

УДК 681.51:656

**В. Б. Мокін, д. т. н., проф.;****В. Г. Сторчак, асп.**

## **КОНЦЕПЦІЯ СТВОРЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНОЮ МЕРЕЖЕЮ МІСТА**

*Розглянуто основні проблеми та методи управління транспортними потоками у місті. Охарактеризовано типові закономірності у розподілі завантаженості вулично-дорожньої мережі у різні часи доби, днів тижня, пори року. Проведено аналіз відомих геоінформаційних технологій для управління транспортною мережею. Розроблено нову концепцію створення геоінформаційної системи підтримки прийняття рішень для оптимального управління транспортною мережею міста.*

### **Постановка задачі**

За сучасних умов, у зв'язку із постійним збільшенням кількості транспортних засобів транспортна мережа постійно перевантажується, що призводить до багатогодинних пробок, ускладнення руху пішоходів, збільшення кількості аварій тощо. Проблему перевантаженості доріг можливо вирішити або за рахунок збільшення фактичних розмірів транспортної мережі (збільшення смуг руху, побудова нових доріг, автомобільних мостів тощо), або за рахунок покращення процесу управління транспортними потоками. Але у більшості міст вже неможлива зміна розміру проїжджої частини, а її удосконалення є довготривалим та вартісним процесом. Кращі результати дає другий спосіб — підвищення ефективності управління транспортними потоками з використанням сучасних інформаційних технологій. При цьому необхідно враховувати велику кількість різномірних характеристик транспортних потоків, а також закономірності впливу внутрішніх і зовнішніх чинників на характеристики змішаного транспортного потоку [1].

Просторова розподіленість транспортних систем обумовлює ефективність застосування для них геоінформаційних технологій. Світовий досвід довів, що геоінформаційні системи (ГІС) є оптимальною платформою для комплексних рішень у сфері транспорту [2]. Однак, більшість подібних реалізацій зосереджується або на побудові та оптимізації моделі лише вулично-дорожньої мережі, або лише на моделюванні транспортних потоків на перехрестях, або на дослідженні тільки пасажиропотоку тощо [1, 2]. У той же час, актуальним є створення та застосування ГІС підтримки прийняття рішень для комплексного управління транспортними потоками та мережами у містах.

Для розв'язання транспортних задач створено багато математичних моделей транспортних потоків. Існуючий математичний апарат дозволяє промодельовувати різні параметри руху транспортних потоків та підходи до керування ними. Можна виділити два основних підходи — детермінований та імовірнісний (стохастичний).

В основі детермінованих моделей лежить функціональна залежність між окремими показниками, наприклад, швидкістю та дистанцією між автомобілями в потоці. В стохастичних моделях транспортний потік розглядається як імовірнісний процес із застосуванням відповідного математичного апарату [1].

Усі моделі транспортних потоків прийнято розбивати на три класи: моделі-аналоги, моделі проходження за лідером та імовірнісні моделі.

В моделях-аналогах транспортний потік розглядається як рух транспортного засобу в фізичному потоці (гідро- й газодинамічні моделі). Цей клас моделей прийнято називати макроскопічними [1]. В цьому класі моделей розглядаються моделі Гриншилдса, Грінберга, Лайтхила-Уизема, моделі ударних хвиль у транспортному потоці та гідродинамічні моделі першого і другого порядку.

В моделях проходження за лідером застосовується припущення про наявність зв'язку між переміщенням ведучого й головного автомобіля. В моделях цієї групи враховується час реакції водіїв, детально досліджується рух на багаторядних дорогах, вивчається стійкість руху. Цей клас моделей називають мікроскопічними [1]. До нього належать моделі руху за лідером, клітинні автомати (концепція клітинного автомата фон Неймана) тощо.

В імовірнісних моделях транспортний потік розглядається як результат взаємодії окремих транспортних засобів на елементах транспортної мережі. У зв'язку з негнучким характером обмежень мережі та масовим характером руху, в транспортному потоці виявляються чіткі закономірності формування черг, інтервалів, завантажень по смугах дороги тощо. Ці закономірності мають істотно стохастичний характер [1].

