

Міністерство освіти і науки України
Національний транспортний університет

ТРУШЕВСЬКИЙ ВЯЧЕСЛАВ ЕДУАРДОВИЧ



УДК 656.13

**УДОСКОНАЛЕННЯ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ
ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ ЗА ОКРЕМИМИ НАПРЯМКАМИ**

05.22.01 – транспортні системи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному транспортному університеті Міністерства освіти і науки України на кафедрі «Транспортні системи і безпека дорожнього руху»

Науковий керівник: кандидат технічних наук, професор
Єресов Володимир Іванович,
Національний транспортний університет,
професор кафедри транспортних систем і безпеки дорожнього руху

Офіційні опоненти:
доктор технічних наук, професор
Кисельов Володимир Борисович,
Академія муніципального управління, професор,
завідувач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами

кандидат технічних наук, професор
Рейцен Євген Олександрович,
Київський національний університет будівництва та архітектури, професор кафедри міського будівництва

Захист відбудеться «30» вересня 2015 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 Національного транспортного університету за адресою: 01010, м. Київ, Суворова 1.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного транспортного університету за адресою 01010, м. Київ, Суворова, 1.

Автореферат розісланий «29» серпня 2015 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.І. Каськів

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Вдосконалення світлофорного регулювання дорожнього руху за допомогою автоматизованих систем – перспективний напрям до більш повного використання пропускнуої спроможності вулично-дорожньої мережі у містах та зменшення аварійності через коригування режимів руху транспортних засобів і пішоходів.

Цей напрям є значно менш витратним порівняно із будівництвом транспортних розв'язок та об'їзних магістралей, дозволяє зменшувати затримки учасників дорожнього руху, зменшувати кількість викидів відпрацьованих речовин від двигунів внутрішнього згоряння у навколишнє природне середовище, а також позитивно впливає на кількість і важкість дорожньо-транспортних пригод за рахунок убезпечення руху в конфліктних зонах.

Найбільш розповсюдженою методикою розрахунку режимів світлофорного регулювання є пофазовий роз'їзд транспортних засобів та пішоходів з подальшим визначенням тривалостей елементів світлофорного циклу для всіх напрямів, що входять до однієї фази регулювання.

При цьому допускається ряд умовностей, що знижують ефективність світлофорного регулювання, оскільки не враховуються резерви часу, які виникають через різницю рівнів завантаження дорожнім рухом різних напрямів регулювання та негативно впливають на безпеку руху через неточне визначення часових проміжків, протягом яких транспортні засоби та пішоходи завершують рух через перехрестя та готуються його розпочати.

Внаслідок цих недоліків утворюються ненасичені фази регулювання, а корекція тривалостей дозволяючих сигналів призводить до значного зростання тривалості циклу регулювання, що, в свою чергу, провокує передзаторові стани та погіршення рівня зручності дорожнього руху.

Отримані в дисертації результати системних досліджень, які спрямовані на підвищення ефективності світлофорного регулювання руху автомобілів і пішоходів, а також маршрутних транспортних засобів, дали можливість вдосконалити підхід до управління дорожнім рухом при його організації за окремими напрямками.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконувалась відповідно до Програми науково-дослідних

робіт Міністерства освіти і науки України за пріоритетними напрямками «Транспортні технології», «Безпека дорожнього руху» за темою «Методологія управління процесами перевезень і безпекою дорожнього руху в транспортних системах України» (номер державної реєстрації 0111U000099) на кафедрі «Транспортні системи та безпека дорожнього руху» НТУ; «Концепції розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на середньостроковий період та до 2020 року» Міністерства інфраструктури України; «Державною цільовою програмою підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2016 року».

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності світлофорного регулювання на основі розробки і впровадження управління транспортними та пішохідними потоками за окремими напрямками та визначення параметрів світлофорного режиму за умови утворення цілісної структури світлофорного циклу, оптимальної з точки зору безпеки дорожнього руху та зменшення непродуктивної затримки його учасників перед регульованою ділянкою вулично-дорожньої мережі.

Задачі дослідження:

- провести аналіз прогресивних методів синтезу структури циклу світлофорного регулювання і визначення його складових;
- провести адаптивну формалізацію схеми руху транспортних засобів та пішоходів на регульованому перехресті;
- розробити принципи оптимізації структури світлофорного циклу з уточненням параметрів режиму регулювання і порядку визначення тривалості перехідних інтервалів;
- провести адаптацію управління світлофорними об'єктами до сучасних програмно-апаратних засобів АСУДР;
- розробити алгоритм визначення керуючих параметрів світлофорного регулювання на основі масиву вихідних даних.

Об'єктом дослідження є рух транспортних і пішохідних потоків на регульованих перехрестях.

Предметом дослідження є закономірності зв'язку між характеристиками дорожнього руху, дорожніми умовами і параметрами світлофорного регулювання на перехрестях.

Методи дослідження: системний аналіз, системотехніка, а також методи математичного програмування.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вдосконалений підхід до визначення мінімальних часових проміжків між дозволяючими світлофорними сигналами на основі розробленої траєкторно-матричної схеми формалізації руху транспортних засобів та пішоходів на регульованому перехресті, що дозволяє більш повно відображати вхідні характеристики і мінімізувати часові проміжки між перепуском конфліктних напрямків, внаслідок чого підвищується безпека руху та зменшується втрачений час у циклі регулювання.

Розроблені принципи оптимізації структури циклу обслуговування напрямків, яка здійснюється на основі графу, утвореного з матриці формалізації руху на перехресті, при цьому визначення порядку чергування напрямків, що визначає мінімальну тривалість циклу, зводиться до розв'язання «задачі комівояжера».

Вдосконалені алгоритми управління світлофорною сигналізацією на перехресті при організації руху транспортних та пішохідних потоків за окремими напрямками з врахуванням оптимальних співвідношень між дозволяючими світлофорними сигналами та мінімальними часовими проміжками конфліктних напрямків регулювання.

