

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

П. В. Мазилюк, О. П. Сітовський

МЕТОД РАЦІОНАЛЬНОГО ПРОЇЗДУ ТРАНСПОРТНИМИ
ЗАСОБАМИ РЕГУЛЮВАНИХ ДІЛЯНОК ДОРІГ

МОНОГРАФІЯ

ЛУЦЬК

2020

УДК 656.13
М13

*Рекомендовано до друку вченою радою МБФ
Луцького національного технічного університету
(протокол № 10 від 12 травня 2020 р.)*

Рецензенти:

Крайник Л. В., д.т.н., професор кафедри автомобілебудування Національного університету «Львівська політехніка», голова правління ВАТ «Український інститут автобусо-тролейбусобудування»;

Шраменко Н. Ю., д.т.н., професор кафедри транспортних технологій і логістики Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка;

Пастернак Я. М., д.ф.-м.н., професор, зав. кафедри прикладної математики та механіки Луцького національного технічного університету.

Мазилюк П. В.

Метод раціонального проїзду транспортними засобами регульованих ділянок доріг : монографія / П. В. Мазилюк, О. П. Сітовський. – Луцьк : ІВВ Луцького НТУ, 2020. – 188 с.

Монографія присвячена вирішенню питання поліпшення режимів руху транспортних засобів за рахунок проїзду світлофорних об'єктів без зупинки. Для дослідження ефективності методу розроблені моделі та здійснене моделювання режимів руху ТЗ під час проїзду регульованих ділянок доріг, проведені дослідження зміни кінцевої швидкості ТЗ, витрат палива та часу під час різних варіантів проїзду регульованих ділянок доріг.

Розраховано на спеціалістів, наукових працівників, аспірантів, студентів, водіїв ТЗ, які займаються вирішенням питань організації та регулювання дорожнього руху або беруть участь у дорожньому русі.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначення.....	6
Вступ.....	8
1 Аналіз стану питання.....	10
1.1 Аналіз режимів руху транспортних засобів в умовах світлофорного регулювання.....	10
1.2 Аналіз моделей режимів руху транспортних засобів	14
1.3 Технічні засоби організації дорожнього руху.....	25
1.3.1 Призначення і класифікація технічних засобів.....	25
1.3.2 Світлофорне регулювання.....	27
1.3.3 Датчики дорожнього руху.....	29
1.4 Гальмування на регульованих ділянках доріг	31
1.5 Постійні маршрути руху транспортних засобів	32
1.6 Рекомендації проїзду регульованих ділянок доріг транспортними засобами	33
1.7 Організація руху та алгоритм проїзду транспортними засобами регульованих ділянок доріг із використанням штучного інтелекту.....	43
2 Математичне моделювання руху транспортних засобів на регульованих ділянках доріг	46
2.1 Розрахунок сил, що діють на транспортний засіб під час руху.....	46
2.2 Математична модель звичайного проїзду регульованих ділянок доріг.....	50

2.3 Математична модель раціонального проїзду регульованих ділянок доріг.....	58
2.4 Ймовірнісна модель переключення сигналів світлофорних об'єктів.....	73
3 Експериментальні дослідження.....	80
3.1 Загальні умови та методика проведення досліджень.....	80
3.2 Дослідно-вимірний комплекс.....	81
3.2.1 Система відображення рекомендованого режиму руху.....	81
3.2.2 Програмне забезпечення для системи відображення рекомендованого режиму руху транспортного засобу	83
3.2.3 Параметри, що реєструються	86
3.2.4 Випробувальне устаткування для проведення експериментальних досліджень	87
3.2.5 Похибки приладів і вимірів під час експерименту...	92
3.2.6 Дослідно-вимірний комплекс транспортного засобу	94
3.3 Експериментальні дослідження проїзду світлофорних об'єктів транспортними засобами	95
3.4 Перевірка адекватності математичної моделі	120
4 Практичне застосування методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг	125
4.1 Спосіб передачі даних від світлофорного об'єкта.....	125
4.2 Спосіб отримання і опрацювання даних на транспортному засобі.....	129

4.3 Перевірка можливості використання раціонального проїзду регульованих ділянок доріг на заданому маршруті.....	133
4.4 Вплив інших транспортних засобів на проїзд світлофорних об'єктів.....	137
4.5 Перевірка отриманих результатів на симуляторі дорожнього руху.....	140
4.6 Область застосування методу раціонального проїзду транспортними засобами регульованих ділянок доріг.....	142
Висновки.....	146
Список використаних джерел.....	148
Додаток А Патенти на винаходи (корисні моделі) та свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір.....	164
Додаток Б Комп'ютерна програма «система відображення рекомендованого режиму руху транспортного засобу» на базі Arduino.....	172

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ТЗ – транспортний засіб;

БТЗ – безпілотний транспортний засіб;

ОДР – організація дорожнього руху;

ДТП – дорожньо-транспортна пригода;

ШР – шкідливі речовини;

ІТ – інформаційні технології;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ЕБУ – електронний блок управління;

ПХХ – примусовий холостий хід;

ПДР – правила дорожнього руху;

ВДМ – вулично-дорожня мережа;

ADAS (Advanced Driver Assistance System) – системи допомоги водію транспортного засобу;

IPM (Intersection Priority Management) – технологія управління пріоритетами на перехрестях;

ABS (Anti-lock braking system) – антиблокувальна система;

ESC (Electronic Stability Control) – електронна система динамічної стабілізації автомобіля;

$K_{\max}$ – кінетична енергія, що набуває транспортний засіб під час руху зі швидкістю V_n після проїзду світлофорного об'єкта, Дж;

K_k – кінетична енергія транспортного засобу на стоп-лінії перед світлофором, Дж;

V_k – швидкість транспортного засобу на стоп-лінії світлофорного

об'єкта, м/с;

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

V_n – швидкість з якою рухається транспортний засіб на регульованій ділянці дороги в режимі накату м/с;

V_2 – швидкість гальмування транспортного засобу на регульованій ділянці дороги, м/с;

S_n – шлях який проходить транспортний засіб під час руху накатом на регульованій ділянці дороги, м;

S_2 – шлях який проходить транспортний засіб під час службового гальмування на регульованій ділянці дороги, м;

$t_{дозв}$ – час до включення дозвільного сигналу світлофора, с;

$S_{зуп}$ – шлях зупинки транспортного засобу перед світлофором із ввімкнутим червоним сигналом на регульованій ділянці дороги, м;

$t_{зуп}$ – час зупинки транспортного засобу перед світлофором із ввімкнутим червоним сигналом на регульованій ділянці дороги, с.

ВСТУП

Внаслідок постійного приросту транспорту, збільшується і кількість зупинок транспортних засобів (ТЗ) на вулично-дорожній мережі (ВДМ). Таке явище негативно впливає безпосередньо на дорожній рух, спричиняє збільшення кількості дорожньо-транспортних пригод (ДТП), заторів, підвищену витрату палива, зменшення комфорту проїзду в транспортних засобах, збільшення викидів ШР, тощо.

Розвиток транспортної інфраструктури міст потребує створення інтегрованих систем управління нового покоління, що дозволяють визначати оптимальні режими руху автомобільного транспорту з урахуванням зміни дорожньої ситуації, ґрунтуючись на оперативному прогнозі та довготривалому спостереженні.

Одним із способів оптимізувати режими руху є проїзд світлофорних об'єктів без зупинки. Для застосування такого методу проїзду необхідно знати інтенсивність руху ТЗ, режим роботи світлофорного об'єкта, пропускну здатність проїзної частини та кількість ТЗ, що знаходяться попереду досліджуваного транспортного засобу. На сьогодні немає достатньої кількості систем, приладів і розробленого обчислювального апарата, що дозволяють оперативно збирати і опрацьовувати необхідну інформацію. Тому водії не можуть повністю користуватися перевагами дорожнього руху. Навіть, коли водій зі стажем намагається проїжджати світлофорні об'єкти без зупинки, то без додаткового комплексу приладів або підказок це відбувається неефективно.

Сучасний розвиток ІТ-технологій та комп'ютерної техніки дозволяє в рази зменшити вартість робіт, приладів і спростити їх практичне застосування.

Є значна кількість досліджень, що стосуються транспортних потоків і так званої «зеленої хвилі». Проте, значна частина ТЗ може рухатися і в протилежному напрямку або поза транспортними потоками, коли інтенсивність руху відносно невелика. Тому для оптимізації руху ТЗ у таких ситуаціях необхідно розробити методи керування транспортними засобами з впровадженням відповідних систем, приладів і алгоритмів для їх руху.

Одним із пріоритетів у цьому питанні може бути забезпечення руху з мінімальною зміною кінетичної енергії ТЗ, що досягається впровадження методу проїзду регульованих ділянок доріг без зупинки.

Викладені у монографії матеріали є результатами багаторічних наукових досліджень, проведених у Луцькому національному технічному університеті.

Автори сподіваються, що монографія стане корисною для розвитку ідеї про організацію руху транспортних засобів без зупинки.

Також монографія може зацікавити науковців, інженерів, аспірантів та студентів, які працюють і навчаються за спеціальністю «Транспортні технології».

Висловлюємо вдячність рецензентам за їхні зауваження та пропозиції.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

Економічний розвиток країн залежить, зокрема, і від розвитку транспортної системи. Активний розвиток транспортної системи сприяє комфортному існуванню людини, покращує умови проживання і підвищує ефективність роботи всіх організацій.

Зі збільшенням кількості автомобільного транспорту ускладнюються проблеми на ВДМ. Використання удосконалених методів регулювання дорожнього руху не приносить бажаного результату для всього транспорту. Водії, використовуючи власний ТЗ чи працюючи в державних установах або підприємствах, щоденно послуговуються однаковими маршрутами, мають основну більшість однакових маршрутів, які вони долають день у день. Не всі водії користуються перевагою прогнозування в русі на постійних маршрутах, що спричиняє збільшення викидів ШР [1], підвищення витрати палива та збільшення втрат часу на переміщення по ВДМ.

Для того, щоб вирішити цю проблему, необхідно розглянути аналіз останніх публікацій щодо дослідження транспортних потоків (ТП), організації дорожнього руху (ОДР), сучасних систем та рекомендації для проїзду регульованих ділянок доріг тощо.

1.1 Аналіз режимів руху транспортних засобів в умовах світлофорного регулювання

Аналіз досліджень та публікацій показав, що тривалий час ведеться вивчення режимів руху ТЗ у різних галузях знань. Провідні

фахівці такі як: М. С. Фішельсон, Л. Міллер, Б. Гріншильдс, Г. Поттгофф, А. А. Поляков, Д. Дрю, В. П. Поліщук, Н. Я. Говорущенко, Г. Грінберг, А. Кероглу, Л. Пайпс, А. Шул, Р. Олівер, Ф. Хейт, Є. О. Рейцен, В. К. Доля, А. Мей, В. Лейтцбах, Е. А. Дубелір, А. К. Біруля, О. О. Лобашов, Д. С. Самойлов, Н. Ф. Хорошилов, Д. А. Вуліс, О. А. Білятинський, В. І. Гук, М. М. Осетрін тощо [2] зробили значний вклад у дослідження транспортних потоків та руху ТЗ у цілому.

Великий досвід і багатогранність наукових процесів не підвищили рівень практичного вирішення проблеми. Так, дослідження руху ТП, його інтенсивності, складу, швидкості, щільності, наявності засобів регулювання руху, геометричних елементів перетинів [3] дали можливість створити систему «зелена хвиля», що вперше з'явилася ще у 1926 році [4]. Розглядаючи її, можна побачити, що вона не була досконалою, сигнали світлофора не програмувались і перемикались за допомогою людини, яка стояла біля світлофора. Для повноцінної організації «зеленої хвилі» необхідно було залучати ще, як мінімум, одну людину.

Упровадження координованого регулювання за системою «зелена хвиля» створило ряд переваг у порівнянні з індивідуальним регулюванням на кожному перехресті: підвищується швидкість руху по магістралі, скорочуються зупинки транспорту на перехрестях, зменшується число дорожньо-транспортних пригод.

Система постійно удосконалюється. Так, у 2016 році в тестових режимах почали активно впроваджувати «зелену хвилю» на вулицях міста Київ [5]. Це спричинило підвищення швидкісного режиму і пропускної здатності на окремих ділянках ВДМ, а також зменшення

заторів на дорогах.

Розглядаючи дослідження науковців у місті Копенгаген, можна побачити недоліки «зеленої хвилі» [6]. Було досліджено режим роботи п'яти світлофорів і трьох різновидів транспорту: велосипедів, легкових ТЗ, автобусів (рис. 1). Рух ТЗ із використанням «зеленої хвилі» відображався у двох напрямках: прямому напрямку руху (рис. 1, а) та зворотньому (рис. 1, б).

У прямому напрямку руху система «зелена хвиля» працює в нормальному режимі, оскільки всі ТЗ проїжджають світлофори без зупинки.

Розглядаючи рух у зворотньому напрямку, можна побачити, що рух ТЗ був енергозатратним, оскільки проїзд світлофорів транспортними засобами відбувався з зупинкою. Звідси можна зробити висновок, що система «зелена хвиля», роблячи в одному напрямку руху транспортного потоку ТЗ безупинний проїзд світлофорних об'єктів, а в іншому – протилежному напрямку, організувати такий же безупинний рух не виходило.

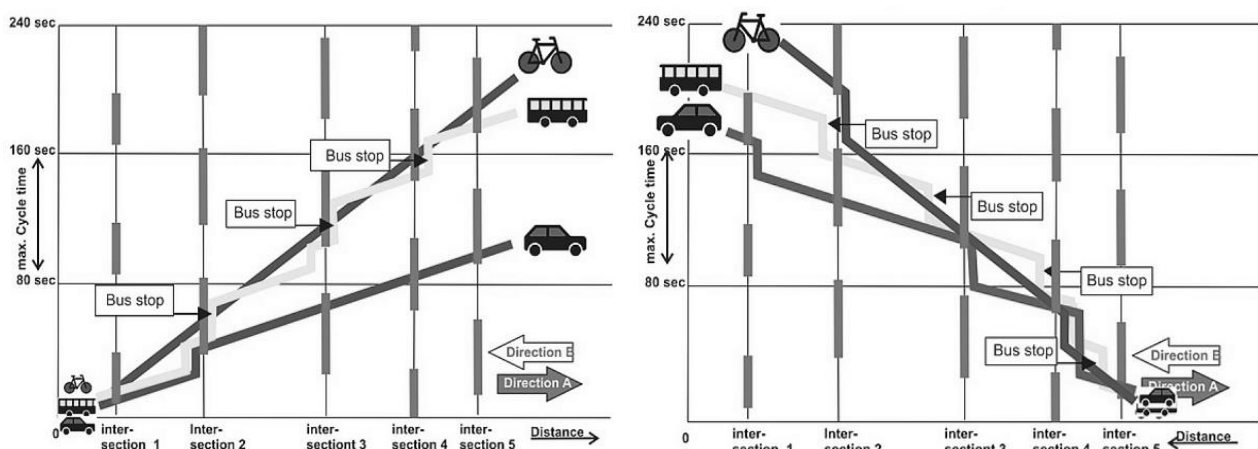


Рисунок 1.1 – «Зелена хвиля» у двох напрямках руху: а) прямий напрямок руху; б) зворотній напрямок руху [6]

Цією проблемою почали цікавитись, у першу чергу, провідні автомобільні компанії. Тому, щоб зменшити час перебування автомобіля в режимі розгону та зупинки, і тим самим зменшивши витрату палива і викидів ШР, автомобільна компанія Audi почала досліджувати новий інноваційний метод проїзду світлофорних об'єктів [7]. За задумом розробників компанії Audi, автомобілю перед світлофором будуть надаватись додаткові дані на приладову панель. Дивлячись на неї, водій зможе побачити підказку, щодо вибору оптимальної швидкості для проїзду світлофора без зупинки (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Система traffic light recognition від Audi

Якщо водій стоїть перед світлофором на червоний сигнал світлофора, то система traffic light recognition від Audi буде розраховувати час, що залишається до наступного зеленого сигналу світлофора. Усі сповіщення водія відбуваються через інформаційну систему, а додаткова функція Start-Stop забезпечить автоматичне вимикання двигуна, а потім його включення за п'ять секунд до того, як загориться зелене світло. Автомобільна електроніка буде підключатись до центру управління світлофорами міста через інтернет [7, 8].

Розрахунки німецьких дослідників показали [9], що система автомобіля traffic light recognition може не лише зменшити витрату палива автомобіля на 15 %, але й зробити проїзд у міському режимі більш швидким. Це допоможе розв'язати відразу декілька проблем, одна з яких – зменшення заторів і суттєве зменшення палива. Розрахунки щодо економії палива показали, що з використанням системи лише в Німеччині економія палива може досягати 900 млн літрів [9].

1.2 Аналіз моделей режимів руху транспортних засобів

Розглядаючи розрахунки руху наземних транспортних засобів, можна побачити, що ще у 80-90-ті роки починалися проблеми з перенасиченням ТЗ на дорогах. Міста насичувались автомобілями досить швидко, тому погіршувались умови пропускної здатності ВДМ. Рівень збільшення автомобільного транспорту був більш активним у сільській місцевості, тому в великих містах кількість автомобілів на 1000 жителів була менша, ніж у середньому по країні (табл. 1.1) [10].

