



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 129911

(13) U

(51) МПК

G08G 1/09 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2018 01333**

(22) Дата подання заявки: **12.02.2018**

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **26.11.2018**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **26.11.2018, Бюл.№ 22**

(72) Винахідник(и):

Денисенко Олег Васильович (UA)

(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)

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

(57) Реферат:

Спосіб оптимізації багатофазного циклу регулювання світлофорного об'єкту включає конусне покрокове сканування одночасно трьома вузькоспрямованими лазерними променями інфрачервоного діапазону тимчасово всіх підходів і виходів перехрестя. В результаті цього формують вхідні і вихідні межі двох КЗ та забезпечується визначення комплексу вищевказаних параметрів ТП по кожній смузі руху, основні та проміжні такти і цикл СР в залежності від результатів сканування на основі мінімізації втраченого часу в циклі регулювання.

UA 129911 U

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

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 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, заснований на скануванні 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 проїзної частини зменшується на певну задану величину, при цьому зміна положень розгортки здійснюється з високою швидкістю по черзі через кожен період сканування.

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 $R_4 - R_3 = 1 \text{ м}$.

Третій оптичний промінь лазерної розгортки формується зі зміщенням по відношенню 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 $R_6 - R_5 = 1 \text{ м}$.

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 смугах 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 зміною оптичної вісі 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 зупиночному 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 світлофору на зелений або на момент початку руху перших у черзі ТЗ. Крім того, це дозволяє визначити швидкість ТЗ на вході в першу КЗ на момент зміни сигналу світлофору 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 світлофору, а значить, визначити наявність ТЗ по окремим смугам в КЗ на момент зміни зеленого сигналу світлофору 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 світлофору, тобто не здійснили перетинання зони сканування (R_1, R_2) по смугам руху на виході з перехрестя.

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, зупиночний 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 дозволу (більше 60 км./год.), а його 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 ПТ також визначається за моментом перетинання лінії сканування з радіусом R_1 переднього бампера останнього ТЗ, що покидає зону перехрестя.

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 вісі лазерного променя визначається момент в'їзду, швидкість, довжина, тип, кількість і послідовність ТЗ, що реально в'їхали в другу КЗ по кожній смузі 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 світлофору, що забороняє дорожній рух.

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 смузі руху як у фізичних, так і у приведених одиницях.

Тривалість ОТ фази регулювання визначається моментом закінчення роз'їзду найбільшої за часом черги по смугам 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.

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.

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 управління руху транспорту на регульованих перехрестях.

Формування кінця ПТ у найближчому аналогу 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.

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.

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 смузі руху, основні та проміжні такти і цикл СР в залежності від результатів сканування на основі мінімізації втраченого часу в циклі регулювання.

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 розгортай обирають так, щоб перший лазерний промінь описував конусну поверхню з колом на проїжджій частині перехрестя (R_1) в області "стоп-ліній" всіх його підходів.

До складу скануючого блоку входить оптичний відхиляючий пристрій (дискретний сканістор), який забезпечує відхилення вісі першого лазерного променя з радіусу 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).

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.

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.

Третій оптичний промінь лазерної розгортки формується зі зміщенням по відношенню 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.

Оптичні фотоприймачі 2 ($\Phi\Pi_i$) 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 різним 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 (R_6 або R_8), при цьому завдяки періодичному скануванню зі зміною оптичної вісі другого лазерного променя (з радіуса R_4 на R_5 і на R_6 та навпаки) і вісі 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' . Потім фіксуються швидкості V_1'' цих же ТЗ при перетині відповідних ліній сканування їх задніми бамперами.

Довжина l_{T3} ТЗ з урахуванням уповільнення

$$a = \frac{V_1' - V_1''}{t_{T3}}, \quad (1)$$

де t_{T3} - час проїзду ТЗ між лініями сканування R_8 та R_7 , відповідно, спочатку переднім, а потім заднім бампером, визначається як

$$l_{T3} = a \cdot t_{T3}^2. \quad (2)$$

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

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

де ν - частота сканування.

За значенням l_{T3} та b у подальшому визначається тип ТЗ, який по кожній смузі руху перетинає вхідні кордони другої КЗ.

Фіксацію ТЗ, що в'їжджають в другу КЗ, здійснюють по їх задніх бамперах при пересіченні 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 вибирати за умови, щоб він перевищував найбільш можливу чергу ТЗ, яка може збиратися по одній із смуг руху за реальних умов на сигнал світлофору, 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 світлофору на зелений, або на момент початку руху перших у черзі ТЗ.

