

УДК 656.13

Поліщук В. П.<sup>1</sup>, *д-р техн. наук, проф.*, <https://orcid.org/0000-0003-3145-7225>Виговська І. А.<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-1426-9863>Корчевська А. А.<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0001-8245-9891>Нагребельна Л. П.<sup>2</sup>, *доктор філософії з трансп. технологій*, <https://orcid.org/0000-0002-5615-9075><sup>1</sup> Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна<sup>2</sup> Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

---

## МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

### *Анотація*

**Вступ.** Більше року продовжується руйнування мережі автомобільних доріг. У зв'язку з цим виникає потреба відновлення умов руху транспортних потоків як у населених пунктах, так і на мережі автомобільних доріг загального користування. Розв'язок цієї задачі повинен виконуватись на основі визначення критерію формування безпечних і безперервних умов руху на основі використання сучасних моделей транспортного потоку.

**Проблематика.** Удосконалення управління транспортними потоками за допомогою транспортного моделювання в програмному середовищі PTV VISSIM. При урахуванні таких критеріїв як пропускна здатність і затримка.

**Мета.** Розроблення моделі розподілу транспортних потоків на мережі автомобільних доріг.

**Методи дослідження.** Аналітично-експериментальний із застосуванням комп'ютерного імітаційного моделювання

**Результати.** Проведено імітаційне моделювання руху транспортних засобів за трьома варіантами на ділянці автомобільної дороги загального користування державного значення М-06. Перший варіант – враховував існуючі умови руху на ділянці дороги, другий варіант — при виникненні перешкоди для руху в існуючих умовах і третій варіант — при впровадженні запропонованих заходів. У результаті моделювання було виявлено, що в існуючих умовах середня швидкість 50 км/год, середній час затримки становить 20,46 с, але якщо з'являється перешкода для руху, середній час затримки збільшується і становить 156 с, а середня швидкість, відповідно, зменшується і становить 37 км/год. При впровадженні заходів, а саме введення розподілу транспортних потоків за різними маршрутами (об'їзд перешкоди), середній час затримки зменшився порівняно з варіантом два і становить 54,67 с, а середня швидкість збільшилася на 11,64 км/год.

**Висновки.** У результаті виконаної роботи було доведено, що за допомогою транспортного моделювання можна проаналізувати різні варіанти розроблення заходів із організації дорожнього руху, зокрема вирішення питання заторів на конкретній ділянці автомобільної дороги. Транспортне моделювання дозволяє імітаційно розділити транспортні потоки на альтернативні маршрути і оцінити їх за встановленими критеріями. Як результат, зменшити затримки в русі та час очікування, що значно впливає на пропускну здатність, безпеку дорожнього руху та має позитивний соціально-економічний ефект.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, безпека дорожнього руху, інтенсивність руху, мережа, модель, організація дорожнього руху, транспортний потік.

## Вступ

Досить тривалий час проблема автомобільного руху є головною на мережі автомобільних доріг загального користування нашої країни оскільки рівень автомобілізації з кожним роком збільшується. Транспортні затори на дорогах стають причиною не тільки часових, а й економічних і народногосподарських витрат. Тому питання управління дорожнім рухом стає досить актуальним у дійсний час. Вирішенню цієї проблеми сприяє розвиток систем управління дорожнім рухом, що впливає на комунікаційну функцію сталого розвитку транспортної мережі.

На сьогоднішній день складності формалізації процесу руху транспортного потоку стали серйозною причиною відставання результатів наукового дослідження від вимог практики. Тому, головною задачею математичного моделювання є визначення та прогнозування усіх параметрів функціонування мережі автомобільних доріг. Сюди відноситься інтенсивність руху, швидкість, затримки та втрати часу. Існуючі математичні моделі дуже різноманітні за математичним апаратом, вирішенням задач, за ступенем деталізації опису руху. 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 й 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 мережі автомобільних доріг.

Вибір типу технології управління залежить від постановки завдання і цілі управління дорожнім рухом. Проведений аналіз математичного забезпечення відомих у світі систем управління показав, що воно засноване на реалізації макро- та мікромоделей взаємозалежності основних параметрів транспортного потоку 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».

## Основна частина

Основними характеристиками транспортних потоків, що визначають умови руху на дорогах, є: інтенсивність руху (її середньодобова годинна та пікова величини), склад транспортного потоку, швидкість руху потоків на перегонах мережі автомобільних доріг, величина затримок на маршрутах мережі автомобільних доріг. Аналіз величин середньодобової годинної та пікової інтенсивності руху на маршрутах показав, що найбільш завантаженими є ділянки маршруту, які проходять через ділянки міжнародних та національних доріг.

Дослідження дорожніх робіт, що проводяться на маршрутах мережі автомобільних доріг, показало, що близько половини дорожніх робіт, що виникають із заняттям проїзної частини, не мають істотного впливу на стан руху мережею автомобільних доріг, оскільки проводяться протягом короткого періоду часу, або в нічний час. Роботи, які проводяться на мережі автомобільних доріг загального користування протягом досить тривалого періоду часу (від кількох днів до кількох тижнів), за умовами не повинні повністю перекривати рух на трасі, проте постійне заняття однієї або кількох смуг допустиме. При цьому на ділянці дороги різко знижується пропускна здатність. Якщо дана пропускна здатність менша за інтенсивність транспортного потоку, то розробляється відповідна схема об'їзду.

Розробка схеми об'їзду проводиться з урахуванням двох основних умов — маршрут об'їзду повинен бути якомога коротшим і повинен пропустити весь потік, що рухається. У цій роботі аналізувалися такі умови, за яких внаслідок зниження величини пропускної здатності ділянки дороги потік автомобілів довільно розподілявся об'їзними маршрутами даного напрямку.

При цьому враховувалася можливість збігу об'їзних маршрутів для потоків, що виникають під час об'їзду перешкод у різних точках мережі.

У світовій практиці набули широкого використання відомі програмні продукти імітаційного моделювання у сфері організації руху ТП, такі як VISSIM (PTV AG, Німеччина) [10], Paramics [11]. У розглянутих системах моделювання є функція відображення у реальному часі реакції ТП на вплив світлофорного регулювання, що є наслідком обраної управляючої дії при контурному управлінні. Тому визначення ефективності організації рівномірного руху по контуру проведено у програмному середовищі PTV VISSIM. Програмне забезпечення імітації PTV VISSIM дозволяє в значній мірі спростити роботу проектувальника і створює достовірну платформу для проектування дорожньо-транспортних та містобудівних об'єктів [1-7, 9].

