

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

**МАЗИЛЮК ПАВЛО ВІКТОРОВИЧ**

УДК 656.13

**РОЗРОБКА МЕТОДУ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРОЇЗДУ  
ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ  
РЕГУЛЬОВАНИХ ДІЛЯНОК ДОРІГ**

Спеціальність 05.22.01 – транспортні системи

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Львів – 2019

Дисертація є рукописом.

Роботу виконано на кафедрі «Автомобілів і транспортних технологій» Луцького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, доцент  
**Сітовський Олег Пилипович,**  
Луцький національний технічний університет,  
доцент кафедри автомобілів  
і транспортних технологій, м. Луцьк.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Шраменко Наталя Юріївна,**  
Харківський національний технічний  
університет сільського господарства імені  
Петра Василенка Міністерства освіти і науки України,  
професор кафедри транспортних технологій, м. Харків;

кандидат технічних наук  
**Могила Ігор Андрійович,**  
начальник відділу розвитку Львівського  
комунального підприємства  
«Львівелектротранс», м. Львів.

Захист дисертації відбудеться «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р. о 11<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.052.20 у Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, за адресою: 79013, Україна, м. Львів, вул. Професорська, 1, корп. XIV, ауд. 61.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, за адресою: 79013, Україна, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розіслано «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Ковалишин В. В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Світлофорне регулювання дорожнього руху передбачає зупинку транспортних засобів (ТЗ) для надання переваги у русі іншим учасникам дорожнього руху. Такі зупинки призводять до збільшення тривалості проїзду регульованих ділянок доріг та зменшення середньої технічної швидкості ТЗ, а розгони після зупинок призводять до збільшення витрати палива та погіршення екологічної ситуації.

Встановлено, що абсолютна більшість водіїв проїжджають регульовані ділянки дороги нераціонально. Вважається, що раціонально проїжджати ці ділянки дороги безупинно, що забезпечить зменшення витрати палива, зменшення тривалості проїзду регульованої ділянки дороги, зменшення викидів шкідливих речовин (ШР), підвищення середньої технічної швидкості руху та безпеки дорожнього руху. У зв'язку з цим, актуальним є розроблення методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана в межах реалізації Транспортної стратегії України на період до 2020 року, що схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 року № 2174-р. та в межах реалізації Транспортної стратегії України на період до 2030 року, що схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 року № 430-р.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є розробка методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг для підвищення ефективності руху транспортних засобів через світлофорні об'єкти.

Для досягнення сформульованої мети розв'язуються такі завдання:

- проведення аналізу сучасних досліджень і розробок щодо покращення параметрів руху ТЗ на регульованих ділянках доріг;
- дослідження дій водіїв під час проїзду регульованих ділянок доріг;
- розроблення моделі та здійснення моделювання режимів руху ТЗ під час проїзду регульованих ділянок доріг;
- розроблення комплексу приладів та програмного забезпечення для підвищення ефективності раціонального проїзду регульованих ділянок доріг та проведення досліджень;
- проведення досліджень зміни кінцевої швидкості ТЗ, витрат палива та часу під час різних варіантів проїзду регульованих ділянок доріг;
- розроблення рекомендацій для практичного застосування методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг.

**Об'єкт дослідження** – процес проїзду транспортними засобами регульованих ділянок доріг.

**Предмет дослідження** – вплив методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг на ефективність руху транспортних засобів через світлофорні об'єкти.

**Методи дослідження.** Під час виконання дисертаційного дослідження були застосовані методи: системного аналізу для дослідження руху ТЗ і дій водіїв під час проїзду регульованих ділянок доріг; математичного моделювання проїзду ТЗ світлофорних об'єктів із використанням програмних продуктів Microsoft Excel і MATLAB для визначення максимальної кінцевої швидкості ТЗ, сумарної витрати палива і тривалості проїзду регульованої ділянки дороги; теорії ймовірностей щодо включення дозвільного сигналу світлофора під час обґрунтування раціонального проїзду регульованих ділянок доріг; комп'ютерного програмування для створення системи відображення рекомендованого режиму руху і дослідно-вимірювального комплексу для імітації руху ТЗ на регульованих ділянках дороги, визначення параметрів руху, опрацювання отриманих результатів експериментальних досліджень проїзду ТЗ світлофорних об'єктів із перевіркою адекватності.

**Наукова новизна одержаних результатів** дисертаційної роботи полягає в такому:

- *вперше* запропоновано математичну формалізацію для функціонування методу раціонального проїзду транспортними засобами регульованих ділянок доріг, що, на відміну від існуючих, дозволяє точніше регулювати режим руху з урахуванням визначеного необхідного сповільнення;
- *вперше* створено математичну модель реалізації методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг, який, на відміну від існуючих, враховує ймовірнісний розподіл тривалості увімкненого заборонного сигналу;
- *вдосконалено* спосіб визначення і відображення інформації щодо раціональності дій водія транспортного засобу, що, на відміну від існуючих, відображає величину і тривалість сповільнення, яке реалізовуватиметься як в ручному, так і в автоматичному режимах;
- *отримали подальший розвиток* теоретичні положення та практичні аспекти безупинного проїзду транспортними засобами регульованих ділянок доріг, що, на відміну від існуючих, дозволяє застосувати його для раціонального режиму руху одиночних транспортних засобів.

**Практичне значення одержаних результатів** становлять:

- запропонований спосіб синергетичної взаємодії одиночних ТЗ і світлофорного об'єкта, який дозволяє через радіоканал передавати дані на ТЗ для забезпечення можливості проведення розрахунків і здійснення відповідних сповільнень на регульованій ділянці дороги;
- створений дослідно-вимірювальний комплекс та відповідне програмне забезпечення, що дозволяє імітувати роботу світлофорного об'єкта, отримувати та опрацювати інформацію про режим роботи світлофора, визначати початкові характеристики руху ТЗ, розв'язувати рівняння щодо алгоритму роботи ТЗ і відображати відповідні рекомендації для водіїв;
- встановлена область застосування методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг, що дає змогу визначити місця, де є можливість

покращання проїзду світлофорних об'єктів одиночними ТЗ.

Результати досліджень прийняті до використання на ДП «Автоскладальний завод № 1» АТ Автомобільна Компанія «Богдан Моторс», ДП «Луцьке бюро подорожей та екскурсій» ПрАТ «Волиньтурист», Комунальне підприємство «Луцьке електротехнічне підприємство – Луцьквітло» та у навчальному процесі на кафедрі автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету.

**Особистий внесок здобувача.** Наукові результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані особисто автором і є його самостійним науковим доробком. У роботах, що опубліковані у співавторстві, особистий внесок автора полягає у такому: [1] – досліджено склад транспортного потоку (ТП) на перехрестях міста Луцька, проведено теоретичні дослідження витрати палива під час руху та розгону ТЗ у міському режимі; [3] – розроблено математичну модель гальмування ТЗ перед світлофором, встановлені математичні залежності часу і шляху зупинки; [4] – визначено оптимальне поєднання різних давачів, що забезпечують адекватне сприйняття дорожньої обстановки; [6] – проведено дослідження реальних умов руху ТЗ у міських умовах; [7] – визначено витрати палива автобуса у міському їздовому циклі та запропонованому їздовому циклі, адаптованому до реальних умов руху у місті Луцьку; [9] – досліджено рух легкових ТЗ згідно із стандартним їздовим циклом та реальним рухом ТЗ у міських умовах, встановлені відхилення руху; [11] – запропоновано використання режиму руху «накатом», обґрунтовано його вибір; [12] – досліджено сучасні системи ТЗ, що дозволяють проїжджати світлофорні об'єкти без зупинок.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати наукових досліджень доповідалися на: Всеукраїнській науково-практичній конференції «Одеса – Коблево» (Коблево, 2015 р.); IV Міжнародній науково-технічній конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей» (Луцьк, 2016 р.); II Всеукраїнській науково-теоретичній конференції Львівської політехніки: «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання» (Львів, 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції ХНАДУ: «Автомобільний транспорт і автомобілебудування» (Харків, 2017 р.); X Міжнародній науково-практичній конференції у ВНТУ «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (Вінниця, 2017 р.); V Міжнародній науково-технічній конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей» (Луцьк, 2018 р.); VI Міжнародній науково-технічній конференції «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій» (Львів, 2018 р.).

**Публікації.** За темою дисертаційної роботи опубліковано 14 наукових праць: 7 статей – у наукових фахових виданнях України, із них 1 стаття у виданні, що входить у наукометричну базу даних Ulrich's Periodicals Directory; 1 стаття у науковому періодичному виданні Республіки Білорусь; 4 тези доповідей – на

наукових конференціях, отримано 1 патент на корисну модель та 1 свідоцтво авторського права на твір.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, список використаних джерел, що налічує 115 найменувань, і 5 додатків. Основна частина роботи викладена на 143 сторінках та містить 83 рисунки та 12 таблиць. Загальний обсяг дисертації – 191 сторінка.

### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, вказано її зв'язок із науковими програмами й темами. Сформульовано мету і задачі дослідження, викладено наукову новизну, наведено інформацію про публікацію основних результатів роботи.

У **першому розділі** проаналізовано існуючі моделі та способи проїзду регульованих ділянок доріг. Розглянуто режими руху ТЗ та їх розрахунки, також проаналізовано рекомендації дослідників, автошкіл та автомобільних виробників щодо раціонального руху ТЗ. Виявлено, що існуючі наукові дослідження не охоплюють аспекти раціонального проїзду регульованих ділянок доріг одиночними ТЗ. Досліджено відмінність між стандартним їздовим циклом правил ЄЕК ООН № 84 та реальними умовами руху ТЗ на вулично-дорожній мережі (ВДМ), яка показала, що збільшується тривалість руху зі сповільненням, прискоренням та зменшується тривалість руху з постійною швидкістю. На основі виконаного аналізу встановлена потреба організації руху ТЗ на регульованих ділянках доріг без зупинок та з мінімальною зміною швидкісного режиму руху, як для транспортного потоку, так і одиночних ТЗ.

У **другому розділі** проведено розрахунок сил, які діють на ТЗ під час руху. Оскільки рух ТЗ відбувається за рахунок накопиченої кінетичної енергії то було визначено витрату палива  $Q_n$ , враховуючи роботу розгону ТЗ після проїзду стоп-лінії світлофорного об'єкту:

$$Q_n = \frac{m}{2 \cdot H_n \cdot \rho \cdot \eta_e} \cdot (V_n^2 - V_k^2), \quad (1)$$

де  $m$  – маса ТЗ, кг;

$H_n$  – нижча теплотворна здатність палива, кДж/кг;

$\rho$  – густина палива, кг/м<sup>3</sup>;

$\eta_e$  – ККД перетворення енергії палива в механічну роботу;

$V_n$  – початкова швидкість ТЗ під час під'їзду до регульованої ділянки дороги, м/с;

$V_k$  – швидкість ТЗ на стоп-лінії світлофорного об'єкта, м/с.

Звідси видно, що водій може зменшити витрату палива збільшивши кінцеву швидкість  $V_k$  під час проїзду стоп-лінії світлофора забезпечуючи при цьому максимальне збереження кінетичної енергії. Оскільки цей показник залежить від квадрата швидкості, є потреба дослідити вплив інших параметрів руху ТЗ на величину  $V_k$ .

Під час спостережень за діями водіїв на регульованих ділянках дороги встановлено, що абсолютна більшість із них, під'їжджаючи до світлофора, коли на ньому горить червоний сигнал, виконують такі дії:

- вимикають передачу, переводячи ТЗ у рух накатом;
- безпосередньо перед стоп-лінією з урахуванням власного досвіду, стилю керування ТЗ застосовують режим службового гальмування для зменшення швидкості до зупинки ТЗ.

Експериментальним шляхом було визначено залежність зміни швидкості руху ТЗ за різних варіантів під'їзду до стоп-лінії світлофора.

Таким чином, під час руху з початковою швидкістю  $V_n$  зупинка перед світлофором відбувається у два етапи (рис.1, а).

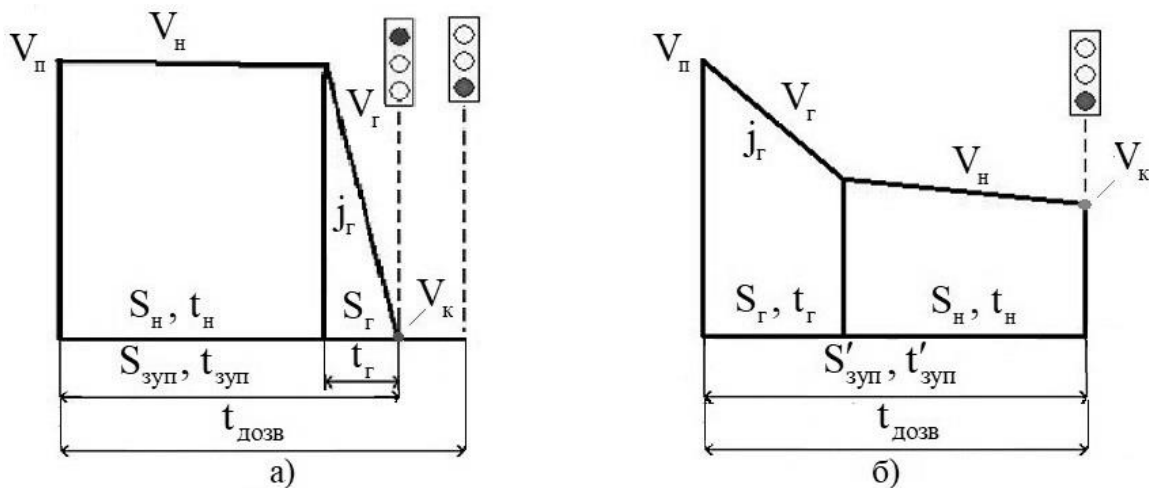


Рисунок 1 – Режими руху ТЗ під час під'їзду до стоп-лінії світлофора:  
а) із зупинкою; б) з використанням методу раціонального проїзду

На першому етапі ТЗ рухається накатом зі швидкістю  $V_n$  протягом часу  $t_n$ , та за цей час ТЗ проїжджає шлях  $S_n$ . Другий етап супроводжується службовим гальмуванням зі сповільненням  $j_2$  на шляху  $S_2$ , безпосередньо перед світлофорним об'єктом, протягом часу  $t_2$  до зупинки ТЗ перед стоп-лінією. Виходячи з цього можна записати, що:  $S_{зуп} = S_n + S_2$ ,  $t_{зуп} = t_n + t_2$ .

Коли відомі час, через який буде ввімкнутий сигнал на дозвіл руху ТЗ ( $t_{дозв}$ ) та відстань до самого світлофору  $S$ , можна проаналізувати дорожню ситуацію та встановити таке. Якщо  $t_{зуп} < t_{дозв}$ , то водій гальмує і вимушений зупинитись перед світлофором, що показує заборонний сигнал. Якщо  $t_{зуп} > t_{дозв}$

та  $S_{зуп} < S$ , то водій транспортного засобу може проїхати світлофор на зелений сигнал без зупинки.

За допомогою моделювання в середовищі MATLAB було встановлено залежність максимальної кінцевої швидкості  $V_{к\max}$  від часу до включення дозвільного сигналу світлофора  $t_{дозв}$  та початкової швидкості  $V_n$  під час проїзду ТЗ світлофорного об'єкта, що показує заборонний сигнал (рис. 2, а).

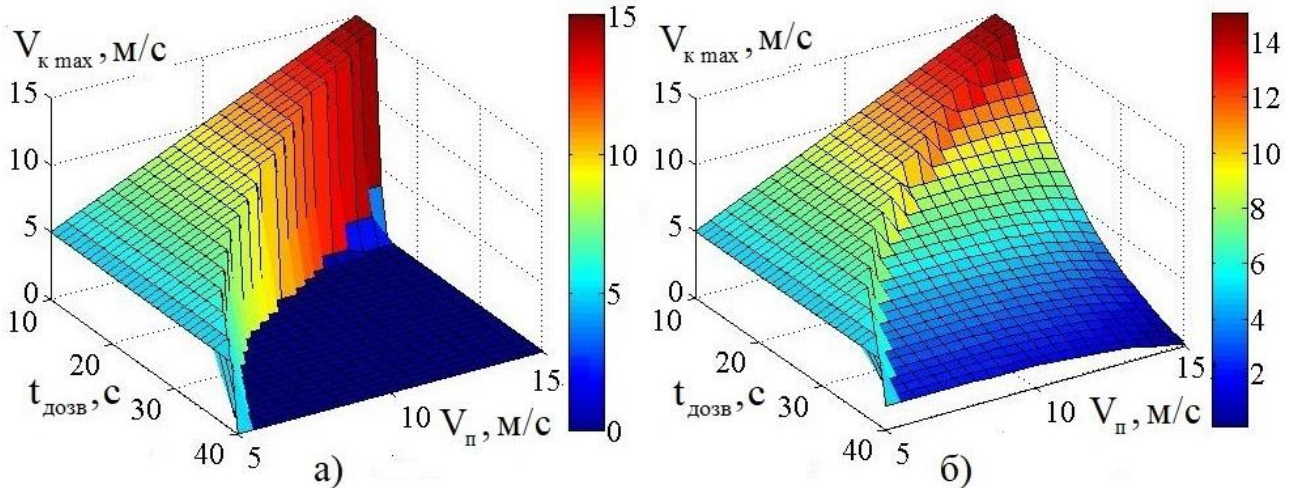


Рисунок 2 – 3D-модель впливу  $t_{дозв}$  та  $V_n$  на  $V_{к\max}$  під час проїзду світлофорного об'єкту: а) звичайний проїзд; б) з використанням методу раціонального проїзду

3D-моделі свідчать, що водії в 53,7 % (синя зона) зупиняються на червоний сигнал світлофора і розганяються з нульової швидкості, а лише у 46,3 % випадків ТЗ проїжджають світлофор на зелений сигнал без зупинки (перехід від світло синього кольору до оранжевого, рис. 2, а).