Таблиця 1.1 – Кількість автомобілів на 1000 жителів

Країни	У середньому по країні	У столиці
США	560	182
Великобританія	330	170
Франція	356	171
Японія	221	115
Угорщина	-	137
СРСР	49	68

За останнє десятиріччя кількість населення та кількість особистого транспорту суттєво збільшилась. За даними статистики, проведеної у 2016 році, створений список, що відображає рівень автомобілізації населення країн світу (табл. 1.2) [11].

Таблиця 1.2 – Кількість автомобілів на тисячу жителів

Місце	Країна	Авто / 1000 осіб	Рік
1	Сан-Марино	1263	2014
3	США	797	2014
16	Японія	591	2014
19	Франція	578	2014
34	Великобританія	519	2010
71	Україна	202	2016

Звідси можна побачити, що у Сан-Марино кількість автомобілів на тисячу осіб досягнула відмітки більше 1000. Україна займала 71 місце, але це відповідно з офіційними даними. На 2017 рік, у зв'язку з інтенсивним ввезенням у Україну автомобілів на іноземній реєстрації, її місце в рейтингу автомобілізації суттєво підвищилась. Так, 1 листопада 2017 року, відповідно до офіційними даними в Україні, перебуває понад 383 тис. ТЗ із іноземною реєстрацією [12].

Розглядаючи цю статистику, можна сказати, що розрахунки режимів руху транспортних потоків необхідно виконувати з урахуванням багатьох поправок. Так як, використавши методику розрахунку геометричних елементів дороги, можна отримати дані, що можуть забезпечити максимальне використання динамічних можливостей транспортних засобів у нещільних потоках. Також

необхідно враховувати, що водії мають різний стиль керування, досвід і навички водіння; на дорозі одночасно рухаються багато різнотипних ТЗ, що відрізняються габаритними розмірами, технічними характеристиками і тоннажністю.

Враховуючи, що рух груп ТЗ на ВДМ відбувається у дві сторони, їх назвали транспортними потоками (ТП) [13]. Взаємодія ТЗ у ТП є наслідком зміни часових інтервалів, розподілу ТЗ по ширині дороги, а також зміни відстані між ними [14]. Відстань між ТЗ залежить від практичних навичок водія, швидкості руху, завантаженості дороги, дорожніх умов та наявності дорожніх знаків.

У середині ХХ століття М. Лайтхілла і Дж. Уїзем [15] і незалежно від них П. Річардс [16] (LWR) розробляють макроскопічну модель, у якій ТП порівнюється з потоком одновимірної стисненої рідини.

Різновидністю моделі LWR є модель Танака, що була запропонована в 1963 році [17]. У цій моделі визначається залежність щільності від швидкості $p(V)$, як зворотно-пропорційна величина середній відстані між автотранспортними засобами при заданій швидкості V [17, 18]:

$$p(V) = \frac{1}{d(V)}. \quad (1.1)$$

Середня швидкість між транспортними засобами буде розраховуватись за формулою [17]:

$$d(V) = L + c_1 V + c_2 V^2, \quad (1.2)$$

де L – середня довжина ТЗ, м;

c_1 – час реакції водія, с;

c_2 – коефіцієнт пропорційності гальмівного шляху, залежить від дорожніх умов.

У 1974 році Дж. Уїзем додав у транспорту модель потоків коефіцієнт видимості дороги водієм [18]:

$$V(t, x) = V(p(t, x)) - \frac{D(p(t, x))}{p(t, x)} \cdot \frac{\partial p(t, x)}{\partial x}, \quad (1.3)$$

де $D(p) > 0$.

Звідси з врахуванням закону кількості автотранспортних засобів вийде:

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial Q(p)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D(p) \frac{\partial p}{\partial x} \right), \quad (1.4)$$

де $Q(p)$ – інтенсивність ТЗ за одиницю часу, що проходять через задану координату.

Рівняння (1.4) показує, що швидкість знижується водіями під час збільшення щільності потоку, які їдуть по переду і навпаки.

Відокремлюючи дослідження Б. Кернера (1996-2002 рік) можна побачити теорію трьох фаз Кернера [19-21]. Ця теорія фокусується на поясненні фізики переходу від вільного до щільного потоку і опису

просторових структур у щільному ТП, що при цьому виникає. Відповідно розділяють три фази ТП [19-21]:

1. Вільний потік-фаза F.
2. Синхронізований потік-фаза S.
3. Широкий рухомий кластер (локальний рухомий затор)-фаза J.

У вільному ТП за досить малої щільності водії можуть практично вільно обирати бажану для них швидкість [22].

У щільному ТП, що визначається так само, як і в класичних теоріях Лайтхілла-Уїзема [23], швидкість у ТЗ менша, ніж мінімально можлива швидкість ТЗ у вільному потоці.

На відміну від широких рухомих кластерів у синхронізованому потоці як величина потоку q , так і швидкість ТЗ, можуть змінюватися помітним чином (рис. 1.3) [24].

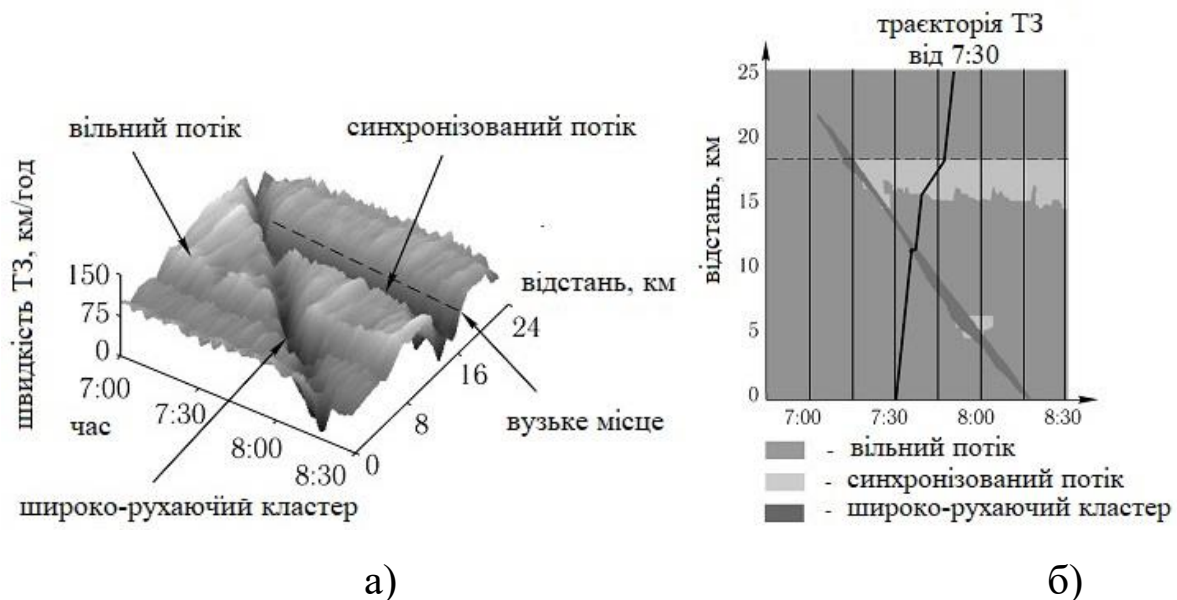


Рисунок 1.3 – Дані вимірювань швидкості ТЗ [24]:

а) в просторі і часі; б) на координато-часовій площині

На маршруті руху ТЗ можуть траплятися ділянки дороги з різною інтенсивністю руху, просторово-часову структуру яких

показано на рисунку 1.3. Звідси видно, що на ділянках дороги з великою інтенсивністю руху є часові проміжки з вільними і синхронізованими потоками.

Розглядаючи дослідження створених автоматизованих систем управління дорожнім рухом (АСУД) науковими установами МВС СРСР з 1974 по 1995 рр. по семи містам країни необхідно виділити наступні позитивні результати [25]:

- збільшення середньої швидкості поїздки ТЗ на 22-23%;
- скорочення часу затримок ТП на 20-45%;
- скорочення кількості ДТП на 10-25%;
- зменшення зони підвищеного зносу дорожнього покриття на 13-25%;
- скорочення часу повідомлень на 14-27%;
- скорочення кількості зупинок на 32-66%;
- зниження витрат палива на 11-16%;
- зниження викидів окису вуглецю (CO) на 17-24%.

Дані дослідження проводились кожні 6 місяців експлуатації на системах управління дорожнім рухом, впроваджених починаючи з 2000 по 2006 рр, підтверджують раніше отримані показники їх ефективності [25].

Розглядаючи дослідження закономірності руху транспортних потоків, можна виділити часові інтервали під час проходження двох ТЗ (рис. 1.4).

Проведені дослідження показали розподіл часових інтервалів при низькій щільності руху (до 200 авт/год на одній смузі) можна описати розподілом Пуассона, а при високій насиченості руху

(до 650 авт/год) – розподілом Пірсона III типу [26].

Розрахункові дослідження О.С. Процишина [27] дозволяють визначати миттєві швидкості руху на вулицях різного типу, що ґрунтується на способі організації руху та структурі ТП. Враховуючи їх можна зробити висновки, що громадський транспорт суттєво впливає на швидкість руху ТП.

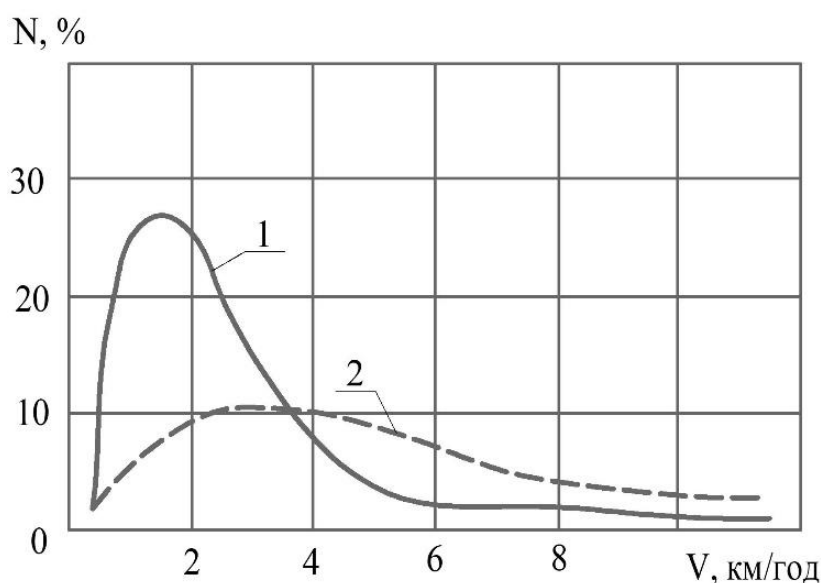


Рисунок 1.4 – Криві розподілу часових інтервалів між проходами двох ТЗ [26]: 1 – розподіл при низькій щільності руху; 2 – розподіл при високій щільності руху

Беручи до уваги дослідження В. Рэнкина, П. Клафа, С. Халберта [28], В. Коноплянко [29], О. Лобашова, О. Прасолєнка [30], бачимо різні підходи щодо зміни часу реакції водіїв під час розрахунку характеристик дорожнього руху, теоретичні дані, яких занесено до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Теоретична пропускна здатність міської вулиці [28]

Швидкість, км/год	Тривалість роботи	Час реакцій при рівні забезпеченості, с		Пропускна здатність, авт/год, при рівні забезпеченості	
		85 %	50 %	85 %	50 %
50–60	Тривала	3,0	2,0	1200	1800
	Короткочасна	1,6	1,4	2250	2570

Пропускна здатність однієї смуги руху, згідно з дослідженнями [28, 30-34], буде залежати від складу ТП в цілому. Збільшення частки вантажних ТЗ у ТП зменшує пропускну здатність смуги, а також впливає на швидкість його руху. Ці параметри руху в різних умовах занесено до таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Параметри ТП для різних умов руху [28, 30]

Характеристика потоку	Швидкість, км/год	Інтенсивність (питома на одну смугу руху), авт/год	
Вільний	96–60	1000	400
Стабільний	88–55	1500	900
Наближається до нестб.	64–40	1800	1400
Нестабільний	64–40	2000	1700
Затор	48–30	2000	1700

Розглядаючи ці дані, необхідно зазначити, що швидкість ТП знижується через граничне навантаження на смугу руху. Безупинний рух ТП в режимі граничного навантаження буде 10-15 хв, але при

цьому загалом тривалість затору може бути більшою 50 %. Розглядаючи такий варіант руху, можна визначити середню швидкість ТП 15-20 км/год, при цьому підвищуються кількість ДТП [28, 30].

У транспортних системах розглядаються задачі оптимального управління системою «Дорожні умови – транспортні потоки» (ДУ – ТП).

У результаті досліджень науковці Національного транспортного університету створили оптимальну математичну модель управління системою ДУ – ТП [34]. Розглядаючи її необхідно виділити основну задачу – це забезпечення мінімальних дорожньо-транспортних витрат за заданого об'єму перевезень, швидкості та рівня безпеки. Для вирішення цієї задачі необхідно використовувати дані статистичних спостережень інтенсивності, швидкості та щільності потоків і математичного моделювання транспортних потоків.

Експериментальні дослідження режимів руху легкових ТЗ на ВДМ міста Луцьк [35], в порівнянні з їздовим циклом згідно з правилами ЕЭК ООН № 84 (рис. 1.5) [36] показали, що реальні режими руху дещо відрізняються.

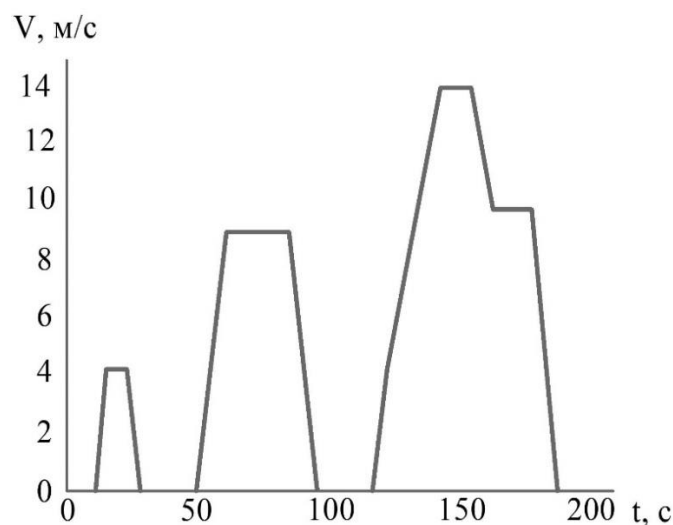


Рисунок 1.5 – Міський їздовий цикл згідно з правилами ЕЭК ООН № 84 [36]

Під час експериментальних досліджень ТЗ рухався в ТП невеликої інтенсивності.

Заміри проводилися на типовому міському маршруті, що пролягає від вулиці Конякіна до проспекту Перемоги.

Відповідно до отриманих результатів були побудовані графічні залежності руху у місті Луцьк у прямому і зворотньому напрямках руху (рис. 1.6) [35, 37].

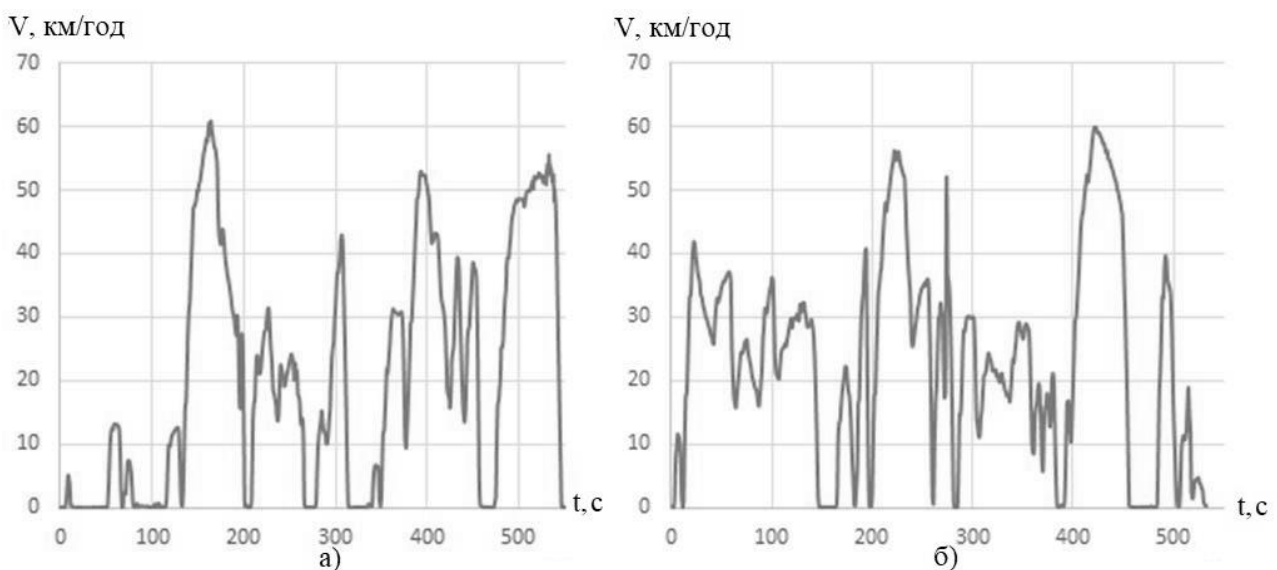


Рисунок 1.6 – Залежність руху ТЗ у місті Луцьк:

а) прямий (вул. Конякіна – пр. Перемоги); б) зворотньому
(пр. Перемоги – вул. Конякіна)

Опрацьовуючи дані, отримано режими руху ТЗ такі як: зупинки, рух із прискоренням, рух із постійною швидкістю, рух зі сповільненням (табл. 1.5) [35], де можна побачити суттєве відхилення від циклу, порівнюючи зі значеннями з правилами ЕЭК ООН № 84 [36].

