

Куниця О.А., к.т.н., Закаблук О.О.

АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка

## МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ З ВИЗНАЧЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАТРИМКИ

*Детально розглянуто складові транспортної затримки на прикладі Х-подібного перехрестя з однією смугою руху в кожному напрямку. Наведено математичні залежності визначення сумарної транспортної затримки на нерегульованому пересіченні в одному рівні в режимі реального масштабу часу. Розроблено алгоритм для визначення сумарної транспортної затримки у режимі реального масштабу часу за допомогою автоматизованої системи.*

### Вступ

Повністю ліквідувати негативні наслідки автомобілізації неможливо, тому необхідно розробляти ефективні заходи щодо зменшення їх негативного впливу на міське середовище. Скорочення транспортних затримок неможливо без визначення залежностей їх зміни. Досі визначення транспортних затримок стримувала відсутність необхідного обладнання та програмного забезпечення, а також необхідних математичних залежностей для визначення їх в режимі реального масштабу часу за допомогою автоматизованої системи. Зменшення транспортних затримок за умови безпеки дорожнього руху є одним із головних напрямків розвитку організації дорожнього руху (ОДР).

### Мета роботи

Визначення математичного апарату для розрахунку транспортної затримки за допомогою автоматизованої системи.

### Основна частина

Транспортна затримка — це різниця між фактичним часом проїзду пересічення та часом проїзду пересічення у вільних умовах. Таким чином, транспортна затримка складається з двох складових частин: часу руху автомобіля у вільних умовах та фактичного часу руху. За час руху автомобіля через пересічення у вільних умовах ( $t_{\text{вв}}$ ) приймаємо час, який необхідний автомобілю на проїзд зони пересічення за умови дотримання безпеки руху та відсутності «перешкоди». Під «перешкодою» розуміємо автомобілі, які мають право на першочерговий проїзд пересічення. Фактичний час ( $t_{\text{ф}}$ ) — це час руху ТЗ через пересічення в конкретних дорожніх умовах.

Транспортну затримку на пересіченні визначаємо за формулою:

$$t_z = t_{\text{ф}} - t_{\text{вв}}, \quad (1)$$

де  $t_{\text{ф}}$  — фактичний час руху через пересічення, с;

$t_{\text{вв}}$  — час руху автомобіля через пересічення у вільних умовах, с.

Фактичний час руху автомобіля через Х-подібне пересічення в  $l-t$  координатах з однією смугою руху в кожному напрямку розглянуто в роботі [1]. В роботі [1] встановлено, що фактичний час проїзду автомобіля нерегульованого пересічення в загальному вигляді визначається за формулою:

$$t_{\text{ф}} = t_z + t_{\text{оч}} + t_i + t_p, \quad (2)$$

де  $t_z$  — фактичний час, витрачений на гальмування перед пересіченням, с;

$t_{\text{оч}}$  — час, витрачений на очікування в черзі, с;

$t_i$  — час, витрачений на очікування прийнятного інтервалу,  $c$ ;

$t_p$  — фактичний час, витрачений на розгін,  $c$ .

В роботі [1] проаналізовано складові фактичного часу руху та факторів, що впливають на значення цих складових. Таким чином, фактичне гальмування ( $t_2$ ) — це час від того, як водій почне гальмувати перед пересіченням до того, як займе місце в черзі або почне виконувати маневр. Фактичний час, витрачений на гальмування, можна розрахувати за формулою [2]:

$$t_2 = \frac{V_{аноч} - V}{a_2}, \quad (3)$$

де  $V_{аноч}$  — швидкість автомобіля, з якою він рухався при в'їзді на пересічення,  $m/c$ ;

$V$  — швидкість автомобіля в кінці процесу гальмування,  $m/c$ ;

$a_2$  — вповільнення транспортного засобу,  $m/c^2$ .