Формалізовані умови визначення параметрів режиму світлофорного регулювання з розщепленими фазами і корекції елементів світлофорних циклів з метою гарантування безпеки руху пішоходів.

Практичне значення отриманих результатів.

Вдосконалено підхід до розрахунку режимів світлофорної сигналізації за окремими напрямками, що дозволяє повністю автоматизувати процес визначення параметрів світлофорного режиму для локальних та координованих перехресть від введення початкових даних до програмування дорожнього контролера (САПР).

З метою оптимізації параметрів світлофорного регулювання на об'єктах, де наявний рух електричного транспорту, запропоновано моделі транспортних детекторів на основі стрілочних переводів.

Проведено впровадження результатів дослідження на 15 перехрестях у м. Запоріжжі, що підтверджується актом впровадження на базі ПрАТ «СМЕП «Символ».

Особистий внесок здобувача. Одержані автором результати є самостійним внеском у розробку задачі управління дорожнім рухом за окремими напрямками. Ідеї та думки, що належать співавторам публікацій, не використовуються у матеріалах дисертації.

Особисто автором опубліковано дві роботи в наукових фахових виданнях [3,5]. Автору належать усі наукові результати, що виносяться на захист. У публікаціях у співавторстві [1, 2, 4, 6, 7] особистий внесок здобувача полягає в наступному:

- визначенні основних напрямів вдосконалення існуючих підходів до управління світлофорною сигналізацією [1];

- визначенні кількісних співвідношень між характеристиками руху пішоходів та елементами світлофорного циклу, що безпосередньо впливають на безпеку їх руху [2];

- формалізації представлення дорожньо-транспортної ситуації на перехресті та способів узгодження пофазового способу управління та організації руху за окремими напрямками [4];

- визначенні підходу до корекції основних тактів регулювання [6];

- аналізі дорожньо-транспортної ситуації, що виникає при зміні режимів (програм) світлофорного регулювання [7].

Апробація результатів дисертації.

Основні положення дисертації доповідалися та обговорювалися на наукових конференціях Національного транспортного університету (2013 р.) [8], Запорізького національного технічного університету (2014 р.) [9], на III міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми підвищення рівня безпеки, комфорту та культури дорожнього руху» (2013 р., м. Харків) [10]. Розроблені підходи апробовані у проектах організації дорожнього руху у м. Запоріжжі, застосовуються у навчальному процесі в Запорізькому національному технічному університеті в дисципліні «Автоматизовані системи управління дорожнім рухом».

Публікації. За темою дисертації опубліковано 7 статей в спеціалізованих наукових журналах (у тому числі 3 – у журналах, що входять до наукометричних баз), тези міжнародної конференції, 5 тез науково-технічних конференцій, отримано свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір – комп'ютерну програму «Курс-13», патент на корисну модель пристрою автоматичного регулювання руху трамваїв.

Структура роботи.

Дисертація складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, списку літературних джерел і додатків.

Повний обсяг роботи складає 150 сторінок, з них 132 сторінки основного тексту, 10 сторінок списку літературних джерел і 8 сторінок додатків. Робота містить 49 рисунків і 16 таблиць. Список літературних джерел складається з 92 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність проведених досліджень, сформульовані мета і задачі досліджень.

У першому розділі розглянуті сучасні методи управління світлофорними об'єктами. Сучасне обладнання автоматизованих систем управління дорожнім рухом дозволяє здійснювати управління світлофорними сигнальними пристроями за пофазовим методом та за окремими напрямками регулювання.

Питання оптимізації режимів світлофорного регулювання розглядали вітчизняні та іноземні вчені, зокрема Ф. Вебстер, Х. Іносе, В. Поліщук, В. Єресов, О. Дзюба, В. Кременець, М. Печерський, Д. Самойлов, М. Фішельсон, Б. Четверухін, В. Кисельов, Є. Рейцен та інші.

Пофазний спосіб управління світлофорною сигналізацією не відповідає задачам, що ставляться перед системами автоматизованого управління дорожнім рухом у містах. Групування напрямів у фази призводить до утворення ненасичених часових проміжків у циклі регулювання і не дозволяє змінювати структуру циклу відповідно до зміни дорожньо-транспортної обстановки [1].

Теоретичні основи управління світлофорною сигналізацією за окремими напрямками на даний момент не мають цілісної структури, складно піддаються автоматизованому застосуванню у практиці програмування обладнання АСУДР та мають формальні недоліки, що суттєво зменшує частку перехресть, де вони можуть бути ефективно застосовані.

У другому розділі сформульовано підхід до визначення режиму регулювання при організації руху за окремими напрямками.

Пропонується схему руху на регульованому перехресті формалізувати за допомогою матриці можливих траєкторій (ММТ), що складається на основі схеми можливих траєкторій (СМТ).

СМТ викреслюється на плані перехрестя, при цьому до уваги беруться вимоги Правил дорожнього руху та наявний розділ під'їздів перехрестя на смуги руху. ММТ є чотиримірною. Елементи ММТ – відстані від стоп-ліній на проїзних частинах під'їздів перехрестя до конфліктних точок перетину або злиття траєкторій руху. За схемою можна визначити, що будь-які дві траєкторії можуть мати одну конфліктну точку (КТ) перетину або злиття чи не мати конфліктних точок (в цьому випадку елемент ММТ дорівнює нулю).

Для більш точного визначення тривалостей мінімальних часових проміжків між дозволяючими світлофорними сигналами конфліктних траєкторій необхідно знати відстань від стоп-лінії до конфліктної точки злиття або перетину траєкторій по кожній з пари траєкторій, що перетинаються або зливаються. Таким чином, елемент $ММТ[i, j, m, n]$ дорівнює відстані від стоп-лінії траєкторії $i - j$ до конфліктної точки її перетину або злиття з траєкторією $m - n$.

Встановлено, що залежність між відстанню до найдалшої точки та тривалістю часового проміжку не є лінійною. Крім того, як видно з рис. 1, тривалості часових проміжків суттєво змінюються залежно від швидкості руху $V[i, j]$.

