

ВСТУП

Сукупне перебування транспортних засобів на вулично-дорожній мережі міст створює (особливо у старій забудові) низку проблем – затори перед перехрестями та на прогонах між ними, загазованість повітряного басейну відпрацьованими газами і продуктами зношування шин, електромагнітні випромінювання, підвищені шумові навантаження і ризики скоєння ДТП. Усе це спричиняє негативні впливи на людський організм та природне довкілля. Позбутися повністю цих негативних явищ неможливо, ми приречені стикатися з ними, однак це не означає, що нічого не потрібно робити.

Ефективність використання автомобілів прямо пов'язана, у першу чергу, із автошляхами, ВДМ міст, у другу – із досконалістю організації руху по них. У посібнику розглянуто організацію і регулювання руху транспортних засобів у транспортних потоках лише на міських ВДМ.

У діяльності щодо організації дорожнього руху найуразливішими виявилися перехрестя, тому виникла потреба регулювання проїздів по них, спочатку відповідними жестами регулювальників, відтак світлофорами. Крім дорожніх знаків і світлофорів, не другорядну роль в організації та регулюванні дорожнього руху відіграють горизонтальна та вертикальна дорожня розмітка і дорожнє обладнання як допоміжні засоби (огородження, світлові тумби, напрямні стовпчики, шумові смуги тощо).

Для чого потрібне моделювання транспортних потоків? Чи можна обійтися без нього? Чи можна розрахувати потоки за відомими формулами? Виявляється, ні. Адже відомо, що транспортний попит весь час підлаштовується під будь-які керівні впливи. Спочатку в системі виникає запланований ефект прорахованого розвантаження окремих ділянок ВДМ, але через деякий час попит знаходить вільніші для руху шляхи і повністю завантажує ці ділянки. В результаті прорахований ефект зникає. Для прикладу можна навести таку поведінку транспортних потоків (ТП): якщо на якомусь перехресті тимчасово вийшов з ладу світлофор, то, незалежно від інтенсивності ТП, кількість ДТП не зростає; якщо, у зв'язку з випадковими чинниками, сьогодні збільшиться кількість заторів, то наступного дня інтенсивність ТП знизиться. Отже, можна констатувати, що моделювання ТП потрібне для прийняття адекватних рішень, оскільки динамічна транспортна система має такі властивості, що роблять її непередбачуваною і важкопрогнозованою. Це стосується, зокрема: підлаштування під управління і компенсації збільшення пропускної здатності під час

розвитку ВДМ збільшенням попиту та перерозподілу його у нових умовах; непередбачуваності поведінки кожного водія; впливу випадкових чинників і флуктуацій, пов'язаних із сезонами тощо.

У сучасних умовах невинного зростання автомобілізації актуалізуються подальші наукові пошуки, пов'язані із використанням прогресивних методів і засобів, зокрема комп'ютерних програмних продуктів, і розробленням відповідних прикладних програм, приладів і обладнання для виконання натурних експериментальних досліджень. Отримані з їх допомогою результати адекватно описуватимуть роботу регульованих перехресть з урахуванням різних впливових чинників, що сприятимуть зменшенню затримок у русі транспортних засобів, заторів на ВДМ, забруднень повітряного простору.

Актуальним і найдоступнішим щодо упорядкування проблем з рухом ТП є розроблення заходів, пов'язаних зі зниженням затримок транспортних засобів перед регульованими перехрестями із науковим обґрунтуванням параметрів керування цим рухом. Паралельно зі зростанням рівня автомобілізації збільшувався попит і на паркування, створюючи гострі проблеми, особливо в історично забудованих європейських містах, у яких характерна планувальна структура формувалася століттями, а попит на паркування задовольнити було неможливо. Вуличне паркування ставало звичним явищем, оскільки історичні будівлі не передбачали позавуличного паркування, а біля нових будівель спершу не вимагали закладати нові паркомісця.

