



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **131220** (13) **U**
(51) МПК
G08G 1/09 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2018 07077	(72) Винахідник(и): Денисенко Олег Васильович (UA)
(22) Дата подання заявки: 23.06.2018	(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)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.01.2019	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.01.2019, Бюл.№ 1	

(54) СПОСІБ КООРДИНОВАНОГО УПРАВЛІННЯ СВІТЛОФОРНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

(57) Реферат:

Спосіб координованого управління світлофорними об'єктами оснований на скануванні одночасно трьома гостроспрямованими лазерними променями зони кожного перехрестя з точки над його геометричним центром конусним видом розгортки. У результаті сканування усіх перехресть магістралі протягом кожного циклу визначають ключове перехрестя і одночасно за результатами сканування перерізів у середині кожного перегону середню швидкість руху груп транспортних засобів, їх кількість у групі, інтервали руху та смуги часу груп, за якими розраховується графік координації по усій магістралі. При цьому за результатами сканування перехресть визначають кількість та тип транспортних засобів у черзі, що збирається у стоп-лінії по кожній смузі руху кожного перехрестя на червоний сигнал світлофора. Потім за значеннями коефіцієнтів приведення до легкового автомобіля, типом і кількістю транспортних засобів на кожному циклі на момент появи першого транспортного засобу з групи у перерізі сканування перегону, що передує кожному перехресно, визначають необхідний час роз'їзду реальних черг по кожній смузі перегону і по максимально можливому часу роз'їзду по смугах двох підходів визначають час зміщення початку наступної фази для звільнення смуг на момент підходу груп до перехрестя. Час дії основних тактів для другорядних підходів до перехресть визначаються на моменти їх початку за максимально можливою чергою серед смуг відповідних підходів, при цьому за різницею звісного значення циклу та часу дії основного такту для другорядних підходів визначають резерв часу для лівоповоротних потоків з магістралі для кожного перехрестя та можливість максимального зміщення між собою смуг часу груп для зустрічних потоків по магістралі. Ефективність координованого управління визначається за коефіцієнтом беззупинного проїзду по мережі перехресть, який визначається за значеннями загальних інтенсивностей руху та загальній кількості транспортних засобів, що зупинились на перехресті протягом визначеного часу виміру по усіх смугах магістралі, і одночасно корегується значення швидкості руху транспортних засобів по магістралі у другій половині кожного перегону за допомогою електронних показників для забезпечення підходу груп транспортних засобів до перехрестя на момент звільнення смуг від попередніх черг.

UA 131220 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 перехрестя ВДМ, а також для підвищення ефективності управління рухом транспорту на магістралях міста.

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 смузі за будь-який проміжок часу, інтервалів рухів між ТЗ, їх прискорення або уповільнення, а також тривалості проміжних (ПТ) та основних тактів (ОТ) в кожній фазі і циклу світлофорного регулювання (ЦСР) на перехрестях координованого управління (КУ).

10 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 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.

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 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 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 смугах руху як на підходах, так і на виходах перехрестя.

35 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 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, прискорення або уповільнення, кількість і послідовність ТЗ, що реально в'їхали в КЗ по кожній смузі 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 (50 км/год.).

40 Наявність подвійного сканування на вході першої КЗ дає можливість точно визначити тип ТЗ, склад ТП та кількість ТЗ n_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 і уповільнення ТЗ на вході в першу КЗ на момент зміни сигналу світлофору з зеленого на жовтий і по швидкості, уповільненню та типу ТЗ розрахувати його ЗШ та в кінцевому рахунку прийняти рішення про завершення ПТ.

45 Подвійне сканування першим променем в зоні стоп-ліній дає змогу визначити тип, точний час, стартові прискорення 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 смузі, що не встигли (не змогли) покинути зону самого перехрестя на зелений сигнал світлофору, тобто не здійснили перетинання зони сканування (R_1, R_2) по смугах руху на виході з перехрестя.

55 Момент перетинання переднім бампером ТЗ лінії сканування з радіусом R_1 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 дозволена (більше 50 км/год.), а його тип, габарити, прискорення або уповільнення будуть свідчити, що його ЗШ перевищує довжину КЗ і ТЗ навіть при повному

60

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, уповільнення, 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
10 перевищував найбільш можливу чергу ТЗ, яка може збиратися по одній зі смуг руху на сигнал
світлофора, 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 смугі руху як у фізичних, так і у приведених одиницях.

15 Тривалість ОТ фази регулювання визначається за 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 згідно з максимально фіксованим заздалегідь значенням.

20 Тривалість ЦСР за результатами сканування визначається як сукупність основних та
проміжних тактів всіх фаз (Патент на корисну модель № 120546 від 10.11.2017, бюл. № 21). Цей
спосіб є найбільш близьким до способу, що заявляється, і тому вибраний як найближчий
аналог.

Недоліком цього способу є вузькі функціональні можливості, оскільки він не дозволяє його
25 пряме застосування в системі координованого управління світлофорними об'єктами (КУСО) на
магістралях міста. Це пов'язано з тим, що формування часу дії і початку ОТ для проїзду
перехрестя по магістралі відбувається за іншим алгоритмом та критерієм оцінки ефективності їх
дії і залежить від швидкості руху ТП на перегонах магістралі, щільності груп руху ТЗ, наявності в
30 потоці окремих від групи ТЗ та інтенсивностей поворотних потоків як з магістралі, так і на
магістраль. Крім того, визначення елементів ЦСР за існуючим способом не враховує
необхідності корекції режимів роботи світлофорних об'єктів по мірі пересування ТП від начала
до кінця магістралі.

В основу запропонованого способу поставлена задача підвищення точності і розширення
функціональних можливостей найбільш близького аналога для його використання в системах
35 КУ.

Поставлена задача вирішується тим, що в основу запропонованого способу покладено
конусне покрокове сканування одночасно трьома вузькоспрямованими лазерними променями
інфрачервоного діапазону одночасно всіх підходів і виходів кожного перехрестя магістралі КУ,
40 що дає можливість сформувати вхідні і вихідні межі двох КЗ та забезпечити визначення
комплексу необхідних параметрів ТП по кожній смугі руху перехрестя та покрокове сканування
вузькоспрямованим лазерним променем перегонів магістралі, що дає можливість забезпечити
визначення комплексу параметрів КУ в залежності від результатів сканування.

При цьому можливо буде забезпечити визначення параметрів руху ТП (швидкості,
45 прискорення, інтервалів руху ТЗ та часову стрічку групи руху) в середині кожного перегону
магістралі по усіх смугах у прямому та зворотному напрямках. Виконати оцінку групоутворення
ТП на входах і виходах перехрестя, забезпечити ефективність лівоповоротних потоків виходу з
магістралі та використання специфічних критеріїв оцінки ефективності КУ.