Для підвищення ефективності проїзду світлофорних об'єктів, покращення експлуатаційних параметрів руху ТЗ, паливної економічності, підвищення екологічної безпеки, був запропонований метод раціонального проїзду регульованих ділянок доріг, схему якого зображено на рисунку 1, б.

Запропонований метод складається з двох етапів. Перший етап полягає в тому, що наближаючись до світлофорного об'єкта, який показує заборонний сигнал, водій протягом розрахованого часу  $t_2$  виконує службове гальмування із розрахованим сповільненням  $j_2$  на шляху  $S_2$ . Другий етап починається, коли водій після службового гальмування переводить ТЗ у режим руху накатом та проїжджає світлофорний об'єкт із максимально дозволеною кінцевою швидкістю  $V_{к\max}$  у момент, коли буде горіти уже зелений сигнал світлофора. При цьому, втрата кінетичної енергії буде мінімальною.

На основі викладеного було розроблено модель, що описує рух ТЗ на регульованій ділянці дороги, для математичного моделювання раціонального проїзду світлофорних об'єктів:



$$\begin{cases} S_{zyn} = S_z + S_n \\ t_{zyn} = t_z + t_n \\ V_n = V_n + j_z \cdot t_z \\ V_n - j_n \cdot t_n - V_k = 0 \\ S_z = V_n \cdot t_z - \frac{j_z \cdot t_z^2}{2} \\ S_n = V_n \cdot t_n - \frac{j_n \cdot t_n^2}{2} \end{cases} \quad (2)$$

У результаті використання моделі (2) визначено тривалість службового гальмування, що задовольняє умову:  $t_z < t_{zyn}$ .

$$t_z = t_{zyn} - \sqrt{t_{zyn}^2 - \frac{2(V_n \cdot t_{zyn} - \frac{j_n \cdot t_{zyn}^2}{2} - S_{zyn})}{j_z - j_n}}. \quad (3)$$

З урахуванням, що  $j_z - j_n > 0$  та  $V_n \cdot t_{zyn} - \frac{j_n \cdot t_{zyn}^2}{2} - S_{zyn} \geq 0$ , отримано зв'язок між  $t_{zyn}$  і  $S_{zyn}$  та  $V_n$  і  $j_n$ , за якими можна починати застосовувати запропонований метод раціонального проїзду світлофорних об'єктів.

На основі моделі (2) виведено умову застосування методу раціонального проїзду:

$$(V_n - \frac{j_n \cdot t_{zyn}}{2}) \cdot t_{zyn} \geq S_{zyn}. \quad (4)$$

Ураховуючи фізичну умову дійсності часу гальмування  $t_z$ , отримано значення швидкості, що буде мати ТЗ, проїжджаючи стоп-лінію:

$$V_k = V_n - j_z \cdot t_{zyn} + (j_z - j_n) \cdot \sqrt{t_{zyn}^2 - \frac{2a}{j_z - j_n}}. \quad (5)$$

$$\text{де } a = V_n \cdot t_{zyn} - \frac{j_n \cdot t_{zyn}^2}{2}.$$

Встановлено, що найкращими показники руху ТЗ будуть під час прямування  $V_k$  до максимально дозволеної швидкості  $V_{k \max}$ . Для того, щоб

визначити максимальне значення  $V_{\kappa \max}$ , було знайдено часткові похідні за  $j_2$  і прирівняно їх до 0:

$$\frac{\partial V_{\kappa}}{\partial j_2} = 0 \Rightarrow t_{\text{зуп}} \cdot \sqrt{t_{\text{зуп}}^2 - 2ax} = t_{\text{зуп}}^2 - ax, \quad (6)$$

$$\text{де } x = \frac{1}{j_2 - j_n}.$$

Оскільки  $a > 0$ , тривіальний розв'язок (6) буде  $x=0$ . Однак із фізичної суті  $x = \frac{1}{j_2 - j_n} > 0$ , елемент  $x$  складової рівняння асимптотично прямує до 0, лише коли  $j_2 \rightarrow \infty$ . Тому  $V_{\kappa}$  набуватиме локального екстремуму на кінцях проміжку, в якому лежить  $j_2$ . Тобто, для визначення  $j_2$  необхідно керуватися умовою  $j_2 \geq \frac{2V_n}{t_{\text{зуп}}} - \frac{2S_{\text{зуп}}}{t_{\text{зуп}}^2}$  та умовами дотримання комфорту пасажирів у ТЗ.

Звідси в середовищі MATLAB було змодельовано запропонований раціональний проїзд ТЗ світлофорних об'єктів (див. рис. 2, б).

Порівнюючи моделювання проїздів ТЗ світлофорних об'єктів (див. рис. 2) необхідно виділити суттєве збільшення максимально кінцевої швидкості  $V_{\kappa \max}$ . Синя зона в раціональному русі стала перехідною і не доходила до нульової швидкісної позначки, що повністю задовольняє використання запропонованого методу раціонального проїзду світлофорних об'єктів. Тому відсоток проїзду ТЗ світлофорних об'єктів без зупинки підвищується до 100 % залежно від початкових умов.

Для визначення можливості застосування запропонованого методу і основних параметрів руху транспортного засобу під час раціонального проїзду світлофорного об'єкта була розроблена програма в середовищі Microsoft Excel. З використанням її встановлена взаємозалежність параметрів руху ТЗ під час раціонального проїзду світлофорних об'єктів (рис. 3).

У програмі вхідними параметрами є: початкова швидкість  $V_n$ , кінцева швидкість  $V_{\kappa}$ , сповільнення під час службового гальмування  $j_2$ , сповільнення під час накату  $j_n$ , час до ввімкнення дозвільного сигналу світлофорного об'єкта  $t_{\text{дозв}}$ , шлях до світлофорного об'єкта  $S$ .

Беручи до уваги цю залежність швидкості та шляху від часу, можна побачити, що спочатку ТЗ рухається з початковою швидкістю  $V_n$  (т. 1) і виконує службове гальмування (лінія а), потім у точці 2 переходить у рух накатом із швидкістю  $V_n$  (лінія б). Шлях гальмування  $S_2$  (лінія в) починається з точки 4 і в точці 5 переходить у шлях руху накатом  $S_n$  (лінія г). Коли лінія

шляху гальмування найближче підходить до лінії шляху нахату (т. 5), тоді кінцева швидкість  $V_k$  (т. 3) ТЗ, буде найбільшою і світлофорний об'єкт можна проїхати без зупинки.

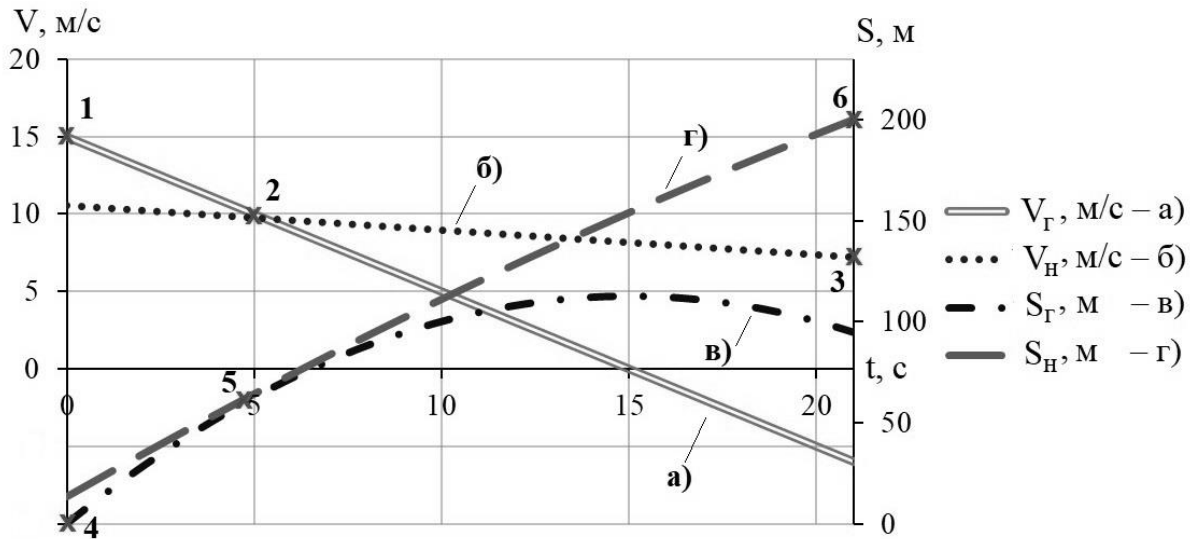


Рисунок 3 – Взаємозалежність параметрів руху ТЗ під час раціонального проїзду світлофорних об'єктів

У точці 3 показано оптимізовану кінцеву швидкість проїзду світлофорного об'єкта. У точці 6 показано відстань  $S$  до світлофорного об'єкта. Застереження, якщо лінія  $g$  і лінія  $v$  перетнуться, то ТЗ приїде до світлофорного об'єкта раніше ніж ввімкнеться дозвільний зелений сигнал.