Також, розглядаючи задачу керування транспортними потоками у містах, потрібно враховувати особливості міських доріг та режимів світлофорного керування. Розглянемо декілька з них: методи «Сигрид» та «Сигоп», комбінаційний метод, метод «Транзит» [3].

Метод «Сигрид» призначений для підбору зсуву фаз шляхом мінімізації деяких функцій від сумарної затримки автомобілів на перехресті при фіксованих тривалостях фаз, що вводяться в комп'ютер в якості вихідних даних. Метод «Сигоп» дозволяє, поряд з оптимізацією зсувів фаз, розраховувати їхню тривалість на основі інформації про транспортні потоки й організацію руху на перехрестях. Комбінаційний метод дає можливість мінімізувати не тільки затримку автомобілів біля перехрестя, але також і кількість зупинок автомобілів. При обчисленні критерію якості системи регулювання, що враховує затримку та кількість зупинок, також береться до уваги розпадання групи автомобілів у процесі руху. Метод «Транзит» дозволяє не тільки оптимізувати зсув фаз, але також обчислити і оптимальні значення тривалості фаз. У функціональному відношенні метод «Транзит» є самим повним [3].

Вищеперераховані методи є досить потужними, але застарілими, оскільки при їх створенні не було достатніх потужностей для комп'ютерного моделювання та розрахунку. Сучасні комп'ютерні системи дозволяють ускладнити задачу, врахувати більше факторів та з меншими витратами часу розв'язати транспортну задачу.

### **Аналіз математичних підходів до управління транспортними потоками у місті**

Зміна параметрів транспортних потоків відбувається постійно, але завжди можна відмітити деякі закономірності в русі транспортних потоків у залежності від часу доби (ранок, день, вечір, ніч), виду дня (робочий, вихідний, святковий), сезону року. Причому, ці закономірності будуть підтверджуватись з деякою похибкою, при незмінних умовах керування транспортними потоками.

Розглянемо випадки, коли транспортні потоки формуються в залежності від руху до точок притягання. Точкою притягання назвемо об'єкт або територію масового збирання людей. Це можуть бути навчальні заклади, супермаркети, території масового відпочинку, великі громадські установи тощо. Особливість цих точок (об'єктів) полягає в тому, що, в залежності від часових параметрів доби, сезону року, вони змінюють свою значущість, або взагалі втрачають.

Наприклад, великий навчальний заклад є точкою притягання великої кількості людей в період початку навчання — о 8—9 годинах ранку, потім значущість поступово зменшується і до кінця дня вона падає до мінімуму. Причому, якщо зранку потік людей спрямований до навчального закладу, то вже в обід чи після нього переважає відтік населення з цієї точки. Влітку усі навчальні заклади майже закриваються, а отже втрачається значущість даної точки притягання на період канікул, тож, транспортні потоки перерозподіляються.

Розглянемо окремих район міста та визначимо точки притягання на ньому. Для цього оберемо вид дня — робочий, сезон року осінній. Далі потрібно визначити значущість точок в залежності від часу доби. Розглянемо найбільш значущі точки.

В ранковий час точки притягання будуть такі:

- A1, A2, A6 — навчальні заклади;
- A3, A7 — супермаркети;
- A4, A5 — великі підприємства.