Таблиця 1.5 – Дані експериментальних досліджень по місту Луцьк

Режим руху	Конякіна Перемоги		Перемоги Конякіна		Середні дані		ЕЭК ООН № 84 [35]		Відхилення
	с	%	с	%	с	%	с	%	
Зупинка	143	26	42	8	95	17	60	31	45
Рух із прискоренням	198	36	219	41	235	38	49	22	73
Рух із постійною швидкістю	71	13	85	16	78	15	59	30	50
Рух із сповільненням	138	25	187	35	190	30	34	17	77
Загалом	550	100	533	100	543	100	195	100	

Розглядаючи відповідні режими руху ТЗ, необхідно зазначити, що в реальних міських умовах збільшується час руху зі сповільненням до 77 % та з прискоренням до 73 %, та зменшується тривалість режиму руху з постійною швидкістю до 50 % та зупинок до 45 %. При цьому нерівномірність руху ТЗ суттєво збільшується, що призводить до надмірного споживання палива та викидів ШР. Для зменшення часу роботи ТЗ у режимі розгону та сповільнення необхідно організувати раціональний проїзд регульованих ділянок доріг із мінімальною зміною швидкісного режиму.

Крім того під час проведених досліджень режимів руху міських автобусів в реальних умовах руху було встановлено, що найбільша витрата палива відбувається в момент рушання з місця і розгону. Так,

для автобуса Богдан А-092 за одне рушання з місця і розгону до швидкості 24 км/год витрата палива становить 0,031 л (рис. 1.7) [38].

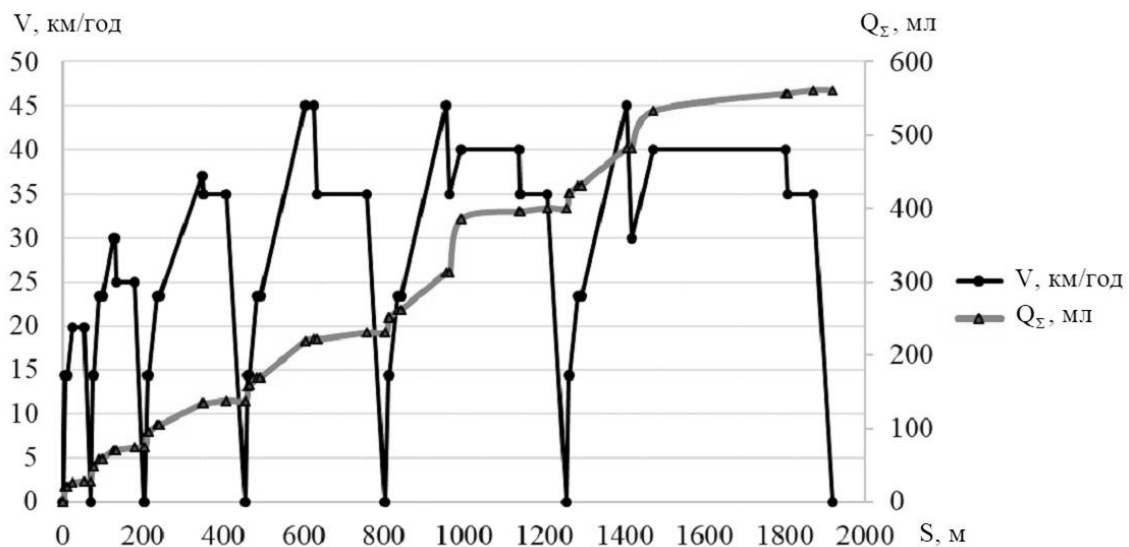


Рисунок 1.7 – Витрата палива автобусом Богдан А-092 за міським їздовим циклом згідно з ГОСТ 20306

Проведені дослідження показують, що за міським їздовим циклом згідно з ГОСТ 20306 [39], найбільший вплив на витрату палива автобусом Богдан А-092, що рухається встановленим маршрутом, так само як і у легкових ТЗ, відбувається під час рушання з місця та розгону. Тому необхідна організація руху для ТЗ з меншою кількістю зупинок та розгонів, що може покращити екологічну ситуацію [40] на регульованих ділянках доріг.

1.3 Технічні засоби організації дорожнього руху

1.3.1 Призначення і класифікація технічних засобів

Для правильної організації і регулювання руху ТЗ та пішоходів служать технічні засоби ОДР. Регулювання руху необхідне для

підтримання показників пішохідних і транспортних потоків, що повинні забезпечувати економічність, ефективність та безпеку дорожнього руху [41, 42].

Розглядаючи технічні засоби ОДР можна виділити дві основні частини [43]:

1. Засоби інформування (світлофори, інформування від пристроїв тощо).

2. Пристрої інформування (пристрої передачі і прийому даних, контролери, допоміжні пристрої оброблення інформації, детектори).

Аналізуючи пристрої інформування особливу увагу необхідно приділити контролерам. Вони служать для керування усіма об'єктами, а дорожні контролери для управління дорожнім рухом шляхом перемикання сигналів світлофорів та багатопозиційних дорожніх знаків [44]. Такі контролери входять до системи координованого управління дорожнім рухом [45].

На цей час можна побачити розвиток програмного забезпечення для дорожніх контролерів в Україні. Так, зокрема у компанії ТОВ КОМКОН ТРАФІК (м. Харків) цими питаннями займаються уже 30 років. Було створено програмний продукт «КОМКОН СПОД ATCS Edition», що дозволяє покращувати організацію в автоматизованій системі керування дорожнім рухом «КОМКОН АСКДР» [46]. Враховуючи простоту обладнання, що не перевищує ціну стаціонарного комп'ютера, необхідно виділити різноманітний спектр способів передачі даних від світлофорних об'єктів, таких як: передача радіосигналом, двопровідними лініями, GPRS, IP-мережах. Вони дозволяють керувати і удосконалювати дорожній рух дистанційно.

Тому, для введення додаткових нових систем або приладів немає обмежень із прийому або передачі даних.

1.3.2 Світлофорне регулювання

Беручи до уваги технічні засоби ОДР, необхідно виділи дорожні світлофори, що використовуються, як світлові сигнальні прилади, призначені для почергового перепуску учасників дорожнього руху [47].

Дорожні світлофори встановлюються в спеціальних місцях і за заданих умов:

- у точках конфлікту ТЗ, місцях конфлікту транспортних потоків із пішоходами;
- у загальних місцях регулювання руху ТЗ;
- на смугах руху, де може змінюватись його напрямок руху;
- на залізничних переїздах, митницях, причалах.

Розглядаючи режим роботи світлофора, можна побачити чергування роботи сигналів: спочатку червоний, наступний червоний із жовтим, зелений, жовтий і червоний кольори.

Зважаючи на режим роботи світлофорів ефективна робота на регульованих ділянках дороги буде залежати від двох показників: інтенсивності дорожнього руху та тривалості сигналів. Недостатня тривалість циклу призводить до зменшення пропускної здатності смуги, а надто велика тривалість циклу призводить до збільшення транспортних затрат [48].

Проводячи аналіз засобів світлофорного регулювання,

виділяємо транспортні світлофори Т1.1-Т1.17-АТ та Т2.1-Т2.18-АТ [49]. Дані світлофори зроблено з використанням світодіодів і вони призначені для регулювання руху ТЗ на регульованих ділянках дороги. Більш удосконалені світлофори з відліком часу Т1.1.ТВЧ-АТ - Т1.17.ТВЧ-АТ [50] набирають все більшої популярності в Україні і закордоном. Даний світлофор інформує водія заздалегідь про свій режим роботи для того, щоб водій ТЗ зміг прогнозувати свій режим руху не створивши при цьому заторів і не стоячи на червоному сигналі світлофора.

Перед встановленням світлофорного регулювання на ділянці дороги необхідне виконання розрахунку витрат і перевірки критеріїв щодо їх встановлення [51].

Дивлячись на рух декількома смугами руху в одному напрямку, необхідно виділити використання світлофора для кожної зі смуг (рис. 1.8) [51].

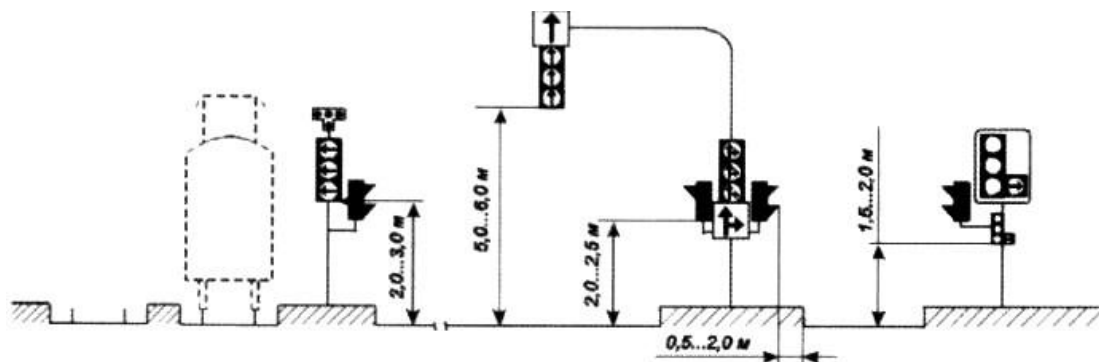


Рисунок 1.8 – Встановлення світлофорів для декількох смуг руху в одному напрямку [51]

При такому розташуванні світлофорів водій може краще орієнтуватися в дорожній ситуації та завчасно вибирати відповідну

смугу руху, щоб проїжджати регульовану ділянку дороги без зупинки або з мінімальною затримкою руху.

З кожним роком збільшується кількість світлофорних об'єктів на дорогах. Так, на дорогах Великобританії за період з 2013 по 2016 рік кількість світлофорних об'єктів зросла на 23 % [52]. Таке збільшення світлофорних об'єктів не завжди дає позитивний результат. Так, 29 % водіїв визнають, що проїжджали на червоний сигнал світлофора, а 32 % водіїв заявили, що робили це навмисно. Також у Великобританії були проведені наукові дослідження, що встановили, що середньостатистичний водій в очікуванні перемикання червоного сигналу світлофора на дозвільний, витрачає за рік до п'ятдесяти годин часу [52].

Тому потрібно розробити новий алгоритм проїзду світлофорних об'єктів, що може суттєво зменшити кількість проїздів ТЗ на червоний сигнал світлофора і відповідно зменшити кількість водіїв, які це будуть робити навмисно.

1.3.3 Датчики дорожнього руху

Розглядаючи сучасні датчики дорожнього руху необхідно виділити індукційні петлі. Індукційна петля дозволяє за допомогою датчика, що вмонтований у дорожнє покриття, виявляти транспортні засоби, що проїдуть через нього [53].

Дослідження Мацюри І. Ю. [54] показали, що дані датчики перспективно використовувати під час створення новітніх систем виявлення і ідифікації транспортних засобів. Це можливо використати під час дослідження транспортних потоків, дослідження

руху одиночних транспортних засобів і під час регулювання їх режиму руху.

Популярність набирають і радарні датчики. Раніше їх використовували стаціонарно для систем чи моніторингу. Компанія Bosch почала розвивати нові системи і в даний час широко використовує радарні датчики під час створення систем допомоги водію [55]. Радарний сенсор аналізує дорожню ситуацію навколо автомобіля, визначає відстань до ТЗ та попереджає водіїв про небезпеку, особливо у разі зміни полос руху та у «сліпих зонах» водіїв.

Лазерні датчики (Лідари) широко використовують на дорогах, як стаціонарно, так і в системах допомоги водію [56]. Вони дозволять вимірювати швидкість ТЗ та використовуються у системах безпілотних транспортних засобів для вивчення оточення на дорогах та поза її межами [56].

Інфрачервоні детектори являють собою детектори з динамічним керуванням і діапазоном виявлення та радіусом дії близько 20 м [57]. Отримані за допомогою цього детектора дані можуть бути використані для оптимізації транспортних потоків у місцях установки світлофорів [57].

Відеодатчики, що встановлюють на дорогах, використовують мікропроцесор для аналізу вхідного відеосигналу. Відеодатчики мають різні підходи.

Деякі аналізують відеозображення цільової області на асфальті. Оброблена змінна зображення цільової області, як транспортного засобу, проходить через цільову область. Інший підхід визначає, коли цільовий транспортний засіб надходить у поле відео для перегляду та відстежує цільовий транспортний засіб через цю область перегляду. Ще інші відеодатчики використовують комбінацію цих двох підходів [53].

1.4 Гальмування на регульованих ділянках доріг

Зниження швидкості ТЗ є невід’ємною частиною його режиму руху.

Під час експлуатації транспортних засобів зниження швидкості можна досягти за допомогою декількох способів, таких як: рух із вимкненою передачею (вільний вибіг, накат); рух із увімкненою передачею і двигуном за мінімального відкриття дросельної заслінки або з закритою дросельною заслінкою (примусовий холостий хід); застосуванням гальмівної системи (робочої, стоянкової чи допоміжної). За використання різних способів гальмування забезпечується різна величина сповільнення [58, 59].

Рекомендується виконувати службове гальмування або рух накатом [60] під час під’їзду до світлофорного об’єкта.

Також за допомогою службового гальмування можна збільшити час під’їзду до світлофорного об’єкта.

Одним із типів гальмування з використанням гальмівної системи є застосування екстреного гальмування, тобто гальмування з максимальним сповільненням до зупинки ТЗ за допомогою одного впливу на орган управління гальмівною системою.

В основному водії ТЗ застосовують екстрене гальмування в екстрених ситуаціях, або за неправильного під’їзду до світлофорного об’єкта, коли на ньому горить заборонний сигнал руху, або інколи водії виконують даний тип гальмування.

Виявлено, що в дорожньому русі не можна повністю уникнути зупинок ТЗ, але є, так звані, прогнозовані перешкоди – світлофорні

об'єкти, під час систематичного, правильного подолання яких можна суттєво зменшити витрату палива, збільшити термін експлуатації деяких деталей, вузлів і агрегатів ТЗ, а також уникнути небезпечних ситуацій на дорозі.

1.5 Постійні маршрути руху транспортних засобів

Аналізуючи поїздки, що здійснюють водії, необхідно виділити, що в кожній є якась певна мета.

Під час транспортного планування і моделювання поїздки водіїв розподіляються за попитом. Наприклад, будинок-робота, будинок-ЗВО, робота-робота, робота-дозвілля, дозвілля-дім тощо. Під час роботи над транспортною моделлю Беспалова [61] та аналізу соціологічного дослідження рухливості, було розглянуто розподіл за програмними цілями поїздок водіїв (рис. 1.9).

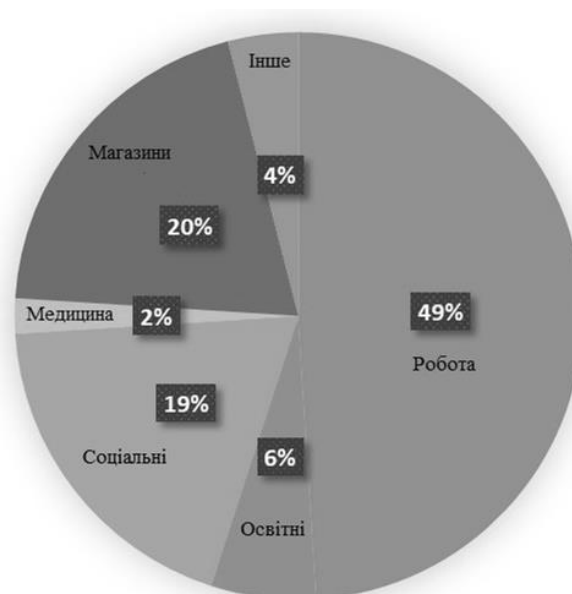


Рисунок 1.9 – Процентний розподіл поїздок водіїв [61]

Розглядаючи розподіл поїздок водіїв можна побачити закономірність використання постійних маршрутів – 49 % поїздок на роботу, 6 % поїздки на навчання, 19 % – соціальні поїздки, 20 % – поїздки в магазини. Звідси виходить, що до 90 % водії виконують поїздки з одною і тією самою метою та одними і тими самими маршрутами. Але використовують прогресивні, економні методи проїзду регульованих ділянок доріг лише невелика частина водіїв.