Алгоритм раціонального проїзду регульованих ділянок доріг показаний на рисунку 4.

Під час під'їзду до світлофорного об'єкта наперед не відомо, коли точно ввімкнеться дозвільний сигнал, адже він не є синхронізованим із графіком руху ТЗ. Тому вводиться ймовірнісна модель використання запропонованого методу. Ймовірності ввімкнення дозвільного сигналу розраховується з використанням функції Лапласа  $\Phi(x)$  за формулою:

$$P = \Phi\left(\frac{t_2 - t_c}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{t_1 - t_c}{\sigma}\right), \quad (7)$$

де  $t_1$  – час ввімкнення дозвільного сигналу світлофора раніше доїзду до нього ТЗ, що розраховується на основі запропонованої моделі (2) із залежності:

$t_1 = \frac{V_n}{j_n} - \sqrt{\left(\frac{V_n}{j_n}\right)^2 - \frac{2S_{зуп}}{j_n}}$ ;  $t_2$  – час очікування дозвільного сигналу є надто великим для безупинного проїзду світлофора і визначається з умови (4) при  $j_z = j_{z\max}$ ;

$t_c = \frac{t_{\min} + t_{\max}}{2} = \frac{T_R}{2}$  – середній час очікування ввімкнення дозвільного сигналу

світлофора, де  $t_{\min} = 0$  – час очікування включення дозвільного сигналу світлофора нульовий,  $T_R$  – час горіння червоного сигналу світлофора,  $t_{\max} = T_R$  – час очікування дозвільного сигналу є максимальним.

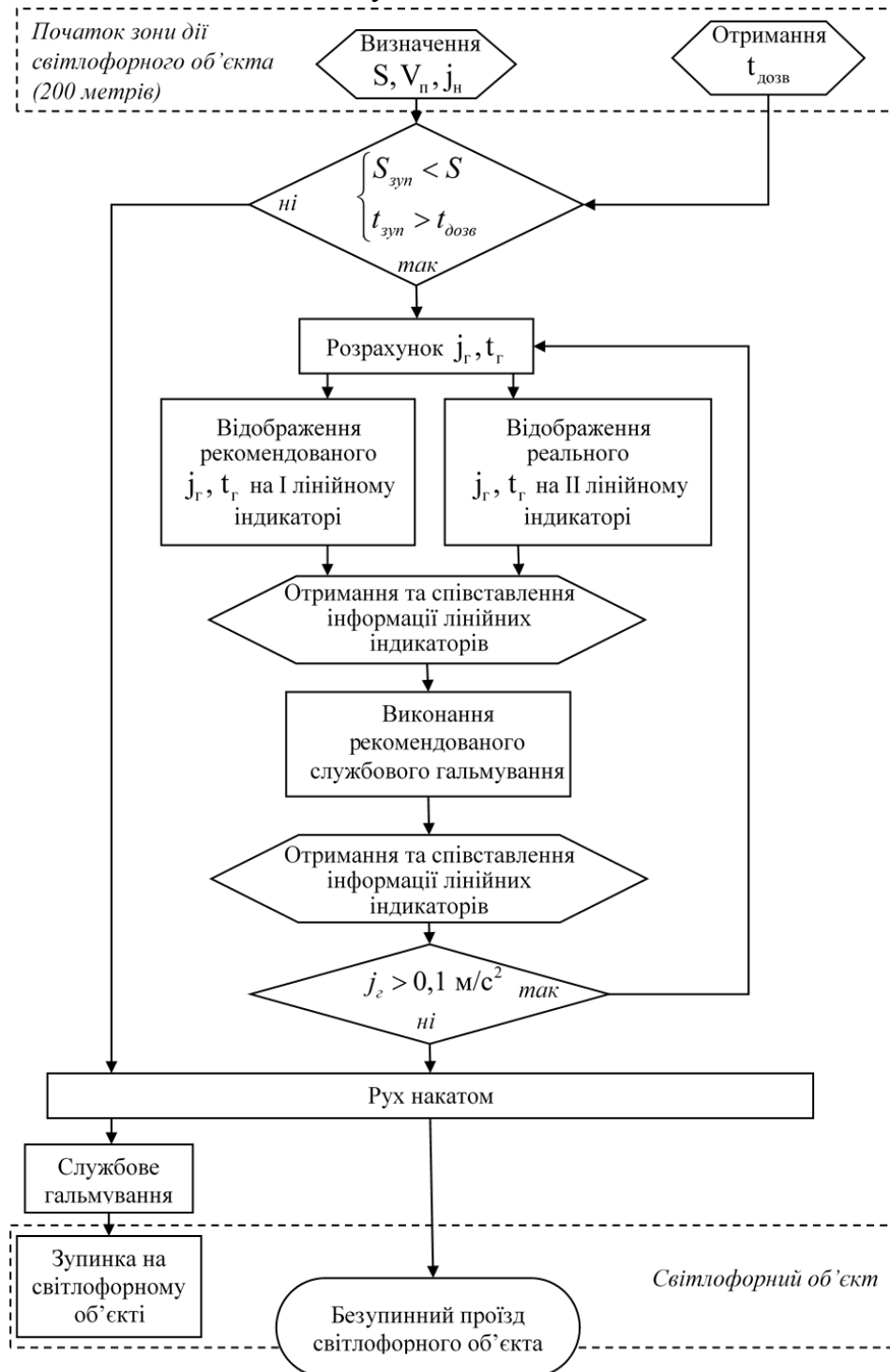


Рисунок 4 – Алгоритм раціонального проїзду регульованих ділянок доріг

За умов початкової швидкості  $V_n = 15$  м/с і відстані до світлофора  $S_{cv} = 200$  м розподіл ймовірностей застосування методу раціонального проїзду залежно від часу до ввімкнення дозвільного сигналу світлофора показаний на рисунку 5.

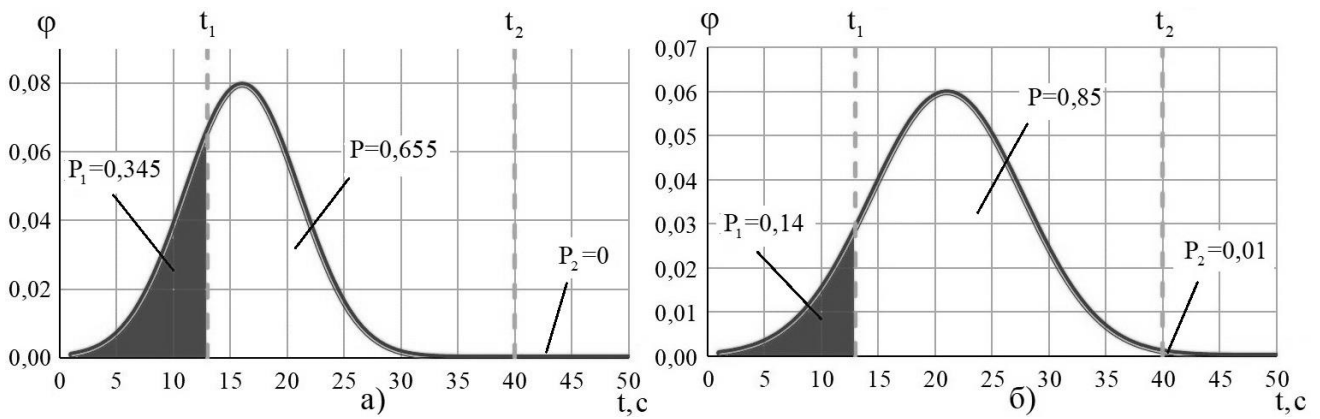


Рисунок 5 – Залежність ймовірності використання запропонованого методу при:  
а)  $t_{дозв} = 30$  с; б)  $t_{дозв} = 40$  с

Встановлено, що за часу  $t_{дозв} = 30$  с ймовірність використання раціонального методу проїзду – 66 %, при зростанні часу до  $t_{дозв} = 40$  с ймовірність використання – 85 %.

