



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **99912** (13) **U**  
(51) МПК  
**G08G 1/09** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

|   |   |
|---|---|
| (21) Номер заявки: <b>u 2015 01028</b>  | (72) Винахідник(и):<br><b>Денисенко Олег Васильович (UA)</b>  |
| (22) Дата подання заявки: <b>09.02.2015</b>                                   | (73) Власник(и):<br><b>ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ<br/>АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ<br/>УНІВЕРСИТЕТ,</b><br>вул. Петровського, 25, м. Харків, 61002<br>(UA),<br><b>Денисенко Олег Васильович,</b><br>пр. Московський, 202, кв. 21, м. Харків,<br>61082 (UA) |
| (24) Дата, з якої є чинними<br>права на корисну<br>модель: <b>25.06.2015</b>  |   |
| (46) Публікація відомостей<br>про видачу патенту: <b>25.06.2015, Бюл.№ 12</b> |   |

## (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ СВІТЛОФОРНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

### (57) Реферат:

Спосіб визначення тривалості елементів світлофорної сигналізації заснований на скануванні одночасно трьома гостроспрямованими лазерними променями зони перехрестя в точці над його геометричним центром конусним видом розгортки. Протягом кожного періоду сканування послідовно визначаються вагова складова затримки усіх транспортних засобів, які зібралися перед стоп-лінією на червоний сигнал світлофора, для випадку, коли основний такт завершується на даному періоді сканування. Роз'їзд цих транспортних засобів починається через проміжний такт у наступній фазі регулювання, сумарна вагова складова затримки тих транспортних засобів, що завершують основний такт за умов, що вони продовжать свій рух у наступному циклі регулювання, складова частина середньої транспортної затримки в цьому циклі регулювання на даний період сканування.

UA 99912 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 регульованих перехрестях.

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

10 Відомий спосіб визначення тривалості елементів та циклу світлофорної сигналізації, заснований на скануванні одночасно трьома гостроспрямованими лазерними променями зони перехрестя з точки над його геометричним центром конусним видом розгортки, причому оптична вісь одного з положень розгортки першого променя вибирається так, щоб він описував коло на проїжджій частині перехрестя в області стоп-лінії 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  $120^\circ$  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  $120^\circ$  по колу розгортки і формує вхідну межу другої КЗ. Цей промінь, як і обидва інші, за допомогою відповідного дискретного сканістора на кожному наступному періоді сканування змінює одну оптичну вісь розгортки (з радіусом кола  $R_5$  на проїжджій частині перехрестя) на іншу (з радіусом кола  $R_6$ ) і формує два концентричних кола також з різницею радіусів  $R_6 - R_5 = 1$  м.

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

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, кількість і послідовність ТЗ, що реально в'їхали в КЗ по кожній смугі руху за період вимірювань. Радіус  $R_3$ , що формує вхідну межу першої КЗ, вибирають за такої умови, щоб відстань між  $R_3$  та  $R_1$  відповідала (з урахуванням реальної відстані, на якій водій реагує на зміну сигналу світлофора) максимальному з можливих зупиночному шляху (ЗШ) різного типу ТЗ, що перетинають вхідну межу першої КЗ з максимально дозволеною швидкістю (60 км/год.).

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

45 Подвійне сканування першим променем в зоні стоп-лінії дає змогу визначити 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 смугі, що не встигли (не змогли) покинути зону самого перехрестя на зелений сигнал світлофора, тобто не здійснили перетинання зони сканування ( $R_1$ ,  $R_2$ ) по смугам руху на виході з перехрестя.

55 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 дозволена (більше 60 км/год.), а його тип і габарити будуть свідчити, що його ЗШ перевищує довжину КЗ і ТЗ навіть при повному гальмуванні потрапить в зону

перехрестя. В такому випадку кінець ПТ також визначається по моменту перетинання лінії сканування з радіусом R1 переднього бампера останнього ТЗ, що покидає зону перехрестя.

Фіксацію ТЗ, що в'їжджають в другу КЗ, здійснюють по їх задніх бамперах при пересіченні одного з кіл (наприклад R5), при цьому завдяки періодичному скануванню зі зміною оптичної осі лазерного променя визначається момент в'їзду, швидкість, довжина, тип, кількість і послідовність ТЗ, що реально в'їхали в другу КЗ по кожній смугі руху за період вимірювань. Радіус R5, що формує вхідну межу другої КЗ, вибирається за умови, щоб він перевищував найбільш можливу чергу ТЗ, яка може збиратися по одній із смуг руху на сигнал світлофора, що забороняє дорожній рух.

За інформацією про довжину, тип та час пересування ТЗ на вході в другу КЗ послідовно визначають реальні значення коефіцієнтів приведення до легкового автомобілю, 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.