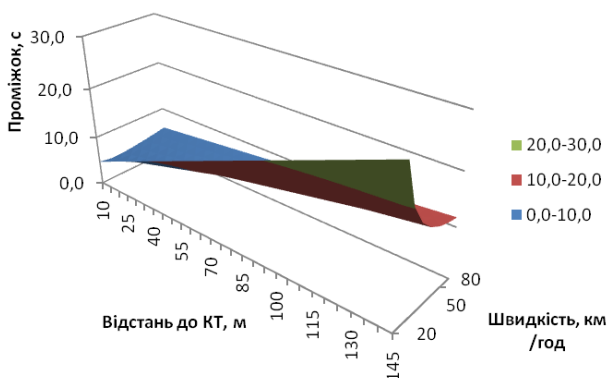


Рисунок 1 – Графік залежності тривалості мінімального часового проміжку від відстані до конфліктної точки та швидкості руху

Після переведення матриці можливих траєкторій ММТ у матрицю мінімальних часових проміжків ММП з урахуванням прискорення a , часу реакції водія t_p , довжини автомобіля l_a , отримаємо:

$$ММП[i, j, m, n] = t_p + \frac{V[i, j]}{2a} + \frac{ММТ[i, j, m, n] + l_a}{V[i, j]} - \frac{ММТ[m, n, i, j]}{V[m, n]}. \quad (1)$$

Для визначення структури світлофорного циклу слід згрупувати напрями світлофорного регулювання таким чином, щоб рух транспорту і пішоходів за неконфліктними напрямками відбувався одночасно, а за конфліктними – лише після того, як минають мінімальні часові проміжки, визначені матричним способом за формулою (1).

Для цього утворюється граф G , вершинами якого є напрями регулювання, а вагами ребер – мінімальні часові проміжки між дозволяю-

чими сигналами цих напрямків. Виділення груп неконфліктних напрямів виконується шляхом виокремлення у графі повних підграфів. Обчислення ведуться за алгоритмом розширеної ітерації М.А. Грибкова з видаленням вершин (цей алгоритм позначимо номером 1).

Далі визначаються елементи головної послідовності – напрями, що мають найбільшу тривалість дозволяючого сигналу у кожній групі. Тривалість сигналів встановлюється за експрес-методикою. Для визначення порядку виклику напрямів пропонується використати розв’язок задачі комівояжера методом гілок та меж. Під час формування структури циклу регулювання метою є включення всіх напрямків регулювання до циклу та повернення до початку циклу [1].

Утворені групи неконфліктних напрямів за допомогою модифікованого алгоритму розширеної ітерації (рис. 2) доповнюються напрямками, що їх включено до інших груп, та які за умовами конфліктності можуть бути включені до даної групи.

У випадку наявності у циклі регулювання пішохідних напрямів, тривалість його елементів за умови рівності затримок водіїв, пасажирів транспорту та пішоходів визначається співвідношенням:

$$N_n \frac{t_{OT}^m + t_{III}^m + t_{III}^n}{2} = 0,9 N_m K \left(\frac{\left(1 - \frac{t_{OT}^m + 1}{t_{OT}^m + \Delta}\right)^2}{2(1-y)} \cdot (t_{OT}^m + \Delta) + \right. \\ \left. + \frac{1}{N_m} \cdot \frac{(y \times (t_{OT}^m + \Delta))^2}{2 \left(1 - \frac{y \times (t_{OT}^m + \Delta)}{t_{OT}^m + 1}\right) (t_{OT}^m + 1)^2} \right), \quad (2)$$

де N_m – інтенсивність руху транспорту, од/год;

y – фазовий коефіцієнт транспортної фази;

$t_{OT}^m, t_{III}^m, t_{OT}^n, t_{III}^n$ – тривалості відповідно основних тактів і перехідних інтервалів транспортної та пішохідної фаз, с;

N_n – інтенсивність руху пішоходів, чел./год;

K – коефіцієнт, що враховує склад транспортного потоку та пасажиромісткість транспортних засобів;

$$\Delta = t_{III}^m + t_{OT}^n + t_{III}^n.$$

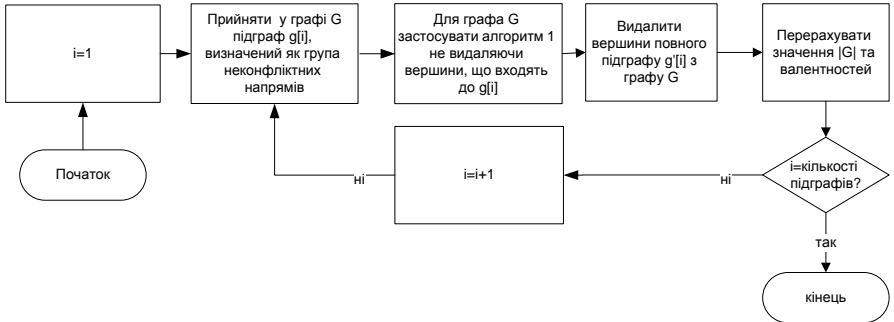


Рисунок 2 – Алгоритм доповнення груп напрямів

Отримане рівняння четвертого степеня розв'язується за методом Феррарі. У табл. 1 наведено результати розв'язку рівняння (2), що потрапляють до припустимого діапазону тривалостей сигналу.

Таблиця 1 – Результати розв'язку рівняння (2)

N_n , піш./год	300	500	400	650	200	100	1000	700	800
t_n^m , с / t_n^n , с	7/7	10/8	12/7	6/6	12/7	8/6	13/7	15/6	20/8
N_m , од./год	200	800	500	900	400	700	500	700	500
K	4	2	3	2,1	3,6	10	2	2	3,5
Δ	40	28	36	20	39	25	41	40	41
y	0,04	0,2	0,3	0,15	0,4	0,5	0,6	0,6	0,45
t_{om}^m , с	36	28	14	18	24	23	31	53	41

З метою дослідження залежності між зазначеними вище аргументами та тривалістю основного такту для транспортних напрямів проведено повний факторний числовий експеримент, в результаті якого отримано лінійну регресійну залежність:

$$t_{om}^m = -111,92 - 0,06N_n - 0,25t_n^m - 0,87t_n^n + 0,04N_m + 7,96K + 1,8\Delta + 306,12y. \quad (3)$$

Отримане рівняння адекватно відображає залежність тривалості основного такту транспортного напрямку від наведених в табл. 1 параметрів, оскільки коефіцієнт кореляції дорівнює 0,66, коефіцієнт детермінації 0,44, а значення критерію Фішера 175,09 (при теоретичному 2,51). Встановлено також, що тривалості перехідних інтервалів дуже слабо впливають на значення результату.