У **третьому розділі** описано систему відображення раціонального режиму руху ТЗ (рис. 6), програмне забезпечення для її функціонування, дослідно-вимірювальний комплекс, що створені для проведення експериментальних досліджень.

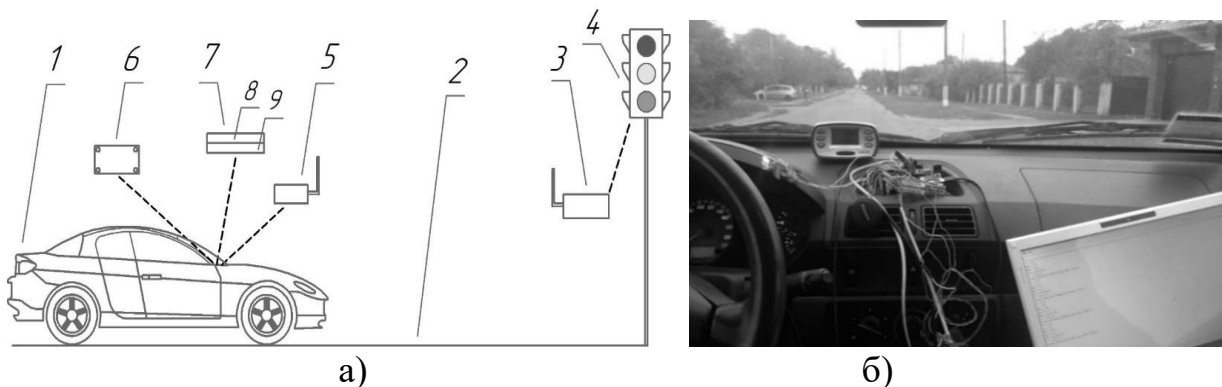


Рисунок 6 – Система відображення раціонального режиму руху:  
а) схема; б) компонування елементів на ТЗ

Система працює таким чином (рис. 6, а). Коли транспортний засіб 1 в'їжджає в зону дії приймального пристрою 5, передавальний пристрій 3 передає на нього інформацію про режим роботи світлофора 4. Приймальний пристрій 5 передає отриману інформацію на контролер 6, що також приймає дані з датчиків транспортного засобу, після чого отримана інформація використовується для розрахунку раціонального сповільнення або прискорення транспортного засобу з наступним відображенням її на шкалі 8 індикатора 7. У цей же час шкала 9 відображає реальне сповільнення або прискорення руху транспортного засобу.

Водій, сповільнюючись або прискорюючись відповідно до показників шкали 8, повинен максимально наблизити реальне сповільнення або

прискорення показників шкали 9 до раціонального. Чим більше ці показники будуть співпадати, тим більша ймовірність проїзду регульованої ділянки дороги без зупинки із максимальною швидкістю.

Розроблена система з вимірювальним обладнанням була встановлена і перевірена на дослідному ТЗ (див. рис. 6, б).

За результатами опрацювання експериментальних даних побудовано графічні залежності показників шляху, часу, миттєвої витрати палива та швидкості ТЗ (рис. 7).

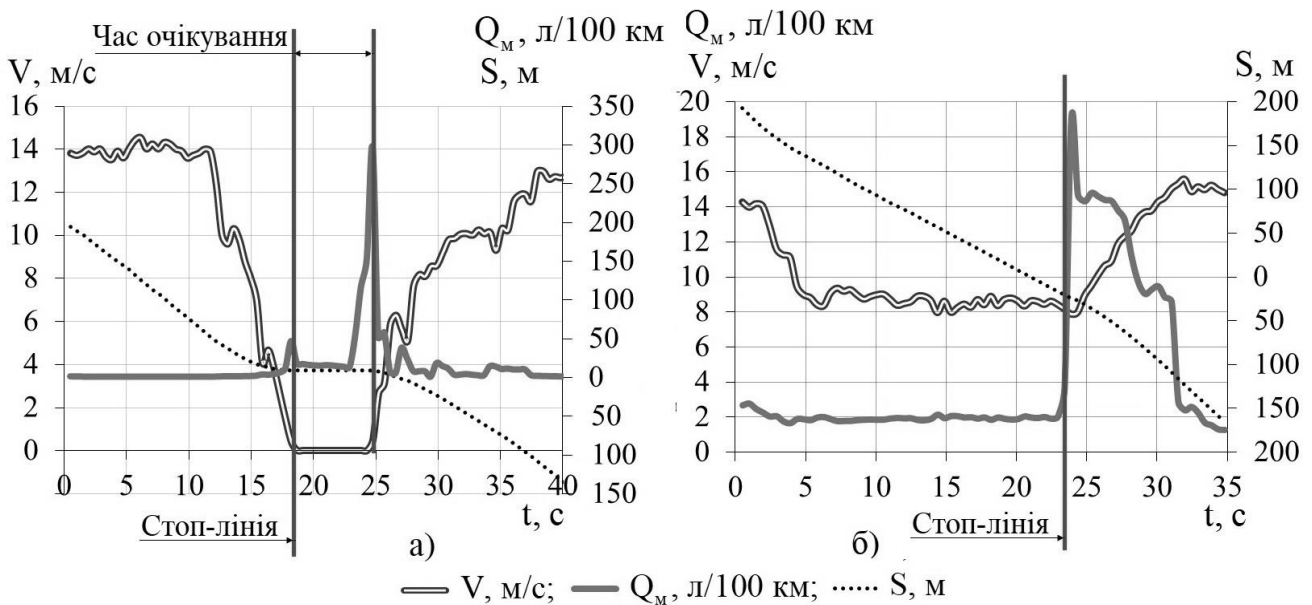


Рисунок 7 – Характеристика проїзду ТЗ світлофорного об'єкта:  
а) без використання методу; б) з використанням методу

Розглядаючи режими руху ТЗ під час проїзду світлофорного об'єкта без використання методу (рис. 7, а) було відмічено, що ТЗ гальмує зі швидкості 14 м/с, зупиняється перед стоп-лінією, стоїть чекаючи дозвільний сигнал світлофора, а потім розпочинає рух. При цьому миттєва витрата палива  $Q_m$  досягає відмітки 300 л/100 км. Що є надзвичайно великою, як для легкового автомобіля малого класу.

Під час використання методу раціонального проїзду (рис. 7, б) ТЗ під'їжджає до світлофорного об'єкта, коли в нього уже ввімкнутий дозвільний сигнал із кінцевою швидкістю  $V_k = 9$  м/с. Подальший рух ТЗ відбувається з увімкнутою третьою передачею і при цьому миттєва витрата палива  $Q_m$  не перевищує 20 л/100 км.

Показник сповільнення під час службового гальмування вибраний таким, як максимально комфортний,  $j_2 = 0,7$  м/с<sup>2</sup>, і в той же час забезпечує максимальну швидкість  $V_{k \max}$  в усьому діапазоні значень.

Визначено залежність швидкості  $V$  транспортного засобу і сумарної витрати палива  $Q_\Sigma$  від шляху  $S$  після рушання зі стоп-лінії світлофора (рис. 8).

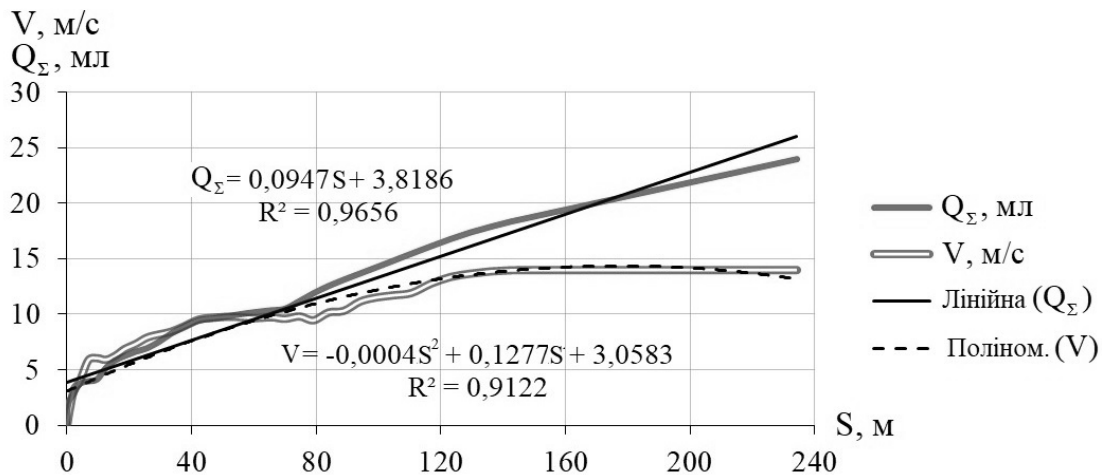


Рисунок 8 – Залежність швидкості ТЗ і сумарної витрати палива від шляху

Дані експериментальних досліджень були використані для моделювання сумарної витрати палива  $Q_{\Sigma}$  (рис. 9) під час розгону ТЗ після старту з місця та під час раціонального проїзду світлофорного об'єкта. Для порівняння двох методів проїзду було встановлено відмітку 100 м після світлофора і визначалася сумарна витрати палива  $Q_{\Sigma}$  від стоп-лінії світлофора до цієї відмітки 100 м.