Фактичний час на розгін ( $t_p$ ) — це час, за який автомобіль досягне швидкості, з якою він міг би рухатися на пересіченні за умови вільного руху. Фактичний час на розгін визначаємо за формулою [2]:

$$t_p = \frac{V_{аву} - V}{a_p}, \quad (4)$$

де  $V_{аву}$  — швидкість руху автомобіля у вільних умовах,  $m/c$ ;

$a_p$  — прискорення транспортного засобу,  $m/c^2$ .

Час очікування прийнятного інтервалу визначається як різниця між часом прибуття  $i$ -го автомобіля до стоп-лінії ( $t_i^3$ ) та часом покидання тим же автомобілем стоп-лінії ( $t_i^n$ ):

$$t_{ii} = t_i^n - t_i^3. \quad (5)$$

При цьому фіксують астрономічний час — година +  $xв$  +  $c$  +  $мс$ .

Час очікування в черзі можна визначити як різницю між часом збільшення черги транспортних засобів на  $i$ -ий автомобіль ( $t_i^{34}$ ) та часом прибуття того ж автомобіля до стоп-лінії ( $t_i^3$ ), за формулою:

$$t_{очі} = t_i^3 - t_i^{34}. \quad (6)$$

На нерегульованому пересіченні правила проїзду визначають установлені знаки пріоритету. Коли, згідно з ПДР, водій має право проїхати пересічення без зупинки, йому необхідний певний час на подолання цього шляху — час руху у вільних умовах. Цей час якісно відрізняється у двох випадках руху: автомобіль рухається через пересічення з постійною швидкістю; або зі зниженням швидкості для проїзду через пересічення.

У першому випадку, коли для автомобіля немає «перешкоди», він проїжджає пересічення з початковою швидкістю (рис. 1). За початкову швидкість ( $V_{аноч}$ ) — приймаємо швидкість автомобіля, з якою він рухався при в'їзді на пересічення.

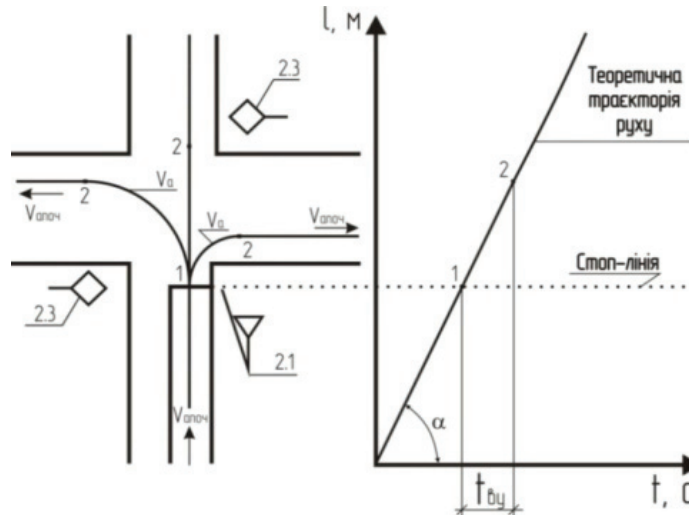


Рис. 1. Процес вільного руху автомобіля через пересічення з постійною швидкістю

Час, який витрачає автомобіль на проїзд пересічення при вільному русі, можна визначити за формулою:

$$t_{\text{вц}} = \frac{L}{V_{\text{аноч}}}, \quad (7)$$

де  $V_{\text{аноч}}$  — початкова швидкість автомобіля, м/с;

$L$  — довжина шляху, по якому рухається автомобіль, м.

Довжина шляху ( $L$ ) — це довжина траєкторії руху автомобіля через пересічення згідно меж зони пересічення. При визначенні затримки межі пересічення у транспортному відношенні (тобто область впливу початку та кінця пересічення на рух ТЗ) мають динамічний характер. Для першого випадку межі пересічення відповідають кінцям закруглень бордюрного каменю за ходом руху автомобіля. Для другого випадку приймаємо за початок пересічення той момент часу, коли водій починає гальмувати. Після виконання поворотного маневру водій прагне досягти максимальної та зручної швидкості ( $V_{\text{max}}$ ). Момент часу досягнення цієї швидкості приймаємо кінцем зони пересічення. Слід враховувати, що для фактично існуючих умов ця швидкість дорівнює значенню усередненої швидкості руху потоку по головному напрямку.