Таким чином, встановлено співвідношення між дозволяючими сигналами для конфліктних напрямів регулювання руху транспортних засобів і пішоходів, що дозволить забезпечити рівність витрат часу пішоходами та пасажирями транспортних засобів [2].

У третьому розділі розглянуті способи застосування підходу до управління рухом за окремими напрямками в різних умовах організації дорожнього руху.

Забезпечення безконфліктності інтенсивного лівоповоротного руху призводить, як правило, до введення в структуру циклу додаткової фази регулювання. У випадку, коли інтенсивність лівоповоротного транспортного потоку N_d незначно перевищує 120 одиниць за годину, величина фазового коефіцієнту додаткової фази регулювання, призначеної для пропуску лівоповоротного потоку, буде невеликою. Це приведе до того, що при розрахунку тривалості циклу світлофорного регулювання за формулою Вебстера, значення тривалості основного такту фази, що включає лівоповоротний напрям, буде меншим за 7 с [4].

Для уникнення такої ситуації пропонується перевіряти можливість заміни фази регулювання, що містить лівоповоротний напрям *фазоподібним інтервалом*.

При формуванні першої фази регулювання (рис. 3) будемо вважати, що інтенсивність лівого повороту за першим напрямом регулювання складає 120 приведених одиниць за годину. Частина потоку лівоповоротних транспортних засобів зможе виконати поворот ліворуч впродовж першої фази регулювання. Частина потоку, що складає надмірну над 120 одиниць за годину інтенсивність $N_{над}$, буде залишатися перед стоп-лінією напрямом 1.

Для перепуску надмірної інтенсивності пропонується виділити *псевдонапряма регулювання 5* (рис. 3). При цьому складається формальна схема пофазового роз'їзду. Потік насичення для напрямом 1 в першій фазі регулювання пропонується визначати з урахуванням наявності повороту ліворуч з крайньої лівої смуги. У другій фазі регулювання напрям регулювання 1 вже не буде рухатися крайньою лівою смугою, оскільки для кожного напрямом регулювання слід виділяти як мінімум одну смугу руху, і крайня ліва смуга буде виділена для напрямом 5[4].

Перехрестя з рознесеними стоп-лініями утворюються при перетинанні вулиць бульварами та при віднесенні пішохідних переходів, коли пішохідні потоки перетинають проїзну частину у віддаленні від перехрестя, або у випадках організації віднесених поворотів ліворуч (рис. 4).

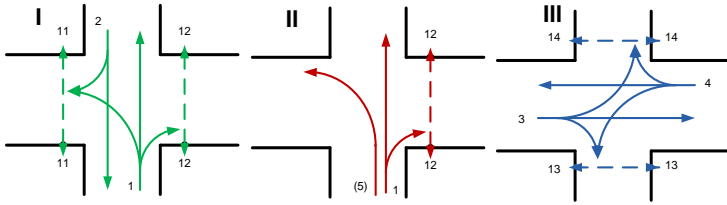


Рисунок 3 – Формальна схема пофазового роз'їзду

З точки зору принципу конфігурації перехрестя з рознесеними стоп-лініями можна поділити на 2 групи:

- з синхронним відпрацюванням циклограми сигнальними групами в перерізах рознесених стоп-ліній;
- із затримкою зеленого сигналу на вихідних стоп-лініях;
- з іншими схемами регулювання (наприклад, затримками в одному з напрямів).

Для гарантування відсутності залишкової черги необхідно, аби транспортні засоби першого та другого напрямків не зупинялися перед стоп-лініями напрямків 5 та 6, а значить проїздили перехрестя повністю (рис. 4).

При цьому за швидкість руху приймається швидкість 85-% забезпечення. У випадку, якщо транспортний засіб рухається з іншою швидкістю, він може не встигнути доїхати з критичної точки до дальньої конфліктної точки до моменту прибуття транспортного засобу з конфліктуючого напрямку.

Назвемо критичною швидкістю $V_{кр}$ таку швидкість, рухаючись з якою за траєкторією довжиною $B[i, j]$, автомобіль, проминувши стоп-лінію в момент початку жовтого сигналу, не встигне досягти конфліктної точки до прибуття в неї за траєкторією довжиною $B'[j, i]$ транспортного засобу конфліктного напрямку, що рухається зі швидкістю V_i .

Отримуємо нерівність:

$$t_p + \frac{V_{кр.i}}{2a} + \frac{B[i, j] + l_a}{V_{кр.i}} - \frac{B'[j, i]}{V'_j} > t_p + \frac{V_i}{2a} + \frac{B[i, j] + l_a}{V_i} - \frac{B'[j, i]}{V'_j} \quad (4)$$

$$\frac{V_{кр.i}}{2a} + \frac{B[i, j] + l_a}{V_{кр.i}} > \frac{V_i}{2a} + \frac{B[i, j] + l_a}{V_i}. \quad (5)$$

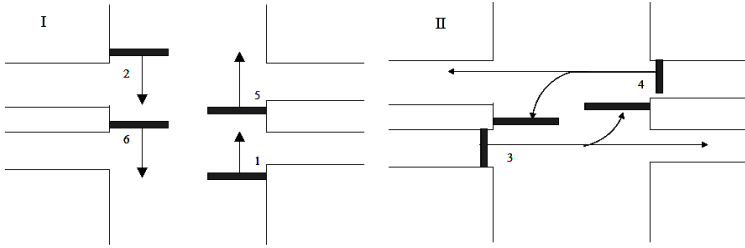


Рисунок 4 – Групи неконфліктних напрямів на перехресті з рознесеними стоп-лініями

Отже,

якщо $V_i^2 > 2a(B[i, j] + l_a)$, то $V_{кр} \in \left(-\infty; \frac{2a(B[i, j] + l_a)}{V_i}\right) \cup (V_i; +\infty)$;

якщо $V_i^2 < 2a(B[i, j] + l_a)$, то $V_{кр} \in (-\infty; V_i) \cup \left(\frac{2a(B[i, j] + l_a)}{V_i}; +\infty\right)$.

