

УДК 625.72:656.11

О.В. Денисенко

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна*

## ВИЗНАЧЕННЯ ЗАТРИМОК ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА РЕГУЛЬОВАНОМУ ПЕРЕХРЕСТІ

*Розглянуто новий підхід до визначення затримок транспортних засобів на регульованих перехрестях, який дозволяє підвищити точність їх виміру в умовах динамічної зміни параметрів транспортних потоків на перехресті. Розкрити особливості розширення функціональних можливостей запропонованого рішення для підвищення якості управління на перехресті.*

**Ключові слова:** транспортний потік, затримка, транспортний засіб, регульоване перехрестя, пристрій розгортки, лазерний промінь.

### Постановка проблеми

Постійне ускладнення умов руху ТЗ вимагає удосконалення технологій і технічних засобів керування дорожнім рухом. Використання автоматизованих систем управління дорожнього руху (АСУДР) та їх постійне удосконалення дозволяє вирішувати найскладніші транспортні задачі.

Одним з найважливіших напрямків забезпечення функціонування дорожнього руху (ДР) є побудова АСУДР на таких важливих елементах ВДМ як регульовані перехрестя. Для забезпечення високого рівня керуючих та організаційних заходів на регульованих перехрестях потрібні данні, які характеризують не тільки транспортні потоки (ТП), але й можливість отримати критеріальні оцінки якості функціонування перехрестя.

Серед існуючих критеріїв оцінки ефективності управління регульованих перехресть найбільше поширення отримали такі показники як середня затримка ТЗ, ступінь насичення смуг руху та пропускна здатність перехрестя. Проте одним з самих головних інтегральних критеріїв, на основі якого приймаються різноманітні коруючі дії, вважається середня затримка ТЗ.

Тому актуальною є проблема створення гнучкої технології одночасного виміру комплексу параметрів руху ТП і транспортної затримки автомобілів, яка дозволить на базі сукупності алгоритмів і засобів їх реалізації досягти мети керування.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

У наступний час існує багато методів для отримання даних параметрів руху транспортних засобів (ТЗ) та критеріїв оцінки ефективності функціонування регульованого перехрестя. Серед них є: методи, засновані на натурних спостереженнях; методи імітаційного моделювання руху; методи

відео спостереження та ін. Усі ці методи об'єднують мету отримання точних даних про параметри ТП для ефективного управління рухом ТЗ на перехресті.

Ознайомлення з публікаціями показує, що на протязі тривалого періоду в багатьох країнах світу основною розрахунковою формулою затримок є модель Ф. Вебстера. Але необхідно відзначити, що в останній час ряд авторів вказують на значні похибки формули Вебстера і віддають перевагу іншим моделям, отриманим пізніше [1-3]. В якості прикладу в [4-6] наводиться декілька північноамериканських моделей визначення середніх затримок ТЗ на регульованих перехрестях. Основною відзнакою цих формул є те, що вони враховують вплив попередніх перехресть на затримку на основному.

Фундаментальні праці з цього питання відзначають, що найбільш точними методами визначення затримок вважаються експериментальні [1, 4, 7], в яких використовуються сучасні технології виміру. Серед існуючої на даний час різноманітної кількості систем і приладів, у тому числі детекторів транспорту, для визначення параметрів ТП на підходах до перехрестя, найбільшу перевагу спеціалісти віддають методам і засобам з застосуванням оптичного (лазерного) випромінювання [8, 9].

Так у роботі [8] в якості приймача сигналу запропонований оптико-електричний детектор транспорту на основі пластинчатих растрів. Вихідними даними роботи цього детектору є швидкість руху, габаритних характеристик (висота, довжина), основних характеристик транспортного потоку з використанням автомобіля-маркеру. Недолік даного пристрою полягає в складності обробки відеосигналу, що характеризує оптичний образ транспортного засобу.

Відомі способи і пристрої для визначення швидкості і типу транспортних засобів з використанням відеокамер, що встановлюються в пристрій

контролю у складі вітчизняних і зарубіжних приладів ("Арена", "Крис-1", "Візор", "Сокіл", "TruCam" і ін.) [7]. Досвід експлуатації таких систем показує, що вони мають ряд недоліків, серед яких: дорожня і складність спеціального програмного забезпечення для обробки відеоданих; необхідність серйозного підсвічування контрольованої зони (КЗ) у нічний час; тривалий час обробки інформації, використовуваної для формування керуючих впливів і передачі їх у темпі, сумірному зі швидкістю зміни умов руху на ВДМ; відсутність можливості визначення всіх необхідних параметрів руху ТП одночасно по всіх смугах руху перехрестя.

Серед методів і пристроїв експериментального визначення середньої затримки відомо спосіб [10], згідно якому затримка ТЗ визначається шляхом ділення сумарної транспортної затримки на число ТЗ, що в'їхали в КЗ на підході до перехрестя за період вимірювання (рис.1). Сумарна транспортна затримка  $A$  визначається, у свою чергу, періодичним з періодом  $\Delta t$  підсумовуванням поточної довжини черги ТЗ в КЗ

$$A = \Delta t \cdot \sum_{i=1}^k l_i, \quad (1)$$

де  $l_i$  - поточна довжина черги ТЗ в КЗ;

$k$  - число періодів сканування за час виміру, дорівнює  $k = T_{\Delta} / \Delta t$ ; де  $T_{\Delta}$  - період визначення транспортної затримки.