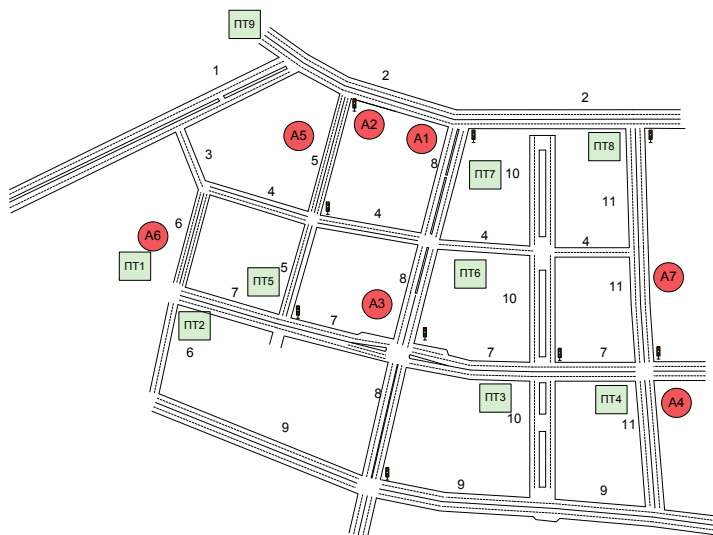


Рис. 1. Схема розташування точок притягання

ку руху до точок А1, А2, А5 будуть  $P_{5,7}$ ,  $P_{7,8}$ ,  $P_{2,5}$ , точки А4 –  $P_{7,11}$ , та для точки А6 –  $P_{6,7}$

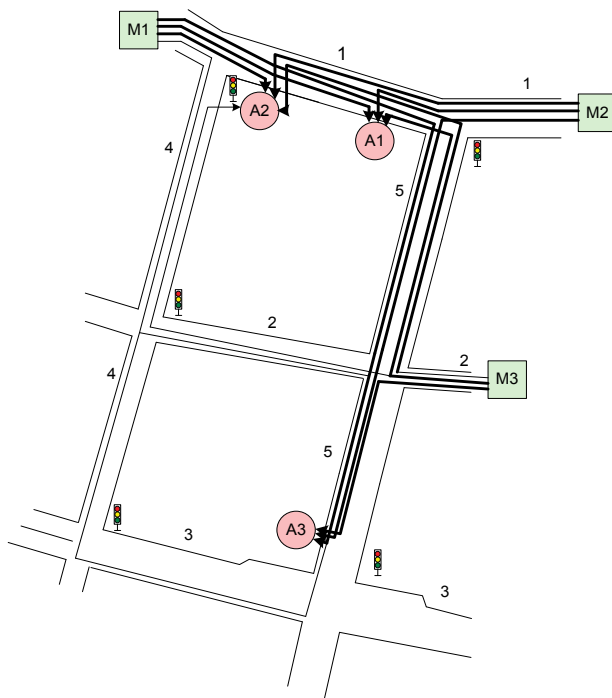


Рис. 2. Карта розподілення транспортних потоків

До уваги не беруться точки ПТ7, та ПТ5, оскільки з цих точок до точок А1, А2, А3 зручніше і швидше добиратись без використання транспортних засобів, тому на їх схемі показувати не варто.

Маючи загальну картину розподілу точок притягання в різні періоди доби, потрібно визначити закони керування транспортними потоками, які будуть рухатися до них. Як бачимо на рис. 1, найбільш завантаженими є перехрестя  $P_{5,7}$  та  $P_{2,8}$ , тобто вони не зможуть забезпечити у повному обсязі потрібний обсяг перевезень у час «пік» без виникнення «пробок». Оптимальним рішенням задачі було б перерозподілити транспортні потоки на сусідні перехрестя (в об'їзд), але, це не розв'яже задачу повністю, оскільки, як правило, менш завантажені перехрестя мають і меншу пропускну здатність. Доцільно таке рішення суміщати з підвищенням пропускну здатності перехрестя  $P_{5,7}$  та  $P_{2,8}$  у пріоритетних напрямках шляхом зміни параметрів закону керування відповідними світлофорами:

$$T = f(R(\tau_1, \dots, \tau_M)), \quad (1)$$

ПТ1 — ПТ9 — місця проживання, тобто точки, з яких починають свій рух більшість людей, місця проживання більшості людей (багатоповерхові будинки, житлові масиви, тощо).

Це пов'язано з тим, що більшість людей будуть добиратись до місць роботи/навчання. В такому випадку точки притягання будуть розташовані таким чином (рис. 1).

В ранковий час рух транспортних потоків буде направлений наступним чином, до точок притягання А1, А2, А5 по вулицях 7, 5, 8, 4, 2, до точки А4 по вулицях 7, 11, та до точки А6 по вулицях 7, 6, 4, вулиці вказано в порядку спадання їх завантаженості. Тоді найбільш завантаженими перехрестями в напрямку

В обідній час потоки перерозподіляться, рух буде відбуватися наступним чином — з точок А1, А2, А5, А6 рух буде направлено до точки А3 — по вулицях 7,8,5, та з А1, А2, А7 до А4 — 2, 11.