Оскільки миттєві швидкості руху транспортних засобів розподіляються за нормальним законом, то можна визначити імовірність того, що миттєва швидкість будь-якого транспортного засобу не потрапить до зазначених інтервалів, тобто $P(\alpha \leq V_i \leq \beta)$.

В нашому випадку, якщо $V_i^2 > 2a(B[i, j] + L_a)$, то $\alpha = \frac{2a(B[i, j] + L_a)}{V_i}$; $\beta = V_i$ та навпаки: якщо $V_i^2 < 2a(B[i, j] + L_a)$, то $\alpha = V_i$; $\beta = \frac{2a(B[i, j] + L_a)}{V_i}$.

За наявності додаткових стоп-ліній, перед ними протягом часу дії заборонного сигналу накопичується транспорт, що виїхав з другорядних напрямів (на рис. 4 це напрями 3 і 4) ліворуч, тому віднесення перехрестя до однієї з груп за режимом роботи напрямів регулювання вхідних і додаткових стоп-ліній слід виконувати із урахуванням розміщення черги транспортних засобів перед додатковими стоп-лініями.

Оскільки черга перед додатковою стоп-лінією формується з числа транспортних засобів, що проїхали вхідну стоп-лінію на дозволяючий сигнал та зупинилися перед додатковою на заборонний, її довжина становитиме:

$$l_q = \frac{\frac{B}{V} \sum_{e=1}^f M_e - \Delta t \sum_{j=1}^n M_j + \sum_{k=1}^h t_{зел.k} M_k}{3600n} \sum_{i=1}^r \frac{\alpha_i (l_{ai} + \Delta l)}{k_{npi}}, \quad (6)$$

де B – відстань між вхідною та вихідною стоп-лініями, м;
 V – швидкість руху 85-% забезпечення за вхідним напрямом, м/с;
 f, n, h – кількість смуг руху відповідно через вхідну магістральну, вихідну та вхідну другорядну стоп-лінії;

M_e – потік насичення e -ї смуги на магістральному в'їзді, од./год.;

M_j – потік насичення p -ї смуги на виїзді, од./год.;

Δt – різниця тривалостей дозволяючих сигналів світлофорів за напрямками магістральної вхідної та вихідної стоп-лінії, с;

M_k – потік насичення k -ї смуги на другорядному в'їзді, од./год.;

$t_{зел.k}$ – ефективна тривалість дозволяючого сигналу за вхідним другорядним напрямом, яким слідує транспорт k -ю смугою руху, с;

r – кількість груп транспортних засобів у потоці через вихідну стоп-лінію;

α_i – частка транспортних засобів i -го типу у вихідному потоці;

k_{npi} – коефіцієнт зведення транспортного засобу до легкового автомобіля;

l_{ai} – габаритна довжина автомобіля i -го типу, м;

Δl – мінімальна дистанція між автомобілями, що зупинилися один за одним, м.

Розрахункове значення довжини черги не повинне перевищувати фактичної довжини ділянки проїзної частини, на якій вона буде розташовуватись [5].

З урахуванням фіксованої тривалості зеленого миготливого сигналу (3 с), а також фіксованого діапазону тривалості червоного пішохідного сигналу у перехідному інтервалі (3–5 с), тривалість мінімального проміжку пішохідного напрямку складатиме 6–8 с.

Вона повинна відповідати часу, необхідному для перетину проїзної частини останнім пішоходом, який вийшов на неї до ввімкнення зеленого миготливого сигналу.

В існуючій формулі мінімальної тривалості фази з пішохідним рухом не враховується можливість руху пішоходів кількома рядами. З урахуванням кількості рядів пішоходів n , дистанції між ними d_{niu} , швидкості їх руху V_n отримаємо:

$$t_{niu} = \frac{B}{V_n} + t_{zn} + \frac{d_{niu}(n-1)}{V_n} + 5. \quad (7)$$

Для корекції значень тривалостей основних тактів t_{om}^k пропонується застосовувати коефіцієнти \bar{k}'' , що визначаються для кожного пішохідного напрямку регулювання за формулою:

$$\bar{k}'' = \frac{t_{niu}}{t_{om}^k}. \quad (8)$$

При підстановці до формули (8) формули (7) отримаємо [6]:

$$k'' = \frac{t_{niu} - t_{ni}^k}{t_{om}^k} \quad \bar{k}'' = \frac{\frac{B}{V_n} + 5 - t_{ni}^k}{t_{om}^k}. \quad (9)$$

Підставивши попередні вирази, отримуємо формулу для коефіцієнту корекції значень тривалостей основних тактів регулювання [6]:

$$k'' = \frac{d_{niu} \cdot N_{niu} (T_y - (t_{om}^k + t_{ni}^k - t[i, j])) - 1}{1800 \cdot H \cdot V_{niu}} + \frac{B - 1}{V_{niu}} + t_{zn} - t_{ni}^k + 5}{t_{om}^k}. \quad (10)$$

У випадку, якщо значення часу, необхідного для залишення проїзної частини пішоходами, перевищує максимальне нормативне значення, рекомендується застосування табло зворотного відліку часу дозволяючого сигналу для пішоходів (рис.6).

