

УДК 656.13: 519.816

Л.С. Абрамова, С.В. Капінус

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ БАЛАНСУ МІЖ ПАРАМЕТРАМИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Обґрунтовано доцільність застосування фундаментальної діаграми, як основи транспортного моделювання та визначено послідовність розрахунків параметрів потоку для побудови діаграми у вигляді аналітичних залежностей із проведенням експерименту на ділянці вулично-дорожньої мережі м. Харків з метою визначення необхідного балансу між інтенсивністю та пропускнуою спроможністю, що впливає на працездатність транспортної мережі.

Ключові слова: транспортне моделювання, фундаментальна діаграма, інтенсивність, пропускна спроможність, баланс параметрів.

Постановка проблеми

Досить тривалий час проблема автомобільного руху є головною для великих міст нашої країни. Транспортні затори на дорогах стають причиною не тільки часових, а й економічних та народногосподарських витрат. Тому питання управління дорожнім рухом (ДР) стає вельми актуальним у дійсний час. Вирішенню цієї проблеми сприяє розвиток систем управління дорожнім рухом, що впливає на комунікаційну функцію сталого розвитку міста. Дорожній рух розглядаємо як сукупність транспортного потоку (ТП), пішохідного потоку (ПП) та вулично-дорожньої мережі (ВДМ).

Основна мета впровадження автоматизованої системи управління дорожнім рухом (АСУДР) полягає у підвищенні пропускнуої спроможності ВДМ при забезпеченні необхідного рівня безпеки учасників дорожнього руху.

Якщо дотримуватися відомої класифікації АСУДР [1], то кожен діючу систему можливо віднести до одного з п'яти поколінь:

– Покоління 1. Розрахунок керуючих впливів та введення їх у систему виконується вручну;

– Покоління 2. Розрахунок керуючих впливів автоматизований, але введення їх у систему виконується вручну;

– Покоління 3. Розрахунок керуючих впливів та введення їх в АСУДР автоматизовані;

– Покоління 4. Управління здійснюється у реальному часі, тобто система працює у автоматичному режимі;

– Покоління 5. Інтелектуальні системи управління, які займають окреме місце у теорії управління.

На рівні технічного та алгоритмічного забезпечення для 2 та 3 поколінь розроблені

периферійні технічні засоби регулювання, які поширюють функціональні можливості методів управління ДР, але відсутність сучасних детекторів транспорту (вимірюючих пристроїв) є стримуючим фактором розвитку управління ДР у реальному часі, тобто проектуванню адаптивних систем управління. У зв'язку з цим, виникає необхідність оперативного реагування на мінливі зовнішні умови руху, на коливання параметрів ТП (інтенсивності та швидкості), що впливають на зміну рівнів завантаження ВДМ міста. Ефективне управління ДР у таких складних умовах повинно забезпечувати завантаження ВДМ із урахуванням її пропускнуої спроможності на підставі організації рівномірного руху ТП, тоді, як саме при цьому режимі руху соціальні, екологічні та економічні критерії ефективності мають оптимальне значення.

Незважаючи на те, що розрахункова величина пропускнуої спроможності вулиць і доріг є нормативним параметром, при проектуванні ВДМ в процесі ДР вона стає величиною змінною і залежить від кліматичних умов, ремонтних робіт та від інших надзвичайних ситуацій (ДТП), також як і нерівномірність інтенсивності ТП. На підставі цього, мета управління і завдання збільшення пропускнуої здатності зводиться до забезпечення балансу між реальною пропускнуою спроможністю ВДМ і інтенсивністю ТП.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На підставі того, що ми сформулювали завдання підвищення пропускнуої спроможності ВДМ як визначення балансу між пропускнуою спроможністю і інтенсивністю ТП, припускаємо, що за допомогою транспортної моделі ВДМ можна визначити діапазон зміни інтенсивності при якій пропускна здатність буде оптимальною.

Така постановка задачі істотно змінює підхід до розробки алгоритмів управління і, власне, моделей на яких вони засновані.

До основних проблем, які формують шляхи вирішення поставленого завдання можна віднести:

- поява заторових ситуацій на ВДМ і їх еволюція;
- виникнення черги на проїзд перехресть зі світлофорним регулюванням;
- забезпечення оптимальної швидкості руху транспортного потоку по вулицях міста різної категорії;
- забезпечення функціонування в працездатному стані транспортної мережі міста.