Визначення поточної довжини черги ТЗ в КЗ здійснюється підсумовуванням ТЗ, що в'їжджають в КЗ, зі зменшенням отриманої суми на одиницю на зелений сигнал світлофора через інтервали часу розвантаження.

Недоліком цього способу і пристрою, що його реалізує, є низька точність визначення затримок з огляду на те, що число ТЗ, що виїжджають з КЗ, визначається не по реальній їх кількості, а по числу штучних інтервалів часу розвантаження черги. Низька точність визначення транспортної затримки обумовлена також великим інтервалом реєстрації черги ТЗ в КЗ, що знижує можливість точного обліку ТЗ, що частково перетинають вихідну межу КЗ у момент зменшення довжини черги на одиницю [3]. Крім того, даний спосіб, не дозволяє врахувати ТЗ, що покидають КЗ на заборонні сигнали світлофора (тобто ТЗ "прориву"), а також ТЗ, що чекають в черзі на проїзд наліво або направо лише частково покидають КЗ і якийсь час залишаються нерухомими або поволі рухомими в зоні перехрестя не підлягають обліку для визначення загальної затримки.

Серед існуючих способів визначення затримок ТЗ на регульованому перехрестті цікавою вважається

пропозиція [11], згідно якої КЗ формується двома концентричними круговими траєкторіями вузькоспрямованими лазерними променями з радіусами  $R_1$  та  $R_2$  на поверхні перехрестя. Ці траєкторії формуються за допомогою пристрою розгортки 3 (сканера), який розташований на арці або консолі 4 над проїжджою частиною перехрестя, як це показано на рис. 1. На арці 4 у відповідних точках розміщуються фотоприймачі (ФП) 1 та 2, направлені на вхідні і вихідні межі окремих смуг руху, які по відбитим від ТЗ сигналам, фіксують моменти їх перетину кіл сканування.

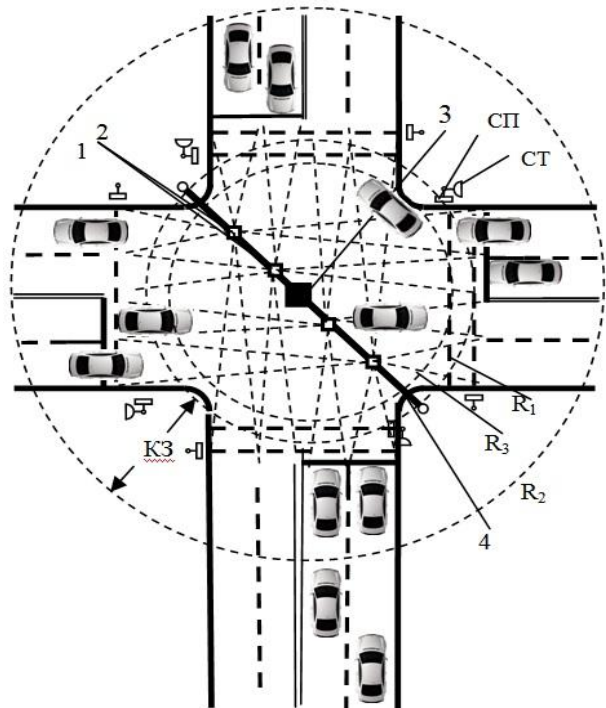


Рис.1. Схема розташування технічних засобів для визначення затримок ТЗ на перехрестті.

Відповідні ФП, фіксують моменти перетину вхідних і вихідних меж КЗ по заднім бамперам ТЗ, що дозволяє визначити поточну довжину черги ТЗ в КЗ по кожній смузі і зберігати цю інформацію у відповідних лічильниках на любий момент часу. Спосіб враховує середній час проїзду КЗ кожним ТЗ і зменшує отриману суму кожного з лічильників відповідної смуги на одиницю при перетині вихідної межі КЗ, розташованої в зоні "Стоп-лінії" перехрестя.

На кожному період  $\Delta t$  сканування лазерного променя по кожній смузі руху обчислюють сумарну транспортну затримку  $T$  за час виміру  $T_B$  з врахуванням поточної довжини черги  $n_{ст}$  та величини  $\Delta t$

$$T = \Delta t \cdot \sum_{i=1}^k n_{ст i}, \quad (2)$$

де  $k$  - число періодів сканування за час виміру, дорівнює  $k = T_{\Delta} / \Delta t$ .

До кінця періоду виміру  $T_B$  транспортної затримки по сигналу "Скид" або по сигналу з певною періодичністю, наприклад, кінця кожного циклу регулювання світлофорної сигналізації  $T_{\Pi}$  обчислюють середню транспортну затримку  $\bar{t}_j$  для  $j$  - тої смуги руху:

$$\bar{t}_j = \Delta t \frac{\sum_{i=1}^k n_{ст i}}{n_{np j}}, \quad (3)$$

а потім і середню транспортну затримку  $\bar{t}_{\Pi}$  для всього перехрестя:

$$\bar{t}_{\Pi} = \frac{\sum_{j=1}^m \bar{t}_j n_{np j}}{\sum_{j=1}^m n_{np j}}, \quad (4)$$

де  $n_{np j}$  - число ТЗ, що повністю переїхали вхідну межу КЗ  $j$  - тої смуги руху за час  $T_B$ ;

$m$  - число смуг руху на підходах до перехрестя.