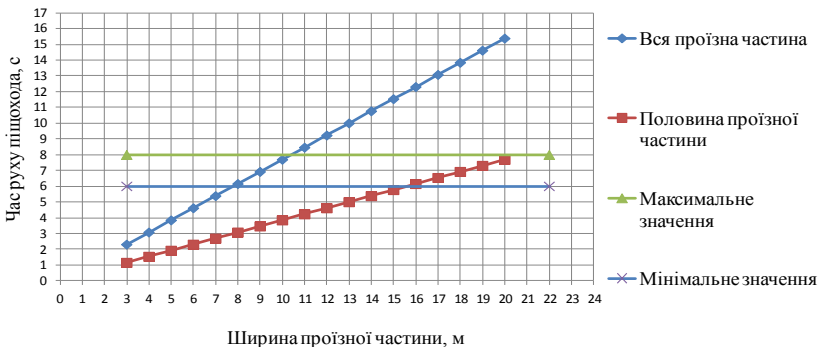


Рисунок 6 – Розрахункові та нормативні параметри руху пішоходів

Через високу, у порівнянні з легковим автомобілем, пасажиромісткість, простої маршрутних транспортних засобів призводять до

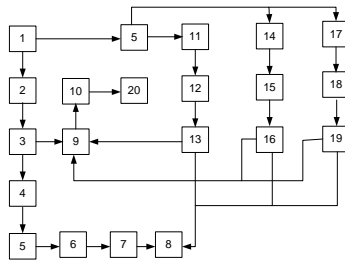
значних сукупних втрат часу учасниками дорожнього руху, передусім тими пасажирами, що перебувають в цих транспортних засобах, та, через збільшення інтервалів руху, тими пасажирами, що чекають на цей транспорт на зупинках [3].

Для ефективного застосування алгоритмів активної стратегії необхідно надійно та своєчасно виявляти наближення транспортного засобу громадського користування до зони регулювання. Для цього пропонуються детектори на основі тролейбусної та трамвайної стрілок. Для перетворення електричного імпульсу через ланцюг електромагнітів тролейбусної стрілки в сигнал виклику, продовження чи пропуску певних елементів циклу світлофорного регулювання пропонується використати пасивний датчик, що складається з двох реле: струму та електромагнітного реле [3].

Наявність в циклі регулювання трамвайних напрямів, а також напрямів, куди включено траєкторії руху трамваїв, передбачає певні особливості при розрахунку параметрів СФР.

Пропонується в якості датчиків в системах авторегулювання використовувати серієсний та шунтовий контакти автоматизованої трамвайної стрілки, а також додати детекторний контакт, функцією якого є виявлення трамвайного поїзду незалежно від напрямку руху (рис. 7).

Для ліквідації більшості пов'язаних з переходом на режим жовтого миготіння небезпек пропонується не вважати цей режим програмою і ввести до контролера псевдонапряв регулювання [7].



1 – плюсовий дріт контактної мережі; 2 – серієсний соленоїд; 3 – датчик струму серієсного соленоїда; 4 – серієсний електричний контакт; 5 – пантограф; 6 – контактор; 7 – електродвигун; 8 – рейки; 9 – блок логіки; 10 – дорожній контролер; 11 – детекторний контакт; 12 – детекторний реостат; 13,16,19 – датчики сили струму; 14, 17 – шунтові контакти; 15 – шунтовий соленоїд; 18 – шунтовий реостат, 20 – світлофори, в т.ч. для регулювання руху трамваїв

Рисунок 7 – Схема моделі управління світлофорним об'єктом

Означений псевдонапряма включає в себе траєкторії, що відповідають пріоритетним напрямам руху транспортних засобів для умов нерегульованого перехрестя.

При цьому до одного напрямку можуть входити траєкторії, що входять на перехрестя через різні стоп-лінії. Напряма вводиться до конфліктної матриці відповідно до загальних правил, але з урахуванням деяких додаткових положень:

1) елемент, що позначає перехід з напрямку регулювання на псевдонапряма дорівнює нулю, якщо траєкторії, що входять до вказаного напрямку, повністю відповідають напрямам пріоритету для нерегульованого перехрестя;

2) елемент, що позначає перехід з псевдонапряма на напряма регулювання, у разі застосування «довкола червоного» сигналу дорівнює сумі тривалостей «довкола червоного» та червоно-жовтого сигналів у випадку, коли траєкторії, що складають псевдонапряма, повністю відповідають траєкторіям, що складають означений напряма регулювання;

3) під час розрахунку відстаней до дальніх конфліктних точок при переході зі звичайних напрямів на псевдонапряма, слід враховувати вимогу п.16.14 ПДР та розраховувати відстань до конфліктної точки лише у випадку, коли напряма, що відповідає номеру рядка конфліктної матриці, позбавлений пріоритету в дальній конфліктній точці, в іншому разі точка виключається з розрахунку [7].

У четвертому розділі розглядається розроблений програмний комплекс (САПР) «Курс-13», призначений для автоматизованого визначення параметрів циклів світлофорного регулювання не перехрестях та пішохідних переходах в жорсткому ізолюваному та координованому режимах, а також для визначення техніко-економічних параметрів світлофорних комплексів (тривалості та вартості затримок транспортних засобів, пішоходів і пасажирів перед регульованими перехрестями) при здійсненні організації руху за окремими напрямками, фрагмент алгоритму роботи якого наведено на рис. 8.

Повний цикл опрацювання регульованого перехрестя в програмному комплексі складається з таких стадій: визначення параметрів локального режиму регулювання, структури циклу; обробка параметрів циклів групи перехресть під обране ключове перехрестя та внесення їх як об'єктів до магістралі координації; визначення параметрів плану координованого регулювання з урахуванням можливості корекції структур циклів координованих перехресть.