Тривалість ОТ фази регулювання визначається моментом закінчення роз'їзду найбільшої за часом черги по смугам руху в даній фазі регулювання. Фіксація кінця ОТ здійснюється за моментом перетинання заднім бампером останнього в черзі ТЗ лінії сканування з радіусом R1 при умові, що на цей момент першу КЗ повністю залишать всі ТЗ. В іншому випадку кінець ОТ формується по максимально фіксованому заздалегідь значенню.

Тривалість циклу СР за результатами сканування визначається як сукупність основних та проміжних тактів всіх фаз (заявка а 201402130 від 03.03.2014). Цей спосіб є найбільш близьким до способу, що заявляється, і тому вибраний як найближчий аналог.

Недоліком цього способу є вузькі функціональні можливості та низька ефективність регулювання тривалості основних тактів, оскільки він не дозволяє визначити елементи та параметри циклу СР в залежності від такого важливого параметру оцінки якості регулювання, як середня затримка ТЗ на перехресті, що не дає можливість оптимізувати параметри циклу СР у реальному масштабі часу, а також підвищити ефективність управління руху транспорту на регульованих перехрестях.

Крім цього формування кінця ОТ здійснюється за моментом перетинання заднім бампером останнього в черзі ТЗ лінії сканування з радіусом R1 при умові, що на цей момент першу КЗ повністю залишать всі ТЗ, а в іншому випадку кінець ОТ формується по максимально фіксованому заздалегідь значенню. Формування кінця ОТ таким чином у ряді випадків (нааявності одиноких ТЗ у КЗ при завершенні ОТ) суттєво збільшує час ОТ і при значній черзі ТЗ, що зібралася на червоний сигнал світлофора у конфліктуючому напрямі, необґрунтовано збільшує середню транспортну затримку ТЗ на перехресті та знижує ефективність СР.

Відомі теоретичні та експериментальні способи визначення середньої транспортної затримки на регульованому перехресті не розраховані на оцінку цього параметру по окремим фазам СР у реальному масштабі часу і тому не здатні для застосування визначення тривалості елементів упродовж циклу регулювання.

В основу запропонованого способу поставлена задача розширення функціональних можливостей та підвищення ефективності визначення тривалості ОТ кожної фази та самого циклу світлофорного регулювання.

Поставлена задача вирішується тим, що у запропонований спосіб поставлено конусне покрокове сканування одночасно трьома вузькоспрямованими лазерними променями інфрачервоного діапазону тимчасово всіх підходів і виходів перехрестя, що дає можливість сформулювати вхідні і вихідні межі двох КЗ та забезпечити визначення комплексу вищевказаних параметрів ТП по кожній смугі руху, основні та проміжні такти і цикл СР в залежності від результатів сканування на основі такого важливого параметру оцінки якості регулювання, як середня затримка ТЗ.

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

Відповідно до запропонованого способу, розгортка лазерного променя здійснюється скануючим блоком 1, який розташовується над перехрестям на спеціальному кронштейні в точці, що відповідає геометричному центру перехрестя. У скануючому блоці, залежно від висоти його розміщення, одну з оптичних осей розгортки підбирають так, щоб перший лазерний промінь описував конусну поверхню з колом на проїжджій частині перехрестя (R1) 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 (R2) 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  $120^\circ$  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 по відношенню до другого ще на  $120^\circ$  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<sub>i</sub>) в процесі розгортки лазерних променів  $8_1$ ,  $8_2$  та  $8_3$  по одному з кіл на входах і виходах КЗ послідовно сприймають сигнали, відбиті від ТЗ, що рухаються по різним смугам руху як на підходах, так і на виходах перехрестя.

20 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, 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

25 максимально дозволеною швидкістю (60 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  $j$ -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 ТЗ на вході в першу КЗ на момент зміни сигналу світлофора з зеленого на жовтий і по швидкості та типу ТЗ розрахувати його ЗШ та в кінцевому рахунку прийняти рішення про завершення ПТ:

$$l_{зш} = l_{рк} + l_{зш} = V \cdot t_{рк} + \frac{V^2}{2g(\varphi + f \pm \lambda)}, \quad (1)$$

де  $l_{зш} = l_{рк} + l_{зш} = V \cdot t_{рк} + \frac{V^2}{2g(\varphi + f \pm \lambda)}$  - шлях, що пройде ТЗ за час реакції водія

35  $l_{зш} = l_{рк} + l_{зш} = V \cdot t_{рк} + \frac{V^2}{2g(\varphi + f \pm \lambda)}$  на зміну сигналів світлофора;

$l_{зш} = l_{рк} + l_{зш} = V \cdot t_{рк} + \frac{V^2}{2g(\varphi + f \pm \lambda)}$  - гальмовий шлях;  $V$  - швидкість ТЗ на вході в КЗ;  $g$  -

прискорення вільного падіння;  $\varphi$  - коефіцієнт подовжнього зчеплення колеса з поверхнею дороги;  $f$  - коефіцієнт кочення колеса;  $\lambda$  - величина подовжнього похилу.