Повне або часткове вирішення описаних проблем дозволить здійснити проектування систем управління дорожнім рухом нового покоління або вдосконалити існуючі.

Для управління ДР на транспортній мережі міст в усьому світі використовуються системи управління, алгоритми функціонування яких засновані на моделях транспортних потоків. При цьому вимоги до точності і адекватності моделей досить високі. Транспортне моделювання дозволяє вирішувати завдання проектування нових і модернізації існуючих систем управління і схем організації дорожнього руху, а також усувати надзвичайні ситуації на ВДМ.

Вибір типу технології управління залежить від постановки завдання і цілі управління ДР. Проведений аналіз математичного забезпечення відомих в світі систем управління [2], показав, що воно засноване на реалізації макро та мікро моделей взаємозалежності основних параметрів ТП та параметрів руху окремих транспортних засобів.

На даний момент часу накопичилася величезна кількість матеріалів, присвячених транспортній проблемі, які реферуються в таких відомих наукових журналах як: «Transportation Research», «Physical Review E», «Review of modern physics», «Transportation Science».

Незважаючи на те, що понад півстоліття провідні відомі фахівці в галузі математичного моделювання ДР інтенсивно працюють в цьому напрямку, проблема предзаторового і заторового режимів руху ще до кінця не вивчена [3] і є основною при управлінні ДР у великих містах.

Основу моделювання ТП становлять макро і мікромоделі: перші макроскопічні моделі (гідродинамічні), в яких транспортний потік розглядається подібним потоку стисливої рідини (М. Лайтхілл і Дж. Уїзем, П. Річардс (LWR)) [4] і перші мікроскопічні моделі (слідування за лідером), які описують рух кожного автомобіля (А. Решель, Л. Пайнс) [5]. В моделі LWR наводиться опис функціональної залежності (рівняння стану) між

інтенсивністю потоку (N), швидкістю (V) і щільністю (q):

$$N = Vq \quad (1)$$

Цю залежність називають фундаментальною діаграмою транспортного потоку, так як вона дозволяє не тільки визначати параметри ТП, а й межі переходу ТП з одного стану в інший (вільний-синхронізоване-стислий), що дозволило обґрунтувати і визначити рівні завантаження ВДМ [6]: вільний рух (автомобілі рухаються у вільних умовах, взаємодія між автомобілями відсутня); частково зв'язаний рух (автомобілі рухаються групами, виникає багато обгонів); зв'язаний рух (в потоці ще існують великі інтервали між автомобілями, обгони ускладнені); насичений рух (суцільний потік автомобілів, що рухається з малими швидкостями); щільний рух, насичений (потік рухається з зупинками, виникають затори).

Основні емпіричні властивості переходу до щільного ТП, згідно [7] полягають у наступному:

- перехід до щільного транспортного потоку є переходом F-S (freeflow-synchroni-zed flow), тобто від вільного до синхронізованому потоку;
- перехід F-S може бути як спонтанним так і викликаним зовнішнім обуренням близько одного і того ж місця на дорозі – «вузького місця»;

Тому, згідно з [8] існуючі моделі щільного потоку можна розділити на 2 класи:

1. Моделі типу LWR, в яких перехід до щільного транспортного потоку, виникає не в результаті нестійкості, а за рахунок існування точки, в якій досягається максимум інтенсивності на фундаментальній діаграмі;

2. Моделі типу «Дженерал Моторс» (ДМ), в якій перехід до щільного потоку пов'язаний з нестійкістю модельних рішень близько критичної щільності транспортного потоку. Детальний огляд цього класу моделей наведено в [9].

Моделі LWR-типу не дозволяють описати параметри щільного потоку (права сторона діаграми), моделі ДМ-класу дають можливість окреслити параметри руху транспортного потоку при підвищеній щільності з урахуванням нестійкості його параметрів (ліва частина фундаментальної діаграми) [10].

До таких параметрів належать наступні:

- швидкість поширення «ударних хвиль», які виникають назустріч руху ТП;
- максимальна щільність ТП (бампер до бампера);
- критична щільність ТП при максимальній інтенсивності ТП.