Такий підхід у визначенні поточної черги ТЗ, дозволяє визначати реальне число ТЗ в КЗ і враховувати їх в сумарній транспортній затримці. Це дозволяє врахувати ТЗ, що покидають КЗ на заборонні сигнали світлофора (жовтий, або навіть на червоний), тобто ТЗ "прориву", що досить часто зустрічається в реальній практиці. Крім того, запропонований спосіб і пристрій для його реалізації дозволяють врахувати ситуації, коли ТЗ, чекаючи в черзі на проїзд наліво або направо лише частково покидають КЗ і якийсь час залишаються нерухомими або такими, що рухаються над лінією "Стоп".

Висока частота сканування та накопичення сумарної транспортної затримки підвищує точність та вдосконалює спосіб, але і він має ряд суттєвих недоліків.

По-перше, він не враховує затримки проїзду ТЗ зони самого перехрестя, які виникають у випадках очікування поворотів ТЗ направо або наліво і з будь-яких причин (прямий зустрічний ТП для лівоповоротних потоків та пішохідний потік при повороті

ротних потоків та пішохідний потік при повороті направо) затримуються у зоні перехрестя.

По-друге, він має низьку точність визначення транспортної затримки, обумовлену тим, що затримка проїзду КЗ враховується по середньому часу приїзду і не враховує тип та габарити кожного ТЗ.

### Формування мети статті

В основу пропозиції покладена мета підвищення точності визначення транспортних затримок на регульованому перехресті. Аналіз відомих рішень вимагає вирішення наступних задач:

- визначення основних недоліків звісних рішень;
- урахування у новій пропозиції позитивних якостей попередніх рішень;
- розширення функціональних можливостей звісних методів для одержання більш повного комплексу інформації для оперативного контролю якості управління рухом на перехресті;
- розробка такої технології та алгоритму визначення затримки, які би відповідали вимогам універсальної адаптивної системи, що динамічно реагує на всілякі зміни умов руху ТП на перехресті

### Виклад основного матеріалу

Для досягнення поставленої мети і завдань у запропонований спосіб покладено конусне покорокове сканування одночасно двома лазерними променями тимчасово всіх підходів і виходів перехрестя, що забезпечує можливість сформувавши вхідні і вихідні межі КЗ. На відміну від попереднього способу до складу блоку сканування з входить оптичний відхиляючий пристрій (дискретний сканістор), який забезпечує відхилення осі першого лазерного променя в необхідне друге положення, при якому радіус кола ( $R_1$ ) на поверхні проїзної частини зменшується ( $R_3$ ) на задану величину (наприклад, на 1м) [12]. Таким чином, блок з на кожному наступному періоді сканування змінює розгортку першого лазерного променя з одної оптичної осі на іншу та описує в зоні стоп-ліній на поверхні перехрестя два концентричні кола з різницею радіусів ( $R_1 - R_3 = 1\text{м}$ ) та формує вихідну межу КЗ (див. рис. 1).

Другий оптичний промінь лазерної розгортки формується у одній площині з першим, але зі зміщенням на  $180^\circ$  по колу розгортки і формує вхідну межу КЗ.

Таке вдосконалення попереднього способу (почергова періодична зміна оптичної осі лазерного променя в зоні стоп-лінії з радіуса  $R_1$  на  $R_3$  і навпаки) дозволяє точно визначити час пересування ТЗ на дистанції ( $R_1 - R_3$ ), швидкості їх руху в зоні «стоп-ліній», а потім послідовно довжину і тип ТЗ, напрямки і інтервали їх руху, а також довжину черги ТЗ. у КЗ по кожній смузі за будь яке фіксоване значення часу  $T_B$ .

Фіксацію ТЗ, що в'їжджають в КЗ і виїжджають з неї здійснюють по задніх бамперах, а реальне число ТЗ в КЗ і сумарну транспортну затримку накопичують з високою частотою на кожному періоді сканування, при цьому  $\bar{t}_j$  і  $\bar{t}_n$  визначають по числу ТЗ, що реально виїхали з КЗ, за період вимірювань.

Згідно розробленої пропозиції [12] сумарна транспортна затримка  $T_j$  перебування ТЗ у КЗ по кожній  $j$ -й смузі руху накопичується з кожним періодом

$$T_j = \Delta t \cdot \sum_{i=1}^k n_{\text{вб}} - \sum_{l=1}^b t_l, \quad (5)$$

де  $t_l$  - середній час приїзду КЗ кожним конкретним  $l$  - м типом ТЗ, що за час виміру  $T_B$  повністю покинув КЗ.

