



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **119614** (13) **C2**
(51) МПК
G08G 1/09 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2018 01338</p> <p>(22) Дата подання заявки: 12.02.2018</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 10.07.2019</p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: 10.08.2018, Бюл.№ 15</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.07.2019, Бюл.№ 13</p>	<p>(72) Винахідник(и): Денисенко Олег Васильович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002 (UA), Денисенко Олег Васильович, пр. Московський, 202, кв. 21, м. Харків, 61082 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 112094 C2, 25.07.2016 UA а201704322, 10.11.2017 UA 122470 U, 10.01.2018 CN 101763735 A, 30.06.2010 US 2005285708 A, 29.12.2005 EP 2204788 A1, 07.07.2010 US 2006155427 A1, 13.07.2006</p> <p>Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения: учебник для ВУЗов/ Ю.А.Кременец, М.П.Печерский, М.Б.Афанасьев – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005.- С. 44-47, 56-57</p>
--	---

(54) СПОСІБ ОПТИМІЗАЦІЇ БАГАТОФАЗНОГО ЦИКЛУ РЕГУЛЮВАННЯ СВІТЛОФОРНОГО ОБ'ЄКТА

(57) Реферат:

Спосіб оптимізації багатофазного циклу регулювання світлофорного об'єкта належить до систем регулювання дорожнього руху (ДР) і може бути використаний при розробці агрегатної системи засобів керування ДР, при розробці АСУ-ДР, в системах інформаційного забезпечення завантаження перехресть ВДМ, а також для підвищення ефективності керування рухом транспорту на регульованих перехрестях. Спосіб базується на конусному покрововому скануванні одночасно трьома вузькоспрямованими лазерними променями інфрачервоного діапазону тимчасово всіх підходів і виходів перехрестя, що дає можливість сформулювати вхідні і вихідні межі двох КЗ та забезпечити визначення комплексу вищевказаних параметрів ТП по кожній смузі руху, основні та проміжні такти і цикл СР в залежності від результатів сканування оптимізувати втрачений час у циклі регулювання. За допомогою запропонованого способу можливе одночасне визначення основних параметрів транспортних потоків (ТП): моменту проїзду транспортним засобом (ТЗ) контрольованої зони (КЗ) та перехрестя в цілому, швидкості, прискорення, типу і напрямку руху ТЗ, їх інтенсивності руху по кожній смузі за будь-який проміжок часу, інтервалів рухів між ТЗ, а також тривалості проміжних та основних тактів в кожній фазі і циклі світлофорного регулювання (СР), що досягається за допомогою одного загального пристрою, розташованого в зоні перехрестя.

UA 119614 C2

Винахід належить до систем регулювання дорожнього руху (ДР) і може бути використаний при розробці агрегатної системи засобів керування ДР, при розробці АСУ-ДР, в системах інформаційного забезпечення завантаження перехресть ВДМ, а також для підвищення ефективності керування рухом транспорту на регульованих перехрестях.

5 Цей спосіб може бути використаний для одночасного визначення основних параметрів транспортних потоків (ТП): моменту проїзду транспортним засобом (ТЗ) контрольованої зони (КЗ) та перехрестя в цілому, швидкості, типу і напрямку руху ТЗ, їх інтенсивності руху по кожній смугі за будь-який проміжок часу, інтервалів рухів між ТЗ, тривалості проміжних (ПТ) та основних тактів (ОТ) в кожній фазі і циклу світлофорного регулювання (СР), а також для
10 можливості адаптивного регулювання як окремих тактів, так і структури режиму регулювання в умовах швидкої зміни параметрів ТП на підходах до перехрестя.

Відомий спосіб визначення тривалості елементів та циклу світлофорної сигналізації, оснований на скануванні одночасно трьома гостроспрямованими лазерними променями зони перехрестя з точки над його геометричним центром конусним видом розгортки, причому
15 оптична вісь одного з положень розгортки першого променя вибирається так, щоб він описував коло на проїжджій частині перехрестя в області стоп-ліній всіх його підходів, а друге положення розгортки відповідало відхиленню лазерного променя, при якому радіус другого концентричного кола на поверхні проїжджої частини зменшується на певну задану величину, при цьому зміна положень розгортки здійснюється з високою швидкістю по черзі через кожен період сканування.

20 Другий оптичний промінь лазерної розгортки формується зі зміщенням на 120° по колу розгортки і формує вхідну межу першої КЗ. Цей промінь, як і перший, за допомогою відповідного дискретного сканістора на кожному наступному періоді сканування змінює одну оптичну вісь розгортки (з радіусом кола R_3 на проїжджій частині перехрестя) на іншу (з радіусом кола R_4) і формує два концентричних кола з різницею радіусів $R_4 - R_3 = 1$ м.

25 Третій оптичний промінь лазерної розгортки формується зі зміщенням відносно до другого ще на 120° по колу розгортки і формує вхідну межу другої КЗ. Цей промінь, як і обидва інші, за допомогою відповідного дискретного сканістора на кожному наступному періоді сканування змінює одну оптичну вісь розгортки (з радіусом кола R_5 на проїжджій частині перехрестя) на іншу (з радіусом кола R_6) і формує два концентричних кола також з різницею радіусів $R_6 - R_5 = 1$ м.

30 Оптичні фотоприймачі в процесі розгортки лазерних променів по одному з кіл на входах і виходах КЗ послідовно сприймають сигнали, відбиті від ТЗ, що рухаються по різних смугам руху як на підходах, так і на виходах перехрестя.