На фіг. 1-3 представлені схеми, які розкривають основні відмінні особливості
запропонованого способу і послідовність його дій.

50 Відповідно до запропонованого способу, розгортка лазерного променя на кожному
перехресті здійснюється скануючим блоком 1, який розташовується на спеціальному
кронштейні в точці, що відповідає геометричному центру перехрестя. У скануючому блоку,
залежно від висоти його розміщення, одну з оптичних осей розгортки підбирають так, щоб
перший лазерний промінь описував конусну поверхню з колом на проїжджій частині перехрестя
55 (R_1) в області стоп-ліній всіх його підходів. До складу скануючого блока входить оптичний
відхиляючий пристрій (дискретний сканістор), який забезпечує відхилення осі першого
лазерного променя в необхідне друге положення, при якому радіус кола (R_2) на поверхні
проїзної частини зменшується на задану величину (наприклад, на 1 м). Таким чином, блок
сканування на кожному наступному періоді сканування змінює розгортку першого лазерного

променя з однієї оптичної осі на іншу та описує в зоні стоп-ліній на поверхні перехрестя два концентричні кола з різницею радіусів ($R_2 - R_1 = 1$ м) та формує вихідну межу 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_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.

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_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.

15 Оптичні фотоприймачі 2 (ФП_i) процеси 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.

20 Фіксацію ТЗ, що в'їжджають в обидві КЗ, здійснюють по їх передніх бамперах при пересіченні одного з кіл (R_6 або R_4), при цьому завдяки періодичному скануванню зі зміною оптичної осі лазерного променя (з радіуса R_3 на R_4 і з R_5 на R_6 та навпаки) визначаються моменти в'їзду, кількість і послідовність ТЗ, що реально в'їхали в КЗ по кожній смузі руху за період вимірювань.

Збір інформації параметрів ТП на перегонах магістралі здійснюється у перерізах, що розділяють ці перегони на дві рівні частини (фіг. 2).

25 Визначення цих параметрів ТП здійснюється покроковим скануванням вузько спрямованим лазерним променем інфрачервоного діапазону всіх смуг руху, як прямого, так і зворотного напрямку руху. Це досягається за рахунок розташування над перегоном на спеціальному кронштейні в заданому розрізі скануючого блока та фотоприймачів таким чином, що при зміні положення кута нахилу променя у поперечному розрізі дороги на її поверхні утворюються дві паралельні лінії з дистанцією між ними в 1 м (фіг. 3).

30 Аналогічно тому, як це відбувається при скануванні перехрестя, дискретний сканістор на кожному періоді сканування в реперній точці змінює положення осі променя і забезпечує можливість послідовного виміру в цих розрізах таких параметрів, як швидкість, прискорення, інтервали руху ТЗ, їх кількість, довжину і тип, щільність та часову стрічку групи руху за будь-яке значення часу виміру. При цьому фіксація цих параметрів відбувається тільки для тих ТЗ, що за час виміру повністю перетнули обидві лінії сканування.

35 Швидкість ТЗ, що послідовно своїм переднім бампером перегинають лінії сканування R_2 та R_1 , R_4 та R_3 , R_6 та R_5 або лінії а-в у середині кожного перегону, визначають на дистанції 1 м і фіксують як значення V_1 та V_2 . Потім фіксуються швидкості V_1 та V_2 цих же ТЗ при перетині 40 відповідних ліній сканування їх задніми бамперами.

Довжина ТЗ з урахуванням вповільнення

$$a = \frac{V_1 - V_2}{t_{T3}} \quad (1)$$

де t_{T3} - час проїзду ТЗ лінії сканування R_1 , або R_3 , або R_5 , або одну з ліній сканування а-в у середині кожного перегону, відповідно, спочатку переднім, а потім заднім бампером, визначається як

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

45 За значенням l_{T3} у подальшому визначається тип ТЗ, який по кожній смузі руху перетинає вхідні і вихідні кордони кожної КЗ перехрестя, а також лінії сканування в середині перегонів.

50 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 (50 км/год.).

Наявність подвійного сканування (R_3 , R_4) на вході першої КЗ дає можливість точно визначити тип ТЗ, склад ТП та кількість ТЗ n_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 на момент зміни сигналу світлофору з зеленого на жовтий і по швидкості та типу ТЗ розрахувати його ЗШ та в кінцевому рахунку по уповільненню на входах в першу та другу КЗ прийняти рішення про завершення ПТ

$$l_{зш} = l_{рк} + l_{гш} = V \cdot t_{рк} + \frac{V^2}{2g(\varphi + f \pm \lambda)}, \quad (3)$$

де $l_{рк}$ - шлях, що пройде ТЗ за час реакції водія $t_{рк}$ на зміну сигналів світлофору;

5 $l_{гш}$ - 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;

10 λ - величина подовжнього похилу.

Подвійне сканування першим променем (R_1, R_2) в зоні стоп-ліній (на виході з першої та другої КЗ) дає змогу вибачити швидкість, прискорення, тип, точний час та кількість ТЗ, які покинули КЗ по кожній зі смуг руху на зелений сигнал світлофору, а 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 смузі, 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. Це можливо у випадку, коли лівоповоротні ТЗ в зоні перехрестя очікують проїзду прямого зустрічного транспорту, а правоповоротні ТЗ - завершення переходу пішоходів.

20 Інформація про довжину, 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_1) по смугах руху на виході з перехрестя. Це 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.

25 Момент перетинання своїм переднім бампером лінії сканування з радіусом R_1 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.

30 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 50 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 ПН визначається за моментом перегину заднім бампером ТЗ ДКТ з урахуванням часу проїзду від стоп-лінії до ДКТ автомобіля, що починає рух у наступній фазі [Кременец Ю.А., Печерський М.П., Афанасьєв М.Б. Технические средства организации дорожного движения: Учебник для вузов. – М.: ИКЦ "Академкнига" 2005, с. 56].

$$l_{ПН} = l_{рк} + t_{гш} + l_i - t_{i+1}, \quad (4)$$

де $t_{рк}$ - час реакції водія на зміну сигналу світлофора;

$t_{гш}$ - час, необхідний ТЗ для проїзду $l_{гш}$;

40 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 (4) формулу для визначення часу дії ПТ для цього випадку можна надати у наступному вигляді:

$$l_{ПН} = l_{рк} + \frac{V_{a1}^2}{7,2 \cdot a_T} + 3,6 \frac{V_{a1}}{V_{a1}} - 3,6 \frac{l_{ДКТ}}{V_{a2}} \quad (5)$$

45 де V_{a1} - середня швидкість ТЗ при русі на підході до перехрестя та в зоні перехрестя без гальмування;

a - 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.