Саме цей фактор підштовхує до створення методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг, тому, що водії знаходяться в одній і тій самій зрозумілій та передбачуваній обстановці і можуть без додаткового обладнання прогнозувати режим руху ТЗ під час проїзду світлофорних об'єктів. А з використанням сучасних технологій можуть підвищити ймовірність проїзду регульованих ділянок доріг без зупинок.

1.6 Рекомендації проїзду транспортними засобами регульованих ділянок доріг

Розглядаючи тенденцію розвитку автотранспорту, варто відмітити активізацію розвитку методів і систем проїзду регульованих перехресть зі створенням рекомендацій руху.

Так, згідно з системою показання швидкості [62, 63] за допомогою попередніх сигналів, запропонованою ще у 1961 році в Амстердамі (рис. 1.10), розроблені рекомендації, дотримуючись яких можна проїжджати світлофорні об'єкти без зупинки.

Удосконалюючи методи і рекомендації, запропоновано

додаткову альтернативу під час використання системи показання швидкості [62] для виділених смуг громадського транспорту (рис. 1.11) [64].

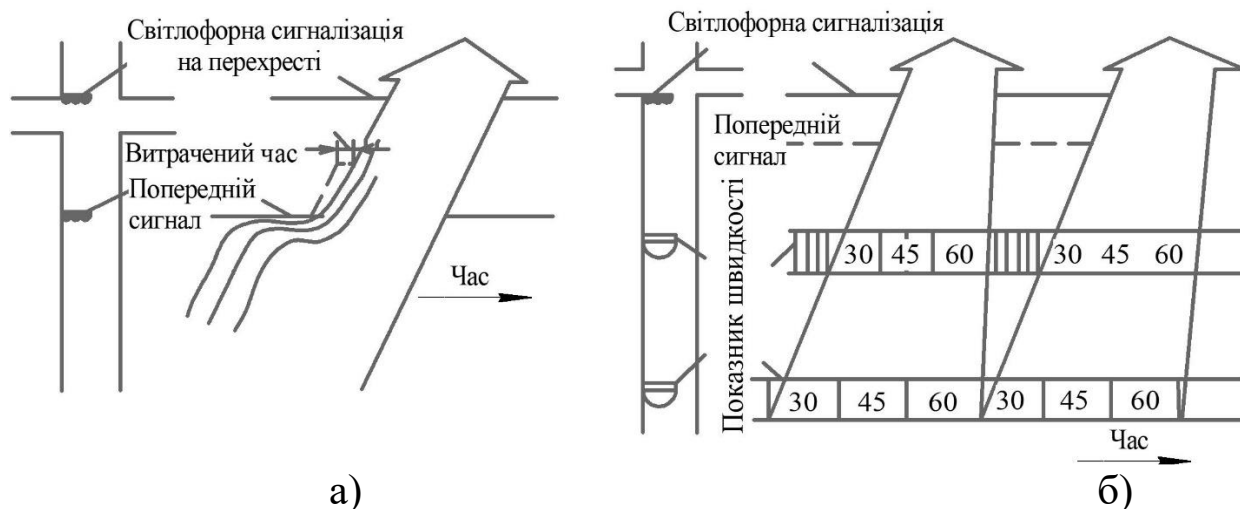


Рисунок 1.10 – Розміщення системи попередніх сигналів:

а) попередні сигнали; б) показники швидкості [62, 63]

Звідси, можна побачити, що поєднання попередніх сигналів із виділеними автобусними смугами є досить ефективним та додатково інформують водіїв ТЗ про режим роботи світлофорних об'єктів. Із використанням запропонованих рекомендацій [62, 64], з'явилась можливість розвантажити рух ТЗ.

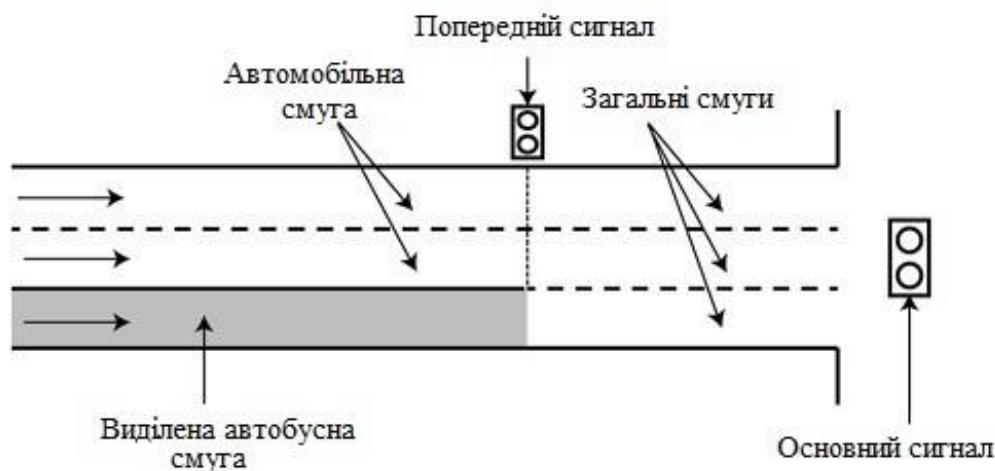


Рисунок 1.11 – Попередній сигнал під час під'їзду на дорогу з трьома смугами одна з яких для громадського транспорту [58]

Розглядаючи оптимізацію під час вибору правильного режиму руху від науковців, необхідно виділити рекомендації і запатентований пристрій А. І. Колюнова (рис. 1.12) [65].

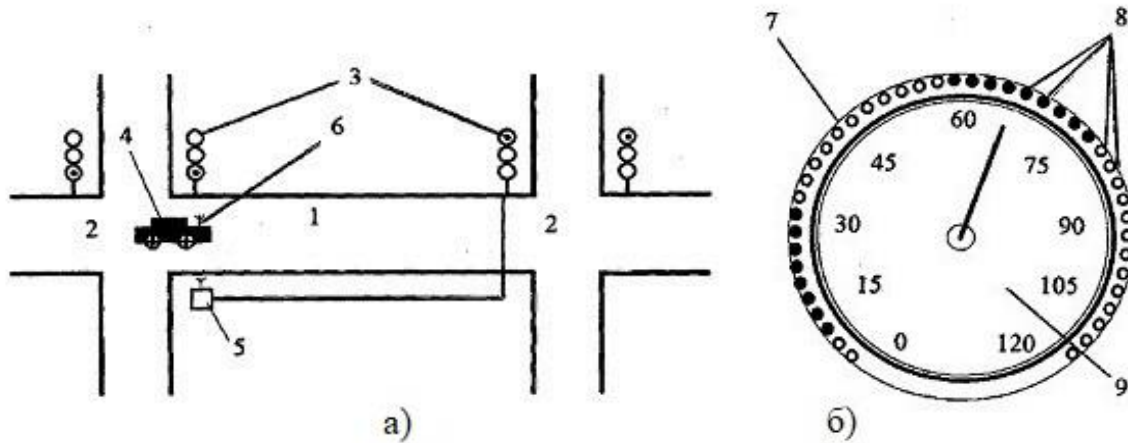


Рисунок 1.12 – Схема роботи індикації рекомендованої швидкості руху:

а) ділянка дороги; б) пристрій індикації рекомендованої швидкості руху [65]

Задачею цього пристрою є підвищення пропускної здатності регульованих ділянок доріг 1, 2 і зменшення витрати палива. Цей результат досягався тим, що на світлофорах 3 встановлювався пристрій передачі даних 5, який передає їх на автомобіль 4 через приймальний пристрій 6. У автомобілі через контролер розраховуються дані швидкості руху. Ці дані відображаються на пристрої індикації 7, 8, розміщеному на спідометрі 9 (рис. 1.12, б). Далі водій вибирає з якою швидкістю йому рухатись залежно від показників пристрою і дорожньої обстановки на дорозі [65].

Недоліком вищезапропонованого пристрою є його розміщення на спідометрі ТЗ, оскільки необхідно завжди проводити контроль і

корекцію швидкості. Це негативно впливає на безпеку дорожнього руху. Також пристрій для індикації швидкості руху ставить перед водієм багато задач та неточно надає інформацію, які дії йому необхідно робити, щоб проїхати регульовану ділянку дороги без зупинки. Чим простіша задача, з якою повинен справитись водій, тим більше вірогідність її правильного вирішення [66].

Розглядаючи рекомендації А. М. Ярути [67] щодо використання системи автоматизованого керування дорожнім рухом міст, необхідно виділити удосконалену централізовану АСКДР, що була призначена для оптимізації руху за рахунок взаємодії маршрутизації транспортних засобів, при якому враховується стан параметрів перехресть, перегонів ВДМ та їх завантаженості. Так, як такий центр має працювати у чотирьох основних режимах: заторів, «зеленої хвилі», оптимізації та вимкненого регулювання, то практично реалізувати всі параметри не можливо.

Для покращення проїзду регульованих ділянок доріг також були розроблені і обґрунтовані нечіткі алгоритми керування дорожнім рухом з встановленням відповідного сигналу світлофорного об'єкта [68]. Застосування цих алгоритмів підвищує ефективність керування рухом ТЗ на перехрестях. Цей спосіб ефективний за великої інтенсивності руху, що особливо спостерігається в часи пікових навантажень.

Враховуючи складність і неусталеність дорожнього руху, необхідно розглянути дослідження Левицької О. С. та Прищепова О. Ф. [69], які досліджують залежності викидів ШР за різних режимів руху ТЗ (табл. 1.6).

Таблиця 1.6 – Викиди ШР залежно від режиму роботи ТЗ

Режим роботи	Оксид вуглецю		Вуглеводні	
	г/км	%	г/км	%
Холостий хід	5,5	20,9	0,3	12
Розгін	12,7	48,3	1,4	58
Постійна швидкість	6,9	26	0,45	19
Сповільнення	1,2	4,8	0,28	11

Рух на регульованих ділянках доріг передбачає всі режими роботи ТЗ [35, 36], а переважно використовуються режими сповільнення, холостого ходу і розгону, що є найбільш шкідливими для навколишнього середовища.

Для того, щоб побачити, як режим руху впливає на екологічність, було взято міжнародні сертифікати перевірок на діоксиду оксиду вуглецю транспортних засобів. Дані витрати палива і викидів CO₂ були занесені до таблиці 1.7

Таблиця 1.7 – Витрата палива і викиди CO₂ в залежності від режиму руху ТЗ

Автомобіль	Режим руху					
	міський		позаміський		змішаний	
	Qп, л/100 км	CO ₂ , г/км	Qп, л/100 км	CO ₂ , г/км	Qп, л/100 км	CO ₂ , г/км
VW Caddy	6,6	173	5,2	137	5,7	149
VW Transporter	10,5	276	7,2	190	8,4	221
Opel Insignia	6,6	175	4,5	118	5,2	139

Навіть за невеликій кількості ТЗ, що взяті для прикладу (табл. 1.7) можна констатувати, що в міському режимі руху суттєво збільшується витрата палива та викиди CO_2 . Тому слід організувати дорожній рух таким чином, щоб зменшити показники витрати палива і викиди CO_2 в міському режимі руху до рівня показників витрати палива і викидів CO_2 змішаного режиму або навіть позаміського режиму руху.

Беручи до уваги дослідження Говорущенка [70], визначено, що найбільш досконалим режимом руху ТЗ є рух з постійною швидкістю. За такого випадку буде найвищий потенціал руху ТЗ і найменший знос двигуна та інших деталей. Тому необхідно організувати дорожній рух так, щоб ТЗ, проїжджаючи світлофорні об'єкти, мали постійну – усталену швидкість руху, що допоможе зменшити викиди ШР.

Розглядаючи фактори, які впливають на проїзд регульованих ділянок доріг необхідно виділити склад черги з ТЗ, що чекають на ввімкнення дозвільного сигналу світлофора, дорожні умови та психофізіологічні особливості водіїв [71].

Провівши огляд літературних джерел щодо рекомендацій руху автомобільних компаній, встановлено, що навігаційна система стала незмінним атрибутом сучасних автомобілів [72].

Навігація дала можливість вибрати найкоротший маршрут, що буде оптимальним, економним та з мінімальними затримками на регульованих ділянках дороги. Беручи до уваги виникнення заторів на дорозі, було рекомендовано встановлювати систему Start / Stop, що на цей час стала практично базовою комплектацією на багатьох автомобілях і дозволяє економити паливо на світлофорних об'єктах під

час очікування включення дозвільного сигналу світлофора.

Автомобільний виробник Audi вдосконалює свої розробки [7,8] і працює над системою predictive efficiency assistant (PEA) – інтелектуальним помічником, що дозволяє підвищити ефективність руху автомобіля [73]. Суть цієї системи в прогнозуванні дорожніх умов (з великою точністю), за якими буде їхати автомобіль, а також адаптація роботи двигуна під ці умови. Наприклад, рухаючись накатом із гори, можна економити паливо. Так, завдання PEA максимально використовувати можливості рельєфу місцевості для економії палива і вимикати двигун (або частину циліндрів [74]) не лише в місті на світлофорах, а й на магістралі.

Компанія Audi стверджує, що лише така система може дати економію палива в 15-20 % залежно від рельєфу дороги. Сама система PEA складається з датчиків опору кочення, вітру і постійно контактує з навігаційною системою ТЗ. Виконавчі модулі взаємодіють із адаптивним круїз-контролем, яким вже серійно комплектують останні покоління Audi [75]. Сам круїз-контроль підтримує лише постійну швидкість, а в комплексі з PEA авто перед підйомом завбачливо набере необхідну швидкість (навіть якщо вона трохи більше, ніж задано круїз-контролем), щоб пізніше максимально котитися накатом. Експерименти показали, що на ділянці 3 км можна їхати з відключеним двигуном до 700 м, але водії їдуть максимум 300 м. Розумна електроніка дозволяє на 18-20 % збільшити дистанцію, на якій ТЗ може рухатися або з вимкненим двигуном, або з частиною відключених циліндрів.

У 2020 році автомобільний виробник Audi рухається вперед із

мережевими світлофорами в місті Дюссельдорфі. Наприкінці січня 2020 року водії Audi отримають інформацію від 150 світлофорів про режим їх роботи на приборній панелі, тим самим збільшуючи шанс зловити «зелену хвилю» [76].



Рисунок 1.13 – Інформація на автомобілі Audi від світлофорів

Інформація про світлофори Audi складається з двох функцій: «Дозвіл щодо оптимізації зеленого світла» (GLOSA) та «Час до зеленого». GLOSA обчислює ідеальну швидкість для отримання «зеленої хвилі». Наприклад, якщо функція вказує відповідне обмеження швидкості, то на наступному світлофорі буде горіти зелений сигнал. Водіям не потрібно розганятися без потреби, вони не піддаються стресу і їздять безпечніше. GLOSA також може запропонувати поступово зменшувати швидкість приблизно на 250 метрів попереду світлофорів, щоб водій та транспортні засоби позаду доїхали до перехрестя, коли ввімкнеться дозвільний сигнал світлофора. Це зменшує неекономічну зупинку руху [76].

Якщо зупинка на червоне світло неминуха, відлік часу показує секунди, що залишилися до початку наступної зеленої фази (час до ввімкнення зеленого сигналу світлофора). Водії можуть розслабитися, зняти ногу з педалі газу та зекономити паливе. Ряд досліджень приходить до висновку, що водії рухаються містами ефективніше завдяки мережевим світлофорам. У пілотному проєкті Audi змогла зменшити витрату палива на 15% [76].

Компанія Ford, зважаючи на попередні дослідження у 2018 році, представила нову технологію Intersection Priority Management (IPM), що дозволяє проїжджати перехрестя без повних зупинок [77]. Всі транспортні засоби були оснащені V2V передавачами, що передавали різні показники: швидкість, GPS-дані ТЗ, напрям руху. Це все реалізується для того, щоб система IPM змогла розрахувати рекомендовану швидкість, з якою необхідно їхати, щоб уникати можливості зіткнення з іншими ТЗ та проїжджати перехрестя без зупинки.

Беручи до уваги, що основними учасниками руху є водії, які проходять початкову підготовку в автошколах та на курсах водіїв, потрібно розглянути методику їх навчання та рекомендації руху на дорогах [78]. В основній масі автошкіл викладається базовий курс підготовки водіїв, який включає теоретичні та практичні навички водіння автомобіля.

Згідно з розглянутими рекомендаціями від автошкіл [79], необхідно виділити застарілі підходи до навчання. А саме:

- не рекомендується використовувати рух накатом;
- у навчальних програмах водіїв мало приділяється уваги

навчанню економічного способу керування ТЗ.

Основна маса ТЗ 30-50 років тому назад не були обладнані електронними системами контролю стійкості та антиблокувальними системами. Виходячи з цього для забезпечення безпеки руху не рекомендувалося водіям ТЗ використовувати рух накатом. Натомість абсолютна більшість сучасних ТЗ обладнана антиблокувальними системами (ABS), системами динамічної стабілізації автомобіля (ESC), що в автоматичному режимі контролюють рух ТЗ, забезпечуючи надійне зчеплення всіх коліс із опорною поверхнею і тим самим курсову стійкість і безпеку руху.