Фіксацію ТЗ, що в'їжджають в обидві КЗ, здійснюють по їх передніх бамперах при пересіченні одного з кіл (наприклад R_6 , або R_4), при цьому завдяки періодичному скануванню зі
35 зміною оптичної осі лазерного променя (з радіуса R_3 на R_4 і навпаки та з R_5 на R_6) визначається момент в'їзду, швидкість, довжина, тип, кількість і послідовність ТЗ, що реально в'їхали в КЗ по кожній смугі руху за період вимірювань. Радіус R_3 , що формує вхідну межу першої КЗ, вибирають за такої умови, щоб відстань між R_3 та R_1 відповідала (з урахуванням реальної відстані, на якій водій реагує на зміну сигналу світлофора) максимальному з можливих зупинному шляху (ЗШ) різного типу ТЗ, що перетинають вхідну межу першої КЗ з максимально дозволеною швидкістю (60 км./год.).

Наявність подвійного сканування на вході першої КЗ дає можливість точно визначити тип ТЗ, склад ТП та кількість ТЗ m_j у черзі по кожній j-й смугі руху на підходах до перехрестя на момент зміни сигналу світлофора на зелений або на момент початку руху перших у черзі ТЗ.
45 Крім того, це дозволяє визначити швидкість ТЗ на вході в першу КЗ на момент зміни сигналу світлофора з зеленого на жовтий і по швидкості та типу ТЗ розрахувати його ЗШ та в кінцевому рахунку прийняти рішення про завершення ПТ.

Подвійне сканування першим променем в зоні стоп-ліній дає змогу визначити тип, точний час та кількість ТЗ, які покинули КЗ по кожній зі смуг руху на зелений сигнал світлофора, а
50 значить, визначити наявність ТЗ по окремих смугах в КЗ на момент зміни зеленого сигналу світлофора на жовтий. За результатами сканування першим променем також визначають кількість та тип ТЗ по кожній смугі, що не встигли (не змогли) покинути зону самого перехрестя на зелений сигнал світлофора, тобто не здійснили перетинання зони сканування (R_1 , R_2) по смугах руху на виході з перехрестя.

55 Момент перетинання своїм переднім бампером лінії сканування з радіусом R_1 на виході з перехрестя приймається як кінець ПТ цієї фази, але за умови перевірки можливості появи на вході в першу КЗ нового ТЗ, зупинний шлях якого перевищує довжину КЗ. Це можливо за умови, якщо на момент включення жовтого сигналу (початку ПТ) вхідну межу першої КЗ буде перетинати ТЗ зі швидкістю, що перевищує дозволена (більше 60 км./год.), а його тип і габарити
60 будуть свідчити, що його ЗШ перевищує довжину КЗ і ТЗ навіть при повному гальмуванні

потрапить в зону перехрестя. В такому випадку кінець ПТ також визначається за моментом перетинання лінії сканування з радіусом R_1 переднього бампера останнього ТЗ, що покидає зону перехрестя.

5 Фіксацію ТЗ, що в'їжджають в другу КЗ, здійснюють по їх задніх бамперах при пересіченні одного з кіл (наприклад R_5), при цьому завдяки періодичному скануванню зі зміною оптичної осі лазерного променя визначається момент в'їзду, швидкість, довжина, тип, кількість і послідовність ТЗ, що реально в'їхали в другу КЗ по кожній смугі руху за період вимірювань. Радіус R_5 , що формує вхідну межу другої КЗ, вибирається за умови, щоб він перевищував найбільш можливу чергу ТЗ, яка може збиратися по одній із смуг руху на сигнал світлофора, що забороняє дорожній рух.

10 За інформацією про довжину, тип та час пересування ТЗ на вході в другу КЗ послідовно визначають реальні значення коефіцієнтів приведення до легкового автомобіля а також склад та довжину черги ТЗ, що збираються перед стоп-лінією на червоний сигнал світлофора по кожній смугі руху як у фізичних, так і у приведених одиницях.

15 Тривалість ОТ фази регулювання визначається моментом закінчення роз'їзду найбільшої за часом черги по смугах руху в даній фазі регулювання. Фіксація кінця ОТ здійснюється за моментом перетинання заднім бампером останнього в черзі ТЗ лінії сканування з радіусом R_1 при умові, що на цей момент першу КЗ повністю залишать всі ТЗ. В іншому випадку кінець ОТ формується по максимально фіксованому заздалегідь значенню.

20 Тривалість циклу СР за результатами сканування визначається як сукупність основних та проміжних тактів всіх фаз [Патент №112094 від 25.07.2016, бюл. № 14/2016]. Цей спосіб є найбільш близьким до способу, що заявляється, і тому вибраний як найближчий аналог.

25 Недоліком цього способу є недостатньо висока точність визначення тривалості ПТ і оптимального значення втраченого часу у багатофазному циклі регулювання, що не дає можливість оптимізувати параметри циклу СР у реальному масштабі часу, а також підвищити ефективність керування руху транспорту на регульованих перехрестях.

30 Формування кінця ПТ у прототипі здійснюється за моментом перетинання переднім бампером останнього в черзі в зоні перехрестя ТЗ лінії сканування з радіусом R_1 на виході з перехрестя. Формування кінця ПТ таким чином у ряді випадків (при появі ТЗ на вході першої КЗ до кінця ПТ) необґрунтовано збільшує час його дії, загальний втрачений час у циклі регулювання, середню транспортну затримку ТЗ на перехресті та знижує ефективність СР.

35 Крім того, формування кінця ПТ по дальній конфліктній точці (ДКТ), як це пропонується за загально відомою методикою [Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения: Учебник для вузов.- М, : Транспорт, 1990,-с. 44-45] дає можливість не тільки скоротити дію ПТ, але і визначити необхідну послідовність чергування фаз, при якій буде мінімальною сума ПТ і втрачений час у багатофазному циклі регулювання.

В основу запропонованого способу поставлена задача підвищення точності визначення тривалості ПТ кожної фази та оптимізація часу циклу СР за рахунок мінімізації втраченого часу в циклі регулювання.