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 вони вже перегнули вхідні межі першої КЗ. Визначення часу дії ПТ по реальним значенням виміру параметрів руху конкретних ТЗ, а не по загальноприйнятим спрощеним формулам, також дозволяє більш точно визначити ПТ та взагалі скоротити втрачений час у циклі регулювання.

Фіксацію ТЗ, що в'їжджають в другу КЗ, здійснюють по їх заднім бамперам при пересіченні одного з кіл (наприклад R_5), при цьому завдяки періодичному скануванню зі зміною оптичної осі лазерного променя (з радіуса R_5 на R_6 і навпаки) визначається момент в'їзду, швидкість, уповільнення (прискорення), довжина, тип, кількість і послідовність ТЗ, що реально в'їхали в другу КЗ по кожній смузі руху кожного перехрестя за період вимірювань. Крім того, на вході в другу КЗ по кожній смузі руху визначається смуга часу групи ТЗ $t_{сг}$, що рухаються до входу поточного перехрестя.

Радіус R_5 , що формує вхідну межу другої КЗ, бажано вибирати за умови, щоб він перевищував найбільш можливу чергу ТЗ, яка може збиратися по одній зі смуг руху 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, а також щільність групи ТЗ у смузі часу.

Інформація про швидкість, уповільнення, довжину, тип та час пересування ТЗ на вході в другу КЗ дозволяє більш точно послідовно визначити реальні значення коефіцієнтів приведення до легкового автомобілю $K_{ПР}$, як відношення величини середнього значення часового інтервалу $t_{ві}$ проїзду КЗ конкретним типом ТЗ до величини середнього значення часового інтервалу $t_{лі}$ проїзду цієї зони легковим автомобілем:

$$K_{ПР} = t_{ві} / t_{лі} \quad (6)$$

Вимірювання такого комплексу параметрів в зоні перехрестя дозволяє також визначити 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:

$$N_{ПР} = K_{ПР1}N_1 + K_{ПР2}N_2 + \dots + K_{ПРi}N_i \quad (7)$$

де $N_{ПР}$ - кількість ТЗ у приведених до легкового автомобіля одиницях по j-й смузі руху;

N_i - число ТЗ типу i у черзі по j-й смузі руху;

$K_{ПРi}$ - коефіцієнт приведення ТЗ i-го типу до легкового автомобіля.

Все це дає можливість підвищити точність спочатку розрахунків, а потім, за результатами сканування виходу КЗ першим променем (у зоні стоп-лінії), визначення точного часу роз'їзду початкових черг по кожній смузі магістралі на "зелений" сигнал світлофора i, таким чином, більш точно формувати тривалість кожного ОТ.

Кожна з пар ліній сканування R_1-R_2 , R_3-R_4 , R_5-R_6 на виході i виході кожного перехрестя по смугах магістрів і дає змогу визначити не тільки усі вищеперераховані параметри руху ТЗ, але і контролювати процес розпаду групи (або групування) у смузі часу у міру її руху від однієї пари ліній сканування до інших.

Процес керування руху ТП по магістралі складається у наступному. За попереднім етапом сканування усіх перехресть магістралі, що входять до групи КУ визначають ключове перехрестя, тобто перехрестя, у якого за результатами виміру $t_{ц}$ буде максимальним.

Одночасно за результатами сканування перерізів у середині кожного перегону магістралі визначають середню швидкість руху групи ТЗ, яку вибирають як розрахункову з урахуванням того, що це значення не перевищує 85-90 % ТЗ групи. Це здійснюють для прямого та зворотного напрямків руху кожного перегону i, якщо різниця швидкостей по перегонах мала, то і визначають одну середню швидкість перегонів. У разі, якщо швидкість руху на окремих перегонах суттєво відрізняється (ділянки підйомів та спусків), для таких перегонів приймають свою розрахункову швидкість. Аналогічно поступають у разі суттєвої різниці між швидкостями прямого та зворотного напрямків окремого перегону.

Наступним етапом будується або програмно розраховується графік координації з урахуванням усіх відомих основних вимог до перехресть і перегонів, що входять в систему КУ.

В подальшому відбувається постійне керування як часом дії ОТ кожного перехрестя магістралі та зсувом з включення зеленого сигналу, так і $T_{ц}$, які відповідають мінімуму прийнятого критерію ефективності КУ.

В процесі управління ТП по магістралі по кожній смузі усіх перехресть визначають кількість та тип ТЗ у черзі, що збирається у стоп-лінії на червоний сигнал світлофора. Для смуг по магістралі це ТЗ, які повертають з примикаючих вулиць на магістраль або ТЗ групи, що рухаються з низькою швидкістю і не встигають проїхати за ОТ.

Потім, за результатами сканування КЗ, першим променем визначають час проходження цих черг, що здійснюють роз'їзд ТЗ на "зелений" сигнал світлофору, а значення потоку насичення M_{Hj} по кожній смузі розраховують за формулою:

$$M_{Hj} = \frac{m_j}{T_j}, \quad (8)$$

де m_j - число приведених транспортних одиниць у черзі, що проходить через стоп-лінію за час T_j ,

j - номер смуги руху (напряму руху).

Для визначення часу T_j пропонується як початковий момент використовувати не момент включення зеленого сигналу, а момент перетинання стоп-лінії переднім бампером першого в черзі ТЗ (але, якщо ТЗ вже перетнув, або стоїть на стоп-лінії, то момент початку його руху). Як кінцевий момент при визначенні значення T_j пропонується брати момент проходження над стоп-лінією заднього бампера останнього в черзі ТЗ. Такий підхід дозволяє вилучити зі значення T_j величину додаткового часу, необхідного для реакції водія на зміну світлофорного сигналу, а також уникнути помилки, що може бути викликана у зв'язку з неповним врахуванням довжини останнього в черзі ТЗ.

За значенням $K_{ПР}$ та кількістю і типом ТЗ m_j у чергах по кожній смузі кожного перехрестя заздалегідь (до початку наступного циклу) визначають необхідний час роз'їзду T_j реальних черг на кожному циклі. Як правило, це здійснюється на момент появи першого ТЗ з групи у перерізі сканування в середині перегону, що передує даному перехрестю. Для підходів з вулиць, що примикають, T_j визначається на момент розрахованого заздалегідь початку ОТ (зеленого сигналу).