40 Подвійне сканування першим променем ( $R_1$ ,  $R_2$ ) в зоні стоп-ліній (на виході з першої та другої КЗ) дає змогу визначити 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 смугам руху на виході з перехрестя. Це можливо у

45 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 пропонується здійснювати по моментах, 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 ДКТ цього ПТ і, при умові наявності інформації про його довжину, практично вже залишив зону перехрестя.

Момент перетинання своїм переднім бампером лінії сканування з радіусом R1 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 60 км/год.), а його тип і габарити будуть свідчити, що його ЗШ перевищує довжину КЗ і ТЗ навіть при повному гальмуванні потрапить в зону перехрестя. В такому випадку кінець ПН також визначається по моменту перетинання лінії сканування з радіусом R1 переднього бампера останнього ТЗ, що покидає зону перехрестя.

Фіксацію ТЗ, що в'їжджають в другу КЗ, здійснюють по їх задніх бамперах при пересіченні одного з кіл (наприклад R5), при цьому завдяки періодичному скануванню зі зміною оптичної осі лазерного променя (з радіуса R5 на R6 і навпаки) визначається момент в'їзду, швидкість, довжина, тип, кількість і послідовність ТЗ, що реально в'їхали в другу КЗ по кожній смузі руху за період вимірювань. Радіус R5, що формує вхідну межу другої КЗ, бажано вибирати за умови, щоб він перевищував найбільш можливу чергу ТЗ, яка може збиратися по одній із смуг руху 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.

Інформація про довжину, тип та час пересування ТЗ на вході в другу КЗ дозволяє послідовно визначити реальні значення коефіцієнтів приведення до легкового автомобіля  $K_{прі}$ , а також довжину черги ТЗ, що збираються перед стоп-лінією на червоний сигнал світлофора по кожній смузі руху як у фізичних, так і у приведених одиницях.

Далі фіксуються ТЗ, що в'їжджають в другу КЗ перехрестя, із затримкою, рівною середньому часу проїзду відповідного типу ТЗ першої та другої КЗ завдяки подвійному періодичному скануванню зі зміною оптичної осі лазерного променя на вході в другу КЗ та в зоні стоп-лінії перехрестя. Завдяки високій швидкості сканування, значення середнього часу проїзду обох КЗ кожним конкретним типом ТЗ визначається з високою точністю.

Згідно з відомим способом (Опис до патенту на корисну модель № 84752 від 25.10.2013 р., бюл. № 20/2013), сумарна транспортна затримка  $T_j$  перебування ТЗ у КЗ по кожній j-й смузі руху накопичується з кожним періодом  $\Delta t$  сканування і за час виміру  $T_B$  визначається як

$$T_j = \Delta t \cdot \sum_{i=1}^k n_{cm} - \sum_{l=1}^b t_l, \quad (2)$$

де  $k$  - число періодів сканування за час виміру, рівне  $k = T_B / \Delta t$ ;

$n_{cm}$  - довжина поточної черги ТЗ по j-й смузі руху;

$T_B$  - період визначення транспортної затримки (час виміру);

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

Середня затримка  $\overline{t_j}$  перебування ТЗ в обох КЗ по кожній j-тій смузі руху за вибраний час виміру  $T_B$  визначається

$$\overline{t_j} = \frac{T_{\Sigma j}}{n_{npj}} \quad (3)$$

А середня транспортну затримка  $\overline{t_{\phi\Sigma}}$  ТЗ для усіх m смуг руху на підходах до перехрестя у даній фазі регулювання

$$\overline{t_{\phi\Sigma}} = \frac{\sum_{j=1}^m \overline{t_j} n_{npj}}{\sum_{j=1}^m n_{npj}} \quad (4)$$

де  $n_{npj}$  - число ТЗ, що повністю переїхали вихідну межу першої КЗ по j-тій смузі руху за час  $T_B$ ;

$m$  - число смуг руху на підходах до перехрестя у даній фазі регулювання.

Визначення поточної черги ТЗ по кожній смузі в КЗ здійснюється підсумовуванням числа ТЗ, що в'їжджають в другу КЗ, із затримкою, рівною середньому часу проїзду кожним конкретним видом транспорту КЗ і зменшенням отриманої суми на одиницю при виїзді ТЗ з КЗ цієї смуги. Причому фіксація типу ТЗ здійснюється як на вході, так і на виході з другої КЗ, а моменти входу в КЗ і виходу ТЗ з неї визначаються по їх задніх бамперах.

Визначення середньої транспортної затримки  $\overline{t_{\phi\Sigma}}$  ТЗ для усіх смугам руху на підходах до перехрестя здійснюється на кожному кроці сканування, а початок часу виміру  $T_B$  затримки для діючої фази регулювання формується на початку ПТ попередньої фази, для смуг руху, що накопичують черги ТЗ на червоний СС, а для смуг руху, по яких відбувається роз'їзд ТЗ у діючій фазі регулювання на зелений СС початок часу виміру  $T_B$  затримки формується на початку ПТ, що відбувався перед червоним СС у попередній фазі регулювання.