На відміну від більш простих моделей, в яких за основу беруться постійні швидкості і незмінна поведінка слідування за транспортними засобами, що йдуть попереду, PTV VISSIM використовує психофізіологічну модель сприйняття WIEDEMANN'a (1974 р., 1999 р.). Основна ідея моделі полягає в тому, що водій АТЗ, який рухається з більш високою швидкістю, починає гальмувати при досягненні свого індивідуального порогу сприйняття щодо віддаленості від того, що їде попереду, коли дистанція до нього починає сприйматися ним як занадто мала. Так як він не може точно оцінити швидкість транспортних засобів, що їде попереду, то його швидкість буде зменшуватись нижче швидкості транспортних засобів, що йдуть попереду до тих пір, поки він не почне знову прискорюватися, після досягнення свого порогу сприйняття, коли він почне сприймати виниклу між ним і транспортних засобів, що їде попереду, дистанцію як занадто велику. Це веде до постійного прискорення і уповільнення. Тому за допомогою функцій розподілу для швидкості і дистанції імітується різна поведінка водіїв [8].

У ряді випадків, при моделюванні мережі автомобільних доріг з великою кількістю перегонів і перехресть, розміри матриць не можуть перевищувати можливості програмного забезпечення. Так, можливості програмного забезпечення PTV VISSIM дозволяють формувати дані розміром не більше 100 000 м × 100 000 м. У цьому випадку необхідно виконати перетворення вихідних даних із матричної у векторну форму.

PTV VISSIM — це не стільки модель транспортного потоку, скільки інструмент для створення таких моделей. Тому для модельного експерименту було розроблено таку імітаційну модель руху транспортних потоків на ділянці мережі автомобільних доріг загального користування, яка дозволить визначити як параметри руху транспортних засобів, так і показники ефективності дорожнього руху.

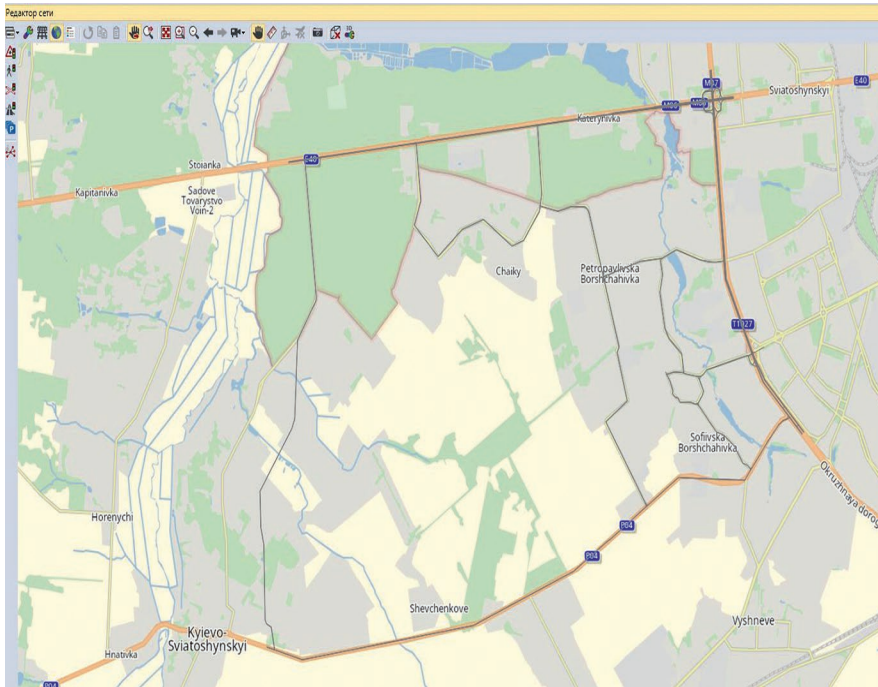
Вихідними даними для створення моделі були обрані: довжина ділянок автомобільних доріг загального користування, м; ширина проїзної частини, м; кількість смуг руху на ділянках автомобільних доріг загального користування; інтенсивність транспортного потоку на вході ділянок автомобільних доріг загального користування, авт./год; склад транспортного потоку; наявність зупинок громадського транспорту; параметри світлофорного об'єкту (розміщення світлофорів, тривалість циклу і основного такту регулювання в даному напрямку), правила пріоритету та конфліктні зони на перехрестях і на підході до них, наявність зупинок громадського транспорту тощо (**рис. 1**).

Вирішення задачі розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг при впливі перешкод руху вимагає конкретизації вихідних даних про характеристики дорожніх умов та транспортних потоків. Основний обсяг інформації є статичною інформацією і стосується питань опису характеристик мережі, за якою проводиться розподіл транспортних потоків у разі виникнення перешкод руху.

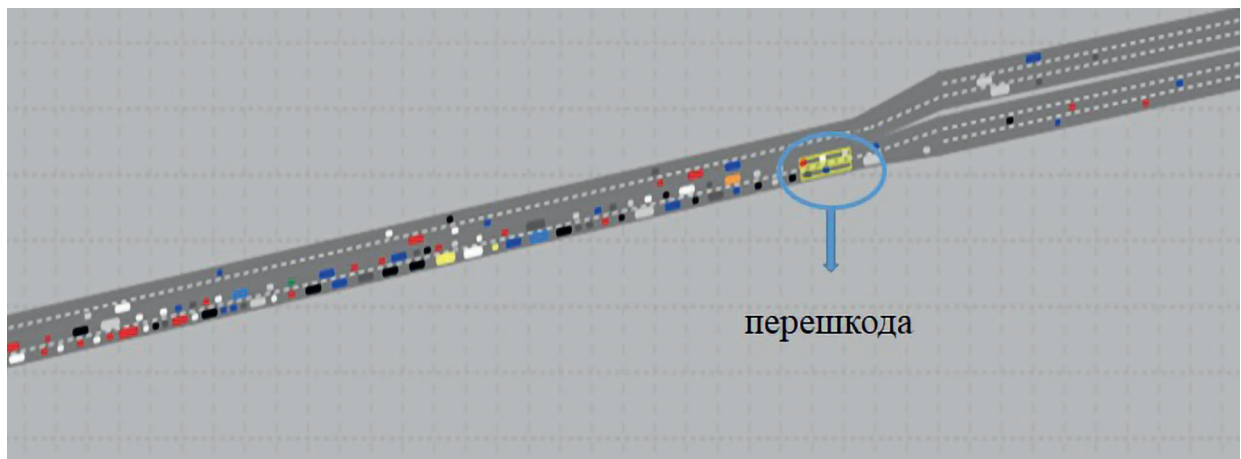
Інформація про дорожні умови конкретної мережі автомобільних доріг включає:

- схему дорожньої мережі;
- категорію дороги;

- геометричні характеристики дорожньої мережі;
- тип дорожнього одягу та стан проїжджої частини;
- величини затримок;
- величини пропускну здатності дорожньої мережі;
- розташування перешкод руху на мережі доріг і характеристика кожної перешкоди (ступінь зниження пропускну спроможності ділянки дороги);
- дислокацію точок входу і виходу розподіляються транспортних потоків;
- схему організації дорожнього руху.



**Рисунок 1** — Імітаційна модель руху ТП по об'єкту дослідження у програмному середовищі PTV VISSIM



**Рисунок 2** — Розподіл транспортних потоків при виникненні перешкод для руху

Початковою вимогою конкретизації вихідної інформації для вирішення задачі розподілу транспортних потоків при впливі перешкод руху є формування сукупності вулиць, якими можуть проходити маршрути транспортних потоків, що розподіляються.

Мережа доріг, якими відбувається розподіл транспортних потоків, здійснюють об'їзд перешкоди руху, формується за таких умов:

- всі точки входу і відповідні їм точки виходу транспортних потоків, що розподіляються, повинні бути з'єднані між собою поєднанням доріг відповідних категорій;
- кількість точок входу та виходу має бути кінцевим числом.

Сформована таким чином мережа автомобільних доріг поділяється на перегони між вузлами мережі.

Слід зазначити, що якщо в результаті рішення обрана дорожня мережа не задовольняє можливості пропуску потоку, що розподіляється, то така дорожня мережа може бути розширена за рахунок доріг нижчих категорій.

З виділених перегонів дорожньої мережі формуються маршрути. Призначення маршрутів, за якими може здійснюватися рух розподіленого транспортного потоку, провадиться виходячи з таких принципів:

- кожен маршрут повинен з'єднувати точку входу та точку виходу потоку даної ділянки мережі;
- кожен маршрут повинен бути розімкнений, тобто не мати повернення у пройдений вузол.

Формування можливих маршрутів руху, що розподіляються при об'їзді перешкоди руху транспортних потоків залежить від схеми організації руху як по всій мережі, так і на окремих перегонах і перехрестях. Зазвичай схема організації руху представляється у загальному вигляді: двостороннім рухом по кожному з перегонів з дозволом всіх можливих напрямів руху на перехрестях мережі автомобільних доріг. Частковими випадками загальної схеми організації руху є схеми, що внесені деякі обмеження руху (односторонній рух, заборона проїзду, закриття того чи іншого повороту і так далі).

Вихідною для визначення можливих маршрутів руху є матриця ознак наявності зв'язків між перехрестями або перегонам и мережі, що розглядається, яка записується у наступному вигляді:

$$A = (a_{i,j}), \quad (1)$$

де  $a_{i,j} = 1$ , якщо  $i$ -ий перегін (перехрестя) має безпосередній зв'язок з  $j$ -им перегонем (перехрестям);

$a_{i,j} = 0$  якщо між  $i$ -им і  $j$ -им перегонами (перехрестями) безпосередній зв'язок відсутній.

З вищевикладеного можна зробити висновок, що навіть на невеликій мережі виходить значне кількість можливих маршрутів об'їзду. Для реальної мережі, що має значну кількість пересічень, можлива кількість маршрутів обчислюється сотнями.

Більше того, участь великої кількості маршрутів при вирішенні завдання може призвести до появи маршрутів, які не будуть задіяні в розподілі, а на окремих маршрутах діапазон розподілу коливатиметься від одного автомобіля до всієї кількості автомобілів, що розподіляються. Таке положення вимагає аналізу та відбору запропонованої безлічі маршрутів з точки зору необхідності та достатності для вирішення задачі.

Необхідною умовою вибору маршрутів об'їзду перешкоди руху, за якими провадитиметься розподіл транспортного потоку, є нерівність:

$$\sum_{k=1}^m \left( \frac{a_{k,z} l_z}{V_{0,z}} \right)_k \leq \min_i \left( \sum_{k=1}^m \left( \frac{a_{i,z} l_z}{V_{\text{ОПТ},Z}} + a_{i,z} \sum_{k=1}^m b_{z,q} a_{i,q} t_{i,q} \cdot (N_{\text{MAX},Z,q} - N_{M,Z,q}) \right) \right), \quad (2)$$

$$i, k = k(\xi, \eta - 1), \dots, k(\xi, \eta - 1, \eta_{\xi,\eta})$$

де  $V_{0,z}$  — вільна швидкість руху по  $z$ -му перегону до-го маршруту, км/год;  
 $V_{\text{ОПТ},Z}$  — оптимальна швидкість руху по  $z$ -му перегону.

$$V_{\text{ОПТ},Z} = F \left( \min \left( a_{i,z} (N_{\text{MAX},Z} - N_{M,Z}); a_{i,z} \sum_{k=1}^m b_{z,q} a_{i,q} (N_{\text{MAX},Z,q} - N_{M,Z,q}) \right) \right). \quad (3)$$

Такій умові задовольнятимуть ті маршрути, час руху якими у вільному режимі не буде перевищувати часу руху по найкоротшому маршруту та пропускної здатності.