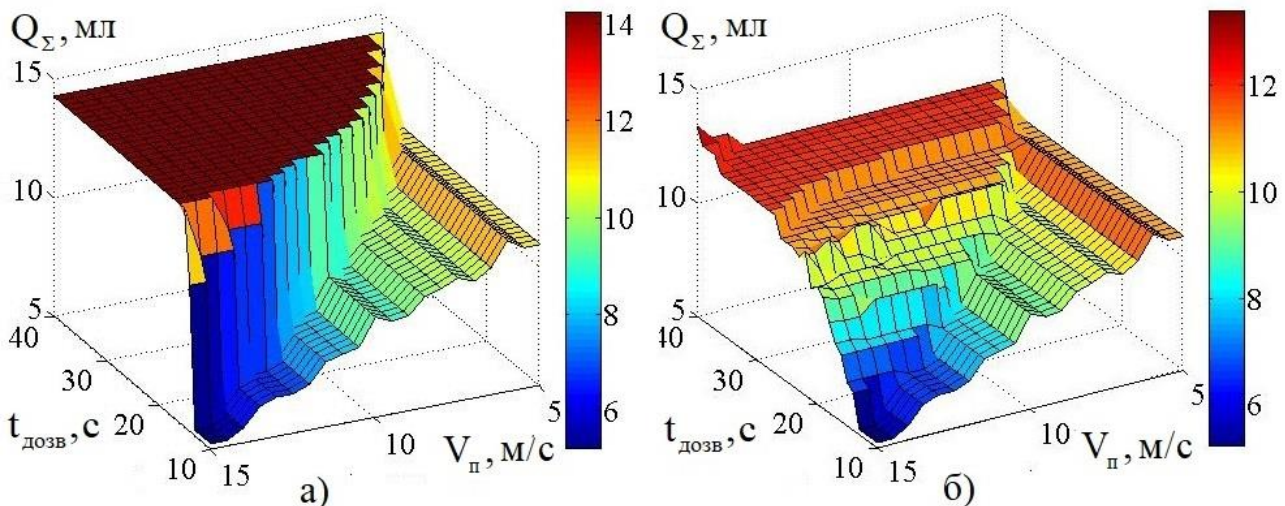


Рисунок 9 – 3D-модель впливу  $t_{\text{дозв}}$  та  $V_n$  на  $Q_{\Sigma}$  під час проїзду світлофорного об'єкта: а) звичайний проїзд; б) з використанням запропонованого методу

Під час проїзду ТЗ світлофорного об'єкта без використання запропонованого методу (рис. 9, а), значення сумарної витрати палива  $Q_{\Sigma}$  досягає максимальних значень у більшості випадків. Натомість, за таких же самих вхідних умов із застосування методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг відмічається значне зменшення сумарної витрати палива (рис. 9, б). У цьому варіанті ТЗ проїжджає світлофорний об'єкт у всіх випадках із мінімальною сумарною витратою палива із максимальним збереженням комфорту для пасажирів.

Графічні залежності (рис. 10) свідчать, що запропонований метод дозволяє водіям долати регульовані ділянки дороги з мінімальною витратою

часу. Для порівняння методів проїзду також було встановлено відмітку 100 м після світлофора.

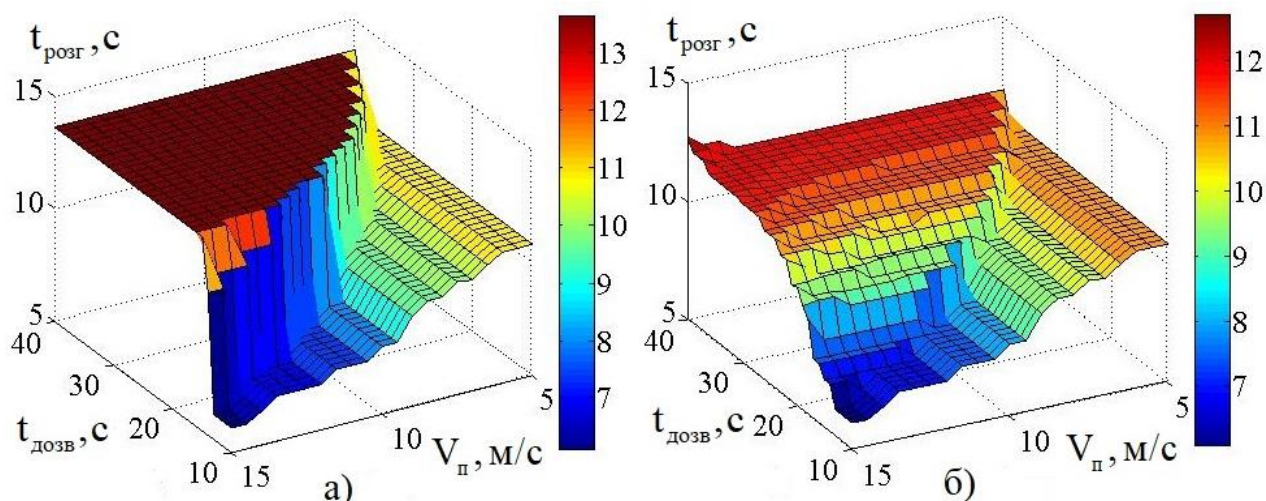


Рисунок 10 – 3D-модель впливу  $t_{дозв}$  та  $V_n$  на  $t_{розг}$  під час проїзду світлофорного об'єкта: а) звичайний проїзд; б) із використанням запропонованого методу

Для перевірки однорідності дисперсій, отриманих експериментальних значень було використано критерій Кохрена. Оскільки  $G = 0,45 < G_{табл.} = 0,967$ , то дисперсії однорідні.

Адекватність математичної моделі (2) перевірялась за F-критерієм Фішера. Оскільки  $F = 0,044 < F_{табл.} = 4,30$ , то математична модель є адекватною.

У **четвертому розділі** викладено матеріали додаткових досліджень і рекомендацій щодо практичного застосування методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг.

Для перевірки можливості проїзду ТЗ світлофорних об'єктів були проведені спостереження за їх рухом на типовому міському маршруті із 16 світлофорами. Зі спостережень за діями водіїв маршрутних ТЗ та легкових ТЗ побудовано гістограми оцінок можливості проїзду світлофорних об'єктів (рис. 11).

За результатами розрахунків встановлено, що ефективність дій водіїв під час проїзду світлофорних об'єктів маршрутними транспортними засобами становить 21...76 %.

На основі спостережень за рухом легкових ТЗ на двох світлофорах заданого маршруту побудовано гістограму можливості проїзду та оцінки дій водіїв (рис. 11, б).

Встановлено, що абсолютна більшість водіїв проїжджають світлофорні об'єкти нерационально. Проїзд світлофорів без зупинки здійснюють лише 32...38 % водіїв із урахуванням реальної можливості.

Для вдосконалення методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг потрібно врахувати наявність інших ТЗ перед світлофором.