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 зупиночному 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

$$a = \frac{V_2' - V_2''}{t_{BX1}}, \quad (4)$$

де t_{BX1} - час проїзду переднього бамперу 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 світлофору 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 світлофору 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

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

де l_{pk} - шлях, що пройде ТЗ за час реакції водія t_{pk} на зміну сигналів світлофору; l_{zum} - 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 світлофору, а значить, визначити наявність ТЗ по окремим смугам в КЗ на момент зміни зеленого сигналу світлофору 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

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

де t_{BHX} - час проїзду переднього бамперу 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 світлофору, тобто не здійснили перетинання зони сканування (R_1, R_2, R_3) по смугам 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, при умові 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, зупиночний 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 дозволу (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.]

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

де t_{pk} - час реакції водія на зміну сигналу світлофора; t_{zui} - час, необхідний ТЗ для проїзду l_{zui} ; 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

$$\begin{aligned} T_{\Pi i} &= t_{pk} + \frac{V_{a1}}{7,2 \cdot a_{BX1}} + 3,6 \frac{(l_i + l_a)}{V_{a1}} - 3,6 \frac{l_{ДКТ}}{V_{a2}} = \\ &= t_{pk} + \frac{V_{a1}}{7,2 \cdot a_{BX1}} + 3,6 \frac{(l_i + l_a)}{a_{ВИХ1} \cdot t_{ВИХ1}} - 3,6 \frac{l_{ДКТ}}{a_{ВИХ2} \cdot t_{ВИХ2}} \end{aligned} \quad (8)$$

де V_{a1} - середня швидкість ТЗ при русі на підході до перехрестя та в зоні перехрестя без гальмування; a_{BX1} - 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; $a_{ВИХ1}$ та $a_{ВИХ2}$ - прискорення (уповільнення) на виході з КЗ в діючій та наступній фазі; $t_{ВИХ1}$ та $t_{ВИХ2}$ - 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, як що на момент початку ПТ вже перетнули вхідні межі першої КЗ. Визначення часу дії ПТ з урахуванням прискорення та по реальним значенням виміру параметрів руху конкретних ТЗ, а не по загальноприйнятим спрощеним формулам, дозволяє більш точно визначити ПТ.

Крім того, визначення прискорення (уповільнення) ТЗ по їх переднім бамперам 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 многофазної системи регулювання відповідно конкретної топографії перехрестя (кількості смуг руху на підходах та виходах, їх розподіл по напрямкам руху, відстані від стоп-ліній до центру перехрестя і т.д.) і транспортної ситуації (інтенсивностям руху транспортних і пішохідних потоків по напрямкам) формується універсальна матриця відстаней до ДКТ для всіляких послідовностей фаз і можливих змін перерозподілу ТП по смугам.

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

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

В такому випадку, навіть при ризькій 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 смугам 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. 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 виході 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 ($\Phi\Pi_0$) 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 розгортай (з R_1 на R_2 і R_3 , з R_4 на R_5 і R_6 та з R_7 на R_8 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 ($\Phi\Pi_i$) в процесі розгортання 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 R_1 на R_2 і на R_3 , та з R_7 на R_8 або навпаки) дозволяє точно

визначити час переміщень ТЗ на дистанції ($R_6 - R_4$ та $R_8 - R_7$), швидкість, уповільнення, тип та кількість ТЗ, що в'їжджають в КЗ по кожній смузі руху в даному циклі регулювання.

В процесі розгортки першого δ_1 лазерного променя на дистанції ($R_1 - R_3$) на виході з КЗ (у зоні стоп-ліній) послідовно визначають швидкість, прискорення, довжину, ширину, тип та кількість ТЗ по окремих смугах руху, що в'їжджають в зону перехрестя на зелений сигнал світлофору. Розгортка лазерного променя δ_1 на виході з зони перехрестя дозволяє визначити кількість, тип та інші параметри руху ТЗ, що покинули зону перехрестя по різних напрямкам у цей же такт регулювання.

Фотоприймачі 2, направлені на вхідні смуги руху, сприймають послідовно відбиті сигнали першого δ_1 , другого δ_2 і третього δ_3 лазерних променів з часовою затримкою на третину періоду сканування, що дає можливість окремого розпізнавання сигналів різних променів.

Перетворювач 6 сигналу кожного $\Phi\Pi_i$ 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'єкту 9 подаються на відповідний вхід обчислювального пристрою 7.