Тому залежність (1) не є безперервною і має складну структуру з двох гілок, і як наслідок цього форма фундаментальної діаграми має декілька представлень – трапецієвидну, трикутну і складну –

нелінійну справа і розірвану зліва в точках, де змінюється рівень завантаження дороги, тобто в точках де відбуваються скачки зміни щільності транспортного потоку [11].

На підставі проведеного аналізу методів та моделей залежності основних параметрів ТП, для практичного транспортного моделювання необхідно обрати таку форму основної залежності параметрів ТП, яка дозволить визначити характеристичні параметри та побудувати фундаментальну діаграму на емпіричних даних перегонів діючої ВДМ міста.

Мета статті

Підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст за рахунок визначення балансу між параметрами дорожнього руху.

Виклад основного матеріалу

Формування керуючого впливу при управлінні ДР можливо лише при наявності інформації щодо параметрів транспортних і пішохідних потоків та характеру дорожніх умов, у яких відбувається рух. На основі досліджень та організації дорожнього руху вироблені численні показники та критерії для його опису, проте досі немає єдиного загально визнаного комплексу характеристик. До найбільш часто застосованих параметрів дорожнього руху відносяться: інтенсивність руху, склад ТП, щільність потоку транспортних засобів, швидкість руху, тривалість затримок руху. Коливання інтенсивності руху ТП призводить до негативних наслідків на ВДМ, таким як затримки транспортних засобів, ДТП, забруднення повітряного басейну, підвищений рівень шуму, додаткові витрати палива. Інтенсивність впливає на всі ці параметри, причому зі збільшенням інтенсивності її негативний вплив посилюється, коли фактична інтенсивність руху ТП на ВДМ наближається до максимально можливої. Тобто інтенсивність руху ТП є первинним параметром при дослідженні процесу ДР, тоді як він є основним елементом в транспортній системі міста. Інші ж параметри є вторинними або похідними і фактично відображають умови та режими дорожнього руху.

При оперативному управлінні на рівні прийняття рішень необхідно визначити керуючі впливи, які впливають на працездатність транспортної мережі. У зв'язку з цим основою оперативного управління є контроль параметрів ТП з подальшим аналізом для застосування методів управління, які надають можливість змінювати інтенсивність транспортних потоків на елементах ВДМ. До них відносяться методи:

– зменшення щільності транспортних потоків на магістралях міста в пікові години;

– надання інформації для водіїв при виборі маршруту руху, а саме попередження про ДТП на маршруті слідування, а також можливі шляхи об'їзду заторових ділянок руху;

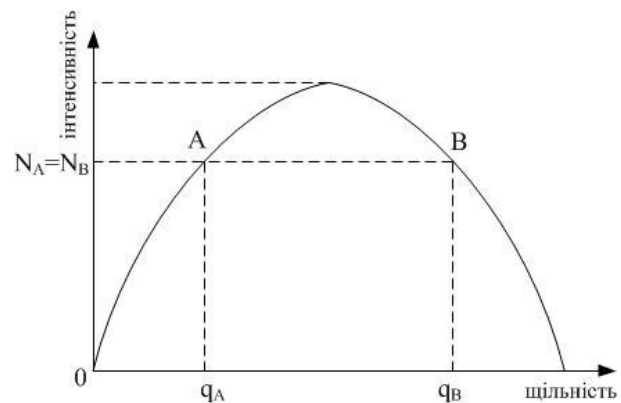
– керування ТП на основі регулювання вхідних потоків на завантажених магістралях міста;

– динамічне управління швидкістю руху ТП для забезпечення рівномірного руху транспортних засобів і підвищення інтенсивності транспортного потоку на складних ділянках ВДМ;

– координація роботи світлофорних пристроїв в зонах ВДМ.

Для дослідження параметрів ТП, які дозволяють враховувати коливання інтенсивності транспортних потоків пропонуємо побудову фундаментальних діаграм для перегонів ВДМ, на яких виникають ускладненні режими руху.

Основними труднощами і обмеженнями при виборі способу побудови фундаментальної діаграми є недостатній обсяг даних для моделей вищого порядку, що обмежує їх практичне застосування. На підставі цього вважаємо, що модель LWR і її відомі аналоги добре підходять для управління ДР (рис. 1).



