



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **151262** (13) **U**
(51) МПК (2022.01)
G08G 1/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2021 07405	(72) Винахідник(и): Денисенко Олег Васильович (UA)
(22) Дата подання заявки: 20.12.2021	(73) Володілець (володільці): 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 інтелектуальної власності: 30.06.2022	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 29.06.2022, Бюл.№ 26	

(54) СПОСІБ КООРДИНОВАНОГО УПРАВЛІННЯ СИСТЕМИ ДВОХ ПАРАЛЕЛЬНИХ ДОРІГ З ОДНОСТОРОННІМ ЗУСТРІЧНИМ РУХОМ

(57) Реферат:

Спосіб координованого управління системи двох паралельних доріг з одностороннім зустрічним рухом, заснований на скануванні одночасно трьома гостроспрямованими лазерними променями зони кожного перехрестя з точки над його геометричним центром конусним видом розгортки, у результаті чого протягом кожного циклу визначають ключове перехрестя і одночасно за результатами сканування перерізів усередині кожного перегону середню швидкість руху груп транспортних засобів, їх кількість у групі, інтервали руху та смуги часу груп, за якими розраховується графік координації по магістралям. В загальний перелік вимог системи координованого управління двох доріг з одностороннім зустрічним рухом додається умова приблизної рівності довжини примикаючих перегонів, які розташовані між двома магістралями, а час руху по цих перегонах повинен складати час циклу по магістралі або кратний йому, при цьому, якщо одноразово у якомусь циклі регулювання виникає необхідність незначного підвищення часу циклу ключового перехрестя, то підвищення відбувається тільки на ключовому перехресті, а для повного відновлення графіка координації наступний цикл ключового перехрестя починають раніше на відповідний період часу, що компенсується відповідним підвищенням швидкості руху групи на попередньому до перехрестя перегоні, а на наступному за ключовим перехрестям перегоні для цієї групи швидкість відповідно зменшується, причому ця операція одноразової зміни часу циклу аналогічно може відбуватись і на інших перехрестях, якщо час їхнього циклу перевищує значення циклу ключового перехрестя.

UA 151262 U

Корисна модель належить до систем регулювання дорожнього руху (ДР) і може бути використана 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 магістралях міста.

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).

Відомий спосіб координованого управління світлофорними об'єктами, заснований на конусному покроковому скануванні одночасно трьома вузько спрямованими лазерними променями інфрачервоного діапазону одночасно всіх підходів і виходів кожного перехрестя магістралі КУ (Патент на корисну модель № 131220 від 10.01.2019, бюл. №1), що дає можливість сформувати вхідні і вихідні межі двох КЗ та забезпечити визначення комплексу необхідних параметрів ТП по кожній смузі руху перехресть та покрокове сканування вузько спрямованим лазерним променем перегонів магістралі, що дає можливість забезпечити визначення комплексу параметрів КУ залежно від результатів сканування.

Цей спосіб забезпечує визначення параметрів руху ТП (швидкості, прискорення, інтервалів руху ТЗ та часову стрічку групи руху) всередині кожного перегону магістралі по усіх смугах у прямому та зворотному напрямках, дає можливість виконати оцінку групоутворення ТП на входах і виходах перехресть, забезпечити ефективність лівоповоротних потоків виходу з магістралі та використання специфічних критеріїв оцінки ефективності КУ.

У відомому способі зона кожного перехрестя сканується 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 $R_4 - R_3 = 1$ м.

Третій оптичний промінь лазерної розгортки формується зі зміщенням відносно 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.

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 перетинанні пари кіл сканування, при цьому завдяки періодичному скануванню зі зміною оптичної осі лазерного променя (з одного радіуса на інший і навпаки) 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.

Наявність подвійного сканування на вході першої КЗ дає можливість точно визначити тип ТЗ, склад ТП та кількість ТЗ т, у черзі по кожній у-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 світлофора з зеленого на жовтий і по швидкості, уповільненню та типу ТЗ розрахувати його зупиночний шлях (ЗШ) та прийняти рішення про завершення ПТ.

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 світлофора, а значить, визначити наявність ТЗ по окремим смугам 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 світлофора.

Збір інформації параметрів ТП на перегонах магістралі здійснюється у перерізах, що розділяють ці перегони на дві рівні частини. Визначення цих параметрів ТП здійснюється покроковим скануванням вузько спрямованим лазерним променем інфрачервоного діапазону всіх смуг руху, як прямого, так і зворотного напрямку руху.

5 Кожна з пар ліній сканування на вході і виході кожного перехрестя по смугах магістралі дає змогу визначити не тільки усі вищеперераховані параметри руху ТЗ, але і контролювати процес розпаду групи (або групування) у смузі часу по мірі її руху від однієї пари ліній сканування до інших.