В цьому разі за результатами попереднього визначення T_j по кожній смузі на конкретному підході до перехрестя магістралі приймається рішення про зміщення початку ОТ на величину, що буде мати максимальне значення серед T_j для усіх смуг цього підходу. Це є реально можливим тому, що всі перехрестя окрім ключового є надлишкові і мають можливість у рамках постійного циклу збільшити час дії ОТ для пропуску групи ТЗ.

Якщо, наприклад, по усіх перехрестях магістралі здійснюється двофазне регулювання, то значення $T_{ц}$ має наступні складові

$$T_{ц} = T_{o1} + t_{n1} + T_{o2} + t_{n2}, \quad (9)$$

де T_{o1} - час дії ОТ для пропуску групи ТЗ по магістралі;
 t_{n1} , t_{n2} - ПТ відповідно першої та другої фаз;
 T_{o2} - час дії ОТ другої фази для пропуску ТЗ з доріг, що примикають до магістралі.

Час дії T_{o2} для кожного перехрестя визначається за відповідними максимальними значеннями T_j^{2max} по усіх смугах руху підходів, що примикають до магістралі.

В цьому разі, за інформацією про склад та кількість ТЗ у чергах на примикаючих підходах можлива точна своєчасна оцінка значення T_j^{2max} , і відповідно $T_{o2} = T_j^{2max}$, а отже і достатньо точна оцінка часу дії T_{o1} у поточному циклі для кожного перехрестя

$$T_{o1} = T_{ц} - (T_{o2} + t_{n1} + t_{n2}). \quad (10)$$

Далі на кожному перехресті на обох підходах (напрямок) по магістралі визначають максимальне значення T_j^{max} і по різниці $T_{o1} - T_j^{max}$ розраховують резервний час руху групи ТЗ по магістралі в прямому та зворотному напрямках $(t_{счг}^{пр}, t_{счг}^{зв})$.

Показником ефективності пропонується обрати коефіцієнт беззупинного проїзду ТЗ по мережі перехресть КУ.

$$\beta_j = (N_j - Z_j) / N_j, \quad (11)$$

де N_j - інтенсивність руху через перехрестя по j-ій смузі магістралі, авт./год.;
 Z_j - число ТЗ, що зупинилось на цьому перехресті по j-ій смузі магістралі, авт./год.

Для забезпечення беззупинного проїзду всієї групи ТЗ по кожному перехрестю в обох напрямках магістралі необхідно, щоб мінімальне значення ОТ складало

$$T_{o1} \geq T_j^{max} + t_{счг}^{max}, \quad (12)$$

де $t_{счг}^{max}$ - найбільше значення з двох величин $t_{счг}^{пр}$ та $t_{счг}^{зв}$ на кожному перехресті.

Для забезпечення виконання вибраного критерію ефективності необхідно на кожному циклі регулювання враховувати організацію лівоповоротних потоків з магістралі тому, що щільні зустрічні ТП практично виключають "просочування" лівоповоротних ТЗ. Тому лівоповоротні ТП доцільно виносити або у окрему фазу, або, якщо є можливість збільшення T_{o1} по магістралі то забезпечити прохід зустрічних ТП у різний час (фіг. 4, перехрестя А, Б, Г і Д).

В такому разі значення T_{o1} повинно забезпечувати наступні умови

$$T_{o1}^{max} \geq T_j^{1max} + t_{счг}^{1max} + T_j^{2max} + t_{счг}^{2max}. \quad (13)$$

Це можливо забезпечити також і за рахунок керування швидкістю групи по перегону. Для цього скануванням у середині кожного перегону магістралі визначають декількох перших ТЗ групи і розраховують час їх прибуття до стоп-лінії найближчого перехрестя, а потім визначають рекомендовану швидкість груп з урахуванням часу роз'їзду T_j реальної черги по даній j-ій смузі і довжину цього перегону (наприклад І_{А-Б}, фіг. 2).

При цьому корекція і управління швидкістю групи вважається доцільним у межах $\pm 10\%$ від реальної швидкості групи, бо в протилежному випадку при суттєвій різниці збільшаться смуга часу $t_{счг}$ і кількість затриманих на перехресті ТЗ.

Коефіцієнт β_j визначається на кожному перехресті магістралі для кожного циклу для прямого і зустрічного напрямків. Потім за встановлений час виміру T_B визначають коефіцієнт $\bar{\beta}$ для всієї магістралі за значеннями загальних інтенсивностей руху та загальній кількості транспортних засобів, що зупинились на перехрестях по усіх смугах магістралі. КУ вважається доцільним при $\beta \geq 0,8$. Це означає, що більш 80 % ТЗ перетинають перехрестя без зупинок.

Процес керування буде спрямований на пропуск такої кількості ТЗ з груп руху по магістралі, при якій $\beta \geq 0,8$. ТЗ з низькою швидкістю у групі (позагрупові ТЗ) можуть бути зупинені у стоп-лінії, якщо значення $\bar{\beta}$ к цьому моменту (у даному циклі) буде перевищувати $\beta \geq 0,8$. В цьому випадку повністю будуть враховуватись потреби другорядних підходів до магістралі. Якщо в процесі регулювання у поточному циклі $\beta \geq 0,8$ і по окремим перехрестям ще є запас T_{o1} , то він використовується у повному обсязі без зменшення необхідного часу дії T_{o2} для другорядних напрямків.

Керування на кожному перехресті містить операції пошуку керуючих параметрів (зсуву початку ОТ, циклу регулювання, швидкості руху ТП), які відповідають умовам оптимізації обраного критерію ефективності.

Оптимізацію КУ починають з уточнення значення T_c та вибору ключового перехрестя для поточних параметрів ТП по перехрестям магістралі. Потім послідовно забезпечується спрямований пошук зсувів початку фаз, перерозподіл часу дії фаз в межах циклу для кожного перехрестя і при необхідності зміна рекомендованої швидкості ТП по перегону, які сприяють мінімізації критерію ефективності.

Корегування значення швидкості руху транспортних засобів по магістралі відбувається у другій половині кожного перегону за допомогою електронних показників для забезпечення

підходу груп транспортних засобів до перехрестя на момент звільнення смуг від попередніх черг.

З ростом інтенсивностей ТП по смугах магістралі (вище 500 авт./год.) або різкій зміні інтенсивностей, визначений попередньо цикл може бути надлишковим I_T для ключового перехрестя через посилення групоутворення ТП, що потребує корекції I_T , зміни плану координації або, навіть зміни ключового перехрестя.