Потім визначають транспортну затримку  $T_{Ij}$  проїзду кожним  $l$ -м типом ТЗ зони самого перехрестя з  $j$ -ї смуги руху (від кола сканування з  $R_1$  на вході перехрестя до кола з  $R_1$  на його виході), як різницю між реальним часом проїзду  $t_\delta$  та середнім часом проїзду  $\bar{t}_l$  зони перехрестя у заданому напрямку

$$T_{Ij} = \sum_{l=1}^b (t_\delta - \bar{t}_l)_l \quad (6)$$

Якщо різниця  $(t_\delta - \bar{t}_l)_l \geq 0$  її враховують в загальній складовій  $T_{Ij}$ , в іншому випадку при  $(t_\delta - \bar{t}_l)_l \leq 0$  ця складова не враховується.

Реальний час проїзду зони перехрестя кожним ТЗ фіксується по моментам перетинання їх задніх бамперів вказаних меж зони перехрестя, причому визначається він з високою точністю з дискретністю періоду сканування одночасно по всіх смугах на підходах до перехрестя.

Загальна затримка ТЗ по  $j$ -й смузі руху за обраний час  $T_B$  визначається як сума

$$T_{\Sigma j} = T_j + T_{Ij}. \quad (7)$$

А середня затримка  $\bar{t}_j$  для  $j$ -тої смуги руху за  $T_B$ , або, наприклад, за кожний цикл світлофорного регулювання  $T_{\text{ц}}$  визначається

$$\bar{t}_j = \frac{T_{\Sigma j}}{n_{\text{прі}}} \quad (8)$$

Середня затримка ТЗ для всього перехрестя визначається за формулою (4) і дозволяє врахувати затримки окремих видів ТЗ в зоні самого перехрестя, що пов'язано з очікуванням проїзду, або зі зниженням швидкості перетину перехрестя.

Наявність подвійного сканування на виході з перехрестя дає можливість визначити тип ТЗ на виході з перехрестя, а значить і напрямок його руху, і таким чином при відомих значеннях середнього часу проїзду різних типів ТЗ у різних напрямках точно врахувати їх затримки при перетині зони перехрестя. Все це дозволяє суттєво підвищити точність визначення транспортної затримки на регульованому перехресті.

Але і цей спосіб при усіх його перевагах також має деякі недоліки. Це пов'язано з тим, що затримки проїзду ТЗ не враховують повної зони перед перехрестям і зону виходу з перехрестя де відбуваються режими уповільнення та прискорення до повного набору швидкості кожним ТЗ.

Для усунення вказаних недоліків в рамках запропонованої технології сканування прилеглих територій перехрестя одночасно двома гостро направленими лазерними променями пропонується розгортку другого променя здійснювати іншим чином за допомогою спеціального блоку сканування 1 (див. рис. 2 та 3) [13]. Цей блок розміщується на спеціальному кронштейні в точці, що відповідає геометричному центру перехрестя.

Другий промінь, згідно технології формує вхідну межу КЗ і починає свою розгортку з внутрішнього кола з радіусом  $R_3$  і поступово покроково розширяє його зміною положень кутів розгортки на кожному періоді сканування, утворюючи на поверхні перехрестя і прилеглих доріг концентричні кола з заданою величиною шагу (наприклад, 1 м).

Це досягається програмною зміною кута оптичних вісей розгортки для послідовного розширення радіусу кіл сканування з метою визначення зони початку уповільнення будь-яким ТЗ по смугам руху на підходах до перехрестя, або зони кінця прискорення на виходах з перехрестя.

Внутрішнє коло розгортки другого променя пропонується обирати на відстані 5...10 м від стоп-лінії (див. рис. 1), а наступні концентричні кола розгортки будуть досягати зони впливати перехрестя на швидкість руху ТЗ. Як тільки радіус зовнішнього кола другого променя досягає зони впливу, по відбитим сигналам з ФП<sub>і</sub> проводиться пошук місць розташування і моменти часу початку уповільнення для ТЗ по окремим смугам на підходах до перехрестя та місця і моменту часу закінчення прискорення ТЗ, що по різних смугах виїжджають з перехрестя. Розгортка другого променя продовжується до кінця найбільш дальнього ТЗ в указаній зоні, а потім здійснюється додаткове сканування з розширенням зони



ще на 5-10 м, для надійного визначення моменту початку зниження (кінця підвищення) швидкості ТЗ.

Після цього в реперній точці відбувається зміна кута осі сканування другого променя на передостаннє коло з послідовним зменшенням радіусів сканування в зворотному напрямку на кожному періоді на 1 м до кола з радіусом  $R_3$ . Далі цей процес багато разів повторюється, що дозволяє при високій швидкості розгортки достатньо точно визначити процес зміни швидкості ТЗ та довжину черг, що накопичуються по смугам руху на червоний сигнал світлофору у будь-яку мить часу.