10 Процес керування руху ТП по магістралі складається у наступному. За попереднім етапом сканування усіх перехресть магістралі, що входять до групи КУ визначають ключове перехрестя (КП), тобто перехрестя, у якого за результатами виміру T_c буде максимальним. Одночасно за результатами сканування перерізів усередині 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

15 перегону і, 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.

20 Наступним етапом 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_c , які відповідають мінімуму прийнятого критерію ефективності КУ.

25 В процесі управління ТП по магістралі по кожній смузі усіх перехресть визначають кількість та тип ТЗ у черзі, що збирається біля стоп-ліній 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.

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

35 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.

40 Показником ефективності вибрано коефіцієнт безупинного проїзду ТЗ по мережі перехресть КУ. Цей коефіцієнт β_j визначається на кожному перехресті магістралі для кожного циклу для прямого і зустрічного напрямків. Потім за встановлений час виміру T_v визначають коефіцієнт β для всієї магістралі за значеннями загальних інтенсивностей руху та загальній кількості транспортних засобів, що зупинились на перехрестях по усіх смугах магістралі. КУ вважається

45 доцільним при $\beta \geq 0,8$.

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

50 Оптимізацію КУ починають з уточнення значення T_c та вибору КП для поточних параметрів ТП по перехрестях 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, що сприяє мінімізації критерію ефективності.

55 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 пряме застосування в системі координованого управління світлофорними об'єктами паралельних доріг з одностороннім зустрічним рухом. Це пов'язано з тим, що формування часу дії і початку ОТ для проїзду перехресть по магістралям відбувається за іншим алгоритмом та

критерієм оцінки ефективності їх дії і залежить від організації і точності регулювання проїзду ТП по системі примикаючих доріг.

Крім того, визначення елементів ЦСР за існуючим способом примушує до необхідності частої зміни КП або значення $T_{\text{ц}}$ існуючого КП, що суттєво ускладнює процес зміни і керування одночасно багатьох параметрів КУ по мірі пересування ТП від начала до кінця магістралі.

В основу запропонованого способу поставлена задача розширення функціональних можливостей найближчого аналога та підвищення точності регулювання проїзду ТП як по системі примикаючих доріг, так і в загальній системі КУ.

Поставлена задача вирішується тим, що в основу запропонованого способу покладено конусне покрокове сканування одночасно трьома вузько спрямованими лазерними променями інфрачервоного діапазону одночасно всіх підходів і виходів кожного перехрестя магістралі КУ, що дає можливість сформувати вхідні і вихідні межі двох КЗ та забезпечити визначення комплексу необхідних параметрів ТП по кожній смузі руху перехрестя (фіг.1) та покрокове сканування вузько спрямованим лазерним променем перегонів магістралі, що дає можливість забезпечити визначення комплексу параметрів КУ залежно від результатів сканування.

При цьому можливо буде забезпечити визначення параметрів руху ТП (швидкості, прискорення, інтервалів руху ТЗ та часову стрічку групи руху) всередині кожного перегону магістралі по усіх смугах у прямому та зворотному напрямках, а також виконати оцінку групоутворення ТП на входах і виходах перехрестя та використання специфічних критеріїв оцінки ефективності КУ.

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

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 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_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) і 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.

Цей промінь, як і перший, за допомогою відповідного дискретного сканістора 5 г 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.

Третій оптичний промінь лазерної розгортки формується зі зміщенням відносно 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 з 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.

Оптичні фотоприймачі 2 (ФПі) 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.

Фіксацію ТЗ, що в'їжджають в обидві КЗ, здійснюють по їх передніх бамперах при перетинанні 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).

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 перегonom 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.

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.

Швидкість ТЗ, що послідовно своїм переднім бампером перетинають лінії сканування R_2 та R_1 , R_4 та R_3 , R_6 та R_5 або лінії а-в (див. фіг. 2) усередині 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 відповідних ліній сканування їх задніми бамперами.

Довжина a ТЗ з урахуванням уповільнення

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

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

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

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

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 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 m_j у черзі по кожній у-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 на момент зміни сигналу світлофора 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 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 нахилу.

Подвійне сканування першим променем (R_1 , R_2) в зоні стоп-ліній (на виході з першої та другої КЗ) дає змогу визначити швидкість, прискорення, тип, точний час та кількість ТЗ, які покинули КЗ по кожній зі смуг руху на зелений сигнал світлофора, а значить, визначити наявність ТЗ по окремим смугам 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 світлофора, тобто не здійснили перетинання зони сканування (R_1 , R_2) 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, 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 здійснюється за моментами, коли останній ТЗ, що знаходився в зоні перехрестя, почне перетинати своїм переднім бампером одну з ліній сканування (наприклад, R_i) по смугах руху на виході з перехрестя.

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.