Обрані маршрути мають одночасно задовольняти наступній умові:

$$\sum_{k=k(\xi,\eta-1,1)}^{k=k(\xi,\eta-1, \eta_{\xi,\eta})} N_{\text{MAX}}(k) \geq N^{\xi,\eta}, \quad (4)$$

де  $N_{\text{MAX}}(k)$  — пропускна здатність  $k$ -го маршруту.

$$N_{\text{MAX}}(k) = \min \left( \min(N_{\text{MAX},Z} - N_{M,Z}); \min(N_{\text{MAX},Z,q} - N_{M,Z,q}) \right), \quad (5)$$

якщо відсутні загальні перегони з маршрутами до  $k - 1$  включно та

$$N_{\text{MAX}}(k) = \min \left( \min \left( N_{\text{MAX},Z} - N_{M,Z} - \sum_{i=1}^{k-1} a_{i,z} N_{\text{MAX},i} \right) \right); \quad (6)$$

$$\min \left( N_{\text{MAX},Z,q} - N_{M,Z,q} - b_{z,q} \sum_{i=1}^{k-1} a_{i,z} a_{i,q} N_{\text{MAX},i} \right), \quad (7)$$

якщо існують загальні перегони при  $a_{k,z}; b_{z,q}; a_{i,z}; a_{i,q} \neq 0$ .

Невиконання умови (4) вказує на необхідність залучення додаткових маршрутів для розподілу транспортних потоків.

У результаті аналізу можливої множини маршрутів з погляду необхідності та достатності формується мережа маршрутів, якими буде вирішуватися завдання розподілу транспортних потоків при здійсненні об'їзду перешкод руху на даній мережі.

З вищевикладеного робимо висновок, що з формування безлічі маршрутів, якими буде проводитися розподіл транспортних потоків, необхідно мати інформацію по кожному перегону, його довжині, пропускну здатність, і навіть пропускної здатності перехресть мережі автомобільних доріг.

Для характеристики умов руху по вибраних маршрутах необхідно мати інформацію про місцеву інтенсивність руху на кожному перегоні, розподіл інтенсивностей на перехрестях дорожньої мережі, закономірності зв'язку між швидкістю та інтенсивністю руху на перегонах.

У результаті вибору зазначеним способом маршрутів руху отримуємо таку їх кількість, яка забезпечить розподіл транспортних потоків заданої величини протягом певного періоду часу.

Якщо ж конфігурація мережі не дозволяє підібрати маршрути розподілу транспортного потоку для здійснення об'їзду чергової перешкоди руху, що моделюється на мережі, робиться висновок про неприпустимість створення цієї перешкоди руху в даних умовах.

Для отримання оптимального рішення з меншою кількістю задіяних маршрутів найбільш ефективним є використання розподілу по пріоритетним маршрутам.

У результаті обробки вихідних даних отримується така інформація:

- дислокація мережі, що складається з перехресть і перегонів, що їх з'єднують;
- інтенсивність руху на вході та виході з мережі, а також у місцях обліку залежно від часу доби;
- інтенсивність руху транзитних транспортних потоків та точки їх входу та виходу з мережі;
- існуючі маршрути транзитних транспортних потоків;
- величини транзитної та місцевої інтенсивності руху на кожному перегоні та на кожному перехресті досліджуваної мережі;
- можливі напрямки руху на перегонах та перехрестях;
- величини пропускних здатності напрямків руху на перегонах і перехрестях;
- можливі маршрути руху на заданій мережі доріг.

З метою отримання залежності «швидкість-інтенсивність» потрібно в обраних місцях на мережі зробити певну кількість вимірів, достатню для того, щоб отримана математична залежність моделювала описуваний процес. Необхідний обсяг вимірів встановлюється вибіркоким методом математичної статистики, завданням якого є встановлення та опис закономірностей руху транспортного потоку.

Використовуючи метод лінійної кореляції, залежність «швидкість-інтенсивність» записуємо в наступному вигляді:

$$V = a - bN, \quad (8)$$

де  $a$  — вільна швидкість руху;

$N$  — інтенсивність руху.

Для визначення коефіцієнта  $b$  та вільної швидкості  $a$  використовуємо метод найменших квадратів, де, мінімізуючи вираз

$$F = \sum_{i=1}^n (V_i - a - bN_i)^2, \quad (9)$$

отримаємо:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \sum_{i=1}^n N_i - \sum_{i=1}^n N_i V_i \sum_{i=1}^n N_i}{n \sum_{i=1}^n N_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n N_i \right)^2}. \quad (10)$$

Для того щоб кореляційне рівняння з достатньою точністю виражало залежність «швидкість-інтенсивність», необхідно виконання умови:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n N_i V_i - \sum_{i=1}^n N_i \sum_{i=1}^n V_i}{n \sum_{i=1}^n N_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n N_i \right)^2}. \quad (11)$$

Для того щоб кореляційне рівняння із достатньою точністю виражало залежність «швидкість - інтенсивність», необхідно виконання умови:

$$\sigma_o < 0.1V \quad \text{та} \quad V = \frac{1}{n} \sum V_i, \quad (12)$$

де  $\sigma_o$  — основна помилка, яку допускає залежність (71);  
 $n$  — кількість досліджених автомобілів;  
 $V_i$  — швидкість руху автомобілів досліджуваного транспортного потоку (км/год).

$$\sigma_o = \sqrt{\frac{\sum (V_i - V)^2}{n-1}}, \quad (13)$$

де  $V_i - V$  — різниця між емпіричною та вирівняною кривою у заданих точках.

Кількість таких виразів, залежатиме від кількості ділянок з однаковими дорожніми умовами за досліджуваною дорожньою мережею.

Імітаційне моделювання транспортного потоку покликане вирішувати проблеми реального світу, використовуючи при цьому мінімум затрат, роблячи це швидко і безпечно, оскільки воно не потребує фізичного втілення рішень на практиці. Це зручний, наглядний, простий для розуміння та перевірки інструмент для аналізу. Імітаційне моделювання транспортного потоку допомагає знаходити оптимальні рішення організації дорожнього руху і дає чітке розуміння системи в загальному та рівня її складності.

Реальні системи піддаються впливу різних випадкових подій, тому поведження системи краще та ефективніше досліджувати саме із використанням імітаційних моделей.

Умови, при яких потрібно використовувати імітаційні моделі:

- якщо математичні процедури аналітичних методів складні і ресурсномісткі;
- якщо протягом деякого часу необхідно спостерігати змінами деяких компонентів системи;
- якщо необхідно контролювати процеси в системі, сповільнюючи чи пришвидшуючи їх;
- якщо йде процес дослідження об'єкта моделювання;
- якщо особливе місце має послідовність подій;
- якщо необхідно виявити вузькі місця системи;
- якщо імітаційне моделювання є єдиним способом дослідження системи через неможливість проведення реальних експериментів.