Тоді найбільш завантаженими перехрестями в напрямку руху до точки А3 будуть  $P_{5,7}$ ,  $P_{7,8}$ , до точки А4 —  $P_{7,11}$ ,  $P_{2,11}$ .

Розглянемо окремий район та розподіл транспортних потоків у ньому.

На рис. 2 наведена вулично-дорожня схема міста, на якій позначені А1 та А2 — навчальні заклади, А3 — супермаркет, М1 — М3 — це входи схеми з боку точок пріоритету ПТ9, ПТ8, ПТ6, відповідно. ...

Населення живе переважно у напрямках М2 та М3. На М1 знаходиться автовокзал, тому чимала частина населення зранку рухається звідти у місто, а після обіду — навпаки. Зранку рух переважає по вулицях 1, 5 у напрямку до об'єктів А1 та А2. В обід — по тих же вулицях 1, 5 у напрямку від А1 і А2 до А3. Після обіду — від А3 до М2 та М3 по вулицях 1, 2, 5.

де  $T$  — тривалість проїзду,  $R(\cdot)$  — функція визначення режиму світлофорного регулювання перехрестя, зокрема алгоритму зміни фаз світлофора, в залежності від їх тривалості,  $\tau_1, \dots, \tau_M$  — тривалість фаз світлофора, наприклад червоної, жовтої, зеленої фаз, стрілочок для повороту вбік тощо.

Отже за допомогою зміни режиму світлофорного керування, змінюючи тривалості різних фаз світлофора — можна досягти зміни часу проїзду перехрестя, що дозволить значно скоротити витрати часу на проїзд до до точок притягання.

Крім того, можна розширити і геометричні розміри проїжджої частини доріг та перехресть у найбільш завантажених напрямках. Такий комплексний підхід покращить ефективність управління транспортним потоком у даному регіоні в цілому.

Визначивши оптимальні вимоги до управління транспортними потоками, слід ідентифікувати оптимальні параметри законів управління цими потоками (1).

Таким чином, аналіз показав, що є чимало методів, моделей та підходів математичного моделювання параметрів транспортних потоків за різних умов та з урахуванням різних факторів. Усі ці методи в комплексі можна використати для синтезу оптимальних законів управління транспортом у місті. Однак, під час застосування даних методів на практиці основною проблемою є адаптація моделей до конкретної вулично-дорожньої мережі, ідентифікація параметрів моделей на практиці, врахування особливостей та обмежень, знаків та інших факторів, які вже є у місті. Зменшити час на таку адаптацію, охопити розрахунками сотні доріг та перехресть, тисячі комбінацій маршрутів можна тільки з використанням сучасних геоінформаційних технологій, зокрема за допомогою геоінформаційної системи вулично-дорожньої мережі заданого міста.

### **Застосування геоінформаційних технологій до управління транспортними потоками**

Щоб мати змогу приймати більш науково-обґрунтовані рішення щодо оптимізації та пріоритетних шляхів удосконалення транспортної інфраструктури, потрібно створити систему, яка надасть можливість аналізувати важливі параметри транспортної мережі та транспортних потоків.

Розглянемо та проаналізуємо декілька відомих потужних геоінформаційних систем та ГІС-середовищ: PTV Vision, TransNet, ArcGIS, ГІС «Панорама» [4—8].

PTV Vision — це пакет прикладних програм для планування, аналізу та організації транспортного руху. Пакет програм PTV Vision® застосовують на різних етапах — від підготовки проектів організації та аналізу схем руху на перехрестях і розв'язках до досліджень комплексних транспортних систем міст і регіонів, у т.ч. створення перспективних інтегрованих транспортних концепцій для індивідуального й громадського транспорту. PTV Vision® дозволяє розв'язувати задачі оперативного і стратегічного транспортного планування [4].