Останнім часом на ринку ТЗ все більше пропонується ТЗ із електричним чи гібридним приводом. Всі ці сучасні розробки дозволяють безпечно і безперешкодно використовувати режим руху – накат [60], який є одним з найкращих способів збереження кінетичної енергії ТЗ.

Використання режиму накату лише частково може підвищити економічність руху ТЗ. Якщо розуміти всі процеси, що виникають під час руху ТЗ та режими роботи світлофорних об'єктів, що встановлюються ВДМ, то можна прогнозувати роботу світлофорних об'єктів та забезпечити раціональний проїзд ТЗ регульованих ділянок доріг. І тим самим покращити економічний та екологічний ефект роботи ТЗ.

Все це в сукупності вимагає зміни програм навчання водіїв ТЗ як в автошколах, так і на курсах підвищення їх кваліфікації.

Враховуючи сучасний розвиток автомобільних технологій та електронної техніки надзвичайно швидкими темпами розвивається і

впроваджується прогресивне керування рухом ТЗ. Тому в рамках даної дисертаційної роботи проводяться теоретичні та експериментальні дослідження, що направлені на покращення проїзду регульованих ділянок доріг. Результати цієї роботи можуть бути використані для впровадження під час розробки мереж і програмного забезпечення для роботи світлофорних об'єктів та виробництва ТЗ.

1.7 Організація руху та алгоритм проїзду транспортними засобами регульованих ділянок доріг із використанням штучного інтелекту

Все більше і більше проводять досліджень безпілотних транспортних засобів (БТЗ) та систем телематики [80], як основний засіб розв'язання проблем із правильною ОДР та ТП.

Одна із проблем – це проїзд перехресть БТЗ [81], що вирішують створенням нових алгоритмів, удосконаленням старих систем, за допомогою проведення повних факторних експериментів [82].

Одним із способів отримання даних ТЗ, який під'їжджає до світлофорного об'єкта, є застосування передачі даних за допомогою радіочастот (рис. 1.14) [83].

Робота цієї системи базується на пасивній радіочастотній ідентифікації ТЗ і встановлення його положення на проїжджій частині. Світлофорний об'єкт отримає дані про сам ТЗ через ідентифікаційний номер і його положення на ділянці дороги, що використовується для оптимізації його режимів роботи і руху ТЗ.

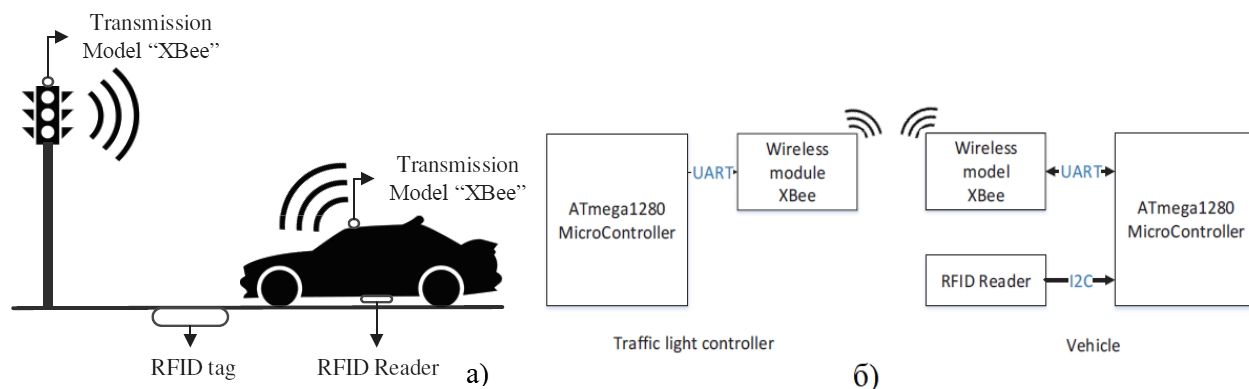


Рисунок 1.14 – Передача даних від ТЗ до світлофора [83]:

а) схема; б) технічні засоби для передачі та отримання даних

Навіть сучасні системи з інтелектуальним керуванням світлофора (рис. 1.15) через безпечний обмін повідомленнями не можуть забезпечити усім ТЗ безупинний проїзд світлофорних об'єктів [84].

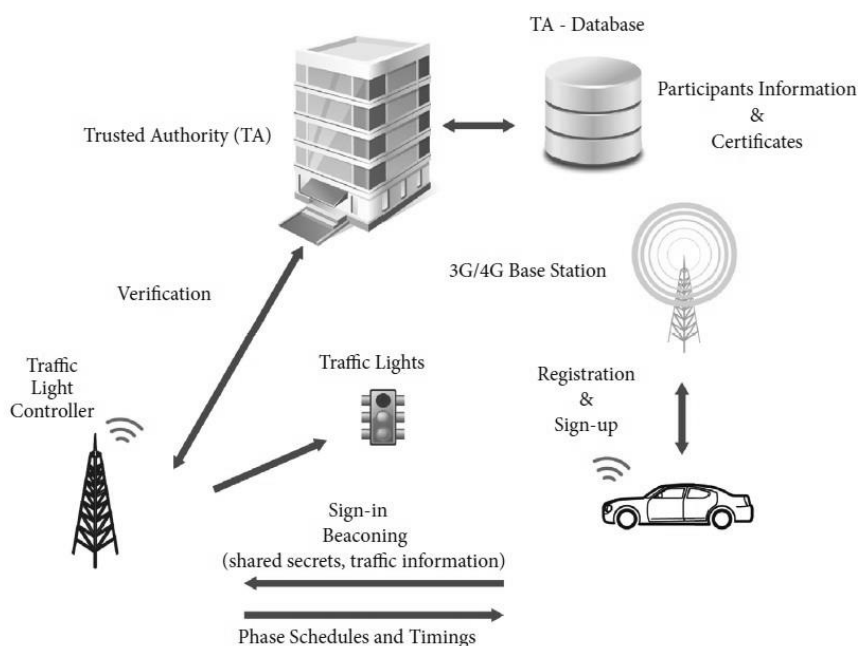


Рисунок 1.15 – Архітектура системи інтелектуального керування з протоколом зв'язку [84]

Час очікування дозвільного сигналу світлофора під час використання інтелектуальної системи може становити до 25 с [84].

За зменшення інтенсивності руху ефективність роботи даної системи зменшується.

Аналізуючи динаміку патентування систем та алгоритмів для БТЗ можна побачити їх стрімкий ріст [85], основоположниками яких стають в основному, провідні автомобільні виробники.

Створюються також багато систем допомоги водію (ADAS) [85], що почали випереджати сам розвиток БТЗ.

Розглянемо проект Марка Ніколсона [86], де на основних перехрестях Мілтон-Кінсі (Англія) встановлені 411 інтелектуальних камер. Інформація з цих камер надходить до обчислюваного комплексу зі штучним інтелектом, який кожен раз аналізує розвиток дорожньої ситуації і тим самим дозволяє прогнозувати умови руху з випередженням до 15 хвилин із ймовірністю 89 % [86].

Тому можна зробити висновок, що науковці та автомобільні виробники в розвитку БТЗ вирішують питання з уникненням конфліктних ситуацій на дорогах та під час проїзду перехресть. Але Україна за кількістю патентів і розроблених систем суттєво програє іншим країнам. Тому створення і удосконалення алгоритмів і систем ADAS та БТЗ є сприянням для розвитку транспортної телематики в Україні, через це необхідно їх використовувати і удосконалювати. У напрямках власного дослідження розглядається підвищення ефективності руху одиночних транспортних засобів через світлофорні об'єкти.

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЇЗДУ ТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ РЕГУЛЬОВАНИХ ДІЛЯНОК ДОРІГ

2.1 Розрахунок сил, що діють на транспортний засіб під час руху

Першим етапом для створення математичних моделей руху ТЗ на регульованих ділянках доріг було визначення сил, що будуть діяти на ТЗ під час руху та розгону з місця. Для проведення математичного моделювання обраний автомобіль малого класу Geely СК-1.

Відповідно до досліджень [87] під час руху на ТЗ діють рушійні сили та сили опору руху. Тому, провівши стендові дослідження, визначено показники, що необхідні для визначення рушійних сил та сил опору руху ТЗ. Основні показники були взяті з технічної документації на ТЗ Geely СК-1.

За відомими залежностями [88] сила опору кочення:

$$P_f = f \cdot G, \quad (2.1)$$

де $f=0,018$ – коефіцієнт опору кочення;

$G = m \cdot g$ – вага ТЗ, Н;

$m=1200$ – маса ТЗ, кг.

Відповідно вага ТЗ: $G = 1200 \cdot 9,81 = 11772 \text{ Н}$.

Сила опору повітря:

$$P_w = k \cdot F \cdot V^2, \text{ Н}, \quad (2.2)$$

де $k=0,246$ – коефіцієнт опору повітря;

$F=2,1$ – площа січення Міделя, м^2 ;

V – швидкість руху, м/с .

Сила опору розгону:

$$P_j = \frac{G}{g} \cdot j \cdot \delta_{об}, \text{Н}, \quad (2.3)$$

де j – прискорення ТЗ, м/с^2 ;

$\delta_{об}$ – коефіцієнт врахування обертових мас.

Для Geely СК-1 коефіцієнт врахування обертових мас на різних передачах дорівнює $1,06 \dots 1,4$.

Крім того, під час руху накатом рух ТЗ відбувається за рахунок накопиченої кінетичної енергії. Зміна кінетичної енергії під час руху ТЗ характеризується величиною виконаної роботи силовим агрегатом або гальмівною системою під час розгону чи гальмування ТЗ.

Звідси робота, що виконується під час розгону ТЗ після проїзду стоп-лінії світлофора характеризується зміною кінетичної енергії:

$$\begin{aligned} A_{розг} &= K_{\max} - K_{\kappa}; \\ K_{\max} &= \frac{mV_n^2}{2}; \\ K_{\kappa} &= \frac{mV_{\kappa}^2}{2}. \end{aligned} \quad (2.4)$$

де $K_{\max}$ – кінетична енергія, що набуває транспортний засіб під час руху зі швидкістю V_n після проїзду світлофорного об'єкта, Дж;

K_{κ} – кінетична енергія транспортного засобу на стоп-лінії перед світлофором, Дж;

V_{κ} – швидкість транспортного засобу на стоп-лінії світлофорного об'єкта, м/с;

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

Тоді робота розгону ТЗ:

$$A_{розг} = \frac{m \cdot (V_n^2 - V_{\kappa}^2)}{2}. \quad (2.5)$$

Розглядаючи роботу розгону ТЗ після проїзду стоп-лінії світлофорного об'єкта, можна побачити, що водій під час руху може вплинути на швидкість V_{κ} ТЗ, що має квадратичний вплив на кінетичну енергію ТЗ.

Звідси зміна витрати палива, враховуючи роботу розгону ТЗ, буде виражатися такою залежністю:

$$Q_n = \frac{A_{розг}}{H_n \cdot \rho \cdot \eta_e}, \quad (2.6)$$

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

ρ – густина палива, кг/м³;

η_e – ККД перетворення енергії палива в механічну роботу.

Після відповідних перетворень отримаємо:

$$Q_n = \frac{m}{2H_n \cdot \rho \cdot \eta_e} \cdot (V_n^2 - V_k^2). \quad (2.7)$$

Розглядаючи формулу залежності витрати палива під час проїзду ТЗ світлофорного об'єкта, видно, що водій, збільшивши кінцеву швидкість V_k , зменшить витрату палива. Тому необхідно дослідити вплив інших параметрів руху ТЗ на кінцеву швидкість V_k .

Найкращим буде результат, коли ТЗ проїжджатиме світлофорний об'єкт без зупинки із мінімальною зміною швидкісного режиму. Витрата палива в такому випадку описується паливно-економічною характеристикою. Для автомобіля Geely СК-1 вона представлена на рисунку 2.1, а.

Під час проїзду ТЗ світлофорного об'єкта із зупинкою і подальшим розгоном зі стоп-лінії витрата палива збільшується (рис. 2.1 ,б).

Розглядаючи результати витрати палива, можна побачити, що миттєва витрата палива під час проїзду світлофорного об'єкта з зупинкою збільшується в 5-10 разів, у залежності від режиму розгону транспортного засобу.

Відповідно до проведених спостережень і аналізу досліджень руху ТЗ на регульованих ділянках доріг, було розглянуто дії водіїв ТЗ під час проїзду світлофорних об'єктів. У більшості випадків ТЗ зупинялися з різними ступенями сповільнення перед світлофором на червоний сигнал, при цьому їх кінцева швидкість зменшувалась до нуля.

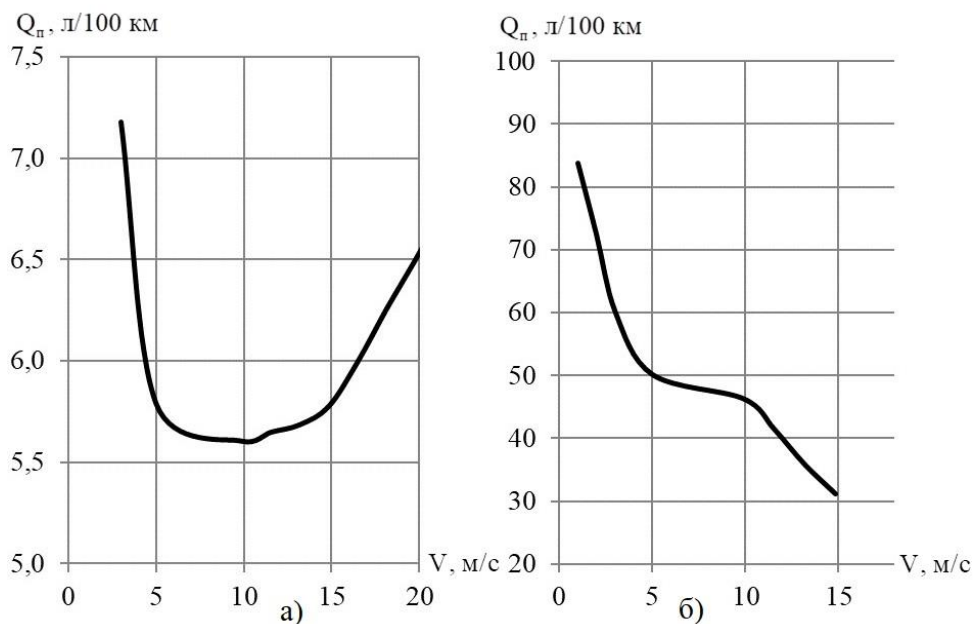


Рисунок 2.1 – Розрахункова витрата палива під час проїзду світлофорного об'єкта автомобілем Geely SK-1: а) паливо-економічна характеристика під час руху з постійною швидкістю; б) витрата палива під час розгону

Тому для більш детального розгляду руху ТЗ і впливу їх кінцевої швидкості на регульованих ділянках доріг розроблено математичні моделі їх руху за різних випадків, що описані нижче.

2.2 Математична модель звичайного проїзду регульованих ділянок доріг

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 світлофорним об'єктом із урахуванням

власного досвіду та стилю керування ТЗ застосовують режим службового гальмування для зменшення швидкості і зупинки ТЗ.

Зазначений спосіб гальмування і зупинки виконується з невеликою інтенсивністю аж до самої зупинки ТЗ, що не доставляє дискомфорту водію та пасажирам [89].

Таким чином, під час руху ТЗ з початковою швидкістю V_n , зупинка перед стоп-лінією світлофора схематично відбувається у два етапи (рис. 2.2, а).

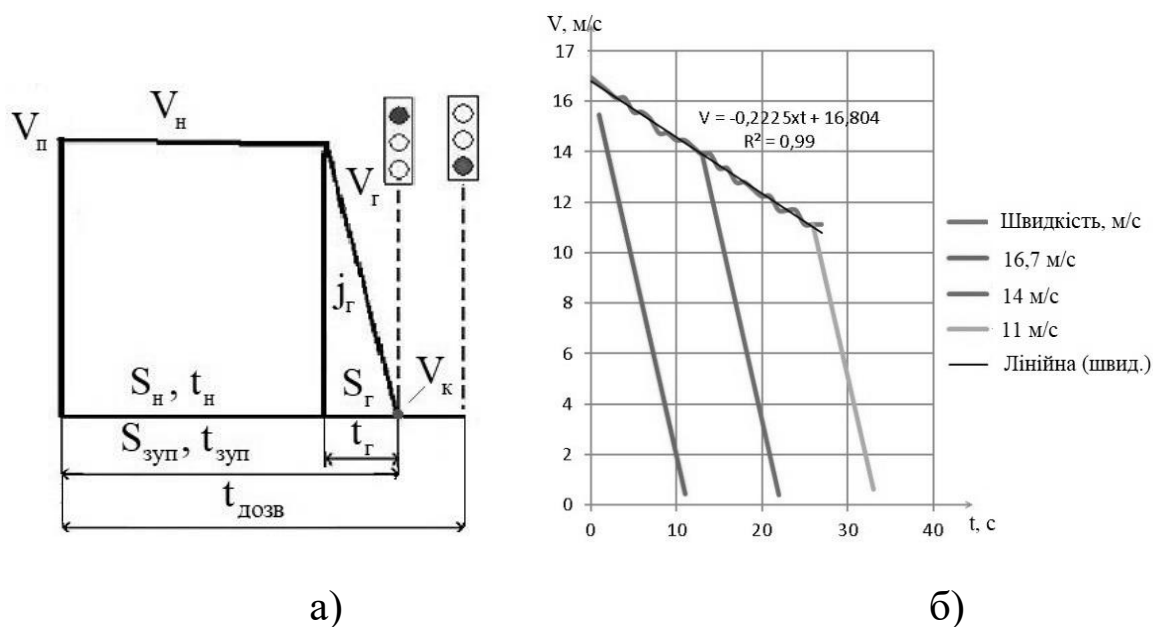


Рисунок 2.2 – Проїзд ТЗ регульованої ділянки дороги з зупинкою перед стоп-лінією світлофора:

а) схематична; б) експериментальна

На першому етапі ТЗ рухається накатом зі швидкістю V_n протягом часу t_n , та за цей час ТЗ проїжджає шлях S_n .