Однією з основних переваг використання імітаційних моделей є те, що вони базуються на достовірних даних, отриманих від користувачів при розробці реальних систем. Це дозволяє інженерам визначати правильність та ефективність рішень, що приймаються, перш ніж система фактично буде побудована. Таким чином, інженер може дослідити переваги альтернативних заходів без фізичної побудови системи та те, як конкретні інженерні рішення впливають на систему в цілому. Даний підхід дозволяє виявляти неефективні заходи на етапі проектування, а не на етапі будівництва, що дозволяє зменшити витрати на побудову системи.

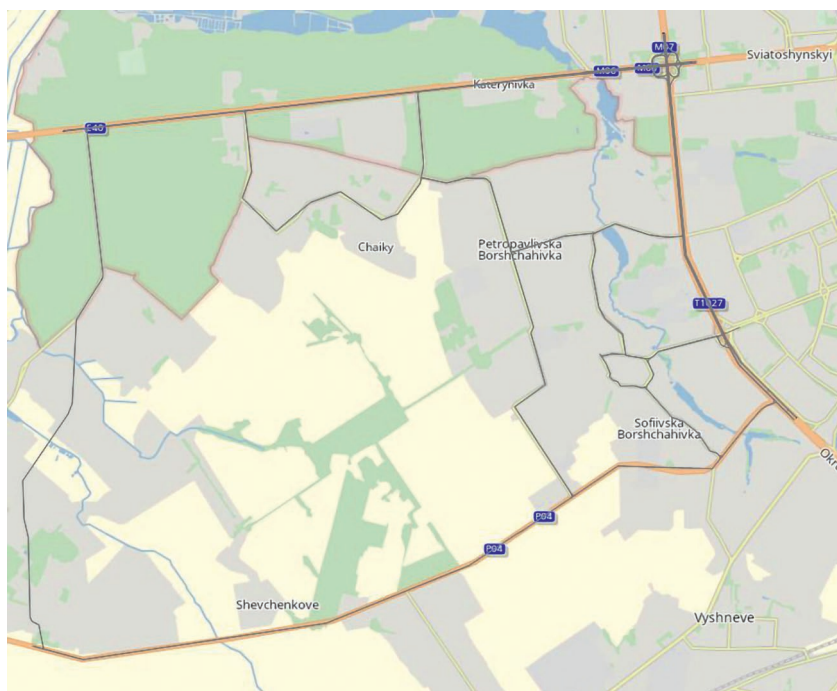
Таким чином, імітаційна модель має наступні переваги:

- представляє моделюючу систему більш адекватно, ніж інші види моделей;
- забезпечує гнучкість структури та параметрів системи;
- дозволяє досліджувати складні та трудомісткі практичні задачі, коли їх неможливо вирішити за допомогою математичних методів;
- зменшує час тривалості досліджень у порівнянні з реальними дослідженнями;

- дає можливість досліджувати особливості функціонування реальної системи у різних умовах з урахуванням випадкових подій;
- є практично реалізованим методом для дослідження складних систем;
- допомагає економити ресурси та фінанси;
- дозволяє включати до моделювання результати досліджень реальних систем;
- допомагає виявити непередбачувану поведінку системи.

Для дослідження була обрана дорожня мережа до складу якої входять національні, міжнародні, регіональні дороги та магістральні дороги місцевого значення будучи частиною автомобільних доріг України.

У результаті дослідження та аналізу характеристик транспортних потоків та дорожніх умов, була сформована комбінована схема мережі автомобільних доріг, представлена у загальному вигляді на (рис. 3).



*Рисунок 3* — Комбінована схема дорожньої мережі

Зазначена мережа повністю має асфальтобетонне покриття. Особливістю цієї мережі є наявність перетинів та примикань на одному рівні на другорядних дорогах, примикань другорядних доріг до магістральних.

Після розробки моделі транспортного руху в PTV Vissim можна отримати ряд даних для аналізу виконаної роботи. Тобто можна не тільки візуально оцінити результати моделювання, але і отримати звіти, що дозволяють робити обґрунтовані висновки.

Проведено імітаційне моделювання руху транспортних засобів при I варіанті існуючих умовах, а саме з точки входу транспортних потоків 1 у точку виходу транспортних потоків 2 приймаємо що при існуючих умовах 85 % транспортних засобів рухаються маршрутом № 1, а 15 % транспортних засобів рухаються маршрутом № 2. У цьому випадку середній час затримки складає — 22,05 с, середня швидкість — 50,16 км/год та середній час простою на транспортних засобів — 0,31 с, сумарний час затримки — 125 872 с.