40 Поставлена задача вирішується тим, що у запропонований спосіб покладено конусне покрокове сканування одночасно трьома вузькоспрямованими лазерними променями інфрачервоного діапазону тимчасово всіх підходів і виходів перехрестя, що дає можливість сформулювати вхідні і вихідні межі двох КЗ та забезпечити визначення комплексу вищевказаних параметрів ТП по кожній смугі руху, основні та проміжні такти і цикл СР в залежності від результатів сканування на основі мінімізації втраченого часу в циклі регулювання.

45 На фіг.1 представлена схема, яка розкриває основні відмінні особливості запропонованого способу і послідовність його дій.

Відповідно до запропонованого способу, розгортка лазерного променя здійснюється скануючим блоком 1, який розташовується над перехрестям на спеціальному кронштейні в точці, що відповідає геометричному центру перехрестя. У скануючому блоці, залежно від висоти його розміщення, одну з оптичних осей розгортки вибирають так, щоб перший лазерний промінь описував конусну поверхню з колом на проїжджій частині перехрестя (R_i) в області "стоп-ліній" всіх його підходів.

55 До складу скануючого блока входить оптичний відхиляючий пристрій (дискретний сканістор), який забезпечує відхилення осі першого лазерного променя з радіуса R_1 в необхідне друге положення з радіусом R_2 , а потім в третє положення з радіусом R_3 , при якому радіус кола R_2 , а потім R_3 на поверхні перехрестя зменшується відповідно до першого кола на задану величину (наприклад, на 1 м та 2 м).

60 Таким чином, блок сканування на кожному наступному періоді сканування послідовно змінює розгортку першого лазерного променя з радіуса R_1 на R_2 і на R_3 , а потім у зворотному

напрямку та описує в зоні стоп-ліній на поверхні перехрестя три концентричні кола з різницею радіусів ($R_1-R_2=1$ м, і $R_2-R_3=1$ м) та формує вихідні межі КЗ.

Другий оптичний промінь лазерної розгортки формується зі зміщенням на 120° по колу розгортки (див. фіг. 2) і формує вхідну межу першої КЗ.

5 Цей промінь, як і перший, за допомогою відповідного дискретного сканістора 5_2 на кожному наступному періоді сканування змінює одну оптичну вісь розгортки (з радіусом кола R_4 на проїжджій частині перехрестя) на інші (з радіусом кола R_5 та R_6 , а потім у зворотному напрямку) і формує три концентричних кола з різницею радіусів $R_5-R_4=1$ м та $R_6-R_5=1$ м.

10 Третій оптичний промінь лазерної розгортки формується зі зміщенням відносно до другого ще на 120° по колу розгортки (див. фіг. 2) і формує вхідну межу другої КЗ.

Цей промінь, як і обидва інші, за допомогою відповідного дискретного сканістора 5_3 на кожному наступному періоді сканування змінює одну оптичну вісь розгортки (з радіусом кола R_7 на проїжджій частині перехрестя) на іншу (з радіусом кола R_8) і формує два концентричних кола також з різницею радіусів $R_8-R_7=1$ м.

15 Оптичні фотоприймачі 2 (ФП_i) в процесі розгортки лазерних променів 8_1 , 8_2 та 8_3 по одному з кіл на входах і виходах КЗ послідовно сприймають сигнали, відбиті від ТЗ, що рухаються по різних смугах руху як на підходах, так і на виходах перехрестя.

20 Фіксацію ТЗ, що в'їжджають в обидві КЗ, здійснюють по їх передніх бамперах при перетинанні одного з кіл (R_6 або R_8), при цьому завдяки періодичному скануванню зі зміною оптичної осі другого лазерного променя (з радіуса R_4 на R_5 і на R_6 , та навпаки) і осі третього лазерного променя (з радіуса R_7 на R_8 та навпаки) визначаються моменти в'їзду, кількість і послідовність ТЗ, що реально в'їхали в КЗ по кожній смузі руху за період вимірювань.

Швидкість ТЗ, що послідовно своїм переднім бампером перетинають лінії сканування R_8 та R_7 визначають на дистанції 1 м і фіксують як значення V_1' .

25 Потім фіксуються швидкості V_1'' цих же ТЗ при перетині відповідних ліній сканування їх задніми бамперами.

$$\text{Довжина } \ell_{\text{ТЗ}} \text{ ТЗ з урахуванням уповільнення}$$

$$a = \frac{V_1' - V_1''}{t_{\text{ТЗ}}}, \quad (1)$$

30 де $t_{\text{ТЗ}}$ - час проїзду ТЗ між лініями сканування R_8 та R_7 , відповідно, спочатку переднім, а потім заднім бампером, визначається як

$$\ell_{\text{ТЗ}} = a \cdot t_{\text{ТЗ}}^2. \quad (2)$$

По тривалості імпульсів t_b , що формуються при скануванні конкретних ТЗ по заданій смузі (переміщення променя між точками b_1 та b_2 , фіг. 1) радіуса R та періоду сканування ω визначається ширина ТЗ на границях КЗ

35
$$b = \frac{2\pi R \cdot t_b}{\omega} = 2\pi R \cdot t_b \cdot \nu, \quad (3)$$

де ν - частота сканування.

За значенням $\ell_{\text{ТЗ}}$ та b у подальшому визначається тип ТЗ, який по кожній смузі руху перетинає вхідні кордони другої КЗ.

40 Фіксацію ТЗ, що в'їжджають в другу КЗ, здійснюють по їх задніх бамперах при перетинанні одного з кіл (наприклад R_7), при цьому завдяки періодичному скануванню зі зміною оптичної осі лазерного променя (з радіуса R_7 на R_8 і навпаки) визначається момент в'їзду, швидкість, уповільнення (прискорення), довжина, ширина, тип, кількість і послідовність ТЗ, що реально в'їхали в другу КЗ по кожній смузі руху за період вимірювань. Радіус R_7 , що формує вхідну межу другої КЗ, бажано вибрати за умови, щоб він перевищував найбільш можливу чергу ТЗ, яка може збиратися по одній із смуг руху за реальних умов на сигнал світлофора, що забороняє дорожній рух.