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 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 перетину заднім бампером ТЗ дальньої конфліктної точки (ДКТ) з урахуванням часу проїзду від стоп-лінії до ДКТ автомобіля, що починає рух у наступній фазі.

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

$$t_{pi} = t_{pk} + \frac{a_T}{7,2 \cdot a_T} + 3,6 \frac{I_i}{V_{a1}} - 3,6 \frac{I_{dkt}}{V_{a2}}, \quad (4)$$

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;

I_i - відстань від стоп-лінії до ДКТ;

I_a - довжина ТЗ;

I_{dkt} - 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 біля стоп-лінії, навіть у випадку, якщо на момент початку ПТ вони вже перетнули вхідні межі першої КЗ. Визначення часу дії ПТ за реальними значеннями виміру параметрів руху конкретних ТЗ, а не з використанням загальноприйнятих спрощених формул, 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 перетинанні 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_{chg} , що рухаються до входу поточного перехрестя.

Радіус R_5 , що формує вхідну межу другої КЗ, бажано вибирати за такої 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 у-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_{pri} як відношення величини середнього значення часового інтервалу t_{bi} проїзду КЗ конкретним типом ТЗ до величини середнього значення часового інтервалу t_{li} проїзду цієї зони легковим автомобілем:

$$K_{pri} = t_{bi} / t_{li}. \quad (5)$$

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.

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 T_j початкових черг по кожній смузі магістралі на "зелений" сигнал світлофора і, 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 вході і виході кожного перехрестя по смугах магістралі 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 системі двох магістралей складається у наступному. За попереднім етапом сканування усіх перехресть обох магістралей, що входять до групи КУ

визначають КП, у якого за результатами виміру T_c буде максимальним. Одночасно за результатами сканування перерізів усередині 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 окремо по магістралях для прямого та зворотного напрямків руху кожного перегону і, якщо різниця швидкостей по перегонах мала, то потім визначають одну середню швидкість перегонів, близьку до тієї, що вимірювалась. 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 руху окремих перегонів магістралей прямого та зворотного напрямків.

Наступним етапом у загальному обчислювальному пристрої (ЗОП) програмно розраховується графік координат 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 магістралей та зсувом з включення зеленого сигналу, так і T_c окремих перехресть, які відповідають максимуму прийнятого критерію ефективності КУ.

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

За значенням $K_{прі}$ 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 всередині перегону, що передує даному перехрестю.

Для підходів з вулиць, що примикають до даного конкретного перехрестя, T_j попередньо визначаються по кількості та типу ТЗ по кожній смузі руху, що у даній фазі перетнули лінії сканування на виході відповідного перехрестя Р (див. фіг. 2). Значення T_j для цих примикаючих доріг остаточно уточнюються на момент підходу групи ТЗ по магістралі до перехрестя (наприклад, до відповідних ліній сканування R_3-R_4) за кількістю тих ТЗ, які на цю мить повністю перетнули лінії сканування усередині цих примикаючих перегонів в напрямку до магістралі.

Тим самим 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.

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

$$M_{ні} = \frac{3600m_j}{T_j}, \quad (6)$$

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

j - номер смуги руху (напрямку руху).

Для визначення часу T_j як початкового моменту вибрано 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 беруть момент проходження над стоп-лінією заднього бампера останнього в черзі ТЗ. Уточнення значень $K_{прі}$ різного типу ТЗ у різних чергах по кожній смузі та відповідних значень T_j дає змогу накопичувати статистичні дані цих параметрів, а потім корегувати і уточнювати T_j в подальших розрахунках.

В цьому разі за результатами попереднього визначення T_j по кожній смузі та конкретному підході до перехрестя магістралі приймається рішення про зміщення початку ОТ на величину, що буде мати максимальне значення серед T_j для всіх 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.

Для системи КУ двох магістралей з одностороннім рухом доцільним є двофазне регулювання (відсутність конфліктних лівоповоротних потоків). В цьому разі оцінка необхідного часу роз'їзду ТЗ на підходах, що примикають до перехрестя, відбувається за реальними даними ТП, що дозволяє більш точно визначити час дії цієї фази T_{02} та резервний час руху по магістралі в прямому та зворотному напрямках ($t_{счг}^{пр}, t_{счг}^{зв}$).

Час дії T_{02} для кожного перехрестя визначається за відповідними максимальними значеннями $T_{02} = T_j^{2max}$ по усіх смугах руху підходів, що примикають до магістралі, а отже, можливо і достатньо точно визначити час дії ОТ T_{01} пропуску групи ТЗ по магістралі у поточному циклі для кожного перехрестя

$$T_{01} = T_{ц} - (T_{02} + t_{n1} + t_{n2}) \quad (7)$$

Резервний час руху групи ТЗ по магістралях в прямому та зворотному напрямках ($t_{счг}^{пр}, t_{счг}^{зв}$) для кожного перехрестя визначають по максимальних значеннях T_j^{1max} і різниці $T_{01} - T_j^{1max}$.