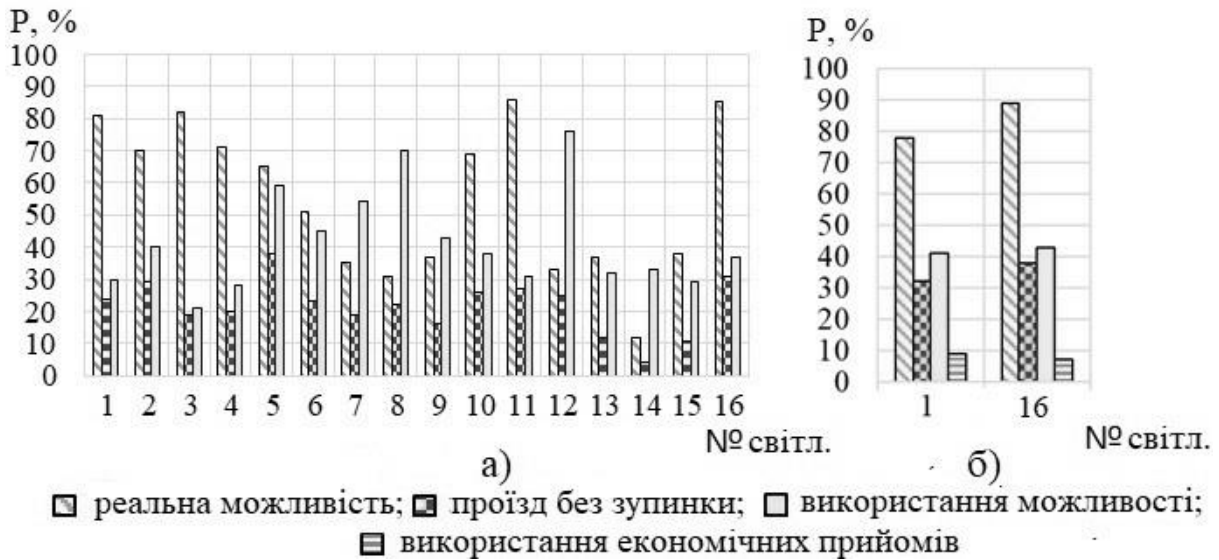


Рисунок 11 – Результати досліджень і оцінка дій водіїв під час проїзду світлофорних об’єктів: а) маршрутні ТЗ; б) легкові ТЗ

У результаті досліджень і опрацювання отриманої інформації було встановлено процентний розподіл часу рушання та проїзду стоп-лінії світлофора під час старту ТЗ з першої, другої та третьої позиції. Дані дослідження були проведені для різних типів ТЗ (легкові, вантажні, автопоїзди, автобуси). Результати досліджень представлено у вигляді графічних залежностей на рисунку 12.

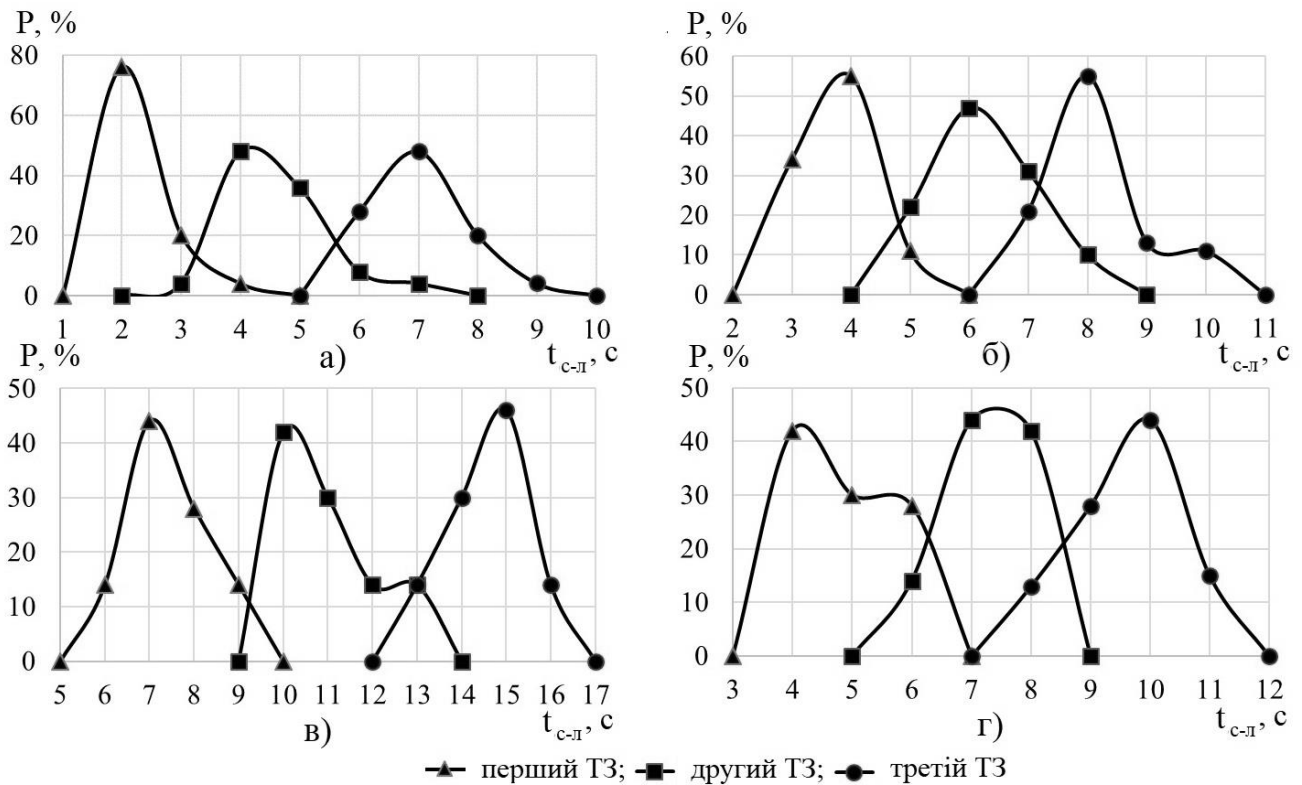


Рисунок 12 – Залежність процентного розподілу транспортних засобів від часу проїзду стоп-лінії світлофора:  
 а) легкові; б) вантажні; в) автопоїзди; г) автобуси

Метод раціонального проїзду регульованих ділянок доріг рекомендовано використовувати коли на стоп-лінії очікують включення дозвільного сигналу світлофора 1-2 легкових ТЗ, один автобус або один вантажний ТЗ. Коли ж ТЗ стоїть більше чи стоїть автопоїзд, тоді вірогідність використання методу суттєво зменшується.

Використання розробленого методу підвищує безпеку дорожнього руху за рахунок завчасного зменшення швидкості руху під час під'їзду до світлофорного об'єкта. З урахуванням розвитку систем автоматичного екстреного гальмування, метод раціонального проїзду світлофорних об'єктів можливий із точки зору безпеки дорожнього руху майже у всіх випадках.

## ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено науково-практичне завдання розробки методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг для підвищення ефективності руху транспортних засобів через світлофорні об'єкти.

Отримані наступні наукові та практичні результати.

1. За результатами проведеного аналізу сучасних досліджень і розробок встановлено, що дана тематика є актуальною, але має низку невирішених питань, що стосуються організації проїзду одиночними ТЗ світлофорних об'єктів, створення додаткових систем допомоги водію ТЗ (ADAS) і алгоритмів їх роботи та уникнення конфліктних ситуацій пов'язаних з безпілотними ТЗ, проїзду регульованих ділянок доріг без зупинки.

2. Встановлено відмінність між стандартним їздовим циклом правил ЄЕК ООН № 84 та реальними умовами руху ТЗ на ВДМ: збільшується тривалість руху зі сповільненням до 77 %, з прискоренням до 73 %, та зменшується тривалість руху з постійною швидкістю до 50 %, зупинок до 45 %. Тому для зменшення часу руху в режимі сповільнення та прискорення доцільно виконувати раціональний проїзд регульованих ділянок доріг із мінімальною зміною швидкості руху ТЗ.

3. Розроблені математичні моделі проїзду ТЗ світлофорного об'єкта, за якими встановлено, що у 53,7-55 % за заданих умов ТЗ зупиняється перед світлофором на червоний сигнал, не зважаючи на можливість безупинного проїзду світлофорного об'єкта за рахунок зменшення швидкості.

4. На основі розроблених нелінійних математичних моделей проїзду ТЗ світлофорних об'єктів та за допомогою середовища MATLAB побудовано 3D-моделі впливу показників початкової швидкості ТЗ та часу до включення дозвільного сигналу світлофора на кінцеву швидкість ТЗ. При цьому використано ймовірнісні закони, що показали: ймовірність використання методу за тривалості червоного сигналу 30 с – 66 %; за тривалості 40 с – 85 %.

5. Створений дослідно-вимірний комплекс та відповідне програмне забезпечення, що дозволяє імітувати роботу світлофорного об'єкта, отримувати та обробляти інформацію про режим його роботи, визначати початкові

характеристики руху ТЗ, розв'язувати рівняння щодо алгоритму роботи ТЗ і відобразити відповідні рекомендації для водіїв в режимі реального часу.

6. Встановлено, що підвищується ефективність проїзду ТЗ світлофорних об'єктів за рахунок: збільшення кількості проїздів з використанням запропонованого методу до 55 %; максимального зменшення сумарної витрати палива під час розгону на шляху 100 м після проїзду світлофорного об'єкта на 16-56 %; максимального зменшення часу проїзду на 18-39 % залежно від початкових умов руху ТЗ.