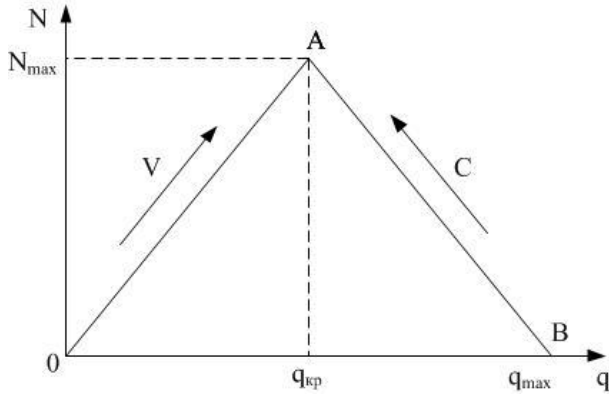
N_A, N_B – інтенсивність ТП відповідно у точках А і В;
 q_A, q_B – щільність ТП відповідно у точках А і В.

Рис. 1. Фундаментальна діаграма ТП

З фундаментальної діаграми випливає, що одному і тому ж значенню інтенсивності відповідають різні щільності ($q_A < q_B$) і, як наслідок, різні швидкості ($V_A > V_B$). Причому V_A відповідає швидкості ТП без перешкод, а V_B зменшується, тому що зі збільшенням щільності ТП виникає «ударна хвиля», яка спрямована назустріч руху основного потоку, зменшуючи його швидкість. Отже, параметр «швидкість ударної хвилі» має істотний вплив на параметри ТП і вимагає визначення при побудові фундаментальної діаграми. На підставі наведених доводів ми вважаємо, що трикутна форма діаграми найбільш застосовна до практичних досліджень.

При виборі форми фундаментальної діаграми ми керувалися досвідом вчених Барклієвої групи [12] в управлінні дорожнім рухом (рис. 2).

Коли транспортний потік рухається в вільному режимі, щільність і інтенсивність прагнуть до максимуму і визначають точку А, отже ліву частину діаграми можна описати рівнянням $N_{\max} = V \cdot q_{кр}$.



V – швидкість ТП; C – швидкість ударної хвилі.
Рис. 2. Трикутна форма діаграми ТП

Точка В ($q_{\max}, 0$) відповідає максимальній щільності потоку при тому, що інтенсивність і швидкість рівні 0. Тоді праву частину діаграми можна побудувати виходячи із залежності:

$$N_{\max} = c(q_{\max} - q_{кр}) \quad (2)$$

Отже, визначаючи координати точки переходу правої частини діаграми в ліву частину діаграми, можна отримати рівність:

$$V \cdot q_{кр} = c(q_{\max} - q_{кр}) \quad (3)$$

Дані вимірювань в лівій частині фундаментальної діаграми (в зоні вільного руху) можуть бути апроксимовані прямою лінією, в той час як дані в правій частині фундаментальної діаграми (в зоні ускладненого руху) мають значний розкид. Цей розкид залежить від розбіжностей вимірювання інтенсивності і швидкості транспортного потоку, що створює відповідну невизначеність фундаментальної діаграми. Тоді справедливо припущення, що значення інтенсивності вхідних потоків знаходяться в інтервалі $N_{ex}^- \leq N_{ex} \leq N_{ex}^+$; значення максимальної пропускної здатності – в інтервалі $P^- \leq P_{расч} \leq P^+$ і, відповідно щільність – $q^- \leq q \leq q^+$, а швидкість вільного руху відома (V_{cs}) (рис. 3).

Наявність розбіжностей виміру визначає наявність верхньої межі параметрів (гіршого) (+) і нижньої межі параметрів (кращого) варіанту (-) зміни інтенсивності і щільності ТП.

При цьому діапазон зміни критичної щільності $q_{кр}$ можна визначити як:

$$q_{кр}^+ = \frac{N_{ex}^+}{V_{cs}}; \quad q_{кр}^- = \frac{N_{ex}^-}{V_{cs}} \quad (4)$$

В свою чергу швидкість поширення ударної хвилі з урахуванням невизначеності можна визначити наступним співвідношенням:

$$c^- = \frac{N_{ex}^-}{q_{кр}^- - \frac{N_{ex}^-}{V_{cs}}}; \quad c^+ = \frac{N_{ex}^+}{q_{кр}^+ - \frac{N_{ex}^+}{V_{cs}}}, \quad (5)$$

де c – швидкість «ударної хвилі».