Однчасний вимір затримок руху для смуг, по яких відбувається роз'їзд ТЗ у різних фазах регулювання дає змогу визначити ефективну тривалість ОТ у діючій фазі регулювання за наступних умов.

Паралельно на кожному кроці сканування розраховується середня транспортну затримка  $\overline{t_{\phi\chi\Sigma}}$  для напрямків руху (смуг), де збираються в КЗ черги ТЗ на червоний СС протягом діючої фази, а також середня транспортна затримка  $\overline{t_{\phi\exists\Sigma}}$  для напрямків руху, де здійснюють роз'їзд залишки ТЗ на зелений СС.

При цьому середня транспортна затримка  $\overline{t_{\phi\exists\Sigma}}$  роз'їзду останніх ТЗ розраховується за умов завершення ОТ  $T_1$  на наступному кроці сканування та їх подальшого роз'їзду лише через фазу регулювання, тобто у наступному циклі.

Для цього за результатами сканування та інформації про склад та довжину черг ТЗ, що збираються на червоний СС у фізичних та приведених одиницях  $N_{PPj}$ , визначають прогнозоване значення потоків насичення по всіх смугах руху та тривалість наступного ОТ  $T_{o2}$

$$N_{PPj} = K_{PP1}N_1 + K_{PP2}N_2 + \dots + K_{PPi}N_i, \quad (5)$$

де  $N_{PPj}$  - 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;

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

Вагова складова затримки усіх ТЗ, що зібралися перед стоп-лінією на червоний СС, для випадку, коли ОТ  $T_1$  завершується на даному періоді сканування, а роз'їзд цих ТЗ починається через ПТ  $T_{n1}$ , у наступній фазі регулювання, визначається як

$$t'_c = \sum_{j=1}^l n_{cj} \cdot T_{n1}, \quad (6)$$

де  $t'_c$  - сумарна складова затримки ТЗ по усіх  $j=1\dots l$  смугах, що зібралися на червоний СС і почнуть рух через ПТ  $T_{n1}$  у наступній фазі регулювання;

$n_{cj}$  - число ТЗ, що зібралося в черзі на червоний СС по  $j=1\dots l$  смугах руху.

Однчасно розраховується сумарна вагова складова затримки тих ТЗ, що завершують ОТ  $T_{o1}$  за умов, що вони продовжать свій рух у наступному циклі

$$t'_{zj} = \sum_{j=1}^c n_{zj} \cdot (T_{o2} + T_{n1} + T_{n2}), \quad (7)$$

де  $n_{zj}$  - залишки ТЗ, що завершують рух на зелений СС по  $j=1\dots c$  смугах руху.

За цими складовими розраховується складова частина середньої транспортної затримки в цьому циклі регулювання на даний період сканування

$$\overline{t'_c} = \frac{t'_z + t'_c}{\sum_{j=1}^l n_{cj} + \sum_{j=1}^c n_{zj}}. \quad (8)$$

Далі визначаються сумарні вагові складові  $t''_3$  і  $t''_c$  для випадку виїзду з КЗ ще одного ТЗ на зелений СС з урахуванням часу  $t_{B3}$  на завершення його виїзду

$$t''_u = \sum_{j=1}^l n_{uj} \cdot (T_{n1} + t_{\epsilon 3}), \quad (9)$$

$$t''_3 = \sum_{j=1}^c (n_{3j} - 1) \cdot (T_{o2} + T_{n1} + T_{n2} + t_{\epsilon 3}). \quad (10)$$

Час виїзду  $t_{\epsilon 3}$  ще одного ТЗ з КЗ на зелений СС визначається по його позиції в КЗ відносно стоп-лінії по інформації сканування на вході в першу КЗ, що дає змогу визначити тип та швидкість найближчих до стоп-лінії ТЗ по усіх смугах руху. У разі приблизно однакової позиції відносно стоп-лінії декількох ТЗ, розрахунки складових затримки здійснюються на відповідну кількість ТЗ.

По складовим (8) та (9) також визначається складова середньої транспортної затримки за цикл регулювання

$$\bar{t''_u} = \frac{t''_3 + t''_u}{\sum_{j=1}^l n_{uj} + \sum_{j=1}^c (n_{3j} - 1)}. \quad (11)$$

Далі порівнюють між собою значення  $\bar{t'_u}$  і  $\bar{t''_u}$ . У випадку, якщо  $\bar{t'_u} \geq \bar{t''_u}$ , ОТ  $T_{o1}$  закінчують на поточному періоді сканування, а якщо  $\bar{t'_u} < \bar{t''_u}$ , ОТ  $T_{o1}$  продовжують і на кожному періоді сканування визначають складові (9) та (10) при можливих змінах значень  $n_{uj}$  та  $n_{3j}$  до моменту виконання умови  $\bar{t'_u} \geq \bar{t''_u}$ . В наступній фазі регулювання (та наступних циклах) послідовність визначення ОТ  $T_{o2}$  здійснюється аналогічним чином.