Це дає можливість достатньо точно визначити кількість ТЗ m_j у черзі по кожній j -й смузі руху на підходах до перехрестя на момент зміни сигналу світлофора на зелений, або на момент початку руху перших у черзі ТЗ.

50 Радіус R_6 , що формує вхідну межу першої КЗ, вибирають за такої умови, щоб відстань між R_6 та R_1 відповідала (з урахуванням реальної відстані, на якій водій реагує на зміну сигналу світлофора) максимальному з можливих зупинному шляху (ЗШ) різного типу ТЗ, що перетинають вхідну межу першої КЗ з максимально дозволеною швидкістю (60 км./год.).

Швидкість ТЗ, що послідовно своїм переднім бампером перетинають лінії сканування R_6 та R_5 визначають на дистанції 1 м і фіксують як значення V_2' , а між лініями сканування R_5 та R_4 як значення V_2'' .

Значення уповільнення (прискорення) ТЗ на вході в першу КЗ визначається як

$$a = \frac{V_2' - V_2''}{t_{ВХ1}}, \quad (4)$$

де $t_{ВХ1}$ - час проїзду переднього бампера ТЗ між лініями сканування з радіусами R_6 та R_4 .

Наявність потрібного сканування (R_4, R_5, R_6) на вході першої КЗ дає можливість більш точно визначити тип ТЗ, склад ТП та кількість ТЗ m_j у черзі по кожній j -й смузі руху на підходах до перехрестя на момент зміни сигналу світлофора на зелений або на момент початку руху перших у черзі ТЗ. Крім того, це дозволяє визначити швидкість та уповільнення ТЗ на вході в першу КЗ лише по передньому бамперу (на короткій дистанції) на момент зміни сигналу світлофора з зеленого на жовтий і по швидкості, уповільненню та типу ТЗ більш швидко і точно розрахувати його ЗШ та в кінцевому рахунку прийняти рішення про завершення ПТ

$$l_{зш} = l_{рк} + l_{гш} = V \cdot t_{рк} + \frac{V^2}{2g(\varphi + f \pm \lambda)}, \quad (5)$$

де $l_{рк}$ - шлях, що пройде ТЗ за час реакції водія $t_{рк}$ на зміну сигналів світлофора; $l_{гш}$ - гальмовий шлях; V - швидкість ТЗ на вході в КЗ; g - прискорення вільного падіння; φ - коефіцієнт подовжнього зчеплення колеса з поверхнею дороги; f - коефіцієнт кочення колеса; λ - величина подовжнього похилу.

Потрійне сканування першим променем (R_1, R_2, R_3) в зоні стоп-ліній (на виході з першої та другої КЗ) дає змогу визначити швидкість, уповільнення (прискорення), тип, точний час та кількість ТЗ, які покидають КЗ по кожній зі смуг руху на зелений сигнал світлофора, а значить, визначити наявність ТЗ по окремих смугах в КЗ на момент зміни зеленого сигналу світлофора на жовтий.

Швидкість ТЗ, що послідовно своїм переднім бампером перетинають лінії сканування R_1 та R_2 визначають на дистанції 1 м і фіксують як значення V_3' , а між лініями сканування R_2 та R_3 як значення V_3'' .

Значення уповільнення (прискорення) ТЗ на виході з КЗ визначається як

$$a = \frac{V_3' - V_3''}{t_{ВИХ}}, \quad (6)$$

де $t_{ВИХ}$ - час проїзду переднього бампера ТЗ між лініями сканування з радіусами R_3 , та R_1 .

За результатами сканування першим променем також визначають кількість та тип ТЗ по кожній смузі, що не встигли (не змогли) покинути зону самого перехрестя на зелений сигнал світлофора, тобто не здійснили перетинання зони сканування (R_1, R_2, R_3) по смугах руху на виході з перехрестя. Це можливо у випадку, коли лівоповоротні ТЗ в зоні перехрестя очікують проїзду прямого зустрічного транспорту, а правоповоротні ТЗ - завершення переходу пішоходів.

Інформація про довжину, ширину, тип та кількість ТЗ в зоні перехрестя на момент початку дії ПТ дає можливість чітко визначити момент, коли всі ТЗ попередньої фази руху звільнять зону перехрестя для початку нової фази. Це пропонується здійснювати за моментами, коли останній ТЗ, що знаходився в зоні перехрестя, почне перетинати своїм переднім бампером одну з ліній сканування (наприклад, R_3) по смугах руху на виході з перехрестя. Такий підхід дає гарантію, що останній ТЗ досяг або минув дальню конфліктну точку (ДКТ) цього ПТ і, за умови наявності інформації про його довжину, практично вже залишив зону перехрестя.

Момент перетинання своїм переднім бампером лінії сканування з радіусом R_3 приймається як кінець ПТ цієї фази, але за умови перевірки можливості появи на вході в першу КЗ нового ТЗ, зупинний шлях якого перевищує довжину КЗ. Це можливо за умови, якщо на момент включення жовтого сигналу (початку ПТ) вхідну межу першої КЗ буде перетинати ТЗ зі швидкістю, що перевищує дозволена (більше 60 км./год.), а його уповільнення, тип і габарити будуть свідчити, що його ЗШ перевищує довжину КЗ і ТЗ навіть при повному гальмуванні потрапить в зону перехрестя. В такому випадку кінець ПН визначається за моментом перетинання заднім бампером ТЗ ДКТ з урахуванням часу проїзду від стоп-лінії до ДКТ автомобіля, що починає рух

у наступній фазі [Кременец Ю.А., Печерский М.П., Афанасьев М.Б. Технические средства организации дорожного движения: Учебник для вузов.- М...: ИКЦ "Академкнига", 2005, с. 56.]

$$T_{\Pi i} = t_{pk} + t_{гш} + t_i - t_{i+1}, \quad (7)$$

де t_{pk} - час реакції водія на зміну сигналу світлофора; $t_{гш}$ - час, необхідний ТЗ для проїзду $l_{гш}$; t_i - час руху ТЗ до ДКТ; t_{i+1} - час руху від стоп-лінії до ДКТ автомобіля, що починає рух у наступній фазі.