Показником ефективності пропонується вибрати коефіцієнт β_j , беззупинного проїзду ТЗ по мережі перехресть КУ

$$\beta_j = (N_j - Z_j) / N_j \quad (8)$$

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 на обох магістралях необхідно, щоб мінімальне значення ОТ складало

$$T_{01} \geq T_j^{1max} + t_{счг}^{max} \quad (9)$$

де $t_{счг}^{max}$ - найбільше значення з величин $t_{счг}$ та $t_{счг}$ на кожній смузі на підході до перехрестя.

Для забезпечення виконання вибраного критерію ефективності необхідно до існуючих обов'язкових умов КУ додати умову, що регламентує довжину примикаючих перегонів, які розташовані між двох магістралей. Їх довжина повинна бути близькою до однакової, а час руху по цих перегонах з розрахунковою швидкістю групи повинен складати близько $T_{ц}$ або бути кратним йому. Це забезпечує по дорогах, що примикають та об'єднують магістралі, часткову (а при інших додаткових умовах повну) транзитність ТП.

Підвищити ефективність функціонування системи перехресть магістралей можливо також за рахунок виключення лівоповоротних напрямків на КП з доріг, що до нього примикають. Це дає можливість скоротити T_{02} і $T_{ц}$ КП та зменшити надлишковий час у всіх інших перехрестях магістралей.

Наступним кроком для керування може бути незначне зменшення $T_{ц}$ КП (зменшення інтенсивностей на даному циклі), і відповідне зменшення $T_{ц}$ усіх інших перехресть магістралей на момент початку цього конкретного циклу. А підтримка графіка КУ відбувається за рахунок відповідного підвищення швидкостей ТП по магістралям упродовж цього циклу.

Якщо $T_{ц}$ КП незначно перевищує його поточне значення, КУ здійснюється наступним чином. Почне значення $T_{ц}$ КП підвищують до необхідного значення (як правило, за рахунок підвищення T_{01}).

Поточний цикл КП (в цьому випадку) починається у момент, відповідний графіку координації, а підвищення значення $T_{ц}$ на величину $\Delta T_{ц}$ вимушує починати наступний цикл КП раніше на $\Delta T_{ц}$, що буде компенсовано підвищенням швидкості руху групи на попередньому i-му перегоні l_i , відповідно до діючої швидкості КУ

$$t_{ky} - \Delta T_{ц} \quad (10)$$

де t_i - час руху груп на перегоні l_i , згідно з графіком координації.

Якщо розрахункове підвищення для окремого перегону не буде перевищувати 20 %, такий алгоритм буде прийматися, в іншому випадку при більш суттєвій зміні $T_{ц}$ КП відбувається перерахунок і зміна всього графіка КУ.

Оскільки для повного відновлення графіка координації наступний цикл КП необхідно починати раніше на $\Delta T_{ц}$ і швидкість руху на наступному за перехрестям перегоні l_{i+1} на цьому циклі зменшують відповідно

$$t_{ky} + \Delta T_{ц} \quad (11)$$

Аналогічна операція одноразової зміни T_c може відбуватись і на інших перехрестях, якщо час його циклу незначно перевищує значення циклу КП, при цьому план КУ КП зберігається колишнім.

Це дає можливість у випадках незначного короточасного підвищення T_c КП не змінювати план КУ, не підвищувати ще більше надлишковість усіх інших перехресть обох магістралей і, таким чином, не підвищувати загальні затримки ТЗ перехресть.

Швидкість груп ТЗ по перегонах магістралей задається електронними показниками, що розташовуються на початку кожного перегону в районі сканування другого променя на виході перехресть. Контроль швидкості груп по перегонах здійснюють фіксацією часу пересування ТЗ від ліній сканування першого променя на початку перегону до відповідних ліній першого променя в кінці цього перегону. Одночасно контроль швидкості по перегонах здійснюють і усередині кожного перегону по декількох перших ТЗ групи (фіг. 2).

При цьому загальна корекція і управління швидкістю груп усіх перегонів вважається доцільною у межах $\pm 10\%$ від реальної розрахункової швидкості груп, бо в протилежному випадку при суттєвій різниці збільшаться смуга часу $t_{сг}$ і кількість затриманих на перехресті ТЗ.

Якщо існують перегони магістралі, по яких час пересування групи складає $2T_c$ до відповідного перехрестя, це перехрестя функціонує у звичному режимі КУ для своєчасного пропуску ТЗ з доріг, що примикають та ТЗ, що потрапили на магістраль з примикаючих доріг у попередньому циклі.