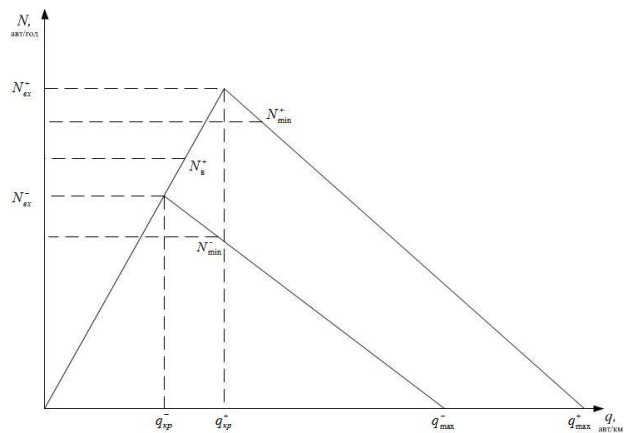


Рис. 3. Трикутна фундаментальна діаграма ТП

Концентрація транспортних засобів, що виникає в щільному потоці, утворює «ударні хвилі», які рухаються назустріч основному потоку і впливають на зміну основних параметрів ТП, тому інтенсивність ТП з урахуванням параметрів «ударної хвилі» в потоці визначається як:

$$N_{\min}^- = (V_{cs} - c^-) \cdot q_{кр}^-; \quad N_{\min}^+ = (V_{cs} - c^+) \cdot q_{кр}^+ \quad (6)$$

На основі запропонованого підходу, послідовність побудови фундаментальної діаграми транспортного потоку набуває вигляду:

1. Формуємо схему ділянки транспортної мережі із визначенням відповідних топологічних параметрів (довжина $l_{пер}$ та ширина перегону).

2. Визначаємо інтенсивність ТП на ділянці або методом натурних спостережень, або за допомогою детекторів транспорту при цьому максимальна інтенсивність це N_{ex}^+ , а мінімальна N_{ex}^- .

3. Визначаємо щільність ТП (q_{\max}^-), як максимальну кількість автотранспортних засобів (АТЗ), які розташовані на перегоні на підставі

відомих значень середньої довжини АТЗ (l_a) та дистанції безпеки ($l_{без}$)

$$q_{\max}^- = \frac{l_{пер}}{l_a + l_{без}} \cdot n \quad (7)$$

де n – кількість смуг руху.

При визначенні q_{\max}^+ враховується, що дистанція безпеки $l_{без}$ між АТЗ у щільному потоці зменшується майже вдвічі.

4. Із рисунку 3 обираємо нормативні значення швидкості руху ($V_{св}$) та інтенсивності транспортного потоку, що дорівнює пропускній спроможності ділянки ($P = N_{\max}$) відповідної категорії міських вулиць та доріг.

5. На підставі залежності (4) визначаємо критичне значення щільності ТП ($q_{кр}^+$; $q_{кр}^-$) для максимальної та мінімальної інтенсивності ТП.

6. Визначаємо швидкість «ударної хвилі» (с) для обох варіантів зміни інтенсивності за залежністю (5).

7. Тоді максимальну інтенсивність для кращого варіанту дорожнього руху на перегоні (N_e^+) можливо визначити за залежністю:

$$N_e^+ = V_{св} \cdot q_{кр}^+ \quad (8)$$

де $q_{кр}^{\pm}$ – середнє значення критичної щільності ТП для кращого та гіршого випадків.

8. Мінімальна інтенсивність ТП для кожного випадку (крива у правій частині діаграми) (N_{\min}) залежить від швидкості «ударної хвилі», тому її значення визначимо за залежністю (6).

На підставі проведених розрахунків отримали діапазон зміни інтенсивності ТП, що визначає сприятливі умови дорожнього руху та забезпечує оптимальну продуктивність ВДМ, який визначається як $N_{\min}^- - N_{\min}^+$.

Таким чином можливо отримати кількісний діапазон зміни інтенсивності ТП для кожного типу міських вулиць та доріг, що надасть змогу у реальному часі при вимірі поточної інтенсивності дієвий інструмент оцінки поточної ситуації на ВДМ за коефіцієнтом завантаження дороги рухом. А у разі необхідності це можливо розглядати, як інформацію щодо зміни керуючих впливів на ДР для зменшення поточної інтенсивності ТП.