Сигнали з виходу реперного фотоприймача 2 ($\Phi\Pi_0$) через перетворювач 6_0 подаються на відповідні входи дискретних сканісторів 5_1 , 5_2 та 5_3 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 смугам 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 R_3 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 обраний 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 управління 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 КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб оптимізації багатofазного циклу регулювання світлофорного об'єкту, заснований на скануванні 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 проїзної частини зменшується на певну задану величину, при цьому зміна положень розгортки здійснюється з високою швидкістю по черзі через кожен період сканування, а другий промінь розгортки формується зі зміщенням на третину періоду по колу розгортки та зі зміною кута нахилу оптичної вісі 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 формується зі зміщенням по відношенню 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 світлофору, що забороняє дорожній рух, подальшому прийомі відображених оптичних сигналів фотоприймачами і надалі перетворенні цих сигналів в імпульсно-числові коди, за якими визначаються швидкість, тип та час пересування транспортних засобів на входах і виходах обох контрольованих зон, напрямки їх руху по смугам, кількість транспортних засобів у черзі у фізичних та приведених одиницях, значення зупиночного шляху різного типу транспортних засобів, час пересування черги зони стоп-лінії по всіх смугах руху упродовж окремих тактів одного циклу світлофорного регулювання, а потім наявність транспортних засобів по окремим смугам в першій контрольованій зоні та в зоні самого перехрестя на момент початку проміжного такту, а момент закінчення проміжного такту формується 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, зупиночний шлях якого перевищує довжину першої контрольованої зони, при цьому тривалість основного такту визначається моментом закінчення роз'їзду найбільшої за часом черги по смугам руху в даній фазі регулювання, який формується по моменту перетинання заднім бампером останнього в черзі транспортного засобу однієї з ліній сканування в зоні стоп-лінії при умові, що на цей момент першу контрольовану зону повністю залишать всі транспортні засоби, а в іншому випадку кінець основного такту формується по максимально фіксованому заздалегідь значенню, а тривалість циклу світлофорного регулювання за результатами сканування визначається як сукупність основних та проміжних тактів всіх фаз, який **відрізняється** тим, що оптичні вісі розгортки першого і другого лазерних променів відхиляються відповідно у третє положення, при якому радіус концентричного кола на поверхні проїзної частини змінюється на певну задану величину, при цьому зміна положень розгортки здійснюється на кожному наступному періоді сканування послідовно в прямому а потім в зворотному напрямках, а уповільнення або прискорення транспортних засобів на вході і виході першої контрольованої зони визначаються за значеннями швидкостей, що вимірюються між першим і другим, а потім другим і третім колами розгортки за моментами пересічення 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 всіляких умов зміни структури світлофорного циклу і по відстаням до дальньої конфліктної точки визначають таку послідовність фаз у циклі регулювання, при якій сума часу усіх проміжних тактів та втрачений час у циклі будуть мінімальними.