З урахуванням усіх складових (7) формулу для визначення часу дії ПТ для цього випадку можна надати у наступному вигляді

$$T_{\Pi i} = t_{pk} + \frac{V_{a1}}{7,2 \cdot a_{ВХ1}} + 3,6 \frac{(l_i + l_a)}{V_{a1}} - 3,6 \frac{l_{ДКТ}}{V_{a2}} = t_{pk} + \frac{V_{a1}}{7,2 \cdot a_{ВХ1}} + 3,6 \frac{(l_i + l_a)}{a_{ВХ1} \cdot t_{ВХ1}} - 3,6 \frac{l_{ДКТ}}{a_{ВХ2} \cdot t_{ВХ2}}, \quad (8)$$

де V_{a1} - середня швидкість ТЗ при русі на підході до перехрестя та в зоні перехрестя без гальмування; $a_{ВХ1}$ - середнє уповільнення ТЗ при включенні сигналу, що забороняє рух; l_i - відстань від стоп-лінії до ДКТ; l_a - довжина ТЗ; $l_{ДКТ}$ - відстань від стоп-лінії до ДКТ для ТЗ, що починає рух у наступній фазі; V_{a2} - середня швидкість ТЗ, що починає рух у наступній фазі; $a_{ВХ1}$ та $a_{ВХ2}$ - прискорення (уповільнення) на виході з КЗ в діючій та наступній фазі; $t_{ВХ1}$ та $t_{ВХ2}$ - відповідний час пересування ТЗ між лініями сканування R_1 та R_3 в діючій та наступній фазі.

Така послідовність дій по визначенню часу дії ПТ у багатьох випадках дозволяє скоротити його тривалість, оскільки дозволяє більш точно врахувати ті ТЗ, що реально мають змогу зупинитися у стоп-лінії, навіть у випадку, якщо на момент початку ПТ вже перетнули вхідні межі першої КЗ. Визначення часу дії ПТ з урахуванням прискорення та по реальних значеннях виміру параметрів руху конкретних ТЗ, а не по загальноприйнятих спрощених формулах, дозволяє більш точно визначити ПТ.

Крім того, визначення прискорення (уповільнення) ТЗ по їх передніх бамперах на виході з КЗ, дозволяє суттєво підвищити точність виміру t_i та t_{i+1} (7) і скоротити час виміру цих параметрів та взагалі скоротити втрачений час у циклі регулювання. А завершення ПТ за моментом перетинання переднім бампером лінії сканування з радіусом R_3 , також дозволяє частково скоротити ПТ за рахунок того, що ця лінія сканування на 2 м ближче до центру, ніж лінія з радіусом R_1 .

Для подальшого проектування багатофазної системи регулювання відповідно конкретної топографії перехрестя (кількості смуг руху на підходах та виходах, їх розподіл по напрямках руху, відстані від стоп-ліній до центру перехрестя і т.д.) і транспортної ситуації (інтенсивностях руху транспортних і пішохідних потоків по напрямках) формується універсальна матриця відстаней до ДКТ для всіляких послідовностей фаз і можливих змін перерозподілу ТП по смугах.

Далі на базі цієї універсальної матриці визначається оптимальна послідовність фаз регулювання, яка відповідає мінімальній сумі часу усіх ПТ у багатофазному циклі регулювання

$$\sum_{i=1}^n T_{\Pi i} = \min \quad (9)$$

В такому випадку, навіть при різькій зміні транспортної ситуації і необхідності зміни не тільки тривалості ОТ фаз регулювання, але і необхідності регулювання структури багатофазного світлофорного циклу (зміна кількості фаз, перерозподіл напрямків руху по смугах), втрачений час у циклі регулювання буде мінімальним. Це відповідає вибору такої послідовності фаз у циклі, при якій значення t_i та t_{i+1} , а також сполучення $(l_i + l_a)$ та $l_{ДКТ}$ визначаються за умови (9).

Тривалість ОТ фази регулювання визначається моментом закінчення роз'їзду найбільшої за часом черги по смугах руху в даній фазі регулювання. Фіксація кінця ОТ здійснюється за моментом перетинання заднім бампером останнього в черзі ТЗ лінії сканування з радіусом R] за умови, що на цей момент першу КЗ повністю залишать всі ТЗ. В іншому випадку кінець ОТ формується по максимально фіксованому заздалегідь значенню. Тривалість циклу СР за результатами сканування визначається як сукупність ОТ та ПТ всіх фаз.

Таким чином, оперативне визначення реальних параметрів руху (швидкості, прискорення, габаритів та типу) окремих видів ТЗ по усіх смугах руху на підході та в зоні перехрестя шляхом потрійного високошвидкісного сканування дає можливість одержати (в реальному масштабі

часу) точні значення часу дії ОТ і ПТ та оптимізувати параметри елементів світлофорного циклу.

Цей спосіб дає змогу реагувати на будь-які зміни транспортної ситуації за час дії циклу регулювання, а також різку зміну структури циклу, оскільки більш точно і з високою швидкістю дозволяє визначати складові елементи ПТ і необхідну послідовність фаз регулювання для оптимізації циклу. Формування кінця дії ПТ по виходу з зони перехрестя останнього ТЗ або по ДКТ одночасно забезпечує безпеку руху на регульованому перехресті.

Все це підвищує точність визначення параметрів руху ТЗ на перехресті, значення ПТ та ефективність визначення оптимальних параметрів поточних значень тривалості елементів світлофорного циклу.

На фіг. 2 надана спрощена структурна схема пристрою, що розкриває основні відмінні риси запропонованого способу.