Застосування технології, що пропонується дозволяє проводити процедуру керування більш якісно з урахуванням значно більшого числа факторів, формуючих ТП. Підвищення гнучкості управління відбувається за рахунок постійної корекції програм регулювання, адаптованих до поточних реальних транспортних умов.

Визначення часу дії ОТ і ПТ, ЦСР, часу роз'їзду ТЗ, смуги часу групи ТЗ, показника ефективності КУ, основних параметрів руху ТП за точними вимірами, а не приблизними розрахунками за середніми значеннями параметрів або за прогнозними значеннями, дає змогу у ряді випадків скоротити необхідні такти, зменшити втрати часу в циклі регулювання, підвищити ефективну тривалість фаз регулювання та підвищити точність і гнучкість КУ в умовах динамічної зміни параметрів ТП.

На фіг. 3 та 5 надані спрощені структурні схеми 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 трипроменево конусне покровове 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 (фіг. 3)

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 виходах з КЗ та перехрестя в цілому.

Аналогічний пристрій мають і скануючі блоки 1₁...1_k, що розташовуються у середині по всіх k перегонах магістралі, але сканування здійснюється у двох паралельних площинах таким чином, що при зміні положення кута нахилу променя у поперечному розрізі дороги на її поверхні утворюються дві паралельні лінії з дистанцією між ними в 1 м (фіг. 2 та 5).

Зміна і чергування кутів нахилу розгортки (з R₁ на R₂, з R₃ на R₄ та з R₅ на R₆ та навпаки) або ліній сканування на кожному періоді розгортки необхідна для однозначного визначення положення ТЗ щодо кіл сканування, швидкості, прискорення, типу, довжини черги, смуги часу групи і напрямків руху ТЗ в КЗ, в перетині ліній сканування і зоні перехрестя по кожній смузі руху.

Оптичні фотоприймачі 2 (ФП_i) в процесі розгортки трьох лазерних променів (8₁, 8₂, 8₃) по одному з кіл послідовно сприймають сигнали, відбиті від ТЗ, що рухаються по різних смугах руху на входах і виходах КЗ. Таку ж функцію виконують фотоприймачі 2₁...2_k (ФП₁...ФП_k), що розташовуються у середині по всіх k перегонах і смугах руху (фіг. 5). При цьому почергова з високою швидкістю зміни радіусів сканування дозволяє точно визначити усі вище перераховані параметри руху ТП по кожній смузі руху в даному циклі регулювання.

Розгортка лазерного променя 8₁ на виході з зони перехрестя дозволяє визначити кількість, тип та інші параметри руху ТЗ, що покинули зону перехрестя по різним напрямкам у цей же такт регулювання.

Перетворювач 6 сигналу кожного ФП_i відповідної смуги руху перехрестя перетворює сигнали в імпульсно-цифрові коди, які вводяться у локальний обчислювальний пристрій (ЛОП) 7, де далі визначаються всі необхідні параметри за будь-який час виміру (за час тривалості основного або проміжного такту та циклу світлофорного регулювання). Для контролю функціонування світлофорного об'єкта 9 сигнали з його виходу подаються на відповідний вхід ЛОП 7.

Сигнали з виходу реперного фотоприймача 2 (ФП₀) перехрестя (фіг. 3) через перетворювача ФП_i подаються на відповідні входи дискретних сканісторів 5₁, 5₂ та 5₃ та ЛОП 7 для чіткого визначення положення кожного променя за смугами руху відносно реперної точки.

Аналогічно цьому функціонують реперні фотоприймачі ФП_{0 21}, ФП_{0 22}, ... ФП_{0 2k} перегонів магістралі, які через відповідний перетворювач ФП_i (фіг. 5) видають реперні сигнали на загальний обчислювальний пристрій (ЗОП) 10. Одночасно на входи ЗОП 10 надходить уся необхідна інформація з ЛОП усіх перехресть магістралі, а з ЗОП на кожен ЛОП надходять

сигнали керуючої дії, які після обробки видаються на світлофорні об'єкти 9. ЗОП також формує керуючі сигнали на електроні показчики швидкості 11 (фіг. 2), що забезпечує більш ефективне КУ відповідно прийнятого критерію якості.

ЛОП і ЗОП протягом кожного циклу регулювання зберігають інформацію про моменти в'їзду, кількість і послідовність ТЗ, що реально в'їхали в КЗ по кожній смузі руху кожного перехрестя, швидкість, прискорення, інтервали руху ТЗ, їх кількість, довжину і тип, щільність та часову стрічку груп руху на входах і виходах КЗ та по перегонах магістралі.

Внаслідок того, що в ЛОП і ЗОП закладаються алгоритми, правила і константи, відповідні діапазони змін параметрів руху ТЗ, коефіцієнти приведення до легкового автомобіля для попереднього розрахунку часу роз'їзду черг ТЗ, відстані та час проїзду до ДКТ для кожної смуги руху у різних фазах регулювання перехрестя та ін., з'являється можливість одночасного та синхронного розрахунку всіх необхідних параметрів КУ в ЗОП і більш точного та ефективного керування згідно прийнятого критерію.

Підвищення ефективності КУ з'являється внаслідок того, що розрахунки і корекція програм координації і всіх її складових здійснюється не за даними спостережень або прогнозними параметрами і потім поступового пошуку прийнятних умов координації, а у результаті точного визначення реальної транспортної ситуації на усіх елементах магістралі. Крім того, локальна та загальна корекція програм координації на кожному циклі регулювання у реальному масштабі часу дозволяє адаптувати систему під будь-які умови динамічної зміни руху ТП і мати постійну оперативну інформацію по критерію ефективності.

Таким чином, запропонований спосіб дає можливість одержати найбільш повний комплекс інформації для контролю, підвищення точності і подальшою оперативного КУ руху ТП по магістралі.

