути виражена у вигляді

$$S_{ci} = \frac{I_i W (1+P)}{C} q_{ci} + \frac{S_p q_{ci}}{\mu} \quad (3)$$

де I_i – середня довжина руху одного автомобіля в i -му районі;

μ – коефіцієнт, який є оберненою величиною по відношенню до середнього значення часу стоянки однієї автомашини.

Крім потоку автомашин, які мають пункт призначення в i -му районі q_{ci} , на території цього району рухається ще сума двох потоків:

Один з них – це потік автомашин, місце від'їзду яких розміщено в даному i -му районі, другий – це транзитний потік, який проходить через i -ий район в інші.

q_{bi} – сума вказаних потоків.

- 4) Площу S_{bi} , необхідну для забезпечення можливості руху і стоянки потоку автомашин, можна виразити так:

$$S_{bi} = \frac{I_i W (1+P)}{C} q_{bi} \quad (4)$$

- 5) Повинна виконуватися нерівність:

$$S_{ci} + S_{bi} \leq S_i - S'_i \quad (5)$$

Ми бачимо, що у нашому підрайоні є тільки 3 зовнішні входи, які зв'язують цей район з вулично-дорожньою мережею міста.

Практично планувальну схему вулично-дорожньої мережі будь-якого міста можна розбити на структури з 3 або 4 зовнішніми входами.

Висновки. Моделювання транспортних потоків з використанням теорії графів дозволяє вирішувати цілий ряд завдань, включаючи розрахунок питомих показників дорожнього руху, обґрунтування схем організації руху з перерозподілом транспортних потоків по мережі, введення пішохідної зони, визначення доцільності даних заходів, а також створення експертних систем.

Література

1. Програми розвитку автоматизованих систем управління транспортом міста Києва АСУТ (АСКДР, АСДУ) на 2007—2009 роки.
2. Полозенко П.М. Щодо питання оптимізації режимів світлофорного регулювання на перехрестях вулично-шляхової мережі / Безпека дорожнього руху України. -К.: НДЦБДР, 2000.-№1(6).-С.90-97.
3. Рейцен Е.О., Степанчук О.В. Методи створення і ведення транспортно-екологічного моніторингу в містах України // Містобудування та територіальне планування. -К.: КНУБА, 2004.- №18.-С. 178-185.
4. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. М.: Транспорт. 1972.- 424с.
5. Луканин В.Н., Буслаев А.П., Трофименко Ю.В., Яшина М.В. Автотранспортные потоки и окружающая среда - 2. М.: Инфра-М. - 2001.-645 с.
6. Рейцен Е.А., Степанчук А.В. Моделирование транспортных потоков в городах и мониторинг. // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния/ материалы VII международной научно-практической конференции. Екатеринбург: ЧрГЭУ.-2001.-С.110-113.
7. Рейцен Е.А., Каддах Х. Моделирование транспортных потоков в городах // Безпека дорожнього руху України. Науково-технічний вісник.-2000.-№1(6.)-С.41-46.

Анотація.

Розглядаються методи підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст України шляхом моделювання транспортних потоків з використанням теорії графів.

Аннотация.

Рассматриваются методы повышения эффективности функционирования улично-дорожной сети городов Украины путем моделирования транспортных потоков с использованием теории графов.

Annotation.

The features of increase of efficiency of functioning of street travelling network of cities of Ukraine are examined, by the design of transport streams with the use of theory of the graphs.

Відомість про авторів.

1. Белятинський Андрій Олександрович – завідувач кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів Національного авіаційного університету, доктор технічних наук, професор.

2. Рейцен Євген Олександрович – професор кафедри міського будівництва Київського національного університету будівництва і архітектури, кандидат технічних наук.

3. Степанчук Олександр Васильович – доцент кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів Національного авіаційного університету, кандидат технічних наук.