Формування кінця ОТ таким чином у ряді випадків (наявності одиноких ТЗ у КЗ) суттєво зменшує тривалість ОТ і при значній черзі ТЗ у конфліктуючому напрямку зменшує середню транспортну затримку на перехресті та підвищує ефективність СР.

Такий спосіб визначення тривалості ОТ дає змогу мінімізувати загальну середню транспортну затримку  $\bar{t''_u}$  у продовж всього циклу регулювання, або за будь-який інший час виміру більший ніж  $T_u$ .

Тривалість циклу  $T_u$  СР за результатами сканування визначається як сукупність основних та проміжних  $T_{ni}$  тактів всіх фаз

$$T_u = \sum_{i=1}^m T_{oi} + \sum_{i=1}^m T_{ni}. \quad (12)$$

Таким чином, оперативне визначення реальних параметрів руху (швидкості, типу та габаритів) окремих видів ТЗ по усіх смугах руху на підході та в зоні перехрестя шляхом потрібного високошвидкісного сканування дає можливість одержання (в реальному масштабі часу) точного значення часу дії ОТ і ПТ та оптимізації параметрів елементів світлофорного циклу.

Все це дає можливість достатньо точно розрахувати прогнозовану тривалість наступного ОТ  $T_{o2}$ , а потім за результатами сканування КЗ визначити точний час роз'їзду цих черг по кожній смузі на "зелений" СС.

Цей спосіб дає змогу реагувати на будь-які зміни кількості ТЗ за час дії ОТ, а також різку нерівномірність інтенсивності ТЗ, оскільки реагує на реальну поточну кількість ТЗ, що знаходяться в КЗ по різних смугах руху.

Визначення часу дії ОТ і ПТ за точними вимірами, а не приблизними розрахунками за середніми значеннями параметрів, дає змогу у ряді випадків скоротити такти, зменшити втрати часу в циклі регулювання та підвищити ефективну тривалість фаз регулювання. Це можливо у разі відсутності ТЗ в зоні перехрестя та на його підходах на момент початку ПТ. Скорочення ОТ можливо у разі відсутності ТЗ за дозволеними напрямками протягом дії ОТ, або за відсутності ТЗ по окремим напрямкам, як це здійснюється при управлінні з розщепленою фазою. Фіксація кінця дії ПТ по виходу з зони перехрестя останнього ТЗ одночасно підвищує безпеку руху на регульованому перехресті.

Все це істотно розширює функціональні можливості способу та підвищує ефективність визначення оптимальних параметрів поточних значень тривалості елементів світлофорного циклу.

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

Скануючий блок 1 має у своєму складі лазерний випромінювач 3 вузькоспрямованого інфрачервоного променя і вузол розгортки 4, які формують трилучове конусне покровоке 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 поступає з реперного фотоприймача 2 ( $\Phi\Pi_0$ ) на входи дискретних сканісторів  $5_1$ ,  $5_2$  та  $5_3$ .

Три оптичні промені  $8_1$ ,  $8_2$  та  $8_3$  формуються вузлом розгортки зі зміщенням на третину періоду ( $120^\circ$ ), що дає змогу фіксувати кожний з них у реперній точці і чітко розпізнавати відбиті від ТЗ сигнали на входах і виході з КЗ та перехресті в цілому.

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

Оптичні фотоприймачі 2 ( $\Phi\Pi_i$ ) в процесі розгортки третього  $8_3$  та другого  $8_2$  лазерних променів по одному з кіл послідовно сприймають сигнали, відбиті від ТЗ, що рухаються по різних смугах руху на входах в першу та другу КЗ. При цьому почергова з високою швидкістю зміни радіусів сканування (з R3 на R4 та з R5 на R6 або навпаки) дозволяє точно визначити час переміщення ТЗ на дистанції (R4-R3 та R6-R5), швидкість, тип та кількість ТЗ, що в'їжджають в КЗ по кожній смугі руху в даному циклі регулювання.

В процесі розгортки першого  $8_1$  лазерного променя на дистанції (R2-R1) на виході з КЗ (у зоні стоп-ліній) послідовно визначають швидкість, довжину, тип та кількість ТЗ по окремих смугах руху, що в'їжджають в зону перехрестя на зелений сигнал світлофора. 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 напрямкам у цей же такт регулювання.

Фотоприймачі 2, направлені на вхідні смуги руху, сприймають послідовно відбиті сигнали першого  $8_1$  другого  $8_2$  і третього  $8_3$  лазерних променів з часовою затримкою на третину періоду сканування, що дає можливість окремого розпізнавання сигналів різних променів.