Скануючий блок 1 має у своєму складі лазерний випромінювач 3 вузькоспрямованого інфрачервоного променя і вузол розгортки 4, які формують трипроменеве конусне покровоке сканування зони перехрестя за допомогою оптичних відхиляючих пристроїв 5₁, 5₂ та 5₃ (дискретних сканісторів). Зміна положень кутів розгортки променів 8₁, 8₂ та 8₃ здійснюється в реперній точці по черзі на кожному періоді сканування сигналом, що надходить з реперного фотоприймача 2 (ФП₀) на входи дискретних сканісторів 5₁, 5₂ та 5₃.

Три оптичні промені 8₁, 8₂ та 8₃ формуються вузлом розгортки зі зміщенням на третину періоду (120°), що дає змогу фіксувати кожний з них у реперній точці і чітко розпізнавати відбиті від ТЗ сигнали на входах і виході з КЗ та перехресті в цілому.

Зміна і чергування кутів нахилу розгортки (з R₁ на R₂ і R₃, з R₄ на R₅ і R₆ та з R₇ на R₈ або навпаки) необхідна для однозначного визначення положення ТЗ щодо кіл сканування, типу, напрямку та інших параметрів руху ТЗ в КЗ і зоні перехрестя по кожній смузі.

Оптичні фотоприймачі 2 (ФП_i) в процесі розгортки третього 8₃ та другого 8₂ лазерних променів по одному з кіл послідовно сприймають сигнали, відбиті від ТЗ, що рухаються по різних смугах руху на входах в першу та другу КЗ. При цьому, почергова з високою швидкістю зміни радіусів сканування (з R₁ на R₂ і на R₃, та з R₇ на R₈ або навпаки) дозволяє точно визначити час переміщення ТЗ на дистанції (R₆-R₄ та R₈-R₇), швидкість, уповільнення, тип та кількість ТЗ, що в'їжджають в КЗ по кожній смузі руху в даному циклі регулювання.

В процесі розгортки першого 8₁ лазерного променя на дистанції (R₁-R₃) на виході з КЗ (у зоні стоп-лінії) послідовно визначають швидкість, прискорення, довжину, ширину, тип та кількість ТЗ по окремих смугах руху, що в'їжджають в зону перехрестя на зелений сигнал світлофора. Розгортка лазерного променя 8₁ на виході з зони перехрестя дозволяє визначити кількість, тип та інші параметри руху ТЗ, що покинули зону перехрестя по різних напрямках у цей же такт регулювання.

Фотоприймачі 2, направлені на вхідні смуги руху, сприймають послідовно відбиті сигнали першого 8₁, другого 8₂ і третього 8₃ лазерних променів з часовою затримкою на третину періоду сканування, що дає можливість окремого розпізнавання сигналів різних променів.

Перетворювач 6 сигналу кожного ФП_i відповідної смуги руху перетворює сигнали в імпульсно-цифрові коди, які вводяться в обчислювальний пристрій 7, де далі визначаються всі необхідні параметри за будь-який час виміру (за період сканування, час тривалості основного або проміжного такту та циклу світлофорного регулювання). Для цього сигнали зміни елементів циклу світлофорного регулювання з виходу світлофорного об'єкта 9 подаються на відповідний вхід обчислювального пристрою 7.

Сигнали з виходу реперного фотоприймача 2 (ФП₀) через перетворювач 6₀ подаються на відповідні входи дискретних сканісторів 5₁, 5₂ та 5₃ та обчислювального пристрою 7 для чіткого визначення положення кожного променя за смугами руху відносно реперної точки.

Обчислювальний пристрій 7 протягом циклу регулювання зберігає інформацію про тип, кількість і напрямки руху ТЗ, що знаходяться в обох КЗ по всіх смугах або в зоні перехрестя на момент початку ОТ та ПТ.

Обчислювальний пристрій 7 протягом циклу регулювання зберігає інформацію про тип, кількість і напрямки руху ТЗ, що знаходяться в КЗ або в зоні перехрестя на момент початку ОТ та ПТ. В обчислювальний пристрій 7 закладено алгоритми та деякі константи для розрахунку параметрів руху, ЗШ різного типу ТЗ, за якими визначається можливість повного гальмування ТЗ до стоп-лінії, коефіцієнти приведення до легкового автомобіля для попереднього розрахунку часу роз'їзду черг ТЗ, універсальна матриця відстаней до ДКТ для всіляких послідовностей фаз і можливих змін перерозподілу ТП по смугах для розрахунку всіх складових ПТ і визначення оптимальної послідовності фаз.

Після того, як останній ТЗ, що з початку ПТ знаходився в зоні перехрестя, перетне своїм переднім бампером лінію сканування R₃ на виході з перехрестя, обчислювальний пристрій 7 видає сигнал завершення ПТ на світлофорний об'єкт 9. В разі відсутності ТЗ в зоні перехрестя на момент початку ПТ, обчислювальний пристрій 7 видає сигнал завершення ПТ через мінімально вибраний заздалегідь час, призначений, наприклад, для завершення руху пішоходів. Обчислювальний пристрій 7 також визначає моменти завершення ОТ для різних умов руху ТП на перехресті.