Вищезазначений спосіб дозволяє більш ефективно забезпечити використання можливостей ВДМ і при необхідності оперативно втручатися у перерозподіл ТП та планування заходів по маршрутній мережі міста.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб координованого управління світлофорними об'єктами, оснований на скануванні одночасно трьома гостроспрямованими лазерними променями зони кожного 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 змінною кута нахилу оптичної осі променя, як і першого, по черзі у реперній точці через кожен період сканування так, щоб радіус другого концентричного кола на вході першої контрольованої зони зменшувався на певну задану величину, третій оптичний промінь лазерної розгортки формується 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 зі смуг руху на сигнал світлофора, що забороняє дорожній рух, подальшому прийому відображених оптичних сигналів фотоприймачами і надалі перетворенню цих сигналів в імпульсно-числові коди, за якими визначаються швидкість, прискорення, тип, інтервали руху 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 зупиночного 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 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, а тривалість циклу регулювання визначається як сукупність основних та проміжних тактів всіх фаз, який **відрізняється** тим, що у результаті сканування усіх

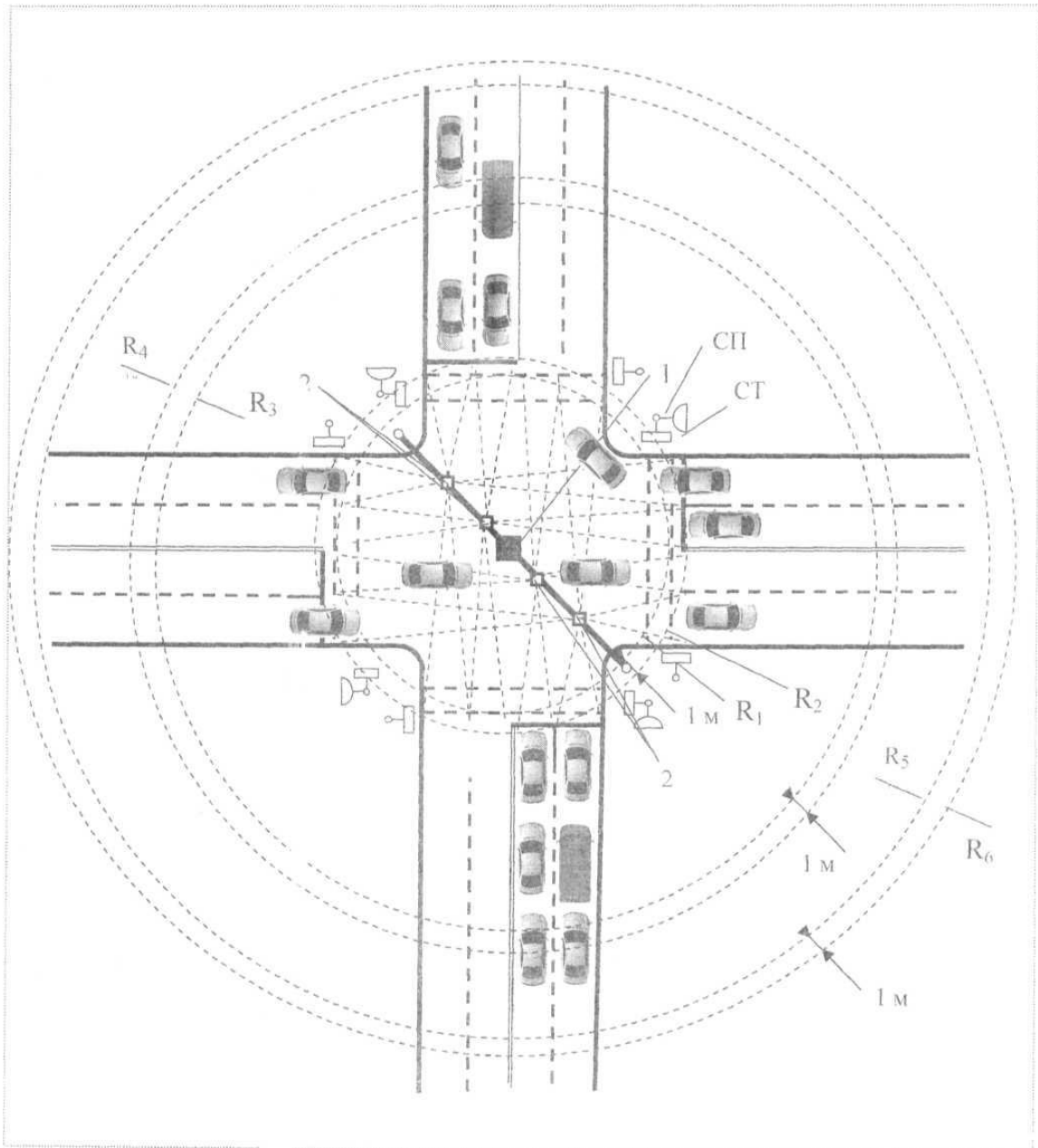
перехрестя магістралі протягом кожного циклу визначають ключове перехрестя і одночасно за результатами сканування перерізів у середині кожного перегону середню швидкість руху груп транспортних засобів, їх кількість у групі, інтервали руху та смуги часу груп, за якими розраховується графік координації по усій магістралі, при цьому за результатами сканування

5 перехрестя визначають кількість та тип транспортних засобів у черзі, що збирається у стоп-лінії по кожній смузі руху кожного перехрестя на червоний сигнал світлофора, а потім за значеннями коефіцієнтів приведення до легкового автомобіля, типом і кількістю транспортних засобів на кожному циклі на момент появи першого транспортного засобу з групи у перерізі сканування

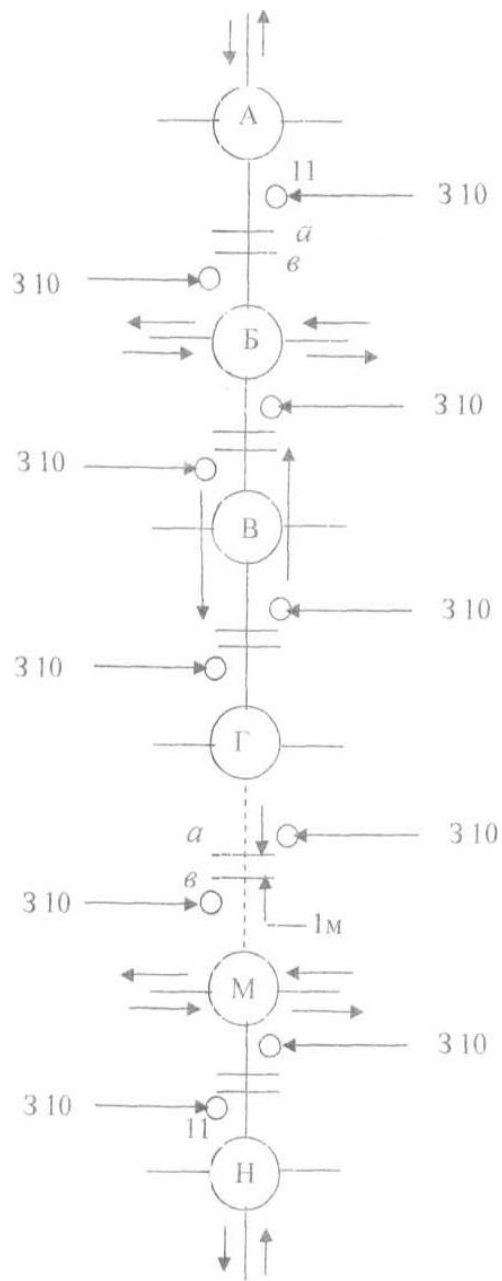
10 перегону, що передує кожному перехресно, визначають необхідний час роз'їзду реальних черг по кожній смузі перегону і по максимально можливому часу роз'їзду по смугах двох підходів визначають час зміщення початку наступної фази для звільнення смуг на момент підходу груп до перехрестя, а час дії основних тактів для другорядних підходів до перехрестя визначаються на моменти їх початку за максимально можливою чергою серед смуг відповідних підходів, при цьому за різницею звісного значення циклу та часу дії основного такту для другорядних підходів