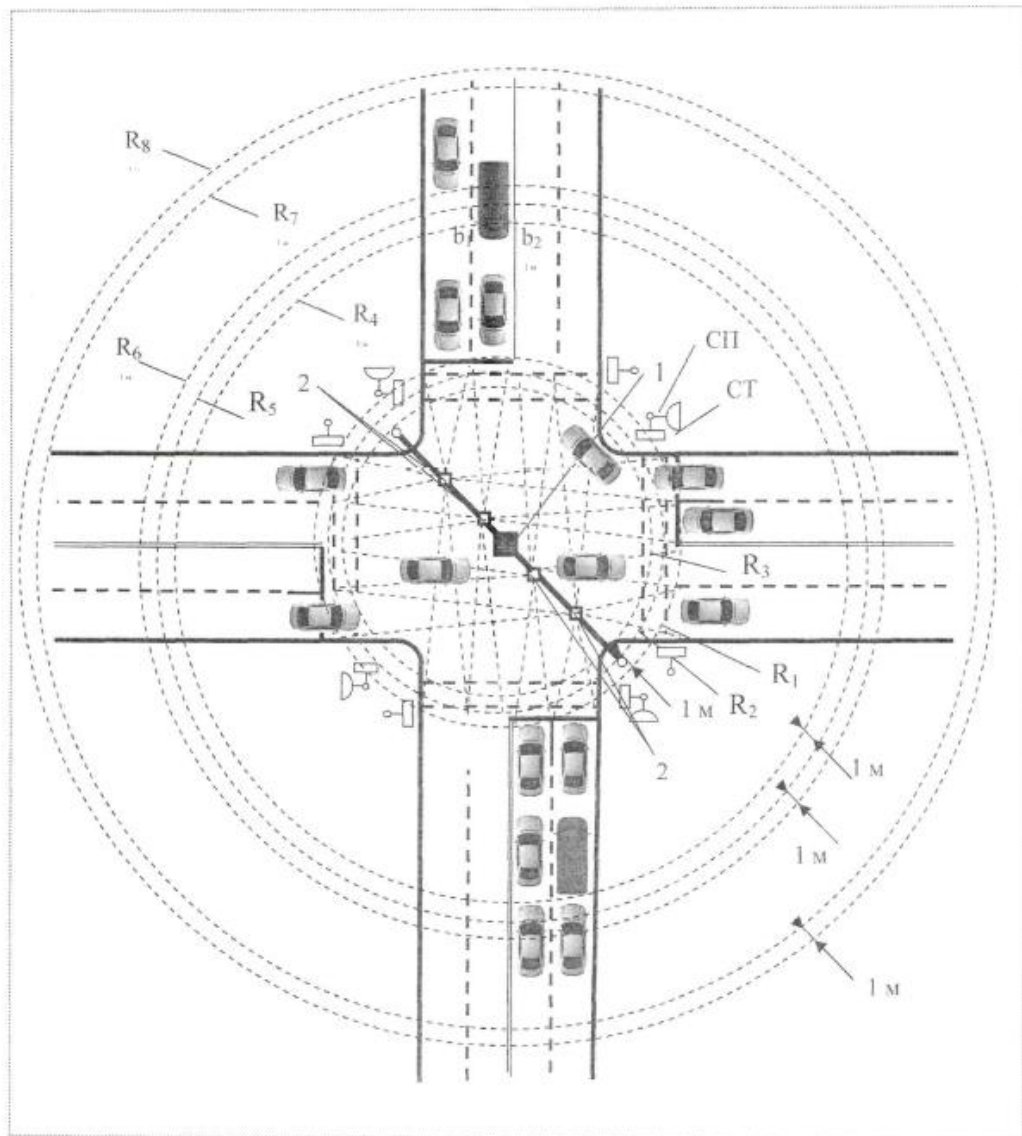


Fig. 1

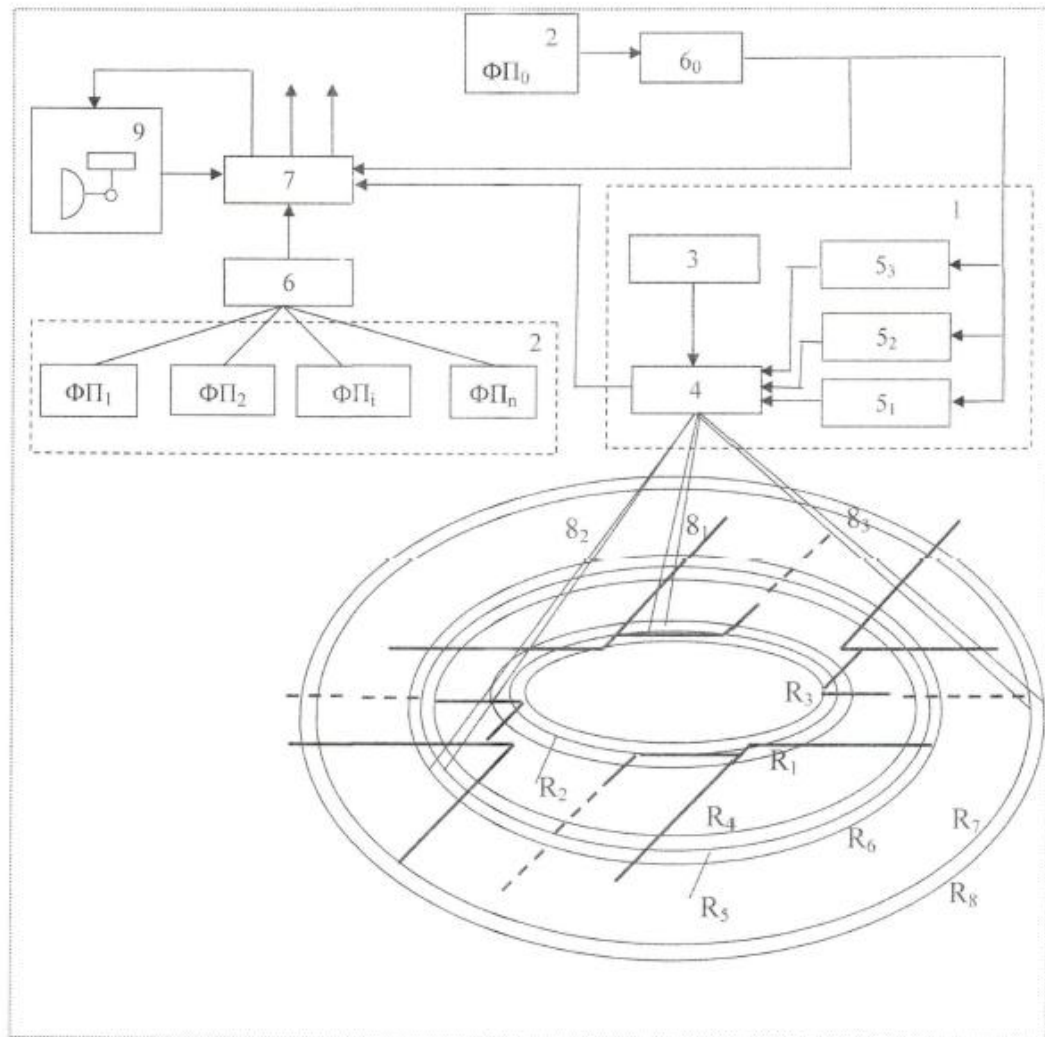


Fig. 2