У випадку, коли автомобіль рухається по радіусу, який обумовлено геометричними параметрами пересічення, за умови, що швидкість виконання поворотного маневру ( $V_{\text{ем}}$ ) менша за початкову швидкість ( $V_{\text{аноч}}$ ), необхідно враховувати час, який автомобіль витрачає від початку гальмування перед пересіченням до точки 1 (рис. 2) та на розгін після виконання маневру з точки 2 (рис. 2) до моменту досягнення початкової швидкості. Відстань від точки 1 до точки 2 по траєкторії руху автомобіля — це довжина шляху автомобіля під час виконання маневру без прискорення. Таким чином, час руху автомобіля через пересічення у вільних умовах можна представити формулою:

$$t_{\text{вц}} = t_{\text{звц}} + t_R + t_{\text{рвц}} = \frac{V_{\text{аноч}} - V_{\text{ем}}}{a_{\text{звц}}} + \frac{L}{V_{\text{ем}}} + \frac{V_{\text{max}} - V_{\text{ем}}}{a_{\text{рвц}}}, \quad (8)$$

де  $t_R$  — час руху автомобіля в зоні пересічення без гальмування та розгону під час виконання маневру, с;

$t_{\text{звц}}$  — час, витрачений автомобілем на гальмування у вільних умовах, с;

$t_{\text{рвц}}$  — час, витрачений автомобілем на розгін у вільних умовах, с;

$a_{\text{з}}$  — вповільнення у вільних умовах, м/с<sup>2</sup>;

$a_{\text{р}}$  — прискорення у вільних умовах, м/с<sup>2</sup>;

$V_{\text{вм}}$  — швидкість автомобіля під час виконання маневру, м/с;  
 $V_{\text{max}}$  — максимальна та зручна швидкість після виконання маневру, м/с.

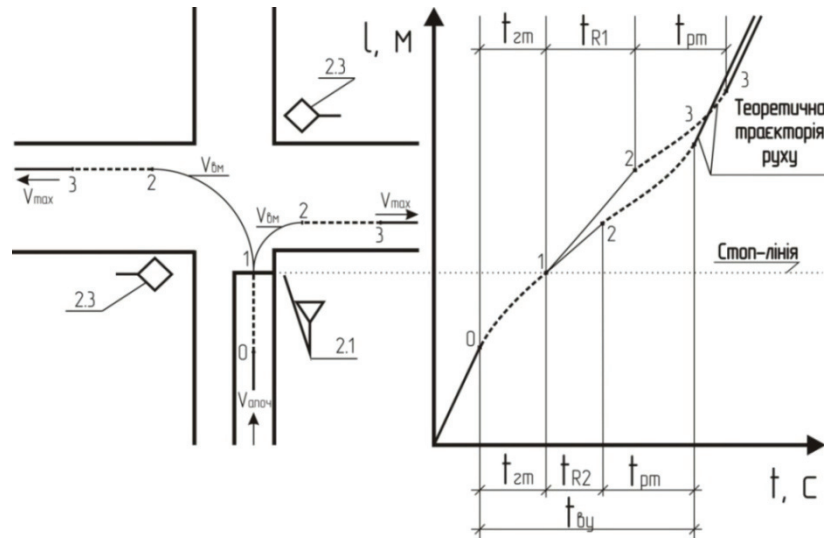


Рис. 2. Процес вільного руху автомобіля через пересічення за умови зміни швидкості