Для експериментальних досліджень визначення параметрів фундаментальної діаграми було обрано вул. Асхарова, що є ділянкою магістральної вулиці загальноміського значення м. Харків (рис. 4).

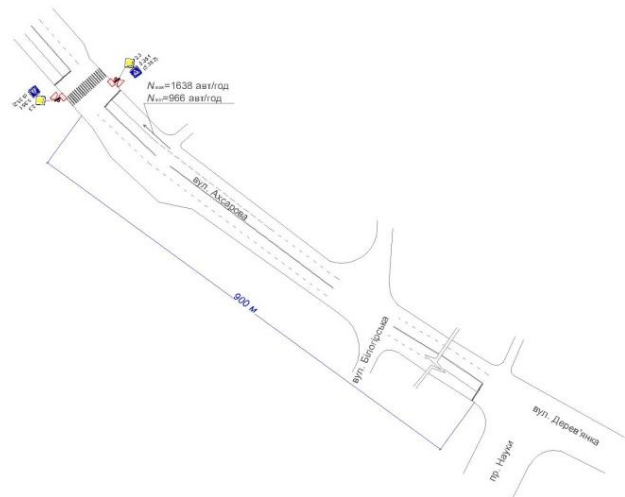


Рис. 4. Схема ділянки вул. Асхарова

За результатами проведених натурних спостережень маємо наступні вихідні дані: 1) Інтенсивність руху транспортного потоку на ділянці максимальна $N_{ex}^+ = 1638$ авт/год та мінімальна $N_{ex}^- = 966$ авт/год; 2) Довжина ділянки – 900 м; 3) Кількість смуг руху – 2 од.

Етапи побудови:

1) Так як ділянка відноситься до магістральних вулиць загальноміського значення регульованого руху обираємо відповідно категорії вулиці параметри ділянки: швидкість руху $V_{св} = 50$ км/год; максимальна пропускна здатність ВДМ $P = N_{\max} = 1400$ авт/год;

2) Визначимо q_{\max} як максимальну кількість автомобілів які можуть розміститися на перегоні ($l_{пер}$) виходячи з значень середньої довжини автомобіля (l_a) $l_a = 5$ і дистанції безпеки ($l_{без}$) $2 < l_{без} < 4$ за залежністю (7):

$$q_{\max}^+ = \frac{900}{5 + 2} \cdot 2 = 258 \text{ авт/км};$$

$$q_{\max}^- = \frac{900}{9} \cdot 2 = 200 \text{ авт/км}.$$

3) Надалі визначаємо критичну щільність ТП на ділянці ВДМ для гіршого та кращого варіантів, як відношення інтенсивності до швидкості (4):

$$q_{кр}^+ = \frac{1638}{50} = 33 \text{ авт/км}; \text{ та } q_{кр}^- = \frac{966}{50} = 19 \text{ авт/км}.$$

Після проведених розрахунків середнє значення критичної щільності складає:

$$q_{кр}^{\pm} = \frac{19 + 33}{2} = 26 \text{ авт/км};$$

4) Для визначення діапазону зміни інтенсивності ТП, що відповідає оптимальному режиму руху ТП розрахуємо швидкість «ударної хвилі» за залежністю (5):

$$c^- = \frac{966}{200 - \frac{966}{50}} = 5,3 \text{ км/год};$$

$$c^+ = \frac{1638}{258 - \frac{1638}{50}} = 7,3 \text{ км/год.}$$

5) Тоді за формулами (6) визначаємо верхню та нижню границю значень інтенсивності ТП, додержання яких забезпечить ефективне функціонування ділянки ВДМ:

$$N_{\min}^- = (50 - 5,3) \cdot 19 = 849 \text{ авт/год};$$

$$N_{\min}^+ = (50 - 7,3) \cdot 33 = 1409 \text{ авт/год};$$

6) Максимальну інтенсивність для кращого варіанту дорожнього руху на перегоні (N_6^+) визначаємо за залежністю (8)

$$N_6^+ = 50 \cdot 26 = 1300 \text{ авт/год.}$$

За результатами розрахунків будемо фундаментальну діаграму зміни щільності ТП від інтенсивності для ділянки вул. Ахсарова (рис. 5).

Вважаємо, що для забезпечення оптимального рівня обслуговування на ділянці вул. Ахсарова при управлінні ДР, необхідно контролювати значення інтенсивності руху транспорту в межах від 849 до 1409 авт/год.