Експериментальним шляхом було визначено залежність зміни швидкості руху ТЗ під час під'їзду до стоп-лінії світлофора (рис. 2.2, б).

За даними досліджень видно, що за час руху накатом t_n перед зупинкою на заборонений сигнал світлофора швидкість змінюється несуттєво. З урахуванням того, що рух накатом триває лічені секунди, можна прийняти, що $V_n \approx \text{const}$. Також можна припустити, що службове гальмування починається зі швидкості $V_n \approx V_n$.

Другий етап починається, коли водій починає службове гальмування зі сповільненням j_z безпосередньо перед світлофорним об'єктом протягом часу t_z і закінчується, коли ТЗ зупиняється перед стоп-лінією за який пройде шлях S_z очікуючи ввімкнення дозвільного сигналу.

Виходячи з цього можна записати, що шлях зупинки та час зупинки ТЗ дорівнюють:

$$S_{\text{зуп}} = S_n + S_z; \quad (2.8)$$

$$t_{\text{зуп}} = t_n + t_z, \quad (2.9)$$

де S_n , S_z – шлях накату та шлях службового гальмування, м;

t_n , t_z – час руху накатом та час службового гальмування, с.

Як правило службове гальмування відбувається зі сповільненням $j_z = 1 \div 2.5 \text{ м / с}^2$.

Тоді час та шлях службового гальмування буде рівним:

$$t_z \approx \frac{V_n}{j_z}; \quad (2.10)$$

$$S_z = \frac{j_z \cdot t_z^2}{2};$$

$$\text{або } S_z = \frac{V_n^2}{2 \cdot j_z}. \quad (2.11)$$

З урахуванням (2.8, 2.9) шлях та час руху накатом ТЗ дорівнює:

$$S_n = S_{zyn} - S_z; \quad (2.12)$$

$$t_n = \frac{S_n}{V_n}. \quad (2.13)$$

Після перетворень отримаємо:

$$t_n = \frac{S_{zyn}}{V_n} - \frac{V_n}{2 \cdot j_z}. \quad (2.14)$$

Шлях руху ТЗ накатом перед службовим гальмуванням дорівнює:

$$S_n = V_n \cdot t_n. \quad (2.15)$$

Коли відомі час, через який буде ввімкнутий сигнал на дозвіл руху ТЗ ($t_{\text{дозв}}$), та відстань від ТЗ до самого світлофору (S), можна проаналізувати дорожню ситуацію з урахуванням (2.8, 2.9) та встановити таке:

— якщо $t_{zyn} < t_{\text{дозв}}$, то водій гальмує і вимушений зупинитись

перед світлофором, так як буде ще увімкнутий заборонний сигнал;

– якщо $t_{зуп} > t_{дозв}$ та $S_{зуп} < S$, то водій ТЗ може проїхати світлофор без зупинки на зелений сигнал, який загориться після червоного.

У процесі розробки математичної моделі гальмування ТЗ перед світлофорним об'єктом з урахуванням експериментального дослідження були встановлені математичні залежності часу і шляху зупинки, що надає змогу прогнозувати дорожню обстановку під час проїзду регульованих ділянок доріг.

З урахуванням тривалих спостережень і рекомендацій були прийняті такі умови моделювання: відстань до світлофора 200 м, початкова швидкість (V_n) в діапазоні від 5 м/с до 15 м/с, сповільнення під час службового гальмування (j_z) 1,5 м/с², сповільнення під час нахату (j_n) 0,16 м/с², час до включення дозвільного сигналу світлофора ($t_{дозв}$) в діапазоні від 10 с до 40 с. У результаті цього отримано залежності максимальної кінцевої швидкості ($V_{кmax}$) від початкових швидкостей (V_n) та часу до включення дозвільного сигналу світлофора ($t_{дозв}$) (рис. 2.3).

Розглядаючи варіанти зміни початкової швидкості ТЗ (рис. 2.3) необхідно виділити, що в більшості випадків водії будуть зупинятися на червоний сигнал світлофора, практично не залежно від зміни початкової швидкості.

Залежність кінцевої швидкості від часу до дозвільного сигналу та початкової швидкості ТЗ на регульованій ділянці дороги, для кращого розуміння, перевірено і змодельовано в середовищі MATLAB (рис. 2.4).

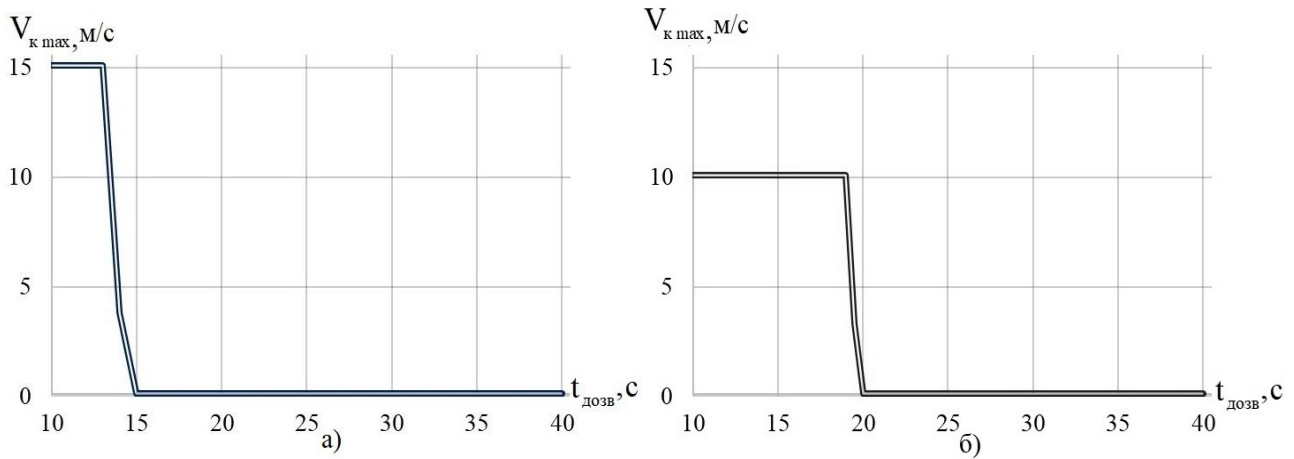


Рисунок 2.3 – Вплив $t_{\text{дозв}}$ на $V_{k\max}$ під час звичайного проїзду світлофорного об'єкта: а) $V_n = 15$ м / с ; б) $V_n = 10$ м / с

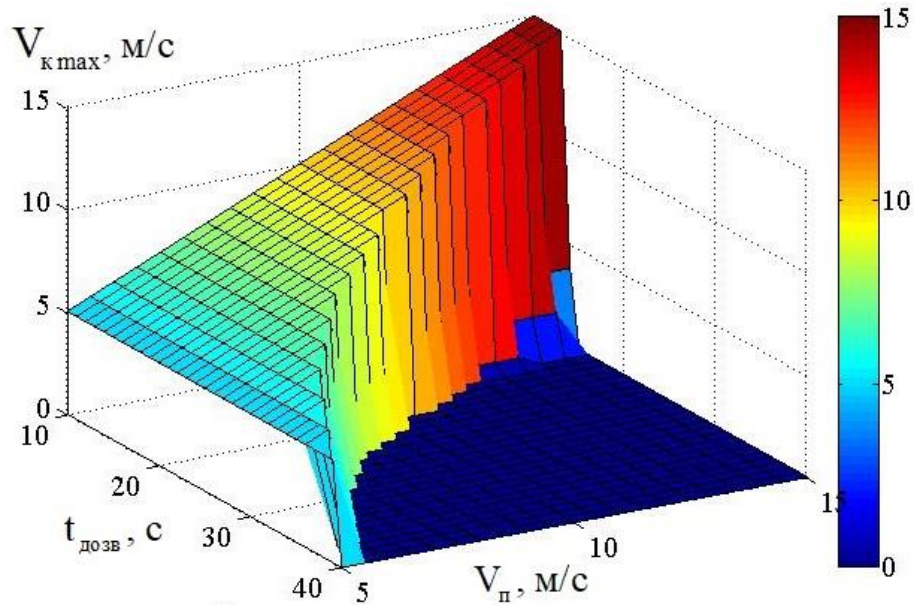


Рисунок 2.4 – 3D-модель впливу $t_{\text{дозв}}$ та V_n на $V_{k\max}$ під час звичайного проїзду світлофорного об'єкта

Розглядаючи моделювання зміни максимальної кінцевої швидкості під час проїзду регульованої ділянки дороги, можна зробити висновки, 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 (на рис. 2.4 перехід з світло синього кольору до оранжевого).

Розглядаючи проїзд ТЗ регульованих ділянок доріг, необхідно виділити частку водіїв, які під'їжджають до світлофорного об'єкта в тяговому режимі руху. Цей нераціональний варіант проїзду регульованої ділянки дороги відбувається у наступній послідовності: водій ТЗ до самого світлофора рухається в тяговому режимі і лише перед самим світлофором починає виконувати службове гальмування, яке іноді може перерости в екстрене.

За результатами розрахунків побудовано графічні залежності максимальної кінцевої швидкості $V_{к\max}$ за нераціонального варіанта проїзду і визначено можливості проїзду без зупинки з різною початковою швидкістю V_n (рис. 2.5).

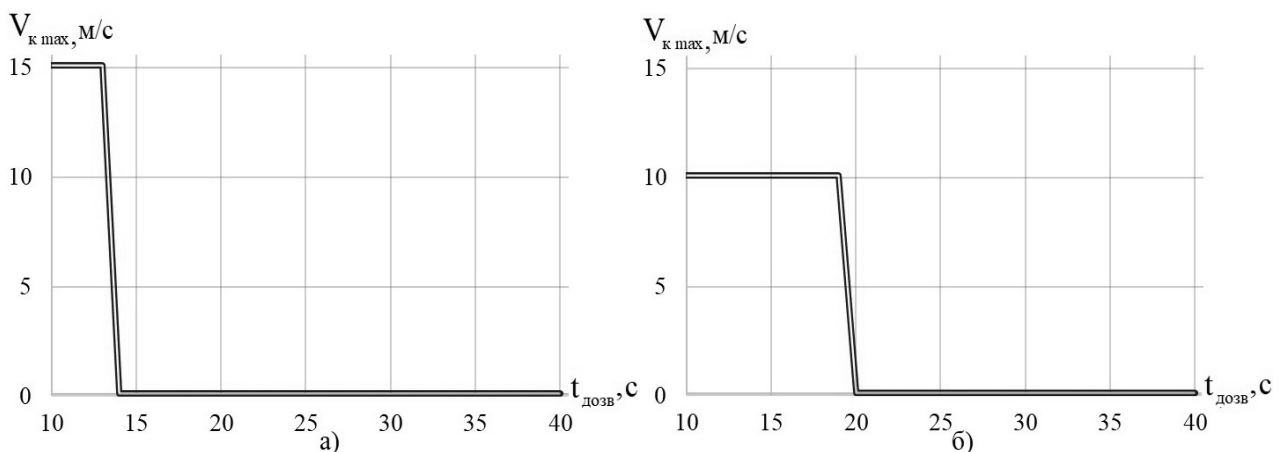


Рисунок 2.5 – Вплив $t_{дозв}$ на $V_{к\max}$ під час нераціонального проїзду світлофорного об'єкта: а) $V_n = 15$ м/с; б) $V_n = 10$ м/с

При цьому досліджено і прийнято інші умови, де змінилась швидкість накату на рух в тяговому режимі та змінилось сповільнення

при службовому гальмуванні до $2,5 \text{ м/с}^2$.

Розглядаючи даний варіант нераціонального проїзду за різних початкових швидкостей (рис. 2.5), можна побачити, що кількість проїздів ТЗ світлофорних об'єктів без зупинок зменшується, а час до включення дозвільного сигналу світлофора при $V_n = 15 \text{ м/с}$ не може перевищувати 13 с.

З урахуванням різних початкових швидкостей V_n в середовищі MATLAB був змодельований нераціональний проїзд у тяговому режиму, який відображений на рисунку 2.6.

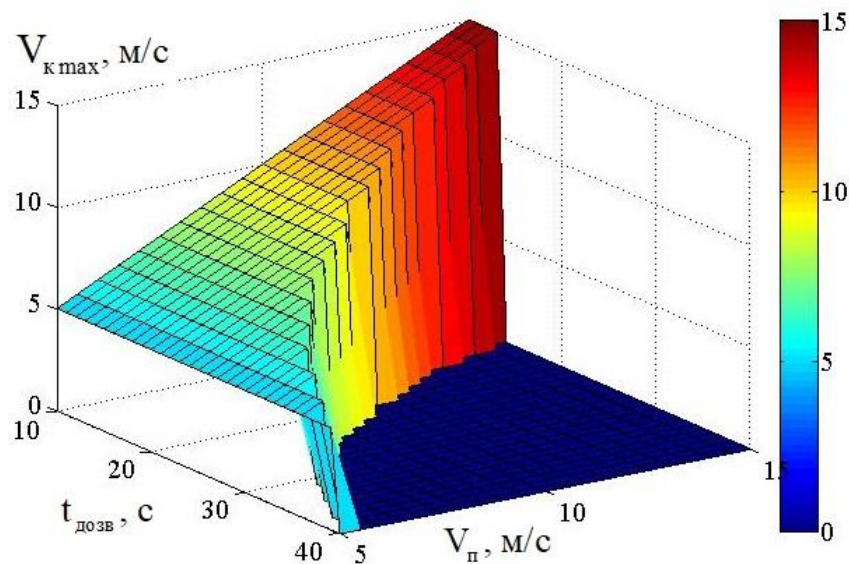


Рисунок 2.6 – 3D-модель впливу $t_{дозв}$ та V_n на $V_{кmax}$ під час нераціонального проїзду світлофорного об'єкта

Внаслідок виконаного моделювання необхідно виділити, що водії за заданих умов у 55 % випадків будуть зупинятися перед стоп-лінією світлофора і чекатимуть увімкнення дозвільного сигналу, а лише в 45 % випадках проїжджатимуть світлофор на зелений сигнал без зупинки.

2.3 Математична модель раціонального проїзду регульованих ділянок доріг

Для покращення експлуатаційних параметрів руху ТЗ та паливної економічності, підвищення екологічної безпеки був запропонований метод раціонального проїзду регульованих ділянок доріг, схему якого зображено на рисунку 2.7.

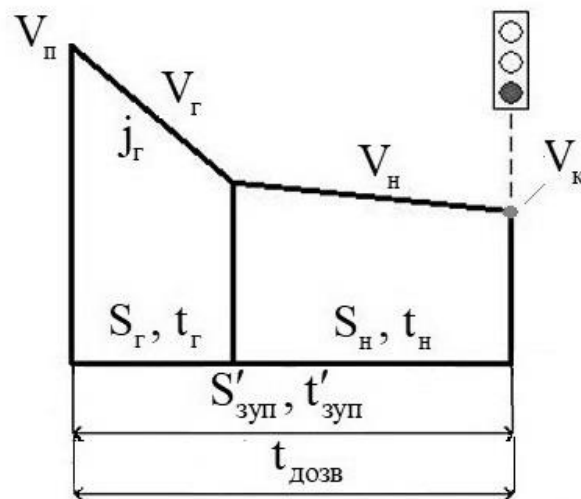


Рисунок 2.7 – Схема раціонального (безупинного) проїзду світлофорних об'єктів

Схема складається з двох етапів.

Перший етап полягає в тому, що наближаючись до світлофорного об'єкта, на якому ввімкнений червоний сигнал, за 200 м водій протягом розрахованого часу t_2 виконує службове гальмування зі сповільненням j_2 і пройденим шляхом S_2 .

Другий етап починається, коли водій після службового гальмування j_2 переводить ТЗ у режим руху накатом та проїжджає

світлофорний об'єкт з максимально дозволеною кінцевою швидкістю $V_{\kappa\max}$ у момент, коли буде горіти уже зелений сигнал світлофора. При цьому, втрата кінетичної енергії буде мінімальною.