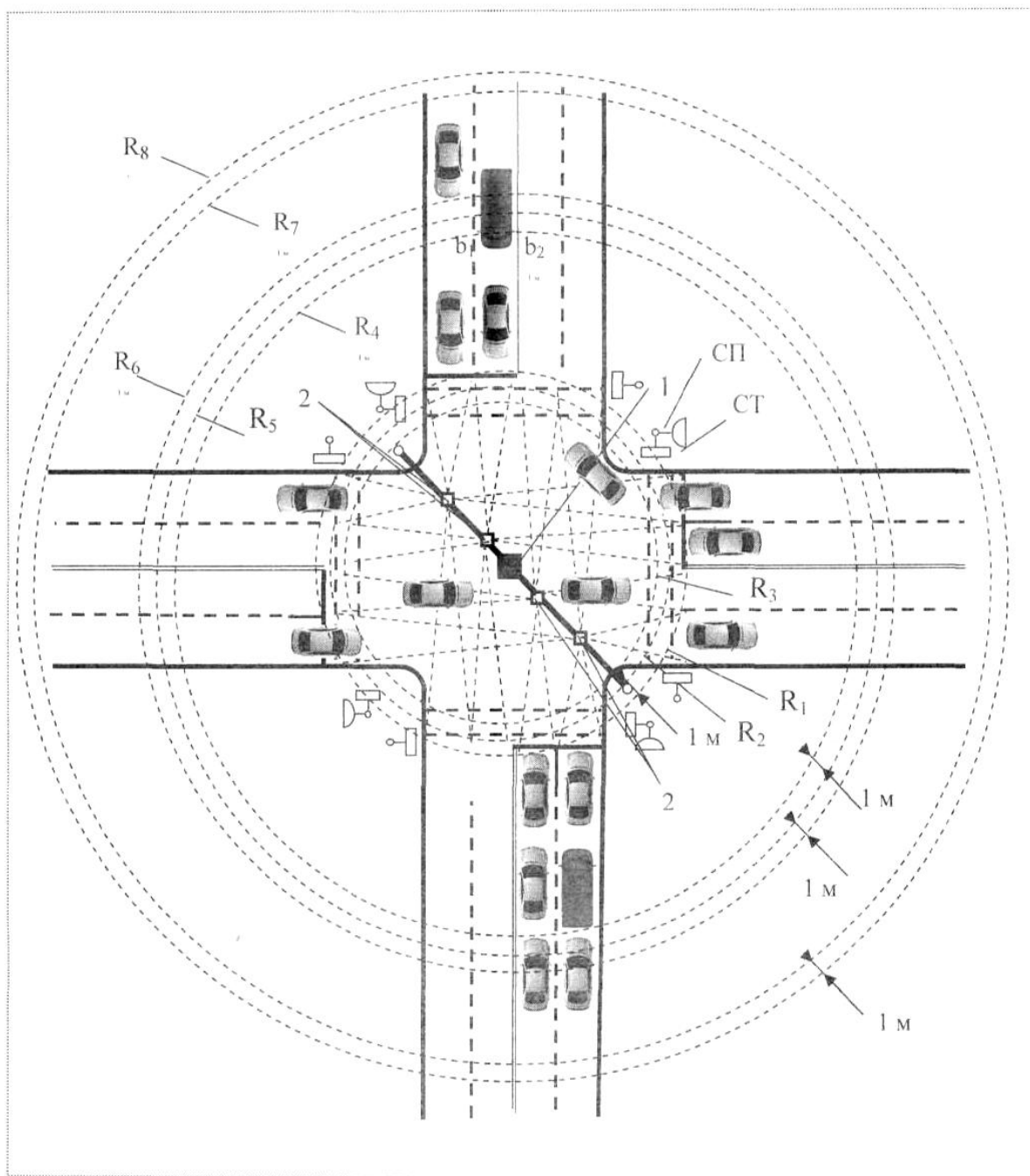
Таким чином, запропонований спосіб дає можливість одержати найбільш повний комплекс інформації для контролю і подальшого оперативного (в реальному масштабі часу) точного визначення часу дії ОТ, ПТ, циклу регулювання та керування рухом на перехресті в оптимальному режимі.

Перевагою запропонованого способу також є те, що його реалізацію можливо здійснити одним загальним пристроєм, розташованим в зоні перехрестя, який одночасно дає змогу визначити ряд інших параметрів руху ТП і оптимізувати апаратну частину при розробці АСУ-ДР.