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

Процес керування буде спрямований на пропуск такої кількості ТЗ з груп руху по магістралям, при якій $\bar{\beta} \geq 0,8$. ТЗ з низькою швидкістю у групі (поза групі ТЗ) можуть бути зупинені у стоп-лінії, якщо значення $\bar{\beta}$ до цього моменту (у даному циклі) буде перевищувати $\bar{\beta} \geq 0,8$. В цьому випадку повністю будуть враховуватись потреби другорядних підходів до магістралі. Якщо в процесі регулювання у поточному циклі $\bar{\beta} \geq 0,8$ і по окремих перехрестях ще є запас T_{01} , то він використовується у повному обсязі без зменшення необхідного часу дії T_{02} 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 КП для поточних параметрів ТП по перехрестях магістралей. 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 оптимізації критерію ефективності (фіг. 4 - приклад смуги часу групи однієї з магістралей).

Корегування значення швидкості руху транспортних засобів по магістралям та дорогам, що примикають та об'єднують магістралі, відбувається на початку кожного перегону за допомогою електронних показників для забезпечення підходу груп ТЗ до перехрестя на момент звільнення смуг від попередніх черг.

Початок регулювання швидкості групи ТЗ на початку кожного перегону підвищує ефективність дії цього параметра на процес КУ.

З ростом інтенсивностей ТП по смугах магістралі (вище 500 авт./год.) або різкий зміні інтенсивностей, визначений попередньо цикл може бути надлишковим і для КП через посилення групоутворення ТП, що потребує корекції T_c , 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 вузько спрямованого інфрачервоного променя і вузол розгортки 4, які формують трипроменеве конусне покрокове сканування зони перехрестя за допомогою оптичних відхиляючих пристроїв 5_1 , 5_2 та 5_3 (дискретних сканісторів). Зміна положень кутів розгортки променів 8_1 , 8_2 та 8_3 здійснюється в реперній точці по черзі на кожному періоді сканування сигналом, що надходить з реперного фотоприймача 2 (ФПо) на входи дискретних сканісторів 5_1 , 5_2 та 5_3 (фіг. 3).

Три оптичні промені 8_1 , 8_2 та 8_3 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.

Для реалізації запропонованого способу аналогічні скануючі блоки вводяться відповідно на перехрестя Р, які примикають до перехресть магістралей по другорядних дорогах та усередині кожного з цих примикаючих перегонів (фіг. 2).

Аналогічний пристрій мають і скануючі блоки $li...lk$, що розташовуються усередині 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 R_1 на R_3 , з R_3 на R_4 та з R_5 на R_6 та навпаки) або ліній сканування (по перегонах) 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 (ФПі) в процесі розгортки трьох лазерних променів (8_1 , 8_2 , 8_3) 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 $2i...2k$ (ФПі...ФПк), що розташовуються усередині 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 8_1 на виході з зони перехрестя дозволяє визначити кількість, тип та інші параметри руху ТЗ, що покинули зону перехрестя по різних напрямках та смугах у цей же такт регулювання як на перехрестях магістралі, так і на перехрестях, що примикають до магістралі.

Перетворювач 6 сигналу кожного ФП, 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 (ФПо) перехрестя (фіг. 3) через перетворювача 6_0 подаються на відповідні входи дискретних сканісторів 5_1 , 5_2 , 5_3 та ЛОП 7 для чіткого визначення положення кожного променя за смугами руху відносно реперної точки.

Аналогічно цьому функціонують реперні фотоприймачі ФПо 2_1 , ФПо 2_2 , ... ФПо 2_k перегонів магістралі, які через відповідний перетворювач 6_0 (фіг. 5) видають реперні сигнали на загальний обчислювальний пристрій (ЗОП) 10. Одночасно на входи ЗОП 10 поступає уся необхідна інформація з ЛОП усіх перехресть магістралі, а з ЗОП на кожен ЛОП поступають сигнали керуючої дії, які після обробки видаються на світлофорні об'єкти 9. ЗОП також формує керуючі сигнали на електронні покажчики швидкості 11 (фіг. 2), що забезпечує більш ефективне КУ відповідно до 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 перехресть та ін., з'являється можливість одночасного та

синхронного розрахунку всіх необхідних параметрів КУ в ЗОП і більш точного та ефективного керування згідно з прийнятим критерієм.