Згідно з вищезазначеним сумарна затримка ( $T$ ) на нерегульованому пересіченні в загальному вигляді визначається за формулою:

$$T = \sum_{i=1}^n (t_{\phi i} - t_{\text{е}y i}) = \sum_{i=1}^n ((t_{\text{о}ч i} + t_{i i} + t_{z i} + t_{p i}) - (t_{z \text{е}y i} + t_{R i} + t_{p \text{е}y i})), \quad (9)$$

де  $t_{\phi i}$  — фактичний час руху через пересічення  $i$ -го автомобіля, с;

$t_{\text{о}ч i}$  — час, витрачений на очікування в черзі  $i$ -го автомобіля, с;

$t_{i i}$  — час очікування прийняттого інтервалу для здійснення маневру  $i$ -м автомобілем, с;

$t_{z i}$  — фактичний час, витрачений  $i$ -м автомобілем на гальмування, с;

$t_{p i}$  — фактичний час, витрачений  $i$ -м автомобілем на розгін, с;

$t_{R i}$  — час руху  $i$ -м автомобілем в зоні пересічення без гальмування та розгону, с;

$t_{z \text{е}y i}$  — час, витрачений  $i$ -м автомобілем на гальмування у вільних умовах, с;

$t_{p \text{е}y i}$  — час, витрачений  $i$ -м автомобілем на розгін у вільних умовах, с;

$n$  — кількість автомобілів за одиницю часу, од.

Використовуючи запропоновані математичні залежності, розробимо алгоритм з визначення сумарної транспортної затримки у режимі реального масштабу часу за допомогою автоматизованої системи.

Алгоритм починає роботу з моменту прибуття від каналу зв'язку з детектором транспорту пакета даних у пристрій збору та підготовки даних (ПЗПД). Блок схема роботи алгоритму представлена на рис. 3. Інформація пакета даних (рис. 3, блок А), що надійшла в повідомленні від каналу зв'язку (наприклад GSM модему) детектору транспорту (ДТ) на головний персональний комп'ютер диспетчерського пункту (ДП), містить дійсні значення його параметрів функціонування. До цих даних відносяться: номер транспортного засобу; тип транспортного засобу; відмітка часу прибуття автомобіля до стоп-лінії ( $t_i^3$ ), година + хв + с + мс; відмітка часу покидання автомобілем «лідером» стоп-лінії ( $t_i^n$ ), година + хв + с + мс; відмітка часу збільшення черги транспортних засобів  $i+1$  автомобілем ( $t_{i+1}^{34}$ ), година + хв + с + мс; відмітка часу від'їзду від стоп-лінії ( $t_{i+1}^n$ ), година + хв + с + мс; загальний астрономічний час, день + місяць + рік; середня швидкість на під'їзді до пересічення, м/с; номер полоси; назва напрямку на пересіченні; номер вузла, який обслуговує автоматизована система.