7. Визначено область застосування методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг: для всіх типів ТЗ; коли на стоп-лінії світлофора стоїть 1-2 легкових ТЗ або 1 вантажний ТЗ чи 1 автобус; на ТЗ із електричним приводом з метою підвищення ефективності використання електричної енергії під час рекуперативного гальмування; під час розробки та удосконалення руху безпілотних ТЗ; створення додаткових систем для ADAS.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Стаття у виданні України, яке включено до міжнародної наукометричної баз даних Ulrich's Periodicals Directory:*

1. Сітовський О. П., Мазилюк П. В. Подолання прогнозованих перешкод транспортними засобами. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. 2015. № 10 (1119). С. 102–106.

*Статті у наукових фахових виданнях України:*

2. Мазилюк П. В. Дослідження руху КТЗ при проїзді стоп-лінії світлофора. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2016. № 3 (7). С. 95–97.

3. Сітовський О. П., Мазилюк П. В. Математичне моделювання процесу гальмування на вимогу сигналів світлофора. *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. 2016. № 55. С. 364–366.

4. Сітовський О. П., Дембіцький В. М., Мазилюк П. В. Застосування засобів стеження в системах автоматичного гальмування сучасних автомобілів. *Вісник ЖДТУ*. 2016. № 2 (77). С. 69–72.

5. Мазилюк П. В. Спостереження за діями водіїв під час руху вуличними мережами м. Луцька. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2017. № 1 (8). С. 80–83.

6. Дембіцький В. М., Мазилюк П. В., Павляшик С. М. Адаптація їздового циклу до реальних умов руху міських автобусів. *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. 2018. № 62. С. 98–101.

7. Сітовський О. П., Дембіцький В. М., Мазилюк П. В., Медведєв І. І. Оцінка паливної економічності міських автобусів у їздовому циклі приведеному до реальних умов руху. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2018. № 1 (10). С. 112–116.

*Стаття у науковому періодичному виданні іншої держави:*

8. Мазилюк П. В. Техническая разработка метода безостановочного проезда светофорных объектов. *Вестник БрГТУ*. 2018. № 4 (112). С. 76–78.

*Опубліковані праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:*

9. Деркач В. Л., Мазилюк П. В. Дослідження режимів руху автомобілів в міських умовах. *Новітні шляхи створення, технічної експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів* : збірник тез доп. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 8–11 вер. 2015 р.). Одеса, 2015. С. 309–312.

10. Мазилюк П. В. Результати досліджень дій водіїв під час руху на маршруті м. Луцька. *Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання* : тези доп. II всеукр. наук.-теор. конф. (м. Львів, 16–18 бер. 2017 р.). Львів, 2017. С. 102–104.

11. Сітовський О. П., Мазилюк П. В., Крищук Я. Л. Обґрунтування використання «накату» для руху КТЗ. *Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців* : тези доп. міжн. наук.-практ. конф. (м. Харків, 19–20 жовт. 2017 р.). Харків, 2017. С. 48–49.

12. Сітовський О. П., Мазилюк П. В. Пристрій для відображення рекомендованого режиму руху КТЗ. *Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні* : тези доп. III всеукр. наук.-практ. конф. (м. Львів, 22-23 лют. 2018 р.). Львів, 2018. С. 100–102.

*Патент на корисну модель:*

13. Система відображення рекомендованого режиму руху транспортного засобу пат. UA 123153 U Україна / О. П. Сітовський, П. В. Мазилюк : G08G1 1/0968, заявл. 20.09.17, опуб. 12.02.18, Бюл. № 3. 2 с.

*Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір:*

14. Комп'ютерна програма «Система відображення рекомендованого режиму руху транспортного засобу» : а. с. 78903 UA Україна / О. П. Сітовський, П. В. Мазилюк, О. А. Великий ; дата реєстрації 08.05.18.

## АНОТАЦІЯ

**Мазилюк П. В. Розробка методу раціонального проїзду транспортними засобами регульованих ділянок доріг. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 транспортні системи. – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Львів, 2019.

Робота присвячена розробленню теоретичних і практичних аспектів раціонального проїзду ТЗ регульованих ділянок доріг із застосуванням методів і засобів автоматизації управління рухом ТЗ.

Запропонована методика раціонального проїзду регульованих ділянок доріг тестувалася на теренах України. Установлено, що абсолютна більшість водіїв проїжджають регульовані ділянки доріг нераціонально, що призводить

до зменшення кінцевої швидкості проїзду світлофорів або зупинки ТЗ, підвищеної витрати палива, часу проїзду регульованих ділянок доріг, збільшення викидів ШР.

Запропонований метод, система його реалізації, дослідно-вимірвальний комплекс, моделі та програмне забезпечення дають змогу в реальному часі опрацювати вхідну інформацію, перевіряти можливість проїзду регульованої ділянки дороги, відображати рекомендоване сповільнення, що дозволяє підвищити ймовірність проїзду ТЗ регульованих ділянок доріг без зупинки.

**Ключові слова:** транспортний засіб, світлофорний об'єкт, регульована ділянка дороги, інтенсивність руху, раціональний проїзд, автоматизація управління, метод проїзду.

## АННОТАЦІЯ

*Мазилук П. В.* **Разработка метода рационального проезда транспортными средствами регулируемых участков дорог. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.01 транспортные системы. – Национальный университет «Львівська політехніка», Министерство образования и науки Украины, Львов, 2019.

Работа посвящена разработке теоретических и практических аспектов рационального проезда транспортными средствами (ТС) регулируемых участков дорог с применением методов и средств автоматизации управления движением ТС.

Предложенная методика рационального проезда регулируемых участков дорог тестировалась на территории Украины, а, в основном, в городе Луцк. Установлено, что абсолютное большинство водителей проезжают регулируемые участки дорог нерационально, что приводит к уменьшению конечной скорости проезда светофоров или остановки ТС, повышенному расходу топлива, времени проезда регулируемых участков дорог, увеличению выбросов вредных веществ.

Предложенный метод, система его реализации, исследовательско-измерительный комплекс, модели и программное обеспечение позволяют в реальном времени обрабатывать входную информацию, проверять возможность проезда регулируемого участка дороги, отображать рекомендуемое замедление, что позволяет повысить вероятность проезда ТС регулируемых участков дорог без остановки.

**Ключевые слова:** транспортное средство, светофорный объект, регулируемый участок дороги, интенсивность движения, рациональный проезд, автоматизация управления, метод проезда.

**ANNOTATION**

*Mazyliuk P. V.* **Development of a method of rational passage of the regulated road sections by the vehicles. – On the rights of Manuscript.**

The thesis for a scientific degree of the Candidate of Technical Sciences by speciality 05.22.01 transport systems. – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2019.

The thesis is devoted to elaborate the theoretical and practical aspects of rational passage of the regulated road sections by the vehicles using the methods and means of automation of the vehicle movement control.

The offered methodology of rational passage of the regulated road sections was tested on the territory of Ukraine, and basically in Lutsk city. It was established that absolute majority of drivers pass the regulated road sections non-rationally, what leads to the reduction of final speed of passing the traffic lights or vehicle stop, the increase of fuel consumption, time of passage of the regulated road sections, growth of pollutant emissions.

There was developed a method of rational passage of the regulated road sections by the vehicles, the probability of its application depends on the initial movement characteristics of a vehicle, traffic lights operation mode, road conditions. As a result, there was elaborated a system of reflection of recommended movement mode and the algorithm of the system operation, also a research and measuring complex and its software, that allows to imitate the operation of traffic lights object, to get and to process information about the operation mode of traffic lights, to determine the initial characteristics of vehicle movement, to solve an equation about the algorithm of vehicle operation and to reflect the appropriate recommendations for drivers. In software Microsoft Excel there was made a model for checking the possibility of passing a regulated road section in given conditions, in software MATLAB-models of reflecting the final passage speed, passage time, deceleration, fuel consumption, that allow to choose the parameters of vehicle movement which are necessary to realize a work of mathematic device with the aim of rational passage of the regulated road sections.

The results of made experimental researches and calculations show that an offered method allows the drivers to overcome the regulated road sections with minimal fuel and time consumption, and maximum final speed.

The offered method, a system of its realisation, a research and measuring complex, the models and software allow, in real time, to process the input data, to check the possibility of passing the regulated road section, to reflect a recommended deceleration that allows to increase a probability of passage of the regulated road sections by the vehicles without stop.

**Key words:** vehicle, traffic lights object, regulated road section, movement intensity, rational passage, automation of control, passage method.