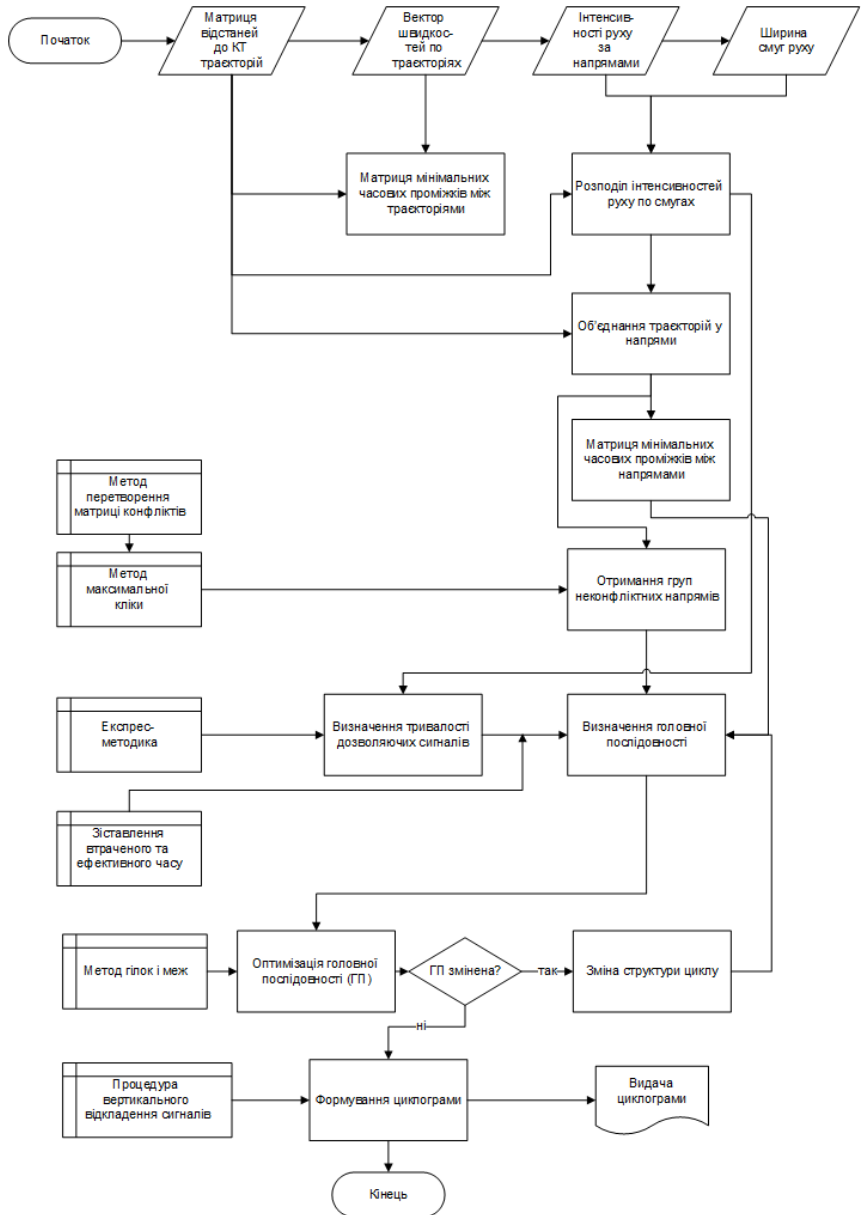


Рисунок 8 – Фрагмент алгоритму програмного комплексу

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дисертаційної роботи здійснено теоретико-прикладне обґрунтування і нове розв'язання наукової задачі, що полягає у вдосконаленні підходу до організації дорожнього руху на регульованих перехрестях за окремими напрямками; визначенні параметрів світлофорного режиму за умови утворення цілісної структури світлофорного циклу, оптимальної з точки зору безпеки дорожнього руху та непродуктивної затримки його учасників перед регульованою ділянкою вулично-дорожньої мережі.

1. Аналіз існуючих методів синтезу структури циклу світлофорного регулювання довів необхідність їх коректування і перегляду основних підходів до реалізації. Вдосконалено підхід до розрахунку режимів світлофорної сигналізації за окремими напрямками, що дозволяє повністю автоматизувати процес визначення параметрів світлофорного режиму для локальних та координованих перехресть.

2. Розроблений адаптивний механізм формалізації схем руху транспортних засобів та пішоходів, що дозволяє відобразити у формальному вигляді весь набір характеристик, що в подальшому застосовуються для зручності комп'ютерної обробки при визначенні структури та параметрів оптимізованого режиму світлофорного регулювання.

3. Розроблені принципи оптимізації структури циклу обслуговування напрямків регулювання, що здійснюється на основі графу, утвореного з матриці формалізації руху на перехресті, при цьому порядок чергування напрямків, що визначає мінімальну тривалість циклу, встановлюється шляхом розв'язання задачі комівояжера. Визначено оптимальну структуру світлофорного циклу та параметри режиму регулювання, вдосконалено спосіб визначення тривалостей перехідних інтервалів, що дозволило знизити тривалості фактичних часових проміжків між дозволяючими світлофорними сигналами на 11%.

4. Вдосконалено підхід до регулювання руху на перехрестях, у тому числі з рознесеними стоп-лініями, розщепленими фазами, з наявністю напрямів регулювання руху трамваїв і тролейбусів, при цьому доведена можливість зниження затримок трамваїв в 2 рази. Розроблені алгоритми визначення параметрів режиму регулювання при організації руху за окремими напрямками з урахуванням оптимізуючих співвідношень між основними тактами і перехідними інтервалами, між дозволяючими сигналами конфліктних транспортних та пішохідних напрямів регулювання, що спричинило збільшення середнього відношення тривалості дозволяючого сигналу до циклу регулювання на 6%.

5. Проведено впровадження результатів дослідження на 15 перехрестях у м. Запоріжжі, що підтверджується відповідним актом.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у виданнях, які входять у наукометричні бази даних

1. Трушевський В. Е. Особливості розрахунку режимів світлофорного регулювання при здійсненні управління за сигнальними групами / В. І. Єресов, В. Е., Трушевський // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – №4/3. – С. 9–13.

2. Трушевський В. Е. Мінімізація затримок учасників дорожнього руху на регульованих пішохідних переходах / С. В. Грицай, В. Е. Трушевський, Д. А. Никифоровський // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – №5/3. – С. 25–29.