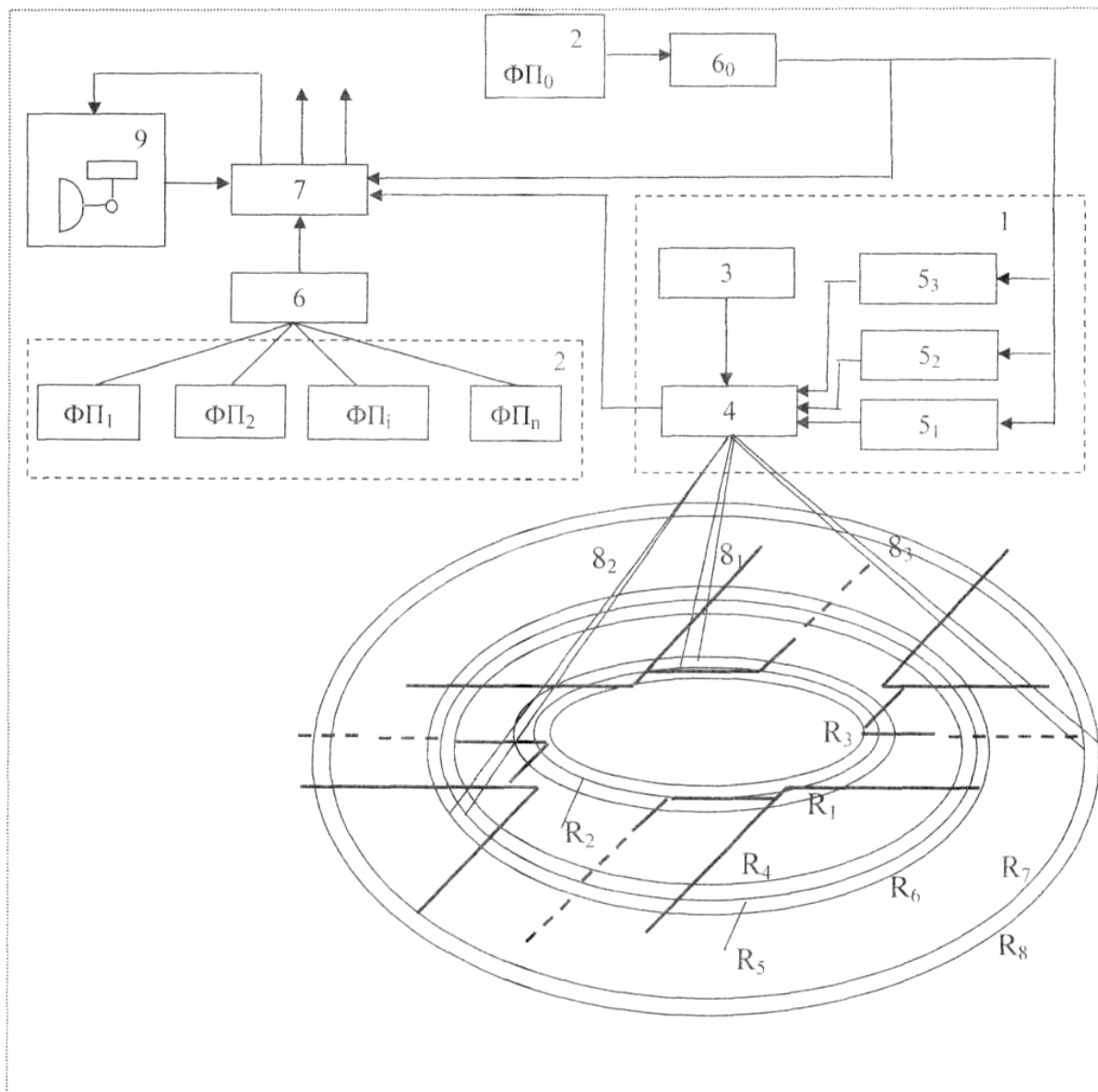
ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб оптимізації багатофазного циклу регулювання світлофорного об'єкта, який включає сканування одночасно трьома гостроспрямованими лазерними променями зони перехрестя з точки над його геометричним центром конусним видом розгортки, причому оптична вісь одного з положень розгортки першого променя вибирається так, щоб він описував коло на проїжджій частині перехрестя в області стоп-ліній всіх його підходів, а друге положення розгортки відповідало відхиленню лазерного променя, при якому радіус другого концентричного кола на поверхні проїжджої частини зменшується на певну задану величину, при цьому зміну положень розгортки здійснюють з високою швидкістю по черзі через кожен період сканування, а другий промінь розгортки формують зі зміщенням на третину періоду по колу розгортки та зі зміною кута нахилу оптичної осі променя, як і першого, по черзі у реперній точці через кожен період сканування таким чином, щоб радіус другого концентричного кола на вході першої контрольованої зони зменшувався на певну задану величину, третій оптичний промінь лазерної розгортки формують зі зміщенням відносно до другого ще на третину періоду по колу розгортки, а кути нахилу оптичних осей третього променя, як і двох перших, змінюють по черзі у реперній точці через кожен період сканування так, щоб радіус другого концентричного кола на вході другої контрольованої зони зменшувався на певну задану величину, при цьому відстань між вхідною і вихідною межами другої контрольованої зони вибирають за умови, щоб вона перевищувала найбільш можливу чергу транспортних засобів, яка може збиратися по одній із смуг руху на сигнал світлофора, що забороняє дорожній рух, в подальшому приймають відображені оптичні сигнали фотоприймачами і надалі перетворюють ці сигнали в імпульсно-числові коди, за якими визначають швидкість, тип та час пересування транспортних засобів на входах і виходах обох контрольованих зон, напрямки їх руху по смугах, кількість транспортних засобів у черзі у фізичних та приведених одиницях, значення зупинного шляху різного типу транспортних засобів, час пересування черги зони стоп-ліній по всіх смугах руху упродовж окремих тактів одного циклу світлофорного регулювання, а потім наявність транспортних засобів по окремих смугах в першій контрольованій зоні та в зоні самого перехрестя на момент початку проміжного такту, а момент закінчення проміжного такту формують за моментами, коли останній транспортний засіб, що знаходився в зоні перехрестя, почне перетинати своїм переднім бампером одну з ліній сканування першого променя по смугах руху на виході з перехрестя, але за умови перевірки можливості появи на вході в контрольовану зону нового транспортного засобу на момент початку проміжного такту, зупинний шлях якого перевищує довжину першої контрольованої зони, при цьому тривалість основного такту визначають моментом закінчення роз'їзду, найбільшої за часом черги, по смугах руху в даній фазі регулювання, який формують по моменту перетинання заднім бампером останнього в черзі транспортного засобу однієї з ліній сканування в зоні стоп-лінії за умови, що на цей момент першу контрольовану зону повністю залишать всі транспортні засоби, а в іншому випадку кінець основного такту формують по максимально фіксованому заздалегідь значенню, а тривалість циклу світлофорного регулювання за результатами сканування визначають як сукупність основних та проміжних тактів всіх фаз, який **відрізняється** тим, що оптичні осі розгортки першого і другого лазерних променів відхиляють відповідно у третє положення, при якому радіус концентричного кола на поверхні проїжджої частини змінюють на певну задану величину, при цьому зміну положень розгортки здійснюють на кожному наступному періоді сканування

- 5 послідовно в прямому та потім в зворотному напрямках, а уповільнення або прискорення транспортних засобів на вході і виході першої контрольованої зони визначаються за значеннями швидкостей, що вимірюють між першим і другим, а потім другим і третім колами розгортки за моментами перетинання кіл передніми бамперами автомобілів, при цьому за значеннями швидкостей і прискорень на входах і виходах першої контрольованої зони визначають складові часових інтервалів проміжних тактів для різних умов зміни структури світлофорного циклу і по відстанях до дальньої точки виїзду останнього транспортного засобу з перехрестя визначають послідовність фаз у циклі регулювання за мінімальною сумою часу усіх проміжних тактів та втраченим часом у циклі.



Фіг. 1



Фіг. 2

Комп'ютерна верстка В. Юкін

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601