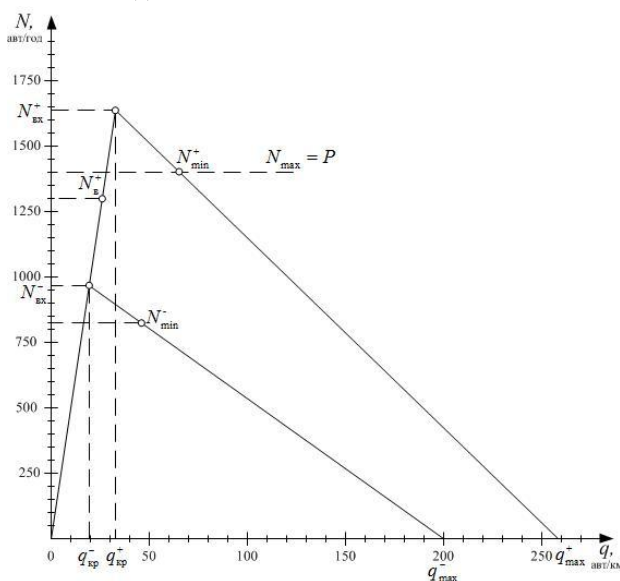


Рис. 5. Фундаментальна діаграма транспортного потоку для ділянки вул. Ахсарова

У якості перевірки адекватності моделі були розраховані значення N_{\max} за формулами (2) та (3).

Отриманий результат свідчить, що похибка розрахунків параметрів ТП, яка складає 2%, відповідає прийнятим нормам (1200≈1225).

Таким чином, на підставі сформованої методики визначення параметрів фундаментальної діаграми транспортного потоку ми довели теоретичні засади транспортного моделювання до практичного застосування на ділянках транспортної мережі міста із виміром поточних параметрів методом натурних спостережень.

Висновки

Результат наведених теоретичних досліджень полягає у розробці методики для практичного визначення параметрів трикутної фундаментальної діаграми, що можливо побудувати для складних ділянок вулично-дорожньої мережі міста, на яких необхідно проводити контроль та регулювання інтенсивності транспортного потоку, щоб попередити виникненню заторового стану вулично-дорожньої мережі з метою забезпечення оптимальної пропускної здатності. Сукупність моделей руху транспорту по перегонах надасть змогу отримати динамічні транспортні моделі для подальшого застосування у процесі управління дорожнім рухом. Наявність визначеного діапазону зміни інтенсивності при порівнянні із поточними вимірами інтенсивності детекторами транспорту, дозволить при оперативному управлінні приймати рішення щодо зміни параметрів керуючих впливів, або зміни схеми організації дорожнього руху. Такий підхід при подальших дослідженнях надає змогу розробити системи підтримки прийняття рішень для оперативного управління дорожнім рухом у містах, що сприяє підвищенню ефективності дорожнього руху та працездатності транспортної мережі в цілому.

Література

1. Петров, В.В. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах [Текст]: уч.пособие / В.В. Петров – Омск: Изд-во СибАДИ, 2007. – 104с.
2. Абрамова, Л.С. Концептуальний підхід до проектування систем управління дорожнім рухом [Текст] / Є.В. Нагорний, Л.С. Абрамова // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. – ХНАДУ, 2017. - № 12. - С. 94-100.
3. Гасников, А.В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков [Текст]: учебное пособие / Издание 2-е, испр. и доп. А. В. Гасникова и др. Под ред. А. В. Гасникова. – М.: МЦНМО, 2013. – 271 с.
4. Lighthill, M.J., Whitham, G.B. (1955). On kinematic waves. II. Theory of traffic flow on long crowded roads. Proc. R. Soc. London, Ser. A. 229, 281-345.
5. Уизем, Дж. Линейные и нелинейные волны [Текст] / Дж. Уизем – М.: Мир, 1977. – 627 с.