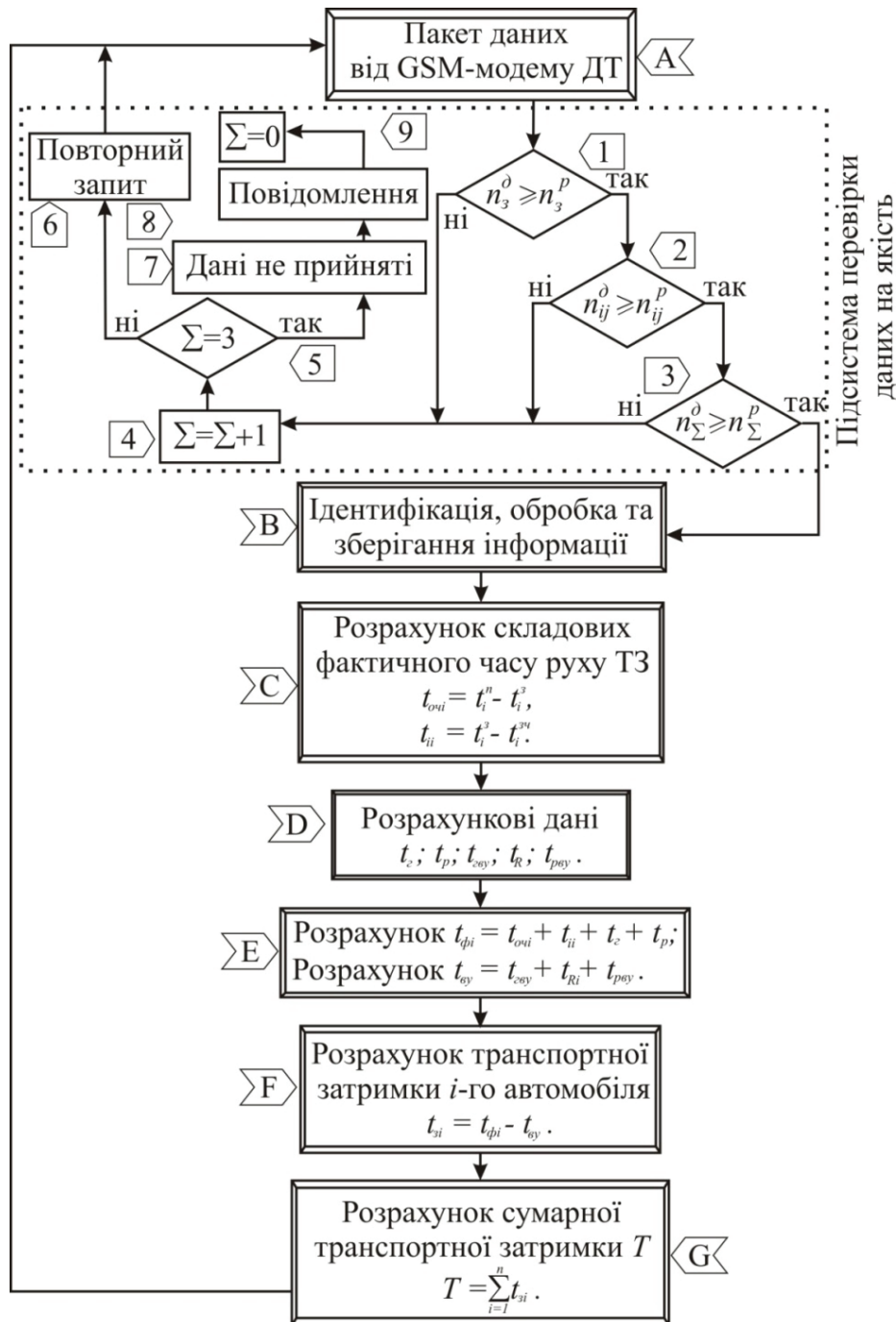


Рис. 3. Блок-схема алгоритму визначення транспортної затримки в режимі реального масштабу часу

Потім ця інформація обробляється та перевіряється на її достовірність, тобто виконується перевірка за її кількістю і розташуванням; значеннями; фізичним змістом (рис. 3). Обробка інформації, що поступила напочатку, надходить до елемента 1, в якому наявна кількість даних співвідноситься з запланованою.

Коли перевірка не виконується, то значення умовного символу  $\Sigma$  збільшується на одиницю (елемент 4). Потім в елементі 5 здійснюється перевірка, чи зроблено всього три запити на повторне отримання інформації від цього ж детектора. Запит передається до модему у випадку суми кількості запитів менше трьох (включно). Якщо після трьох запитів інформація не є вірогідною, формується сигнал «помилка» та дані не приймаються (рис. 3, елемент 7). Потім оператору передається повідомлення (рис. 3, елемент 8) та умовний символ  $\Sigma$

прирівнюється до нуля (рис. 3, елемент 9). Поки несправність не буде виправлена, наступна інформація, що надходить від ДТ, не приймається.