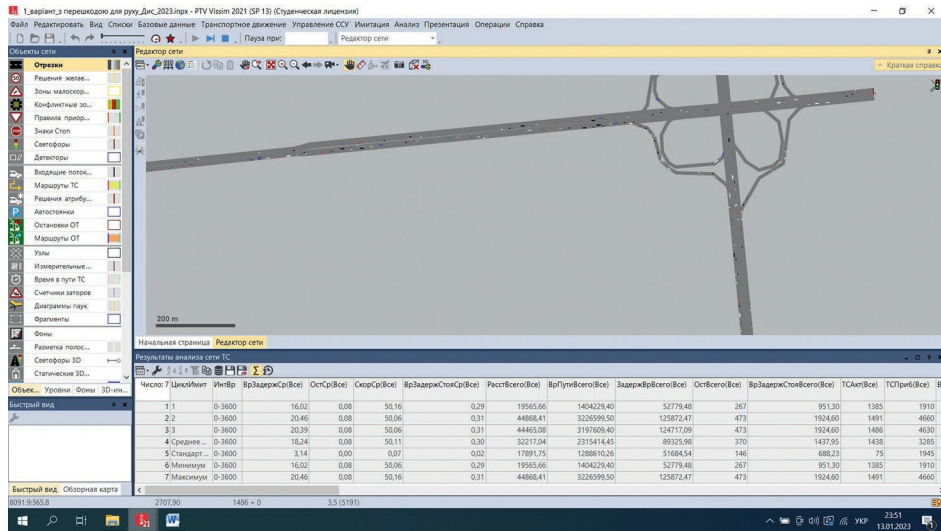


Рисунок 4 — Результати аналізу моделювання при I варіанті існуючих умов

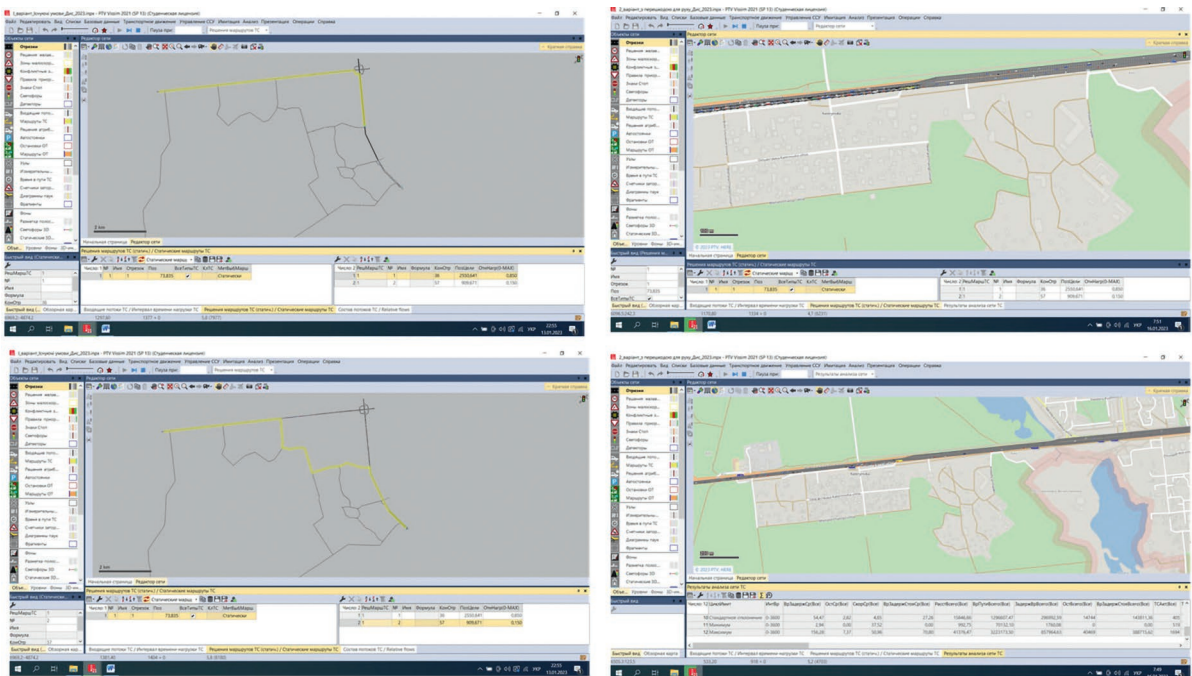
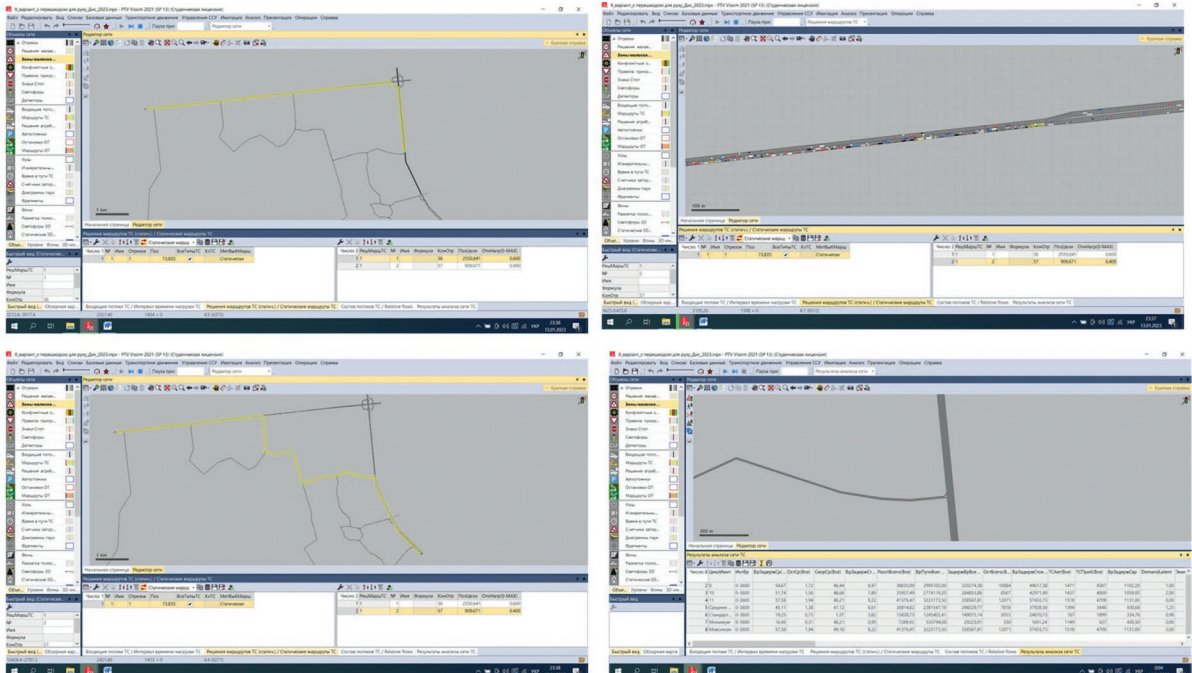


Рисунок 5 — Результати аналізу моделювання II варіанті при виникненні перешкоди для руху в існуючих умовах

Проведено імітаційне моделювання руху транспортних засобів при II варіанті при виникненні перешкоди для руху в існуючих умовах, а саме з точки входу транспортних потоків 1 в точку виходу транспортних потоків 2 приймаємо що при існуючих умовах 85 % транспортних засобів рухаються маршрутом № 1, а 15 % транспортних засобів рухаються маршрутом № 2. У цьому випадку середній час затримки складає — 156,28 с, середня швидкість — 37,52 км/год та середній час простою на транспортних засобів — 70,80 с, сумарний час затримки — 857 964 с.



**Рисунок 6** — Результати аналізу моделювання III варіант при впровадженні запропонованих заходів

Проведено імітаційне моделювання руху транспортних засобів за III варіантом при впровадженні запропонованих заходів, а саме з точки входу транспортних потоків 1 в точку виходу транспортних потоків 2 приймаємо, що 60 % транспортних засобів будуть продовжувати рухатися маршрутом № 1, а 40 % транспортних засобів рухаються маршрутом № 2. У цьому випадку середній час затримки складатиме — 54,67 с, середня швидкість — 49,16 км/год та середній час простою транспортних засобів — 8,47 с, сумарний час затримки — 320 274 с.