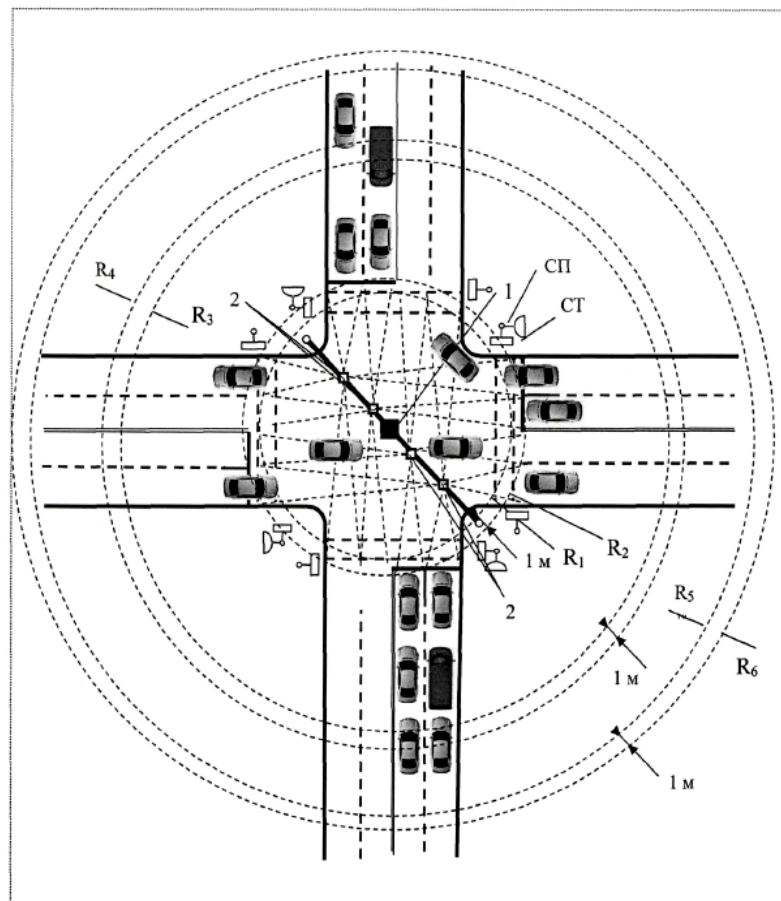
Підвищення ефективності КУ з'являється внаслідок того, що розрахунки і корекція програм координації і всіх її складових здійснюється не за даними спостережень або прогнозними параметрами і потім поступового пошуку прийнятних умов координації, а у результаті точного визначення реальної транспортної ситуації на усіх елементах системи магістралей. 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, розширення функціональних можливостей найближчого аналога та підвищення точності оперативного регулювання проїзду ТП по загальній системі доріг КУ.

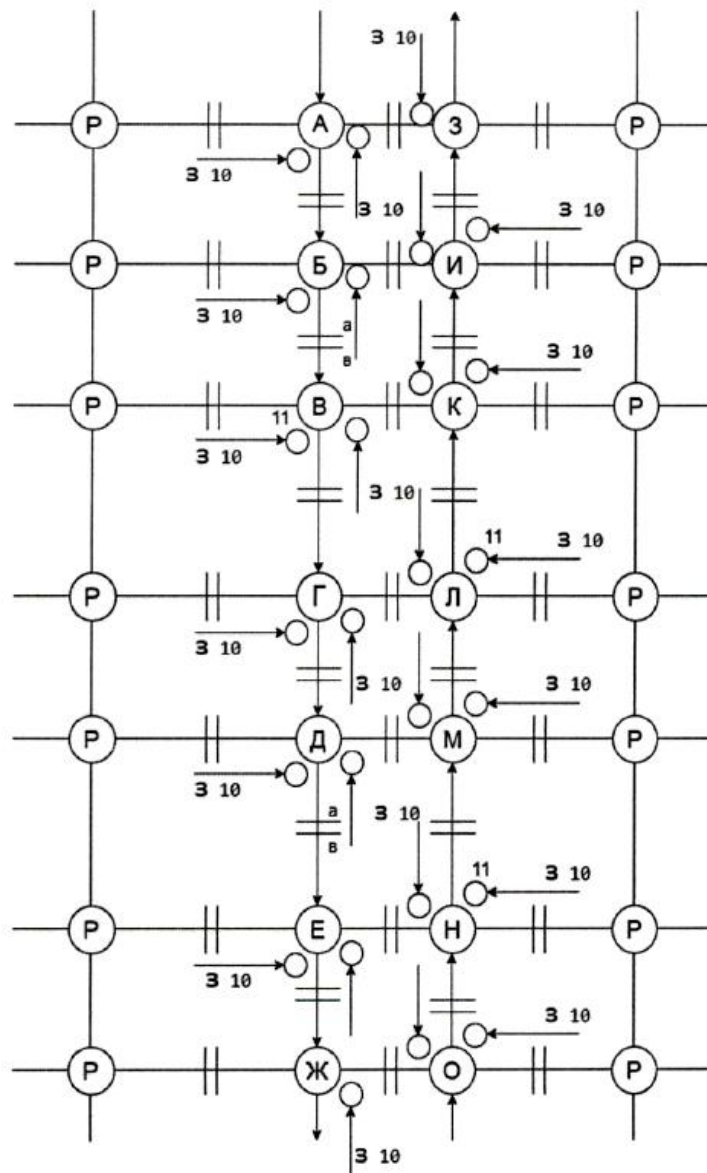
Вищезазначений спосіб забезпечує більш ефективне використання можливостей ВДМ і, при необхідності, можливість оперативного втручання у перерозподіл ТП та планування заходів по маршрутній мережі міста.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