TransNet — це програма, призначена для моделювання транспортних потоків в мережі великого міста або міської агломерації. Зручний інтерфейс користувача при роботі з картою (масштабування й навігація, спливаючі підказки, алфавітний пошук об'єктів, велика кількість функцій перегляду) робить цей пакет досить зручним у використанні. Для розрахунку завантаження транспортної мережі реалізований алгоритм пошуку рівноважного розподілу потоків з декількома класами користувачів. Розрахунок пасажирських потоків на громадському транспорті може бути зроблений як в «мережевій», так і в «маршрутній» формі, з використанням алгоритму оптимальних стратегій [5].

ArcGIS — комплекс програмних продуктів нового покоління, відомих у всьому світі. Розробник — компанія ESRI (США). ArcGIS 9 є оптимальним рішенням для побудови корпоративної ГІС, фундаменту інформаційної системи ефективного керування великими державними й комерційними організаціями [6].

ГІС «Панорама» — комплекс програмних продуктів, розроблених російським конструкторським бюро «Панорама». Програмний комплекс є універсальною геоінформаційною системою, за допомогою якої можна створювати та редагувати електронні карти, виконувати різноманітні виміри і розрахунки. На базі цього забезпечення побудовано чимало потужних комп'ютерних і програмних систем, які є поширеними в Україні, РФ, та в інших країнах світу. Відомими є такі системи: «Система моніторинга автотранспортних средств» — розробник НПУП «СКБ Камертон» (Білорусь), «Програмное обеспечение оценки взаимного расположения подвижных объектов на электронных картах местности» — розробник НДЦ Інституту інженерної фізики (РФ) та «Геоін-

формаційна система підтримки прийняття рішень для моніторингу та оптимізації транспортної мережі м. Вінниці», створена у 2008 році на замовлення Вінницької міської адміністрації за участі авторів роботи (ВНТУ, Україна) [7, 8].

На жаль, існуючі геоінформаційні системи не дозволяють в повному обсязі проаналізувати та розв'язати весь спектр транспортних проблем, зокрема не мають можливості планування та оптимізації дорожньої мережі. Крім того, їх математичний апарат є дещо обмеженим і містить не усі основні відомі підходи щодо моделювання транспортних потоків та управління транспортом у містах.

Проаналізувавши ці та інші відомі системи, можна зробити такі висновки: геоінформаційна система підтримки прийняття рішень для управління транспортною мережею міста повинна містити такі інформаційні складові:

1. База даних, яка містить інформацію про транспортну мережу.
2. Карта геоінформаційної системи, за допомогою якої буде проводитись просторова обробка та візуалізація дорожньо-транспортної мережі.
3. Програмні модулі аналізу та обробки інформації, за допомогою яких можна розв'язувати багато прикладних задач з управління транспортними потоками.
4. Програмні модулі підтримки прийняття рішень, які дадуть змогу, в залежності від поставленої задачі, сформулювати набір оптимальних рішень задачі оптимізації дорожньо-транспортної мережі.

### **Основні положення концепції управління транспортними потоками у місті**

На основі проведеного аналізу наявних математичних можливостей у розв'язанні задач з управління транспортними потоками у місті, можливостей геоінформаційних технологій (ГІС-технологій) та специфіки задачі в цілому, пропонуємо таку концепцію створення геоінформаційної системи підтримки прийняття рішень для управління транспортною мережею міста:

1. Повинна бути створена модель вулично-дорожньої мережі за допомогою ГІС-технологій. Вона повинна бути доволі гнучкою — містити можливості редагування існуючої моделі, створення нових об'єктів, застосування нових методів та алгоритмів її оптимізації.
2. Слід виявити основні місця тяжіння та місця проживання (багатоповерхові будинки, тощо) міста, ідентифікувати модель їх функціонування (протягом доби, тижня, сезонів року) та відносно них провести моделювання та прогнозування основних транспортних потоків міста.
3. Провести натурні спостереження реальних потоків — з використанням відеоспостереження у різні часи доби та дні тижня, у найбільш проблемних точках міста та уточнити синтезовану теоретично модель транспортних потоків міста.
4. Проаналізувати наявні та розробити оптимальні режими фаз світлофорного регулювання на перехрестях з метою забезпечення максимальної пропускну здатності вулиць міста у пріоритетних напрямках, відповідно до моделі місць тяжіння. На перехрестях, що не мають світлофорного регулювання — розглянути доцільність його введення та розробити оптимальні режими регулювання.
5. Проаналізувати розстановку дорожніх знаків, які регулюють рух транспортних засобів, розробити методичні рекомендації по встановленню нових або ліквідації старих знаків, що дасть змогу, в комплексі зі світлофорним регулюванням, збільшити пропускну здатність вулиць у пріоритетних напрямках.
6. Дослідити можливості збільшення пропускну здатності вулично-дорожньої мережі за рахунок оптимізації цієї мережі з використанням різного роду заходів коротко- та довгострокового характеру. У разі запровадження реальних змін на практиці знову перейти до етапу 1.
7. За допомогою ГІС-технологій здійснити візуалізацію усіх сценаріїв зміни параметрів вулично-дорожньої мережі та заходів щодо управління транспортними потоками як у даний час, так і на перспективу. Надати можливість передбачити всі можливі наслідки таких змін, вказати напрямки, у яких є можливим покращення функціонування дорожньо-транспортної мережі.

8. Спільно з органами Державтоінспекції розробити та апробувати комплекс заходів щодо управління транспортними потоками. Створити інформаційні портали для інформування населення, у т.ч. водіїв, про оптимальні та помилкові маршрути руху для досягнення тих чи інших місць тяжіння, у т.ч. з урахуванням стану самих доріг.

9. Періодично повертатись до кожного з етапів і оновлювати інформацію та розрахунки.

### Висновки

Проведено аналіз можливості застосування геоінформаційних технологій для управління транспортною мережею міста. Розглянуто основні підходи до моделювання транспортних потоків та методів керування ними. Охарактеризовано типові закономірності у розподілі завантаженості вулично-дорожньої мережі у різні часи доби, дні тижня, пори року. Розроблено концепцію створення геоінформаційної системи підтримки прийняття рішень для оптимального управління транспортною мережею міста, яка на відміну від існуючих, передбачає комплексну оптимізацію і геометричних параметрів вулично-дорожньої мережі, і параметрів законів управління транспортними потоками на перехрестях, і характеристик розподілу пасажиропотоку у різні часи доби, дні тижня, пори року з використанням геоінформаційних технологій.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса / В. В. Семенов // Математические методы в синергетике. — Режим доступу : <http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2005/kita/shapovalova/library/semenov.pdf>
2. Андрианов В. ГИС и транспорт / В. Андрианов // ARCVIEW. Современные геоинформационные технологии. — 2007. — № 3. — С. 15—18.
3. Гаврилов А. А. Моделирование дорожного движения / А. А. Гаврилов. — М. : Транспорт, 1980. — 189 с.
4. PTV Vision — пакет программного обеспечения по планированию и организации дорожного движения. — Режим доступу : <http://www.ptvvision.ru/xslt.php?xml=modules&language=ru>.
5. TransNet — [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.isa.ru/transnet/index.htm>.
6. Продукты компании ESRI (США). — Режим доступу : <http://www.dataplus.ru/Soft/ESRI/index.htm>.
7. Продукты КБ Панорама (РФ). — Режим доступу : <http://gisinfo.ru/projects/projects.htm#roads>.
8. Оптимізація транспортної мережі міста Вінниці : звіт з НДР / Буренніков Ю. А., Біліченко В. В., Мокін В. Б., Сторчак В. Г. та ін. / Вінниц. нац. техн. ун-т. — 1802 (№ ДР 0107U012444). — Інв № 02084006119. — К., 2007. — 543 с.

Рекомендована кафедрою моделювання та моніторингу складних систем

Надійшла до редакції 21.10.08  
Рекомендована до друку 20.11.08

**Мокін Віталій Борисович** — завідувач кафедри, **Сторчак Володимир Григорович** — аспірант.

Кафедра моделювання та моніторингу складних систем, Вінницький національний технічний університет