Враховуючи математичне моделювання звичайного проїзду світлофорних об'єктів, було створено модель, яка описується системою лінійних та квадратних рівнянь.

$$\left\{ \begin{array}{l} S_{зуп} = S_z + S_n \end{array} \right. \quad (2.16)$$

$$t_{зуп} = t_z + t_n \quad (2.17)$$

$$V_n = V_n + j_z \cdot t_z \quad (2.18)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_n - j_n \cdot t_n - V_{\kappa} = 0. \end{array} \right. \quad (2.19)$$

$$S_z = V_n \cdot t_z - \frac{j_z \cdot t_z^2}{2} \quad (2.20)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} S_n = V_n \cdot t_n - \frac{j_n \cdot t_n^2}{2} \end{array} \right. \quad (2.21)$$

Звідси, необхідно знайти шлях зупинки ТЗ $S_{зуп}$ (2.16) на регульованій ділянці дороги, підставивши (2.20) і (2.21):

$$S_{зуп} = V_n \cdot t_z - \frac{j_z \cdot t_z^2}{2} + V_n \cdot t_n - \frac{j_n \cdot t_n^2}{2}. \quad (2.22)$$

Із (2.18) отримаємо швидкість накату:

$$V_n = V_n - j_z \cdot t_z. \quad (2.23)$$

Підставимо (2.23) в (2.22) і виконаємо перетворення:

$$S_{zyn} = V_n \cdot t_{\varepsilon} - \frac{j_{\varepsilon} \cdot t_{\varepsilon}^2}{2} + (V_n - j_{\varepsilon} \cdot t_{\varepsilon}) \cdot t_H - \frac{j_H \cdot t_H^2}{2};$$

$$S_{zyn} = V_n \cdot t_{\varepsilon} - \frac{j_{\varepsilon} \cdot t_{\varepsilon}^2}{2} + V_n \cdot t_H - j_{\varepsilon} \cdot t_{\varepsilon} \cdot t_H - \frac{j_H \cdot t_H^2}{2}.$$

Із урахуванням (2.17):

$$V_n \cdot t_{zyn} - S_{zyn} = \frac{j_{\varepsilon} \cdot t_{\varepsilon}^2}{2} + j_{\varepsilon} \cdot t_{\varepsilon} \cdot t_H + \frac{j_H \cdot t_H^2}{2}. \quad (2.24)$$

З іншої сторони з урахуванням (2.17) маємо:

$$t_H = t_{zyn} - t_{\varepsilon}. \quad (2.25)$$

Піднесемо до квадрата обидві сторони рівняння:

$$t_H^2 = t_{zyn}^2 + t_{\varepsilon}^2 - 2t_{zyn} \cdot t_{\varepsilon}. \quad (2.26)$$

Підставимо (2.25) і (2.26) в (2.24):

$$V_n \cdot t_{zyn} - S_{zyn} = \frac{j_{\varepsilon} \cdot t_{\varepsilon}^2}{2} + j_{\varepsilon} \cdot t_{\varepsilon} \cdot (t_{zyn} - t_{\varepsilon}) + \frac{j_H}{2} \cdot (t_{zyn}^2 + t_{\varepsilon}^2 - 2t_{zyn} \cdot t_{\varepsilon}),$$

$$V_n \cdot t_{zyn} - S_{zyn} = \frac{j_{\varepsilon} \cdot t_{\varepsilon}^2}{2} - j_{\varepsilon} \cdot t_{\varepsilon}^2 + j_{\varepsilon} \cdot t_{\varepsilon} \cdot t_{zyn} + \frac{j_H \cdot t_{zyn}^2}{2} + \frac{j_H}{2} \cdot t_{\varepsilon}^2 - j_H \cdot t_{zyn} \cdot t_{\varepsilon},$$

$$V_n \cdot t_{zyn} - \frac{j_H \cdot t_{zyn}^2}{2} - S_{zyn} = -(j_{\varepsilon} - j_H) \cdot \frac{t_{\varepsilon}^2}{2} + (j_{\varepsilon} - j_H) \cdot t_{zyn} \cdot t_{\varepsilon}.$$

Після відповідних перетворень і скорочень отримаємо:

$$t_z^2 - 2t_{zyn} \cdot t_z + \frac{2(V_n \cdot t_{zyn} - \frac{j_n \cdot t_{zyn}^2}{2} - S_{zyn})}{j_z - j_n} = 0. \quad (2.27)$$

Розв'язок рівняння (2.27), що задовольняє умову $t_z < t_{zyn}$, має вигляд:

$$t_z = t_{zyn} - \sqrt{t_{zyn}^2 - \frac{2(V_n \cdot t_{zyn} - \frac{j_n \cdot t_{zyn}^2}{2} - S_{zyn})}{j_z - j_n}}. \quad (2.28)$$

Оскільки за фізичною сутністю процесу $j_z - j_n > 0$, то можна записати:

$$V_n \cdot t_{zyn} - \frac{j_n \cdot t_{zyn}^2}{2} - S_{zyn} \geq 0.$$

Звідси отримаємо зв'язок між часом зупинки (t_{zyn}) і шляхом зупинки (S_{zyn}) та початковою швидкістю ТЗ (V_n) і часу руху накатом (j_n) за якими можна починати застосовувати запропонований раціональний метод проїзду світлофорних об'єктів.

Тому умова застосування системи буде наступною:

$$(V_n - \frac{j_n \cdot t_{zyn}}{2}) \cdot t_{zyn} \geq S_{zyn}. \quad (2.29)$$

Із фізичної умови дійсності часу гальмування t_z маємо також нерівність:

$$(j_z - j_n) \cdot t_{zyn}^2 - 2V_n \cdot t_{zyn} + j_n \cdot t_{zyn}^2 + 2S_{zyn} \geq 0,$$

$$\frac{j_z \cdot t_{zyn}^2}{2} \geq V_n \cdot t_{zyn} - S_{zyn}.$$

Звідси виходить умова вибору j_z під час службового гальмування:

$$j_z \geq \frac{2V_n}{t_{zyn}} - \frac{2S_{zyn}}{t_{zyn}^2}. \quad (2.30)$$

Після перетворень із (2.19) отримаємо кінцеву швидкість:

$$V_k = V_n - j_n \cdot t_n.$$

З рівняння (2.18) отримаємо швидкість накату ТЗ:

$$V_n = V_n - j_z \cdot t_z.$$

Або кінцева швидкість дорівнює:

$$V_{\kappa} = V_n - j_{\varepsilon} \cdot t_{\varepsilon} - j_{\text{н}} \cdot t_{\text{н}}.$$

Оскільки із рівняння (2.17): $t_{\text{н}} = t_{\text{зуп}} - t_{\varepsilon}$, то після заміни отримаємо:

$$\begin{aligned} V_{\kappa} &= V_n - j_{\varepsilon} \cdot t_{\varepsilon} - j_{\text{н}} \cdot t_{\text{зуп}} + j_{\text{н}} \cdot t_{\varepsilon}, \\ V_{\kappa} &= V_n - (j_{\varepsilon} - j_{\text{н}}) \cdot t_{\varepsilon} - j_{\text{н}} \cdot t_{\text{зуп}}. \end{aligned} \quad (2.31)$$

Підставимо (2.28) у (2.31):

$$V_{\kappa} = V_n - (j_{\varepsilon} - j_{\text{н}}) \cdot \left[t_{\text{зуп}} - \sqrt{t_{\text{зуп}}^2 - \frac{2a}{j_{\varepsilon} - j_{\text{н}}}} \right] - j_{\text{н}} \cdot t_{\text{зуп}},$$

$$\text{де } a = V_n \cdot t_{\text{зуп}} - \frac{j_{\text{н}} \cdot t_{\text{зуп}}^2}{2}.$$

Тоді після перетворень:

$$\begin{aligned} V_{\kappa} &= V_n - (j_{\varepsilon} - j_{\text{н}}) \cdot t_{\text{зуп}} + (j_{\varepsilon} - j_{\text{н}}) \cdot \sqrt{t_{\text{зуп}}^2 - \frac{2a}{j_{\varepsilon} - j_{\text{н}}}} - j_{\text{н}} \cdot t_{\text{зуп}}, \\ V_{\kappa} &= V_n - j_{\varepsilon} \cdot t_{\text{зуп}} + (j_{\varepsilon} - j_{\text{н}}) \cdot \sqrt{t_{\text{зуп}}^2 - \frac{2a}{j_{\varepsilon} - j_{\text{н}}}}. \end{aligned} \quad (2.32)$$

Звідси найкращими показники руху будуть при прямуванні кінцевої швидкості V_{κ} до максимально дозволеної.

Для того, щоб визначити максимально можливе значення $V_{\kappa \max}$, необхідно знайти часткові похідні по j_z і прирівняти їх до 0:

$$\frac{\partial V_{\kappa}}{\partial j_z} = -t_{\text{зуп}} + \sqrt{t_{\text{зуп}}^2 - \frac{2a}{j_z - j_n}} + \frac{(j_z - j_n) \cdot 2a}{2 \cdot \sqrt{t_{\text{зуп}}^2 - \frac{2a}{j_z - j_n}} \cdot (j_z - j_n)^2} = 0.$$

Виконаємо відповідні перетворення:

$$\frac{\partial V_{\kappa}}{\partial j_z} = -t_{\text{зуп}} + \sqrt{t_{\text{зуп}}^2 - \frac{2a}{j_z - j_n}} + \frac{a}{\sqrt{t_{\text{зуп}}^2 - \frac{2a}{j_z - j_n}} \cdot (j_z - j_n)} = 0. \quad (2.33)$$

Час зупинки дорівнює:

$$t_{\text{зуп}} = \sqrt{t_{\text{зуп}}^2 - \frac{2a}{j_z - j_n}} + \frac{a}{\sqrt{t_{\text{зуп}}^2 - \frac{2a}{j_z - j_n}} \cdot (j_z - j_n)}.$$

Помножимо обидві частини рівняння на $\sqrt{t_{\text{зуп}}^2 - \frac{2a}{j_z - j_n}}$.

$$t_{\text{зуп}} \cdot \sqrt{t_{\text{зуп}}^2 - \frac{2a}{j_z - j_n}} = t_{\text{зуп}}^2 - \frac{2a}{j_z - j_n} + \frac{a}{j_z - j_n}.$$

Після перетворень отримаємо:

$$t_{zyn} \cdot \sqrt{t_{zyn}^2 - \frac{2a}{j_e - j_n}} = t_{zyn}^2 - \frac{a}{j_e - j_n}.$$

Позначимо $x = \frac{1}{j_e - j_n}$ і виконаємо заміну.

$$t_{zyn} \cdot \sqrt{t_{zyn}^2 - 2ax} = t_{zyn}^2 - ax.$$

Піднесемо праву і ліву частини до квадрата:

$$t_{zyn}^2 \cdot (t_{zyn}^2 - 2ax) = t_{zyn}^4 - 2a \cdot t_{zyn}^2 + a^2 \cdot x^2.$$

З рівняння виходить, що $a^2 x^2 = 0$.

З урахуванням того, що $a > 0$, то $x=0$. Однак із фізичної суті $x = \frac{1}{j_e - j_n} > 0$, тому лише елемент x складової рівняння асимптотично прямує до 0, коли $j_e \rightarrow \infty$

Отже, кінцева швидкість V_k набуватиме локального екстремуму на кінцях проміжку, в якому лежить сповільнення під час службового гальмування j_e .

Тобто, для визначення j_e необхідно керуватися умовою (2.30) та умовами комфорту водія і пасажирів ТЗ.

У процесі розроблення математичної моделі раціонального проїзду регульованих ділянок доріг із урахуванням експериментальних досліджень були встановлені математичні

залежності часу і шляху гальмування, а також руху накатом, що надає змогу проїжджати світлофорні об'єкти без зупинки.

Попередньо була розроблена програма в середовищі Microsoft Excel (рис. 2.8), яка дозволяє перевіряти можливість застосування запропонованого методу і визначати основні параметри руху ТЗ під час раціонального проїзду світлофорного об'єкта.

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

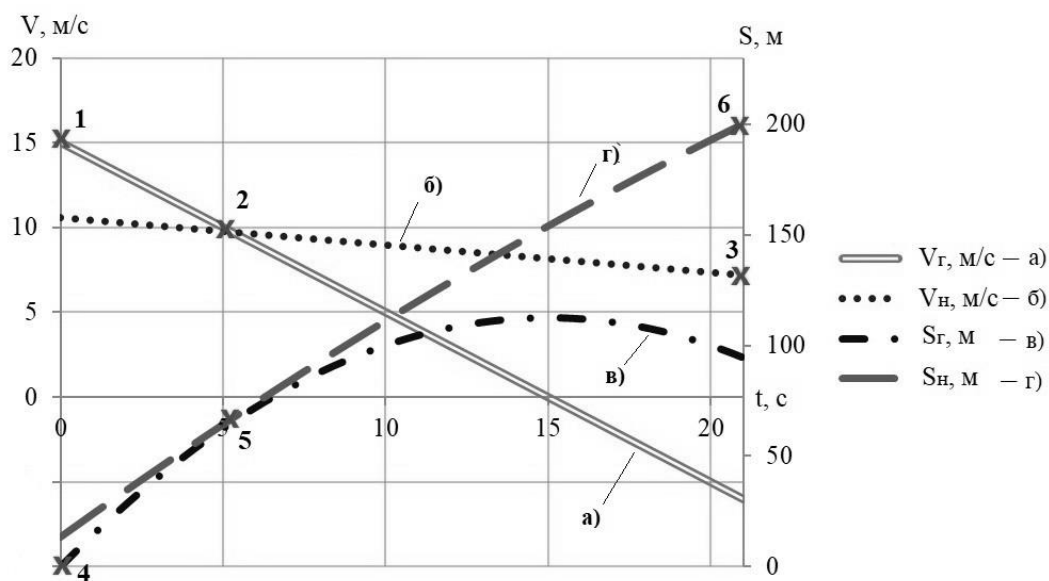


Рисунок 2.8 – Взаємозалежність параметрів руху ТЗ під час раціонального проїзду світлофорних об'єктів

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_z (лінія в) починається в точці 4 і в точці 5 переходить у шлях руху накатом S_n (лінія г). Коли лінія шляху гальмування найближче підходить до лінії шляху накату (т. 5), тоді кінцева швидкість V_k (т. 3) ТЗ, буде найбільшою і світлофорний об'єкт можливо буде проїхати без зупинки. У точці 3 показано оптимізовану кінцеву швидкість проїзду світлофорного об'єкта. У точці 6 показано відстань S до світлофорного об'єкта. Застереження, якщо *лінія г* і *лінія в* перетнуться, то ТЗ приїде до світлофорного об'єкта на червоний сигнал, раніше ніж ввімкнеться дозвільний зелений сигнал. При цьому враховується наступна умова:

$$V_k \leq V_n.$$

За рахунок розрахунків програми, методом підбору можна визначити такі важливі параметри:

- 1) можливість проїзду світлофорного об'єкта без зупинки з врахуванням вхідних параметрів;
- 2) максимальну кінцеву швидкість під час проїзду стоп-лінії світлофорного об'єкта;
- 3) мінімальне та максимальне сповільнення, що задовольняє умови комфорту і дозволяє проїхати світлофорний об'єкт без зупинки;
- 4) час та шлях гальмування.

Враховуючи математичне моделювання раціонального проїзду світлофорного об'єкта ТЗ і програмного розрахунку, побудовано графічні залежності максимальної кінцевої швидкості під час проїзду стоп-лінії світлофорного об'єкта (рис. 2.9).

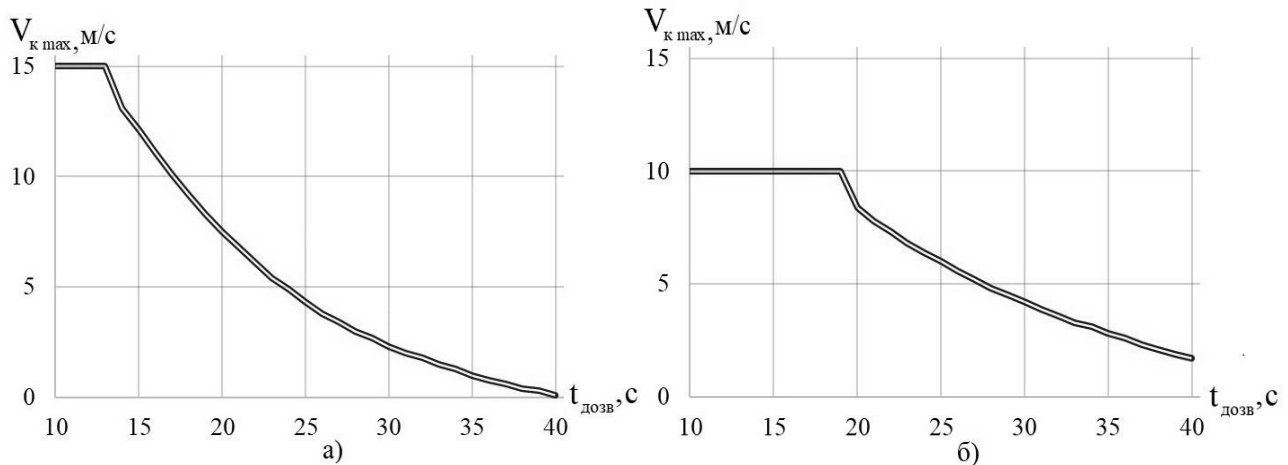


Рисунок 2.9 – Вплив $t_{\text{дозв}}$ на $V_{k \max}$ під час застосування методу раціонального проїзду світлофорного об'єкта: а) $V_n = 15$ м/с;
б) $V_n = 10$ м/с

Розглядаючи ці залежності бачимо, що під час застосування методу раціонального проїзду за даних умов, ТЗ проїжджає світлофорний об'єкт без зупинки. Враховуючи розрахунки службового гальмування і його перевірки через програму, було встановлено, що інтенсивність службового гальмування несуттєво впливає на максимальну кінцеву швидкість $V_{k \max}$. А тому сповільнення j_z було прийнято максимально комфортним $0,7 \text{ м/с}^2$.