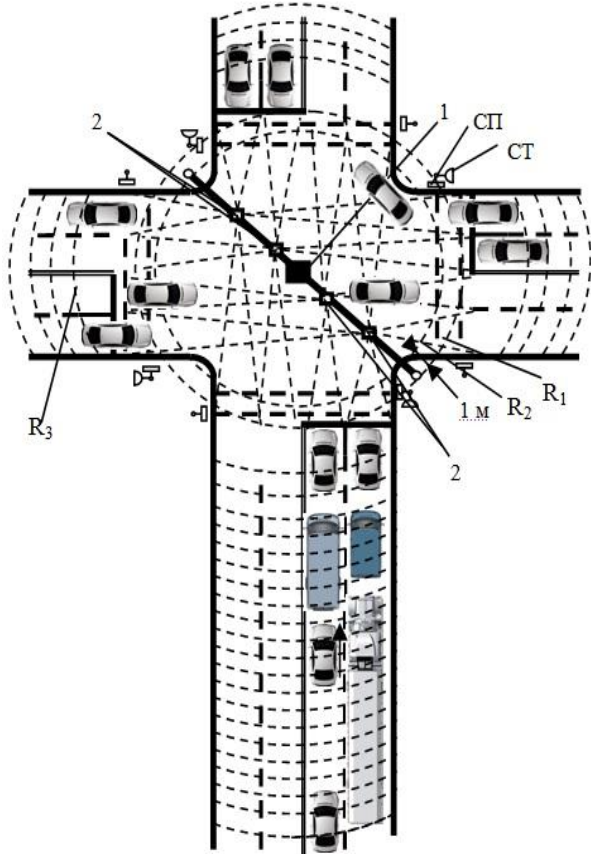


Рис. 2. Схема запропонованого способу сканування для визначення затримок ТЗ.

Для визначення моменту початку зміни швидкості ТЗ на вході перехрестя виміряють значення  $V_1'$  та  $V_2'$  на двох сусідніх смугах сканування другого променя, кожна з яких складає дистанцію 1 м. Фіксацію моментів проїзду кожного кола сканування здійснюють по перетину цих ліній переднім або заднім бампером ТЗ.

Якщо час перетину другої з двох сусідніх смуг сканування складає  $t'$ , то значення прискорення (уповільнення) на цих смугах сканування визначається як

$$a = \frac{V_2' - V_1'}{t'} \quad (9)$$

Потім фіксуються швидкості  $V_1'$  та  $V_2'$  цього ж ТЗ та часу  $t''$  при перетині відпо-відно цих ліній сканування його заднім бампером. Довжина  $l_{ТЗ}$  цього ТЗ з урахуванням уповільнення (прискорення)

$$l_{ТЗ} = a' \cdot t_{\alpha\alpha}^2, \quad (10)$$

де  $t_{ТЗ}$  – час проїзду ТЗ відповідної лінії сканування (на виході другої з двох сусідніх смуг сканування), спочатку переднім, а потім заднім бампером

При цьому прискорення визначається як

$$a' = \frac{V_2'' - V_1''}{t_{\alpha\alpha}} \quad (11)$$

За значенням  $l_{ТЗ}$  у подальшому визначається тип ТЗ, який по кожній смузі руху перетинає зону сканування другого променя.

Можливість виміру швидкості на кожній дистанції 1 м та прискорення (уповільнення) ТЗ на будь-яких двох послідовних смугах сканування в зоні розгортки другого променя, дає можливість суттєво підвищити точність визначення габариту і типу ТЗ, а також точки і моменту початку його уповільнення (завершення прискорення).

Відповідно до запропонованого способу затримка кожного ТЗ (з урахуванням його типу  $i$ , смуги руху  $j$  та напрямку руху) визначається як різниця між реальним часом проїзду ТЗ дистанції виміру та часом проїзду цієї дистанції у вільних умовах руху (без затримок, тобто без впливу інших ТЗ і світлофорної сигналізації на швидкість руху).

$$t_{\zeta}^{ji} = t_{\delta}^{ji} - t_{\alpha\alpha}^{ji} \quad (12)$$

Момент і місце, з якого починається підрахунок реального часу проїзду пропонується обирати за моментом початку уповільнення ТЗ в зоні сканування другого променя на підходах до перехрестя, а кінець цього інтервалу - за моментом закінчення прискорення ТЗ в зоні сканування другого променя на виході з перехрестя.

Час проїзду ТЗ  $i$ -го типу у вільних умовах визначається дистанцією виміру  $l_{ji}$  між точками початку і кінця відповідного реального часу проїзду ТЗ і швидкістю руху  $V_{ji}$  у вільних умовах для конкретного типу ТЗ у конкретному напрямку руху:

$$t_{\alpha\alpha}^{ji} = l_{ji} \cdot V_{ji} \quad (13)$$

Загальна затримка ТЗ по  $j$ -й смузі руху за обраний час  $T_B$  визначається як сума

$$T_{\Sigma j} = \sum_{i=1}^b n_i \cdot t_c^{ji}, \quad (14)$$

де  $n_i$  - кількість ТЗ  $i$ -го типу, що в'їхали та повністю покинули дистанцію виміру за  $T_B$ .

Середня затримка  $\bar{t}_j$  по  $j$ -тій смузі руху за час  $T_B$  або за  $T_{\Sigma}$  визначається за формулою (3), а середня затримка ТЗ для всього перехрестя визначається за формулою (4).