Результати порівняльного аналізу даних імітаційного моделювання трьох варіантів руху транспортних засобів на ділянці автомобільних доріг загального користування в I варіанті при існуючих умовах руху, II варіант при виникненні перешкоди для руху в існуючих умовах та III варіант при впровадженні запропонованих заходів представлені в **табл. 1**

**Таблиця 1**

### Результати імітаційного моделювання

	I варіант існуючі умови руху	II варіант виникнення перешкоди для руху в існуючих умовах	III варіант при впровадженні запропонованих заходів
Середня швидкість (км/год)	50,16	37,52	49,16
Середній час затримки (с)	20,46	156,28	54,67
Середня кількість зупинок, стоянок (шт.)	0,31	70,80	8,47
Сумарний час затримки(с)	125 872	857 964	320 274

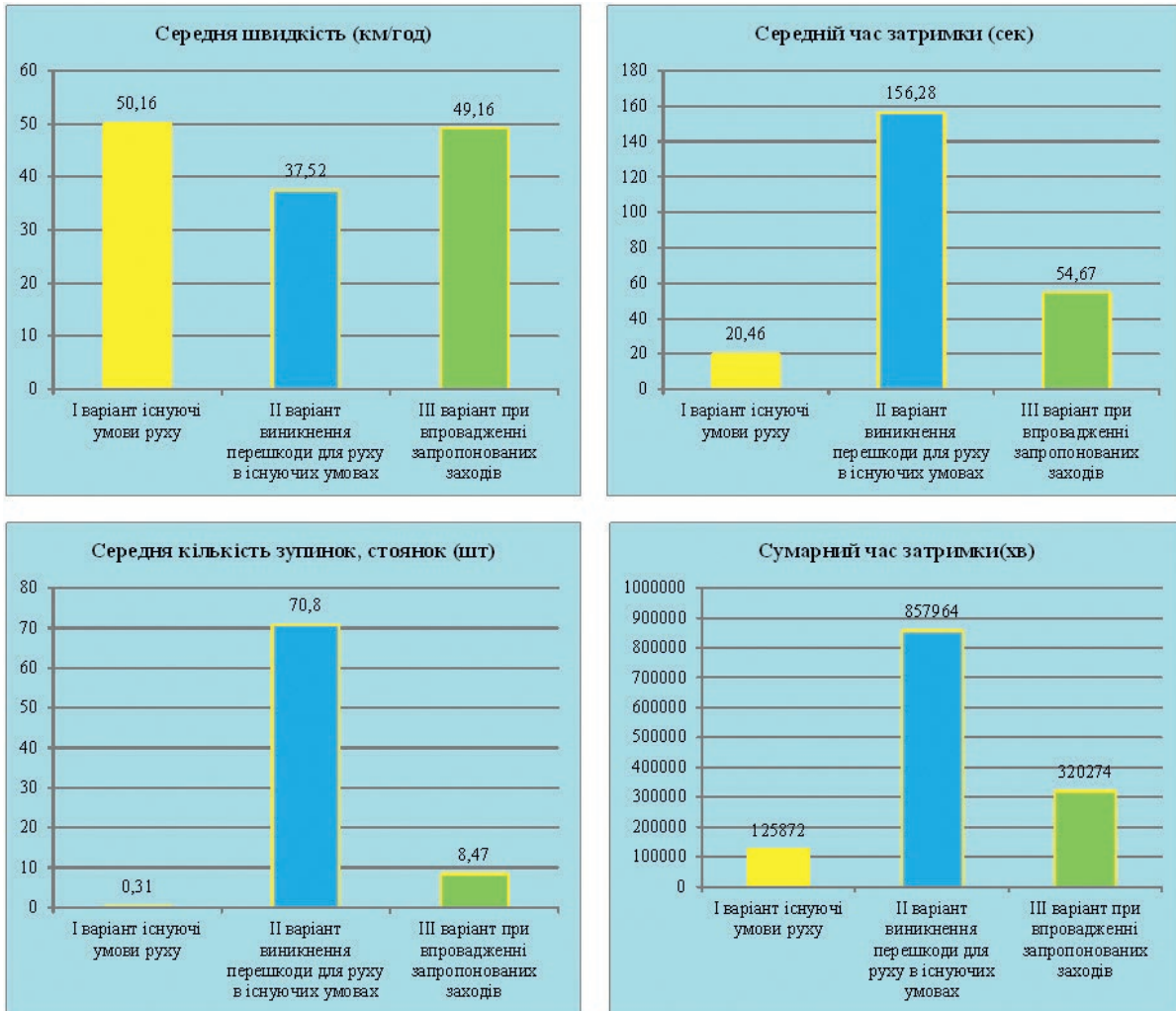


Рисунок 7 — Результати моделювання

### Висновки

У результаті виконаної роботи було доведено, що за допомогою транспортного моделювання можна проаналізувати різні варіанти розроблення заходів із організації дорожнього руху, зокрема вирішення питання заторів на конкретній ділянці автомобільної дороги. Транспортне моделювання дозволяє імітаційно розділити транспортні потоки на альтернативні маршрути і оцінити їх за встановленими критеріями. Як результат, зменшити затримки в русі та час очікування, що значно впливає на пропускну здатність, безпеку дорожнього руху та має позитивний соціально-економічний ефект.

У статті сформовані рекомендації щодо практичної реалізації результатів моделювання умов руху і взаємодії транспортних потоків залежно від достатності інформації про дорожні умови і характеристики транспортних потоків.

Практичне застосування результатів досліджень було проведено на ділянці дороги М-06 (Стоянка – Київ), Р-04 (Київ, Кільцева дорога – Білогородка), частина київської Кільцевої дороги та приміська вулично-дорожня мережа, що з’єднує ділянки автомобільних доріг загального користування.