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

Сигнали з виходу реперного фотоприймача 2 ( $\Phi\Pi_0$ ) через перетворювача  $6_0$  подаються на відповідні входи дискретних сканісторів  $5_1$ ,  $5_2$  та  $5_3$  та обчислювального пристрою 7 для чіткого визначення положення кожного променя за смугами руху відносно реперної точки.

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

Протягом кожного періоду сканування розраховуються: вагова складова затримки усіх ТЗ, що зібралися перед стоп-лінією на червоний СС, для випадку, коли ОТ завершується на даному періоді сканування, а роз'їзд цих ТЗ починається через ПТ у наступній фазі регулювання (6); сумарна вагова складова затримки тих ТЗ, що завершують ОТ за умов, що вони продовжать свій рух у наступному циклі (7); складова частина середньої транспортної затримки в цьому циклі регулювання наданий період сканування (8); сумарні вагові складові  $t_3''$  і  $t_4''$  для випадку виїзду з КЗ ще одного ТЗ на зелений СС з урахуванням часу на завершення його виїзду (9, 10); складова середньої транспортної затримки за формулою (10); порівнюються між собою значення  $\bar{t}_{\text{ч}}'$  і  $\bar{t}_{\text{ч}}''$  і за вказаним алгоритмом приймається рішення про продовження або завершення основного такту по завершенню періоду сканування.

В обчислювальний пристрій 7 закладено алгоритм та деякі константи для розрахунку ЗШ різного типу ТЗ, за якими визначається можливість повного гальмування ТЗ до стоп-лінії, коефіцієнти приведення до легкового автомобілю для попереднього розрахунку часу роз'їзду черг ТЗ. Після того, як останній ТЗ, що з початку ПТ знаходився в зоні перехрестя, перетне своїм переднім бампером лінію сканування R2 на виході з перехрестя, обчислювальний пристрій 7 видає сигнал завершення ПТ на світлофорний об'єкт 9. В разі відсутності ТЗ в зоні перехрестя на момент початку ПТ, обчислювальний пристрій 7 видає сигнал завершення ПТ через мінімально обраний заздалегідь час, призначений, наприклад, для завершення руху пішоходів.

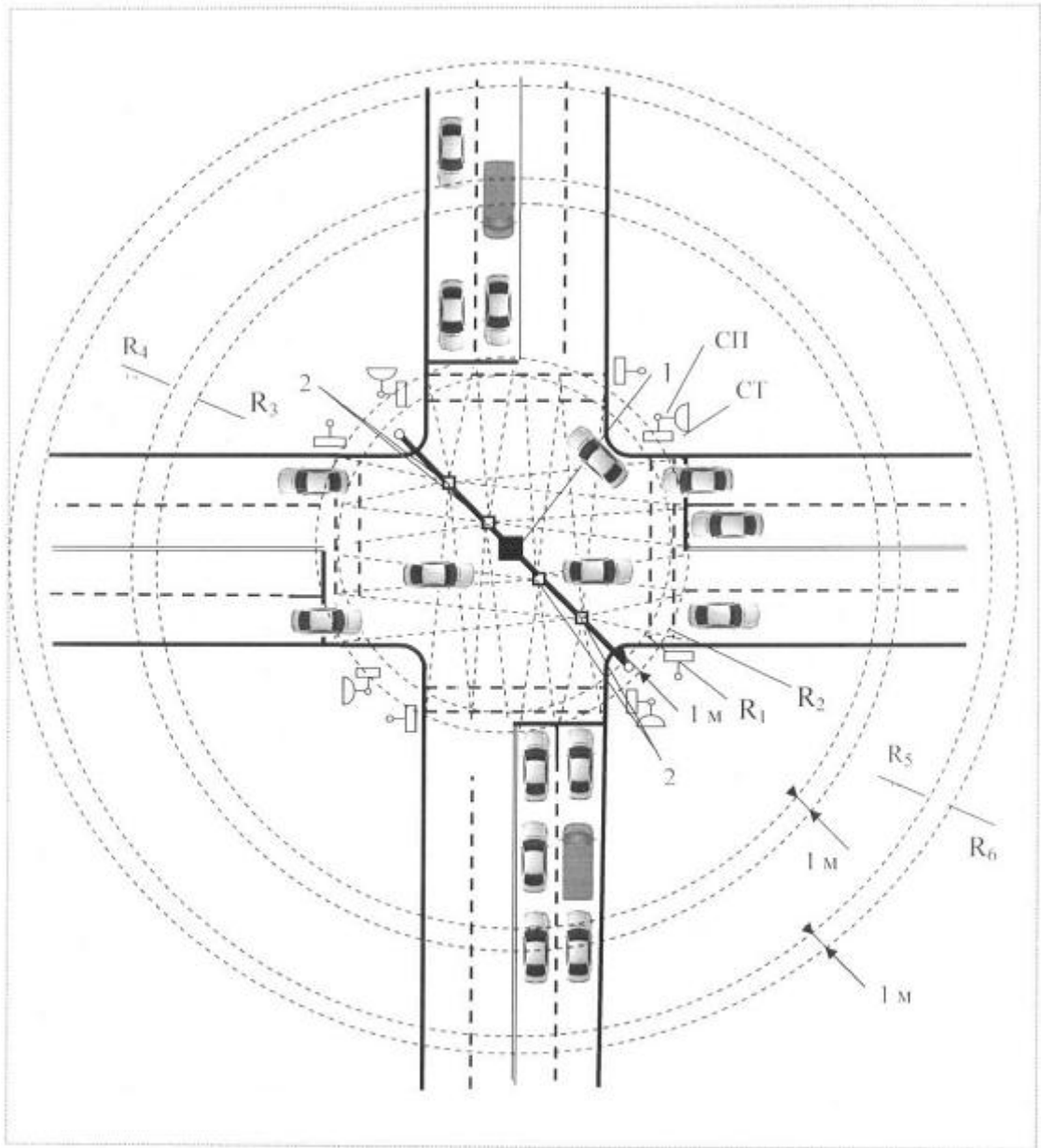
Таким чином, запропонований спосіб дає можливість одержати найбільш повний комплекс інформації для контролю і подальшого оперативного (в реальному масштабі часу) визначення часу дії ОТ, ПТ, циклу регулювання та управління рухом на перехресті на базі такого важливого інтегрального критерію оцінки якості СР, як затримки руху ТЗ.