Якщо перевірка виконується, то пакет даних потрапляє до блока В, де виконуються операції ідентифікації даних шляхом присвоєння відповідним умовним символам значень відповідних їм даних. Блок В виконує попередні операції обробки цієї інформації з метою отримання всіх тих проміжних параметрів і величин, що використовуються у наступних блоках алгоритму. Це операції щодо співвідношення номера транспортного засобу ( $i$ ), його типу, астрономічного часу збільшення черги транспортних засобів  $i$ -им автомобілем ( $t_i^{3u}$ ), астрономічного часу прибуття  $i$ -го автомобіля до стоп-лінії ( $t_i^3$ ), часу покидання  $i$ -м автомобілем-«лідером» стоп-лінії ( $t_i^n$ ), середньої швидкості на під'їзді до пересічення ( $V$ ), км/год. Також цей блок виконує операції збереження інформації і її статистичної обробки.

Блок С здійснює операції розрахунку складових фактичного часу руху через пересічення ( $t_{phi}$ ), яка в свою чергу є складовою транспортної затримки автомобіля, згідно математичних залежностей, запропонованих вище (5, 6).

Отримані дані передаються крізь блок D до блоку E (рис. 3) для розрахунку фактичного часу руху ( $t_{phi}$ ) кожного транспортного засобу через нерегульоване пересічення та часу руху автомобіля на нерегульованому пересіченні у вільних умовах ( $t_{sv}$ ). Для здійснення відповідного розрахунку від блоку D до блоку E передається пакет даних — розрахованих характеристик параметрів транспортного потоку та параметрів пересічення, яке обслуговує автоматизована система на основі попередніх експериментальних досліджень згідно математичних залежностей, запропонованих вище. В блоці D отримано розрахунковим шляхом наступні складові фактичного часу руху ТЗ: фактичний час, витрачений  $i$ -м автомобілем на гальмування ( $t_{2i}$ ),  $c$  та фактичний час, витрачений  $i$ -м автомобілем на розгін ( $t_{pi}$ ),  $c$ . Також складові часу руху автомобіля у вільних умовах: час руху автомобіля в зоні пересічення без гальмування та розгону  $i$ -м автомобілем ( $t_{Ri}$ ),  $c$ ; час, витрачений  $i$ -м автомобілем на гальмування у вільних умовах ( $t_{svyi}$ ),  $c$ ; час, витрачений  $i$ -м автомобілем на розгін у вільних умовах ( $t_{pvyi}$ ),  $c$ .

Розраховані у блоці E (рис. 3) значення складових транспортної затримки передаються у блок F для визначення транспортної затримки  $i$ -го автомобіля ( $t_{3i}$ ). Отриманні значення підсумовуються у блоці G за математичними залежностями, зазначеними вище (9). Таким чином, алгоритм (рис. 3) визначає сумарну транспортну затримку на нерегульованому пересіченні у режимі реального масштабу часу.

### **Висновки**

У даній статті розглянуто складові транспортної затримки на прикладі нерегульованого Х-подібного перехрестя з однією смугою руху в кожному напрямку. Запропоновано математичні залежності визначення транспортної затримки на нерегульованому перехресті в одному рівні та розроблено новий науковий продукт у вигляді алгоритму для визначення сумарної транспортної затримки на нерегульованому перехресті в одному рівні.

### **Список літератури**

1. Куница О.А. Визначення транспортної дійсної затримки на нерегульованих пересіченнях в одному рівні / О.А. Куница, О.О. Закаблук // Вісті Автомобільно-дорожного інституту: науковий збірник. — 2009. — № 2 (9). — С. 46-51
2. Афанасьев Л. Л. Конструктивная безопасность автомобиля: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Организация дорожного движения» / Л.Л. Афанасьев, А.Б. Дьяков, В.А. Иларионов. — М.: Машиностроение, 1983. — 212 с.

Стаття надійшла до редакції 04.01.10  
© Куница О.А., Закаблук О.О., 2010