3. Трушевський В. Е. Застосування автоматичних стрілок тролейбусу як детекторів в системах світлофорного авторегулювання / В. Е. Трушевський // Електротехніка та електроенергетика. – 2014. – №1. – С. 29–32.

Статті у фахових виданнях України

4. Трушевський В. Е. Особливості визначення тривалості елементів циклу світлофорного регулювання з розщепленою фазою / С. В. Грицай, В. Е. Трушевський // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2011. – № 1. – С. 10–14.

5. Трушевський В. Е. Особливості введення додаткових стоп-ліній на регульованих перехрестях / В. Е. Трушевський // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2013. – №4. – С. 44–49.

6. Трушевський В. Е. Особливості корекції елементів циклу світлофорного регулювання з метою гарантування безпеки руху пішоходів / В. Е. Трушевський, С. В. Грицай. // Автошляховик України. – 2014. – № 5. – С. 20–22.

7. Трушевський В. Е. Формалізація відпрацювання переходів між режимом жовтого миготіння та основними програми світлофорного регулювання / С. В. Грицай, В. Е. Трушевський // Вісник ЖДТУ. – 2010. – № 2 (53). – С. 36–40.

Праці апробаційного характеру

8. Трушевський В. Е. Особливості розрахунку параметрів світлофорного регулювання за наявності пішохідних напрямків / В. Е. Трушевський // LXIX наук. конф. проф.-викл. складу, асп., студ. та співробітників ун-ту. – К. – НТУ, 2013. – С. 255.

9. Трушевський В. Е. Визначення доцільності введення додаткових стоп-ліній на регульованих перехрестях / Трушевський В. Е. // Тиждень науки-2014. Тези доповідей щорічної наук.-практ. конф. серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених і аспірантів, Том 1. – Запоріжжя. – ЗНТУ, 2014. – С. 30–31.

10. Трушевський В. Е. Оцінки змін та пропозиції щодо вдоскона-

лення нормативних актів України в галузі безпеки дорожнього руху / В. Е. Трушевський // Матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми підвищення рівню безпеки, комфорту та культури дорожнього руху». – Харків. – ФОП Попов, 2013. – С. 72–73.

АНОТАЦІЯ

Трушевський В. Е. Удосконалення світлофорного регулювання при організації руху за окремими напрямками – рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – транспортні системи. Національний транспортний університет. – Київ. – 2015.

Об'єктом дослідження є рух транспортних і пішохідних потоків на регульованих перехрестях. Вдосконалено підхід до визначення структури світлофорного циклу та мінімальних часових проміжків між дозволяючими сигналами конфліктних напрямів на основі розробленої моделі формалізації руху транспортних засобів та пішоходів на регульованому перехресті, що дозволяє більш повно відображати вхідні характеристики і мінімізувати часові проміжки між перепуском конфліктних напрямків, внаслідок чого підвищується безпека руху та зменшується втрачений час у циклі регулювання.

Визначені алгоритми управління світлофорною сигналізацією на перехресті при організації руху за окремими напрямками з врахуванням оптимальних співвідношень між основними тактами і перехідними інтервалами конфліктних напрямів регулювання.

Ключові слова: напрям регулювання, мінімальний часовий проміжок, корекція, додаткові стоп-лінії, додатковий інтервал.

АННОТАЦИЯ

Трушевский В. Е. Совершенствование светофорного регулирования при организации движения по отдельным направлениям – рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.01 – транспортные системы. Национальный транспортный университет. – Киев. – 2015.

Объектом исследования является движение транспортных и пешеходных потоков на регулируемых перекрестках. Усовершенствован подход к определению минимальных временных промежутков между разрешающими светофорными сигналами конфликтных направлений регулирования с помощью разработанной модели формализации движения транспортных средств и пешеходов на регулируемом перекрестке, которая позволяет более полно отражать характеристики потоков и геометрические параметры перекрестка. Усовершенствован способ управления светофорной сигнализацией по отдельным направ-

лениям. Предложен подход к оптимизации структуры цикла регулирования по критерию минимизации временных промежутков между разрешающими сигналами конфликтных направлений за счёт изменения порядка их следования посредством нахождения кратчайшего гамильтонового цикла в графе, отображающем структуру цикла регулирования, что позволяет уменьшить потерянное время.

Предложен порядок расчёта параметров светофорного цикла на перекрёстках с пешеходной фазой на основе уравнивания задержек пешеходов и пассажиров транспортных средств.

Рассмотрено применение подхода к управлению светофорной сигнализацией по отдельным направлениям в разных условиях организации дорожного движения. Для перекрёстков с бульварными и широкими разделительными полосами определены условия введения дополнительных стоп-линий по требованиям безопасности движения, а также способ определения режима регулирования при наличии разнесённых стоп-линий. Для перекрёстков с расщеплённой фазой предложен подход к определению схемы пофазного разъезда и расчёта длительности зелёного дополнительного сигнала. Для перекрёстков с движением городского электротранспорта предложено использование стрелок троллейбуса и трамвая в качестве детекторов для определения направления движения транспортных средств электротранспорта.

Ключевые слова: направление регулирования, минимальный временной промежуток, коррекция, дополнительные стоп-линии, дополнительный интервал.

SUMMARY

Trushevsky V. Improvement of traffic light regulation with separate directions traffic management. – Manuscript.

The thesis for a scientific degree of engineering sciences candidate, speciality – 05.22.01 – transport systems. National Transport University. – Kyiv, 2015.

The object of study is a vehicular and pedestrian traffic flow at controlled intersections. The designed formalization model of vehicular and pedestrian traffic flow at the regulated intersection, allows to represent the input characteristics more fully and minimize the time intervals between bypass of conflict areas, resulting an increased safety and reduced lost time in the regulation cycle.

The control algorithms of traffic lights signaling at the intersection were determined with using of separated directions method in view of the optimal ratio between the main cycles and transition intervals in areas of conflict regulation.

Key words: line regulation, the minimum interval for correction, additional brake lines, additional interval.