Спрощена структурна схема пристрою, для реалізації запропонованого способу розгортки має у своєму складі: блок сканування 1, лазерний випромінювач 3 вузькоспрямованого променя і вузол роз-

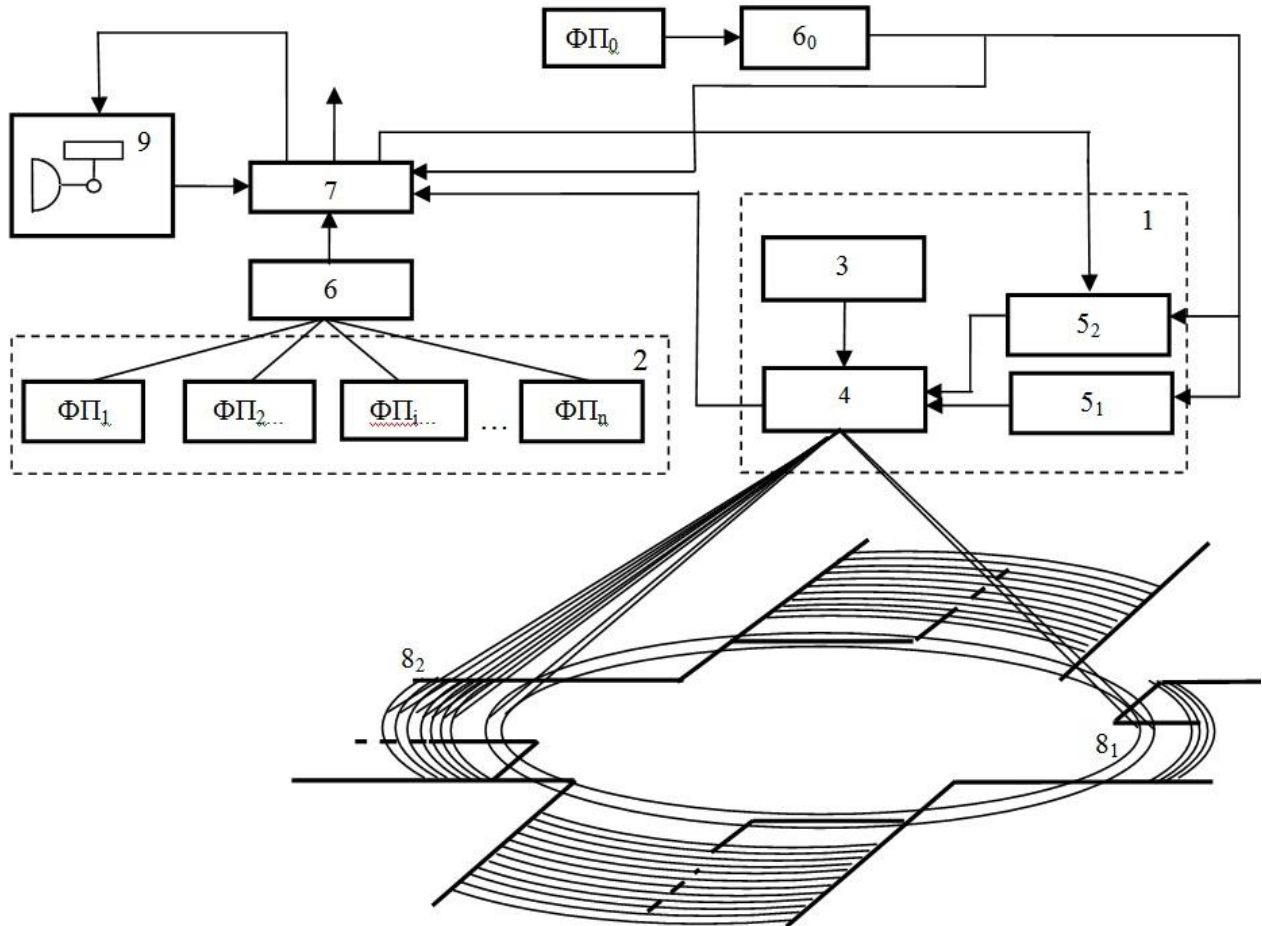


Рис. 3. Спрощена схема пристрою для визначення затримок ТЗ на перехресті

гортки 4, які формують дволучове конусне покрокове сканування зони перехрестя за допомогою оптичних відхиляючих пристроїв  $5_1$  та  $5_2$ . Зміна положень кутів розгортки променів  $8_1$  та  $8_2$  здійснюється в реперній точці по черзі на кожному періоді сканування сигналом, що поступає з реперного фотоприймача  $\Phi\Pi_0$  на входи дискретних сканісторів  $5_1$  та  $5_2$ .

Фотоприймачі 2, що направлені на вхідні і вихідні смуги руху, послідовно сприймають відбиті сигнали лазерних променів з часовою затримкою на півперіоду сканування.

Перетворювач 6 сигналів кожного  $\Phi\Pi_i$  відповідної смуги руху перетворює сигнали в імпульсно-цифрові коди, які вводяться в обчислювальний пристрій (ОП) 7, де далі визначаються всі необхідні

моменти початку і закінчення інтервалів зниження швидкості проїзду ТЗ в зоні впливу перехрестя.