5 Перевагою запропонованого способу також є те, що його реалізацію можна здійснити одним загальним пристроєм, розташованим в зоні перехрестя, який одночасно дає змогу визначити ряд інших параметрів руху ТП.

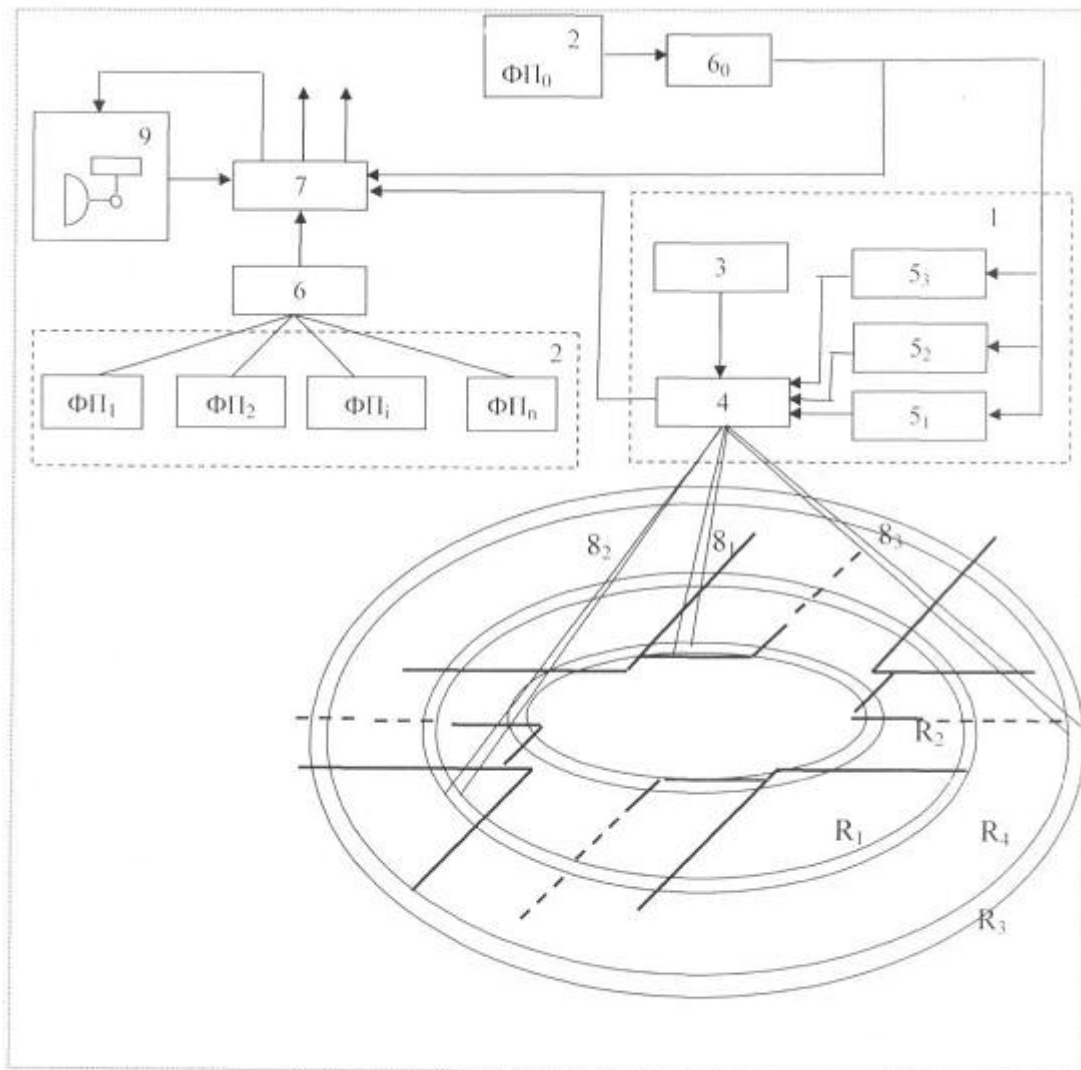
#### 10 ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб визначення тривалості елементів світлофорної сигналізації, що заснований на скануванні одночасно трьома гостроспрямованими лазерними променями зони перехрестя в точці над його геометричним центром конусним видом розгортки, причому оптична вісь одного з положень розгортки першого променя вибирається так, щоб він описував коло на проїжджій частині перехрестя в області стоп-ліній всіх його підходів, а друге положення розгортки відповідало відхиленню лазерного променя, при якому радіус другого концентричного кола на поверхні проїзної частини зменшується на певну задану величину, при цьому зміна положень розгортки здійснюється з високою швидкістю по черзі через кожен період сканування, а другий промінь розгортки формується зі зміщенням на третину періоду по колу розгортки та зі зміною кута нахилу оптичної вісі променя, як і першого, по черзі у реперній точці через кожен період сканування так, щоб радіус другого концентричного кола на вході першої контрольованої зони зменшувався на певну задану величину, третій оптичний промінь лазерної розгортки формується зі зміщенням по відношенню до другого ще на третину періоду по колу розгортки, а кути нахилу оптичних осей третього променя, як і двох перших, змінюють по черзі у реперній точці через кожен період сканування так, щоб радіус другого концентричного кола на вході другої контрольованої зони зменшувався на певну задану величину, при цьому відстань між вхідною і вихідною межами другої контрольованої зони вибирати за умови, щоб вона перевищувала найбільш можливу чергу транспортних засобів, яка може збиратися по одній із смуг руху на сигнал світлофора, що забороняє дорожній рух, подальшому прийомі відображених оптичних сигналів фотоприймачами і надалі перетворенні цих сигналів в імпульсно-числові коди, за якими визначаються швидкість, тип та час пересування транспортних засобів на входах і виходах обох контрольованих зон, напрямки їх руху по смугам, кількість транспортних засобів у черзі у фізичних та приведених одиницях, значення зупиночного шляху різного типу транспортних засобів, час пересування черги зони стоп-ліній по всіх смугах руху упродовж окремих тактів одного циклу світлофорного регулювання, а потім наявність