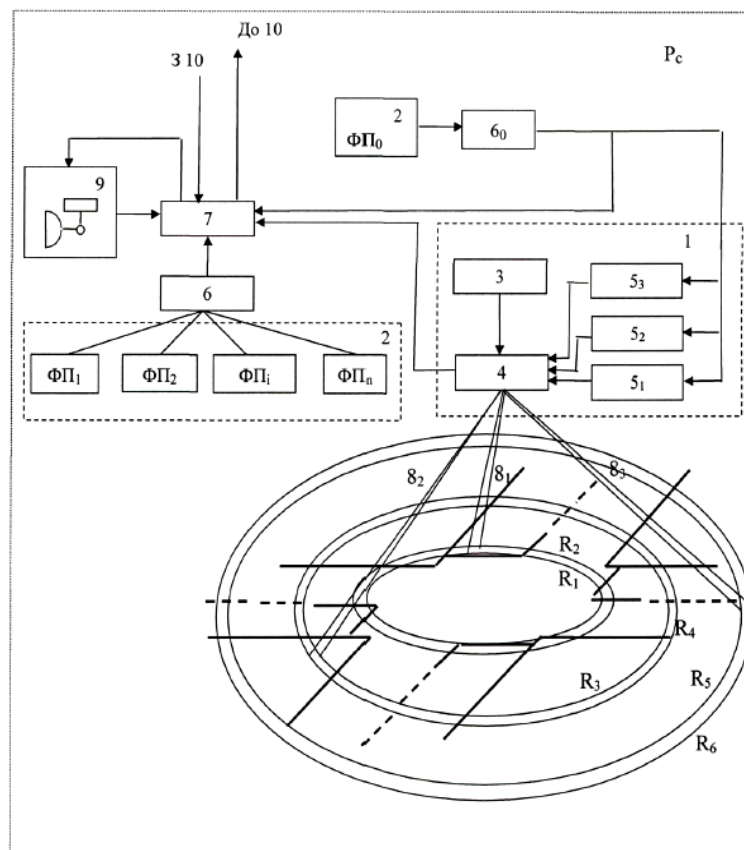
Спосіб координованого управління системи двох паралельних доріг з одностороннім зустрічним рухом, що оснований на скануванні одночасно трьома гостроспрямованими лазерними променями зони кожного перехрестя з точки над його геометричним центром конусним видом розгортки, у результаті чого протягом кожного циклу визначають ключове перехрестя і одночасно за результатами сканування перерізів усередині кожного перегону середню швидкість руху груп транспортних засобів, їх кількість у групі, інтервали руху та смуги часу груп, за якими розраховується графік координації по магістралях, при цьому за результатами сканування перехресть визначають кількість та тип транспортних засобів у черзі, що збирається біля стоп-ліній по кожній смузі руху кожного перехрестя на червоний сигнал світлофора, а потім за значеннями коефіцієнтів приведення до легкового автомобіля, типом і кількістю транспортних засобів у кожному циклі на момент появи першого транспортного засобу з групи у перерізі сканування перегону, що передує кожному перехрестю, визначають необхідний час роз'їзду реальних черг по кожній смузі перегону і по максимально можливому часу роз'їзду по смугах магістралей визначають час зміщення початку наступної фази для звільнення смуг на момент підходу груп до перехрестя, а час дії основних тактів для другорядних підходів до перехресть визначаються на моменти їх початку за максимально можливою чергою серед смуг відповідних підходів, які фіксуються попереднім визначенням кількості та типу ТЗ по кожній смузі руху, що у попередній фазі перетнули лінії сканування на виході відповідних примикаючих перехресть, а ефективність координованого управління визначається за коефіцієнтом беззупинного проїзду по мережі перехресть, який визначається за значеннями загальних інтенсивностей руху та загальної кількості транспортних засобів, що зупинились на перехресті протягом визначеного часу виміру по усіх смугах магістралі, і одночасно корегується значення швидкості руху транспортних засобів по магістралях на кожному перегоні за допомогою електронних показників для забезпечення підходу груп транспортних засобів до перехресть на момент звільнення смуг від попередніх черг, який **відрізняється** тим, що в загальний перелік вимог системи координованого управління двох доріг з одностороннім зустрічним рухом додається умова приблизної рівності довжини примикаючих перегонів, які розташовані між двома магістралями, а час руху по цих перегонах повинен складати час циклу по магістралі або кратний йому, при цьому, якщо одноразово у якомусь циклі регулювання виникає необхідність незначного підвищення часу циклу ключового перехрестя, то підвищення відбувається тільки на ключовому перехресті, а для повного відновлення графіка координації наступний цикл ключового перехрестя починають раніше на відповідний період часу, що компенсується відповідним підвищенням швидкості руху групи на попередньому до перехрестя перегоні, а на наступному за ключовим перехрестям перегоні для цієї групи швидкість відповідно зменшується, причому ця операція одноразової зміни часу циклу аналогічно може відбуватись і на інших перехрестях, якщо час їхнього циклу перевищує значення циклу ключового перехрестя.