## Список літератури

1. Абрамова Л.С., Ширін В.В. Моделирование и оптимизация транспортной сети. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. Київ, 2006. № 2/2 (20). С. 98–101.
2. Абрамова Л.С., Чернобаєв М.С. Аналіз методів прогнозування інтенсивності транспортного потоку. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Харків, 2006. № 6. С. 158–163.
3. Абрамова Л.С., Чернобаєв Н.С., Ширин В.В. Моделирование параметров транспортного потока. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. Київ, 2004. № 6(12). С. 213–215.
4. Осетрін, М. М., Безпалов Д.О., Дорош М.І. Основні принципи створення транспортної моделі міста. URL: <https://bespalov.me> (дата звернення: 15.06.2022).
5. Сохацький А.В., Леснікова І.Ю., Трофімов О.В., Халіпова Н.В., Кузьменко А.І. Моделювання в транспортних технологіях. Частина I : монографія. Дніпро, 2022. 182 с.
6. Беспалов Д. Методы моделирования транспортных потоков. URL: <https://bespalov.me/2012/07/16/metody-modelirovaniya-transportnyh-potokov> (дата звернення: 14.12.2022).
7. Kane L. Transport planning models – an historical and critical review. Urban Transport Research Group, University of Cape Town. URL: <http://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/7834/037.pdf?sequence=1> (дата звернення: 02.10.2019).
8. Абрамова Л.С. Теоретичні основи формування розподілених систем управління дорожнім рухом у містах.: дис. ... д-р техн. наук. Харків, 2020. 418 с.
9. Jia Bin, Jiang Rui, Wu Qing-Song. Traffic behavior near an off ramp in the cellular automation traffic model. *Phys. Rev. E*. 2004. 69, № 5, ч. 2, С. 056105/1 – 056105/7.
10. PTV Group: an official site. URL: <http://www.ptv.de> (дата звернення: 18.10.2022).

## References

1. Abramova L.S., Shyrin V.V. Modelyrovanye y optymizatsiya transportnoi sety. (Modeling and optimization of the transport network) *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii*. 2006. № 2/2 (20). P. 98–101 [in Ukrainian].
2. Abramova L.S., Chernobaiev M.S. Analiz metodiv prohnouzuvannia intensyvnosti transportnoho potoku. (Analysis of methods of forecasting traffic flow intensity). *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. Kharkiv, 2006. № 6. P. 158–163 [in Ukrainian].
3. Abramova L.S., Chernobaiev N.S., Shyrin V.V. Modelyrovanye parametrov transportnoho potoka. (Modeling of transport flow parameters). *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii*. 2004. № 6(12). P. 213–215 [in Ukrainian].
4. Osietrin, M. M., Bezpalov D.O., Dorosh M.I. Osnovni pryntsyipy stvorennia transportnoi modeli mista. (Basic principles of creating a city transport model). URL: <https://bespalov.me/> (Last accessed: 15.06.2022) [in Ukrainian].
5. Sokhatskyi A.V., Lesnikova I.Iu., Trofimov O.V., Khalipova N.V., Kuzmenko A.I. Modeliuvannia v transportnykh tekhnolohiiakh. Chastyna I : monohrafiia. (Modeling in transport technologies. Part I: monograph). Dnipro, 2022. 182 p. [in Ukrainian].
6. Bespalov D. Metodi modelyrovanyia transportnykh potokov. (Methods of modeling transport flows). URL: <https://bespalov.me/2012/07/16/metody-modelirovaniya-transportnyh-potokov/> (Last accessed: 14.12.2022) [in Ukrainian].
7. Kane, L. Transport planning models – an historical and critical review / Kane L., R. Behrens. *Urban Transport Research Group, University of Cape Town*. URL: <http://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/7834/037.pdf?sequence=1> (Last accessed: 02.10.2019) [in English].

8. Abramova L.S. Teoretychni osnovy formuvannia rozpodilenykh system upravlinnia dorozhnim rukhom u mistakh.: dys. doktor tekhn. Nauk. Kharkiv, 2020. 418 p. [in Ukrainian].
  9. Jia Bin, Jiang Rui, Wu Qing-Song. Traffic behavior near an off ramp in the cellular automation traffic model .Phys. Rev. E. 2004. 69, № 5, ch. 2, s. 056105/1 – 056105/7. [in USA].
  10. PTV Group: an official site. URL: <http://www.ptv.de> (Last accessed: 18.10.2022) [in English].
- 

**Volodymyr Polishchuk**<sup>1</sup>, D.Sc., Prof., <https://orcid.org/0000-0003-3145-7225>

**Inna Vyhovska**<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-1426-9863>

**Alina Korchevska**<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0001-8245-9891>

**Liudmyla Nahrebelna**<sup>2</sup>, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-5615-9075>

<sup>1</sup>National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

### MODELING OF TRAFFIC FLOW DISTRIBUTION ON THE ROAD NETWORK

#### **Abstract**

**Introduction.** The destruction of the road network has been going on for more than a year. In this regard, there is a need to restore traffic conditions both in settlements and on the public road network. The solution to this problem should be based on the definition of the criterion for the formation of safe and continuous traffic conditions based on the use of modern traffic flow models.

**Problems.** Improving traffic management using transport modeling in the PTV VISSIM software environment. Taking into account such criteria as throughput and delay.

**Purpose.** Development of a model for the distribution of traffic flows on the road network.

**Research methods.** Analytical and experimental with the use of computer simulation modeling.

**Results.** A simulation of vehicle traffic was carried out for three options on the section of the public road of national importance M-06. The first option took into account the existing traffic conditions on the road section, the second option - in case of an obstacle to traffic in the existing conditions, and the third option - with the implementation of the proposed measures. As a result of the modeling, it was found that under existing conditions, the average speed is 50 km/h, the average delay time is 20.46 seconds, but if an obstacle to traffic appears, the average delay time increases and is 156 seconds, and the average speed, respectively, decreases and is 37 km/h. With the implementation of measures, namely the introduction of the distribution of traffic flows along different routes (bypassing the obstacle), the average delay time decreased compared to option two and is 54.67 s, and the average speed increased by 11.64 km/h.

**Conclusions.** As a result of the work performed, it was proved that transport modeling can be used to analyze various options for developing traffic management measures, in particular, solving the issue of congestion on a particular section of the road. Transportation modeling allows simulating the division of traffic flows into alternative routes and evaluating them according to established criteria. As a result, traffic delays and waiting times are reduced, which significantly affects traffic capacity, road safety, and has a positive socio-economic effect.

**Keywords:** road, road safety, traffic intensity, network, model, traffic organization, traffic flow.