Якщо в ОП закладається алгоритм, правила і константи, відповідні діапазнам тимчасових інтервалів руху ТЗ у зоні перехрестя, при будь-яких змінах напрямків їх руху по смугах, зберігається інформація про швидкості вільного руху різних типів ТЗ, значення координат точок початку та закінчення реального часу проїзду перехрестя та часу проїзду дистанції виміру у вільних умовах, склад ТЗ та поточні значення черг по смугах руху, тоді з'являється можливість визначення не тільки усіх перелічених вище параметрів, але й можливість більш точного визначення транспортних затримок.

При необхідності визначення середньої затримки на перехресті за  $T_{\text{ц}}$  сигнали зміни елементів циклу СР з виходу світлофорного об'єкту 9 подаються на відповідний вхід ОП.

Якщо  $T_B$  більш тривалий період чим  $T_{\text{ц}}$ , можна скористатися ручним способом формування часу виміру за допомогою сигналів «Пуск» і «Скид». При цьому середня затримка на перехресті після кожного циклу світлофорної сигналізації накопичуватиметься у ОП і по сигналу «Пуск» визначатиметься як середнє значення для всього періоду виміру.

Поняття затримки ТЗ в цілому відноситься до критеріїв оцінки ефективності функціонування перехрестя і вважається статичним параметром, який у подальшому використовують для параметричної реорганізації руху на перехресті (зміни елементів циклу регулювання) або шляхом зміни топографії перехрестя, схеми пофазного роз'їзду (зміни кількості фаз, перерозподіл напрямків руху по смугах, заборона окремих напрямків руху і т.д.), що вважається структурною реорганізацією перехрестя (структурною адаптацією об'єкту).

Автор вперше пропонує використання цього критерію якості у динаміці (у реальному часі дії) при різкій зміні умов руху ТП (ожеледиця, туман, різка зміна інтенсивності ТП при масових заходах по місту і т.д.), при яких може відбуватися різка зміна пропускної здатності перехрестя і при яких необхідна параметрична або структурна реорганізація руху на перехресті в реальному масштабі часу за інформацією виміру в динамічному режимі.

## Висновки

Визначення транспортної затримки таким способом з високою частотою сканування і по реальним значенням часу проїзду зони впливу перехрестя різними типами ТЗ, дає можливість суттєво підвищити точність виміру кінцевих параметрів.

Перевагою запропонованого способу можна вважати те, що він дозволяє одночасно з затримками визначати ряд окремих параметрів руху ТП в зоні перехрестя: швидкості руху ТЗ, їх тип, інтервали і напрямки руху, інтенсивності ТП по кожній смузі за будь-яке фіксоване значення часу, причому здійснюється це одним загальним пристроєм, розташованим в зоні перехрестя.

Таким чином, запропонований спосіб дає можливість більш ефективно оцінювати якість світлофорного регулювання і бути використаний для контролю і подальшого оперативного управління рухом на перехресті

## Література

1. Левашев, А.Г. Проектирование регулируемых пересечений. [Текст]: уч. пособие / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов., И.М. Головных. – Иркутск: Изд-во ИргТУ, 2007. – 208с.
2. Webster, F.V., Cobbe, B.M. (1966) Traffic Signals. *Road Research Technical Paper N56, HMSO, London*, 111.
3. Branston, D. & Van Zuijlen, H.J. (1987) The estimation of saturation flow, effective green time and passenger car equivalents at traffic signals by multiple liner regression. *Transp. Res.*, 12, 47 – 53.
4. Tepley, S., Allingham, D., Richardson, D., Stephenson, B. (1995) Second Edition of the Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections. *Institute of Transportation Engineers, District 7, Canada*, 115.
5. Highway Capacity Manual. (2000) *TRB, Washington, DC*, 1134.
6. Highway Capacity Manual 2010 (2010) *Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C.*, 1650.
7. Kockelman, K.M. & Raheel, A.S. (1999) Effect of vehicle type on the capacity of signalized intersections.– *The University of Texas at Austin*, 23.
8. Пleshenceв, В.С. Диагностирование транспортных потоков федеральной автотрассы «Волга М-7» [Текст] / В.С. Пleshenceв, Е.В. Дмитриева, Д.А. Соцков // Организация и безопасность дорожного движения в больших городах: сборник статей 7-й международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию МВД России. – Санкт-Петербург, 21-22 сентября 2006. – С 27-31.
9. Пleshenceв, В.С. Оптико-электронная система идентификации АТС в транспортных потоках. [Текст] / В.С. Пleshenceв, В.Н. Кунин, О.В. Маковецкая-Абрамова // Автомобильная промышленность, 2001. - №4. - 37 с.
10. А. с. 1285512 СССР МКИ4 G 08 G 1/065. Способ определения транспортных задержек на регулируемом перекрестке и устройство для его осуществления [Текст] / В.А. Ем (СССР).- №3879748/24-24; заявл. 08.04.85; опубл. 23.01.87, Бюл. №3.
11. Пат. 100660 Україна, МКИ4 G 08 G 1/09. Спосіб визначення транспортних затримок на регульованому перехресті та пристрій для його здійснення [Текст] / Левтеров А.І., Денисенко О.В., Ярута А.М.; заявник і патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. - № и 2011 01931; заявл. 18.02.11; опубл. 10.01.13, Бюл. №1/2013.
12. Пат. 109680 Україна, МКИ4 G 08 G 1/09. Спосіб визначення транспортних затримок на регульованому перехресті [Текст] / Денисенко О.В.; заявник і патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет.- опубл. 25.09.15, Бюл. № 18/2015.
13. Пат. 122470 Україна, МКИ4 G 08 G 1/09. Спосіб визначення затримок транспортних засобів на регульованому перехресті [Текст] / Денисенко О.В.; заявник і патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет.- опубл. 10.01.18, Бюл. № 1/2018.