15 визначають резерв часу для лівоповоротних потоків з магістралі для кожного перехрестя та можливість максимального зміщення між собою смуг часу груп для зустрічних потоків по магістралі, а ефективність координованого управління визначається за коефіцієнтом беззупинного проїзду по мережі перехрестя, який визначається за значеннями загальних інтенсивностей руху та загальній кількості транспортних засобів, що зупинились на перехресті

20 протягом визначеного часу виміру по усіх смугах магістралі, і одночасно корегується значення швидкості руху транспортних засобів по магістралі у другій половині кожного перегону за допомогою електронних показників для забезпечення підходу груп транспортних засобів до перехрестя на момент звільнення смуг від попередніх черг.

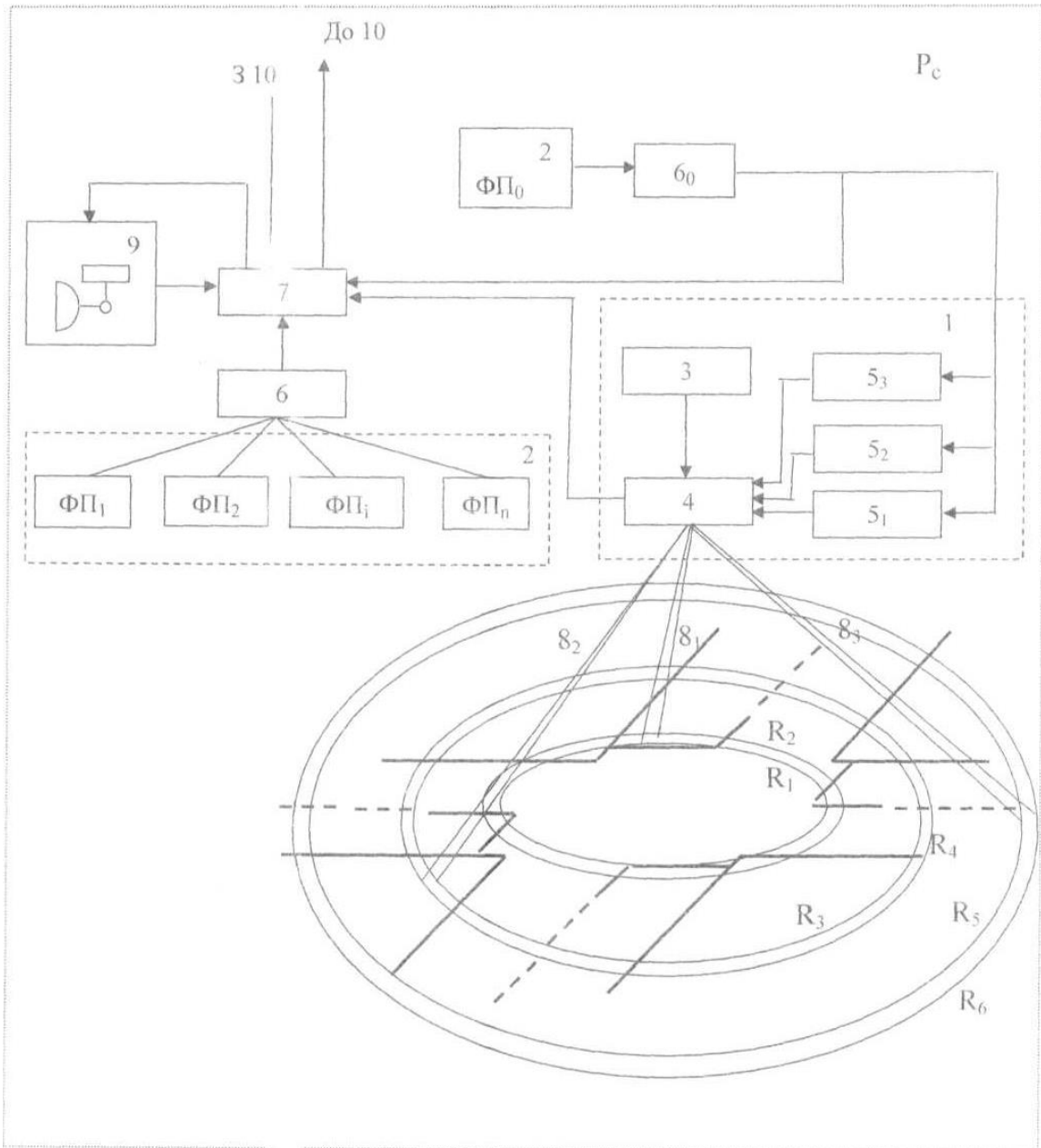


Фиг. 1

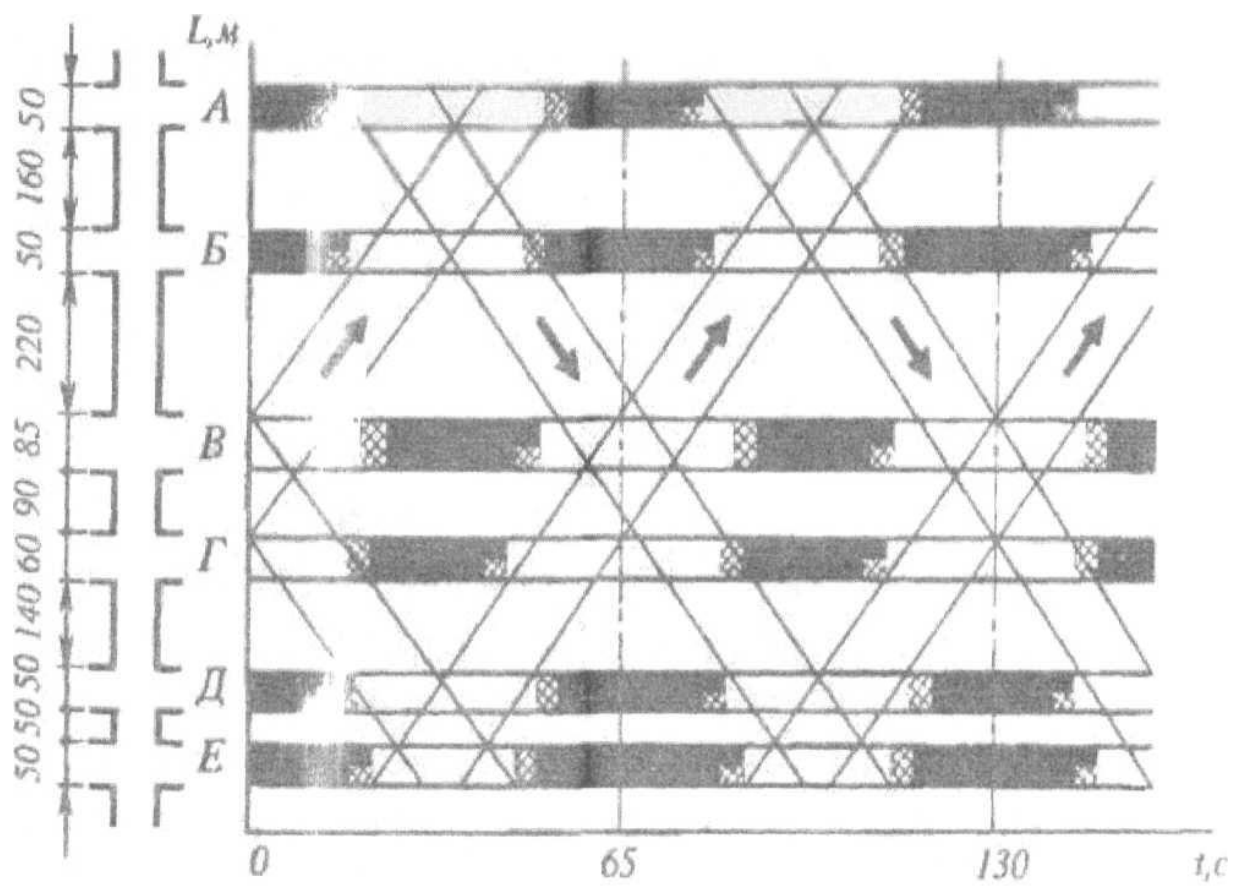


Фіг. 2

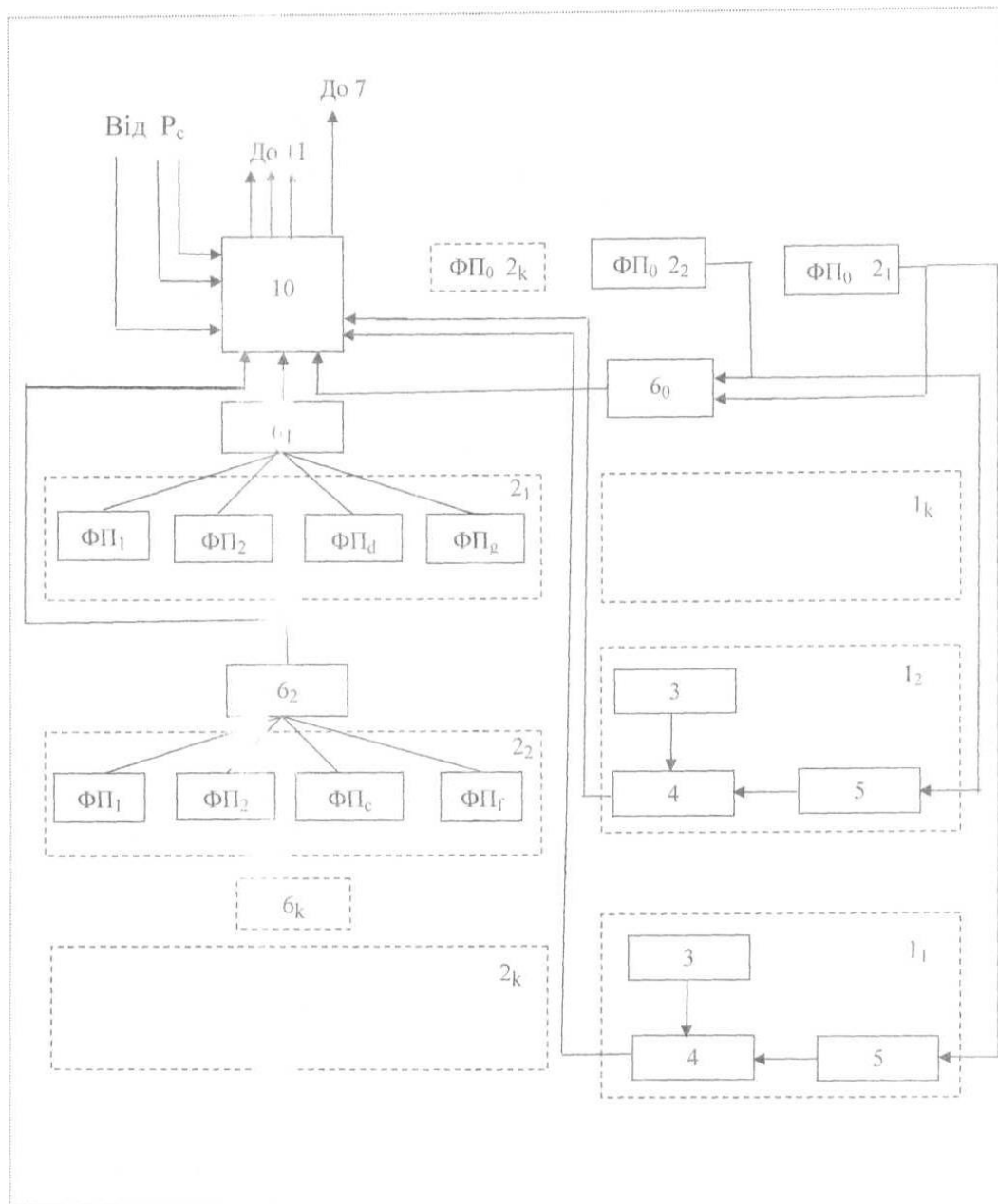
сканування їх задніми бамперами



Фиг. 3



Фиг. 4



Фіг. 5

Комп'ютерна верстка М. Шамоніна

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