Термін “транспортні потоки” (*traffic flow*) почали використовувати за аналогією із потоками у суцільних середовищах, зокрема у рідинах та газах. Одним із першочергових завдань у системі організації дорожнього руху є управління транспортними потоками. Організація та управління дорожнім рухом неможливі без інформації про закономірності формування транспортних потоків та їх розподіл на ділянках ВДМ. Дослідження стосовно інформаційного забезпечення для побудови моделей транспортних потоків, які виконували раніше, не враховували особливостей автоматизованого управління дорожнім рухом та оптимізацію розподілів транспортних потоків. Для того щоб підвищити ефективність використання наявних транспортних систем міста та ВДМ, потрібно розробити багатофункціональні системи керування ТП і дорожнім рухом загалом.

Керування ТП – приклад керування складною системою із характерними властивостями: наявність мети, велика кількість виконавчих функцій, складність, ймовірність та динамічність поведінки, яка проявляється у взаємозв'язках

підсистем і потребує зворотного зв'язку під час керування. Об'єктом керування у такій системі є транспортний потік, що характеризується низкою ознак процесу руху ТЗ – інтенсивність, швидкість, склад та інші показники. З погляду різних споживачів системи керування дорожнім рухом можна виділити різні цілі керування: з позиції фахівця з організації дорожнього руху потрібно максимально використати пропускну здатність ВДМ, для учасників дорожнього руху – можливість руху з бажаною швидкістю, довжину поїздки тощо.

Проаналізувавши маршрути руху маршрутизованого та немаршрутизованого транспорту, можна визначити інтенсивність руху транспортних засобів на ділянках ВДМ. Очевидно, що чинники, які впливають на вибір можливого маршруту руху, визначатимуть розподіл потоків транспортних засобів. До таких чинників належать параметри, які характеризують якість обслуговування, та безліч інших випадкових. Отже, модель вибору можна будувати за імовірнісним принципом. За деяких умов як критерій ефективності розподілу транспортних потоків у мережі можна використовувати сумарний час проїзду по мережі із окремими допущеннями. Положення ТЗ у просторі та часі розглядається як стохастичний процес. А головним чинником, що впливає на вибір можливого маршруту руху, є час, який визначається довжиною маршруту та швидкістю руху.

В умовах глобальної автомобілізації суспільства виникає потреба в оптимізації руху транспортних потоків. Постійний приріст транспортних засобів призводить до утворення заторів і, як наслідок, до почастищення дорожньо-транспортних пригод, економічних та екологічних збитків. До найгостріших проблем, пов'язаних із автомобілізацією, належать: недостатня пропускну здатність ВДМ, яка відстає від інтенсивного зростання кількості ТЗ; в умовах високої динаміки зміни дорожньої ситуації обмежені можливості управління ТП. Для створення ефективної стратегії управління ТП потрібно враховувати широкий спектр їх характеристик, закономірностей впливу зовнішніх та внутрішніх чинників, а також динамічні властивості ТЗ. Розв'язування завдань управління ТП у містах пов'язано із певними труднощами, передусім з виконанням великих обсягів натурних досліджень та комп'ютерних експериментів.

Науковою основою моделювання транспортного руху є теорія ТП. Класичною основою теорії ТП є вивчення взаємозв'язку між основними характеристиками ТП (середня швидкість, щільність, інтенсивність). Сьогодні інтенсивно досліджують макроскопічні та мікроскопічні моделі руху ТП.

Накопичено значний досвід із дослідження процесів руху окремих транспортних засобів та їх потоків. Однак загальний рівень отриманих результатів та їхнього практичного використання недостатній, оскільки не враховано дію таких чинників:

- транспортний потік нестабільний і різноманітний, отримання об'єктивної інформації про нього – найскладніший і ресурсомісткий елемент системи керування;
- критерії якості керування дорожнім рухом суперечливі: необхідно забезпечувати безперервність руху, одночасно знижуючи збитки від нього, накладаючи обмеження на швидкість і напрямки руху;
- дорожні умови, попри певну стабільність, характеризуються непередбачуваними відхиленнями погодно-кліматичних параметрів, які впливають безпосередньо на якість дорожніх покриттів;
- рішення із керування дорожнім рухом завжди неточно реалізуються і, з огляду на імовірнісну природу дорожнього руху, призводять до непередбачуваних ефектів.

Отже, труднощі у формалізації процесу руху транспортного потоку стали серйозною причиною відставання результатів наукових досліджень від вимог практики.