## References

1. Levashev, A.G., Mikhaylov, A.Yu., Golovnikh, I.M. (2007) Projection of adjustable crossings – *Irkutsk: Publishing house of IRGTU*, 208.
2. Webster, F.V., Cobbe, B.M. (1966) Traffic Signals. *Road Research Technical Paper N56, HMSO, London*, 111.
3. Branston, D. & Van Zuijlen, H.J. (1987) The estimation of saturation flow, effective green time and passenger car equivalents at traffic signals by multiple liner regression. *Transp. Res.*, 12, 47 – 53.
4. Teply, S., Allingham, D., Richardson, D., Stephenson, B. (1995) Second Edition of the Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections. *Institute of Transportation Engineers, District 7, Canada*, 115.
5. Highway Capacity Manual. (2000) *TRB, Washington, DC*, 1134.
6. Highway Capacity Manual 2010 (2010) *Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C.*, 1650.
7. Kockelman, K.M. & Raheel, A.S. (1999) Effect of vehicle type on the capacity of signalized intersections.– *The University of Texas at Austin*, 23.
8. Pleshentsev, V.S., Dmitriyeva, E.V., Sotskov, D.A (2006) Diagnosing of traffic flows of the federal highway "Volga M-7". *The Organization and traffic safety in big cities: the collection of articles of the 7th international scientific and practical conference devoted to the 70 anniversary of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation.* – St. Petersburg, on September 21-22, 2006, 27-31.
9. Pleshentsev, V.S., Kunin, V.N., Makovetskaya-Abramova, O.V. (2001) The optical-electronic system of identification of automatic telephone exchange in traffic flows. *Automotive industry*, 4, 37.
10. Em, V.A. (1987) *Copyright certificate 1285512 USSR MKI4 G 08 G 1/065. A way of definition of transdressmakers of delays at the adjustable intersection and the device for its exercise* -No. 3879748/24-24; Bulletin No. 3.
11. Levterov, A.I., Denisenko, O.V., Yarut, A.N.(2013) *Patent 100660 Ukraine, MKI<sup>4</sup> G 08 G 1/09. A way of definition of transport delays at the adjustable intersection and the device for its exercise.* Applicant and owner of the patent Kharkiv national automobile and road university. - No. u 2011 01931; zayavleno 18.02.11; the Bulletin No. 1/2013.
12. Denisenko, O.V. (2015) *Patent 109680 Ukraine, MKI<sup>4</sup> G 08 G 1/09. A way of definition of transport delays at the adjustable intersection.* Applicant and owner of the patent Kharkiv national automobile and road university. - No. and 2013 07015; zayavleno 04.06.13; the Bulletin No18/2015.
13. Denisenko, O.V. (2018) *Patent 122470 Ukraine, MKI<sup>4</sup> G 08 G 1/09. A way of definition of transport delays at the adjustable intersection* Applicant and owner of the patent Kharkiv national automobile and road university. - No. u 2017 07407; it is stated 13.07.17; the Bulletin No. 1/2018.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ю.О. Давідіч, Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Україна.

**Автор:** ДЕНИСЕНКО Олег Васильович  
кандидат технічних наук, доцент  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
E-mail – denisenko.oleg52@gmail.com

## DEFINITION OF DELAYS OF VEHICLES AT THE ADJUSTABLE INTERSECTION

O.V. Denisenko

Kharkov National Automobile and Highway University, Ukraine.

*A number of methods to define vehicle delays at the signalized intersection have been analyzed. They allow to improve the technology and to increase the accuracy of measurements.*

*The features of current methods of defining the parameters of vehicle traffic and criteria for assessing the efficiency of the signalized intersection operation have been revealed. Comparative characteristics of experimental methods to determine delays have been given, the features of control technology and measuring the parameters of traffic flows have been described, and main advantages and disadvantages of their use in automated systems have been analyzed.*

*The methods of defining transport delays based on multi-beam laser scanning the intersection zone have been considered as advanced technology. The possibility of increasing the accuracy of delay defining on measurements of real values of time intervals of passing the intersection effected zone has been considered. The proposed method and algorithm for determining the parameters of the movement of vehicles in the conditions of a dynamic change in the parameters of the traffic flow with the ability to quickly determine the starting points of acceleration or deceleration of cars on the approaches to the intersection are presented.*

*A version of the simplified structure of the device for implementing the suggested technique and efficient processing the initial data has been presented; the feasibility and efficiency of algorithms built in the method have been shown.*

*The prospect of expanding the functionality of the proposed method has been marked by simultaneous defining additional parameters of traffic flows and improving the quality control at the intersection.*

**Keywords:** traffic flow, a delay, the vehicle, the adjustable intersection developing the device, a laser beam.