транспортних засобів по окремих смугам в першій контрольованій зоні та в зоні самого перехрестя на момент початку проміжного такту, а момент закінчення проміжного такту формується за моментами, коли останній транспортний засіб, що знаходився в зоні перехрестя, почне перетинати своїм переднім бампером одну з ліній сканування першого променя по смугах руху на виході з перехрестя, який **відрізняється** тим, що протягом кожного періоду сканування послідовно визначаються вагова складова затримки усіх транспортних засобів, які зібралися перед стоп-лінією на червоний сигнал світлофора, для випадку, коли основний такт завершується на даному періоді сканування, а роз'їзд цих транспортних засобів починається через проміжний такт у наступній фазі регулювання, сумарна вагова складова затримки тих транспортних засобів, що завершують основний такт за умов, що вони продовжать свій рух у наступному циклі регулювання, складова частина середньої транспортної затримки в цьому циклі регулювання на даний період сканування, далі визначаються попередні сумарні вагові складові затримок руху для випадку виїзду з контрольованої зони ще одного транспортного засобу на зелений сигнал світлофора з урахуванням часу на завершення його виїзду, який визначається по його позиції в контрольованій зоні відносно стоп-лінії по інформації сканування на вході в першу контрольовану зону, а потім для цих вагових складових також визначається складова середньої транспортної затримки за цикл регулювання, далі порівнюються між собою складова частина середньої транспортної затримки в циклі регулювання на даний період сканування і складова середньої транспортної затримки за цикл регулювання для випадку виїзду з контрольованої зони ще одного автомобіля на зелений сигнал світлофора з урахуванням часу на завершення його виїзду, у випадку, якщо перша складова середньої транспортної затримки буде більше або дорівнює другій, основний такт закінчують на поточному періоді сканування, а якщо друга складова буде більше першої, основний такт продовжують до моменту виконання попередньої умови, при цьому в наступній фазі регулювання або наступних циклах послідовність визначення кінця основного такту

здійснюється аналогічним чином, а тривалість циклу світлофорного регулювання за результатами сканування визначається як сукупність основних та проміжних тактів всіх фаз.



Фіг. 1



Фиг. 2

Комп'ютерна верстка О. Рябко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

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