Чи можна обійтися у процесах управління дорожнім рухом у великих містах без математичних моделей і численних експериментів, обмежившись результатами інженерних розрахунків? Приміром, щоб розрахувати розвантаження дорожньої ділянки, потрібно знати, яка кількість автомобілів повертає на деякому перехресті праворуч. Дотепер ніхто туди не повертав – даних для розрахунків немає. Доводиться орієнтуватися на грубі експертні оцінки. І навіть більше, ТП увесь час підлаштовується під керуючі впливи. Ефект прорахованого розвантаження зникає через деякий час унаслідок перерозподілу транспортного потоку. У зв'язку з цим моделювання потрібне через особливі властивості транспортної системи: компенсацію зростання пропускної здатності завдяки розвитку мережі збільшенням попиту й перерозподілом його в нових умовах; непередбачуваність поведінки кожного водія – вибір маршруту, манеру водіння тощо; вплив випадкових чинників (ДТП, погоди тощо) і флуктуації, пов'язані із сезонами, вихідними й святковими днями тощо.

Відомо, що міста характеризуються надто високою щільністю транспортних потоків, низькою середньою швидкістю руху та частими передза-

торними й заторними ситуаціями. Головними причинами цього вважають неоптимальний розподіл транспортних потоків по ВДМ та недостатність управління рухом, низький рівень розвитку ВДМ. Багато міст, особливо в Західній Європі, впоралися з цією ситуацією методом грамотної організації руху і управління попитом на перевезення.

Транспортні проблеми є комплексними й охоплюють обширну ділянку управління. Тому вимірювання, спостереження і моделювання вкрай важливі для розроблення стратегії організації руху. Оскільки проблеми з управлінням транспортними потоками пов'язані із зменшенням (уникненням) заторів чи передзаторних ситуацій, важливе їх вивчення і дослідження. Однак повністю позбутися заторів ще жодна країна донині не змогла. Ось декілька цитат із праць дослідницького центру з Лос-Аламоса 2000 р.: “Стан справ в цій області сьогодні такий, що, незважаючи на значний прогрес, повного *розуміння природи автомобільних заторів це не досягнуто*”. Учені стверджують, що вони ближчі до розуміння процесів зародження Всесвіту, ніж до з'ясування причин утворення автомобільних заторів. Провідний американський експерт з теорії руху автомобільних потоків вважає: “Причина раптового переходу від режиму вільного руху до режиму “stop-and-go” залишається однією з таємниць нашого часу”.

Дослідженням транспортних систем за допомогою математичного моделювання вчені займаються уже упродовж 100 років. Цікаво, що ще у 1654 р. Блез Паскаль звертався у мерію Парижа із пропозицією організувати “...регулярний рух пасажирських карет за попередньо оголошеними маршрутами і розкладами з єдиним тарифом 5 су”. Розмір тарифу він обґрунтував на основі оцінки “вартості часу” середнього міщанина.

Перші спроби математичного моделювання дорожнього руху зробив в 1912 р. російський учений, професор *Г. Д. Дубелір*. Це сприяло розвиткові моделювання транспортних потоків, виконанню аналізу пропускну здатності магістралей і перехресть. У 1934 р. *Гріншїлдс* вивів лінійну залежність між швидкістю і щільністю ТП й одночасно розпочав вивчення пропускну здатності вулиць та перехресть, записуючи статистичні дані й отримуючи відповідні статичні функціональні залежності.

Першу макроскопічну модель, у якій рух ТП розглядався з позицій механіки суцільного середовища, запропонували в 1955 р. *Лайтхілл* та *Уїзем*, які показали, що методи опису процесів перенесення в суцільних середовищах (рідина або газ) можна використати для моделювання заторів.

Математичні дослідження транспортних потоків вперше виділив у самостійний розділ прикладної математики *Ф. Хейт*.

У 60–70-ті роки знову виникла зацікавленість дослідженням транспортних систем. Вона проявилася, зокрема, у фінансуванні численних контрактів, звертанні до авторитетних учених-фахівців з математики, фізики, процесів керування, таких як нобелівський лауреат *І. Пригожин*, фахівець із автоматичного керування *М. Атанс*, автор фундаментальних робіт зі статистики *Л. Брейман*. Наприкінці 80-х – на початку 90-х років проблеми дослідження транспортних систем у США зарахували до проблем національної безпеки.