6. Семенов, В. В. Смена парадигмы в теории транспортных потоков [Текст] / В.В. Семенов. – Москва: ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, 2006 (М.: Ин-т прикладной математики РАН). – 32 с.
7. Kerner, B.S. (2004). The Physics of Traffic. Berlin: Springer.
8. Kerner, B.S. (2009). Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control: The Long Road to Three-Phase Traffic Theory, Springer, Berlin, New York.
9. Helbing, D. (2001). Traffic and related self-driven many particle systems. *Reviews of moder physics*, 73 (4), 1067-1141.
10. Chowdhury, D., Santen, L., Schadchneider, A. (2000). Statistical physics of vehicular traffic and some related system. *Phys. Rep.*, 329, 199-329.
11. Daganzo, C.F. (1999). Remarks on Traffic Flow Modeling and Its Applications. In: Brilon W., Huber F., Schreckenberg M., Wallentowitz H. (eds) Traffic and Mobility. Springer, Berlin, Heidelberg.
12. Куржанский, А.Б. Роль макромоделирования в активном управлении транспортной сетью [Текст] / А.Б. Куржанский, А.А. Куржанский, П. Варайя // Труды МФТИ, 2010. - Т. 2. №4. - С. 100 – 137.

References

1. Petrov, V.V. (2007). Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya dorozhnym dvizheniem v gorodah [Automated control systems of traffic in cities]. *Omsk, SibADI*.
2. Abramova, L.S., & Nahorni, Ie.V. (2017). Kontseptualnyi pidkhid do proektuvannia system upravlinnia dorozhnim rukhom [Conceptual approach to the traffic control systems design] *Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnologii - Car and Electronics. Modern technology*. 12, 94-100.
3. Gasnikov, A.V., Klenov, S.L., Nurminskij, E.A., Holodov, YA.A., & SHamraj, N.B. (2013). Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnyh potokov [Introduction to the mathematical modeling of traffic flows]. (2nd ed., rev.). Moscow. *MTsNMO*.
4. Lighthill, M.J., Whitham, G.B. (1955). On kinematic waves. II. Theory of traffic flow on long crowded roads. *Proc. R. Soc. London, Ser. A*. 229, 281-345.
5. Uizem, Dzh. (1977). Lineynyye i nelineynyye volny [Linear and nonlinear waves]. Moscow. *Mir*.

6. Semyonov, V.V. (2006). Smena paradigmy v teorii transportnyh potokov [Change of the Paradigm in the Traffic Flow Theory]. *Preprint, Inst. Appl. Math., the Russian Academy of Science*.
7. Kerner, B.S. (2004). The Physics of Traffic. Berlin: Springer.
8. Kerner, B.S. (2009). Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control: The Long Road to Three-Phase Traffic Theory, Springer, Berlin, New York.
9. Helbing, D. (2001). Traffic and related self-driven many particle systems. *Reviews of moder physics*, 73 (4), 1067-1141.
10. Chowdhury, D., Santen, L., Schadchneider, A. (2000). Statistical physics of vehicular traffic and some related system. *Phys. Rep.*, 329, 199-329.
11. Daganzo, C.F. (1999). Remarks on Traffic Flow Modeling and Its Applications. In: Brilon W., Huber F., Schreckenberg M., Wallentowitz H. (eds) Traffic and Mobility. Springer, Berlin, Heidelberg.
12. Kurzhanskij, A.B., Kurzhanskij, A.A., Varajya, P. (2010). Rol' makromodelirovaniya v aktivnom upravlenii transportnoj set'yu [Macromodelling role in the active management of the transport network]. *Trudy MFTI - Proceedings of MIPT*, 2(4), 100 – 137.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Є.В. Нагорний, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна.

Автор: АБРАМОВА Людмила Сергіївна
кандидат технічних наук, професор
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – abramova_ls@ukr.net
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1182-9618>

Автор: КАПІНУС Сергій Васильович
асистент.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – skapinus13@ukr.net
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5520-2337>

BALANCE DETERMINATION BETWEEN PARAMETERS OF ROAD TRANSPORT

L.S. Abramova, S.V. Kapinus

Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

The article discusses topical issues of developing models for the transport stream behavior in conditions of increased density and uncertainty in measuring their parameters.

The substantiation of a modeling method choice and a kind of dependence of stream parameters according to their practical application for rational functioning of a city transport network is resulted.

A sequence of the basic parameters calculation of the fundamental diagram is proposed to determine the range of change in the flow intensity, the maintenance of which in the transport movement control can prevent the occurrence of tarmac situations on the roads.

The article presents the results of experimental research on the Kharkov transport network.

Keywords: transport simulation, fundamental diagram, intensity, capacity, balance of parameters.