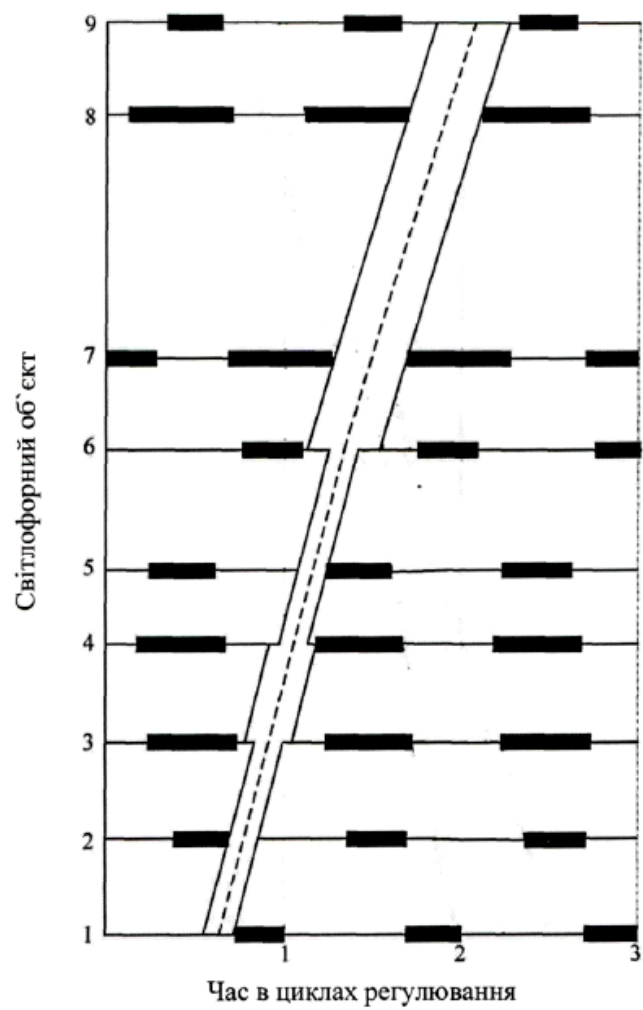
Фиг. 1



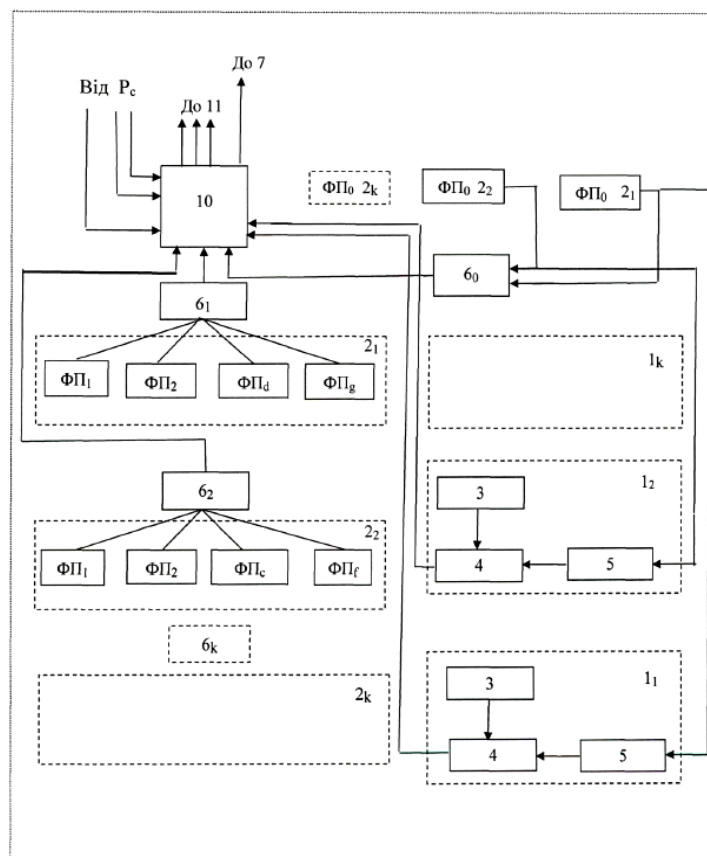
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5