Для можливості відображення всіх швидкісних зон змодельовано запропонований раціональний рух ТЗ під час проїзду світлофорних об'єктів (рис. 2.10).

Порівнюючи моделювання проїздів світлофорних об'єктів (рис. 2.4, 2.6, 2.10) необхідно виділити суттєве збільшення максимальної кінцевої швидкості $V_{k \max}$. Синя зона в безупинному 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 %.

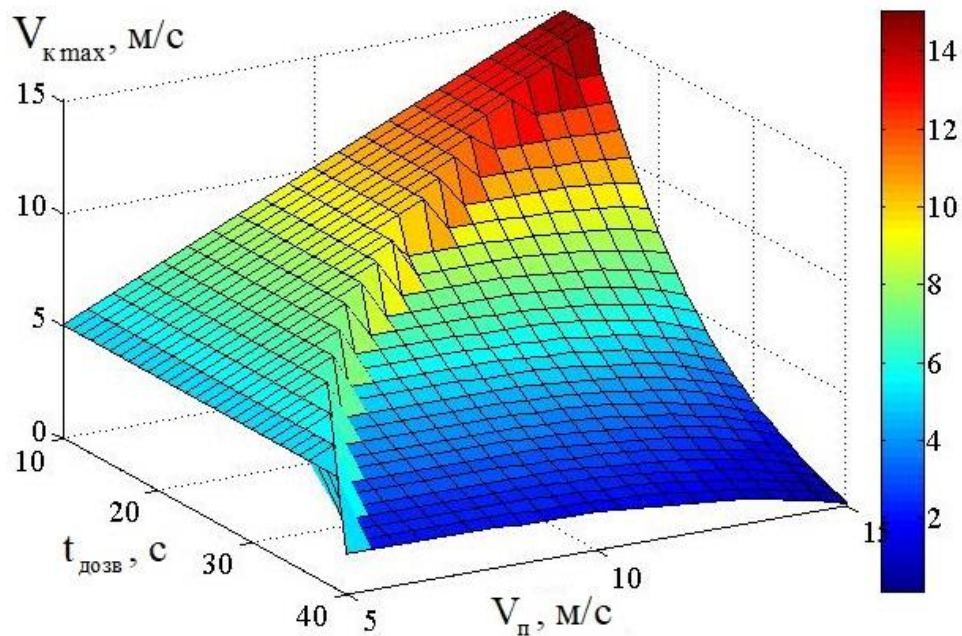


Рисунок 2.10 – 3D-модель впливу $t_{\text{дозв}}$ та V_n на $V_{k\max}$ під час застосування методу раціонального проїзду світлофорного об'єкта

Під час моделювання в середовищі MATLAB була визначена різниця максимальної кінцевої швидкості $V_{k\max}$ залежно від початкових умов (рис. 2.11).

Також встановлено, що під час застосування рекомендованого методу раціонального проїзду світлофорних об'єктів за початкової швидкості $V_n = 15 \text{ м/с}$ максимальне значення кінцевої швидкості $V_{k\max} \rightarrow 15 \text{ м/с}$ у порівнянні з проїздом без використання запропонованого методу різниця швидкостей $V_{k\max}$ може становити до 12,2 м/с.

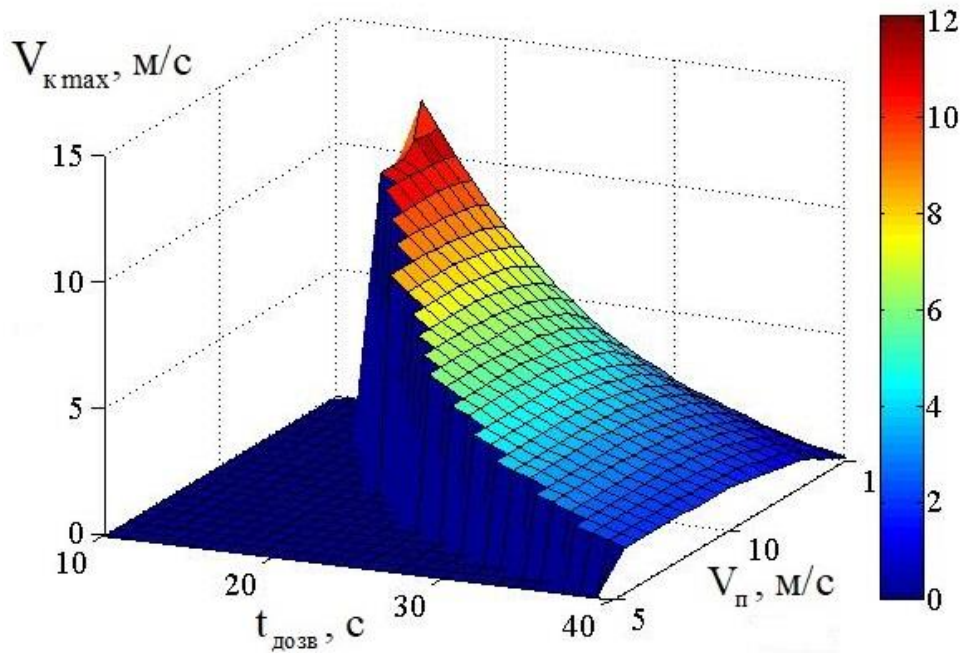


Рисунок 2.11 – 3D-модель різниці $V_{k\max}$ під час застосування різних методів проїзду світлофорного об'єкта

У випадку виникнення непередбачуваних обставин під час використання методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг для уникнення аварійної ситуації можна застосувати екстрене гальмування ТЗ.

Так, наприклад, якщо ТЗ рухається зі швидкістю $V_n = 6,25$ м/с (20 км/год) зі сповільненням $j_z = 8$ м/с² визначено час та шлях, що необхідні для зупинки ТЗ:

$$t_{ектр} = \frac{V}{j} = \frac{6,25}{8} = 0,8 \text{ с};$$

$$S_{ектр} = \frac{j \cdot t^2}{2} = \frac{8 \cdot 0,8^2}{2} = 2,56 \text{ м.}$$

Внаслідок цього встановлено, що даного шляху та часу достатньо для уникнення ДТП і безпечного руху ТЗ. А із застосуванням систем автоматичного екстреного гальмування воно може виконуватись в автоматичному режимі без участі водія.

Як результат теоретичних досліджень і перевірки на прикладі, складено алгоритм проїзду ТЗ світлофорного об'єкта з використанням методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг (рис. 2.12) [90].

Під час під'їзду ТЗ до початку зони дії світлофорного об'єкта включається в роботу система, що визначає початкову швидкість, відстань до світлофора і час до включення зеленого сигналу світлофора. Потім перевіряється можливість проїзду світлофорного об'єкта без зупинки. Якщо немає можливості проїхати світлофор без зупинки, тоді ТЗ необхідно переводити в режим руху накату, і перед стоп-лінією виконувати службове гальмування. Водій чекає ввімкнення дозвільного сигналу світлофора після зупинки. Якщо є можливість проїзду світлофорного об'єкта без зупинки, то виконується проїзд згідно з запропонованим алгоритмом.

Використання раціонального методу проїзду світлофорних об'єктів виконується за дотримання даного алгоритму, за яким перевіряється можливість проїзду та виконується сам проїзд регульованих ділянок доріг без зупинки.

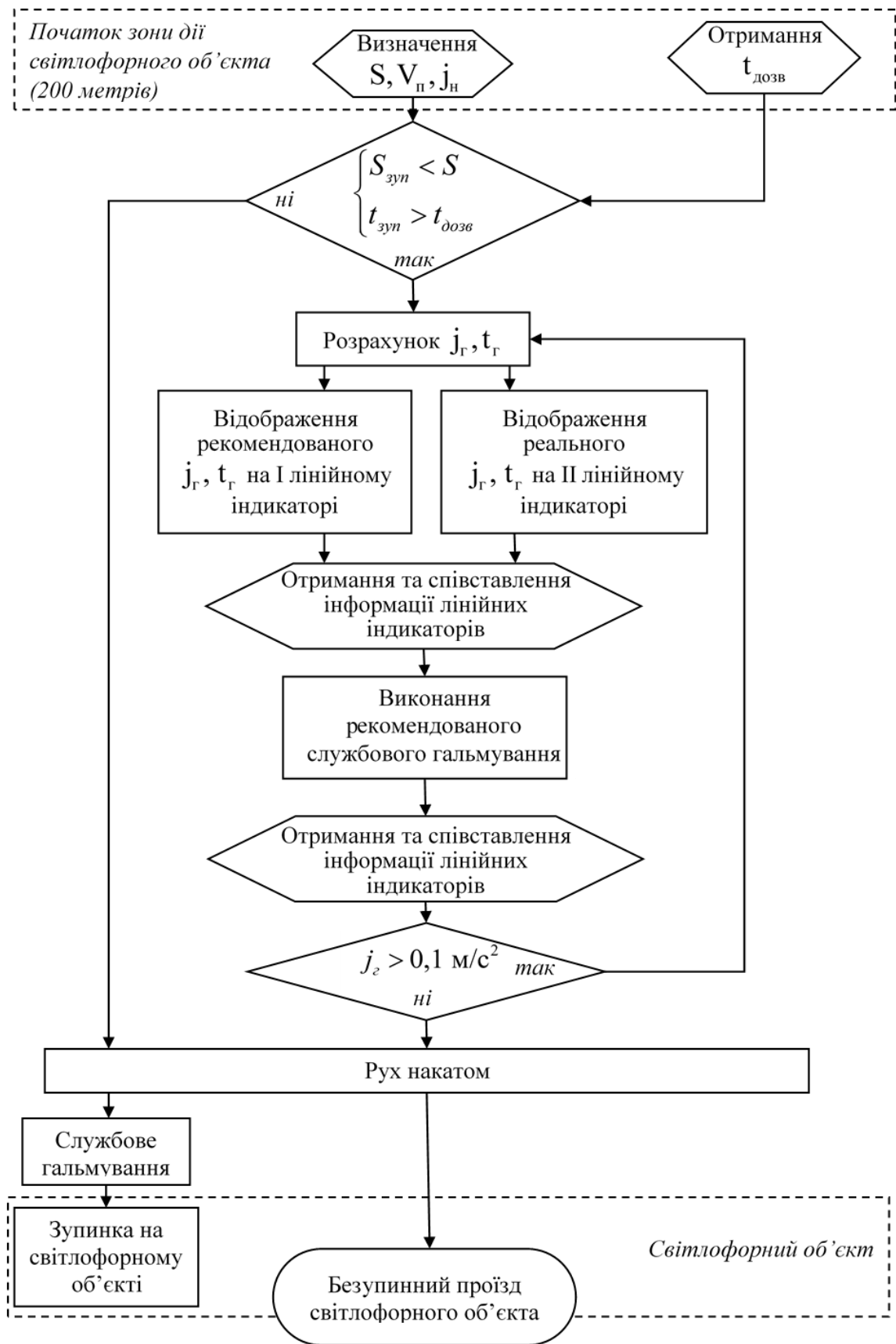


Рисунок 2.12 – Алгоритм раціонального проїзду регульованих ділянок доріг

2.4 Ймовірнісна модель переключення сигналів світлофорних об'єктів

Під'їжджаючи до світлофорного об'єкта водії можуть прогнозувати режим руху ТЗ для його проїзду. Але наперед невідомо, коли точно перемкнеться світлофор, адже він не є синхронізованим із графіком руху ТЗ, який під'їжджає до нього. Тому введемо для часу перемикавання світлофора наступну ймовірнісну модель.

Розглядатимемо як характеристику модельованого світлофора той час, коли на ньому горить заборонний червоний сигнал світлофора T_R . Вважатимемо, що середній час очікування до дозвільного зеленого сигналу світлофора становить $t_c = \frac{t_{\min} + t_{\max}}{2} = \frac{T_R}{2}$, де $t_{\min} = 0$ – час очікування до дозвільного сигналу нульовий (зелений сигнал світлофора увімкнутий); $t_{\max} = T_R$ – час очікування до дозвільного сигналу є максимальним.

Для ймовірнісної моделі часу перемикавання світлофора виберемо нормальний розподіл.

Для визначення середньоквадратичного відхилення часу очікування скористаємося правилом 3σ [91]:

$$6\sigma = T_R \Rightarrow \sigma = \frac{T_R}{6}. \quad (2.34)$$

Згідно нормальним розподілом [91] густина ймовірності увімкнення дозвільного зеленого сигналу світлофора запишеться у

вигляді:

$$\varphi(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-t_c)^2}{2\sigma^2}}.$$

Або після підстановки (2.34) і t_c отримаємо:

$$\varphi(t) = \frac{6}{T_R \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\frac{T_R}{2})^2}{18T_R^2}}. \quad (2.35)$$

Під час проїзду світлофорного об'єкта можливі 3 випадки:

1) світлофор включить зелений сигнал ще до моменту доїзду до нього у деякий час t_1 ;

2) світлофорний об'єкт надасть дозвільний сигнал у межах відведеного на регулювання запропонованим методом часу;

3) очікування дозвільного сигналу t_2 за заданої швидкості V_n ТЗ та циклу світлофора є надто великим для безупинного його проїзду.

Час t_1 розраховується із залежності (2.29):

$$\begin{aligned} -\frac{j_n \cdot t^2}{2} + V_n \cdot t - S_{зуп} &= 0, \\ t^2 - \frac{2V_n}{j_n} t + \frac{2S_{зуп}}{j_n} &= 0. \end{aligned} \quad (2.36)$$

Звідси:

$$t_1 = \frac{V_n}{j_n} - \sqrt{\left(\frac{V_n}{j_n}\right)^2 - \frac{2S_{зуп}}{j_n}}. \quad (2.37)$$

Час t_2 визначається з умови (2.28) при $j_e = j_{e\max}$.

Ймовірність $P = P(t_1) = P_1$ відповідає випадку, коли світлофор включить зелений сигнал ще до моменту доїзду до нього без застосування методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг.

Ймовірність $P = P(t_2) = P_2$ відповідає надто довгому очікуванню включення зеленого сигналу світлофора і даний варіант відбувається у тому випадку, коли швидкість ТЗ є надто малою, що не дасть можливості за заданий час очікування проїхати світлофор без зупинки. Схематично ймовірнісну модель нормального розподілу часу вмикання дозвільного сигналу світлофора зображено на рисунку 2.13.

Ймовірності P_1 та P_2 з використанням функції помилок Лапласа визначаються за формулами [92]:

$$P_1 = \Phi\left(\frac{t_1 - t_c}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{-t_c}{\sigma}\right); \quad (2.38)$$

$$P_2 = \Phi\left(\frac{6\sigma - t_c}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{t_2 - t_c}{\sigma}\right), \quad (2.39)$$

де $\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{1}{2}t^2} dt$ – функція помилок.

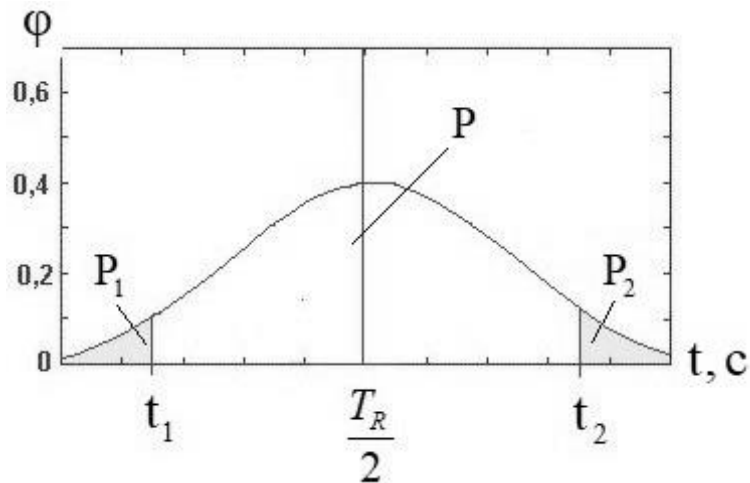


Рисунок 2.13 – Схематичне представлення ймовірності розподілу часу вмикання дозвільного сигналу світлофора

Ймовірність виникнення випадку, де оптимальним є використання методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг, становить:

$$P = \Phi\left(\frac{t_2 - t_c}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{t_1 - t_c}{\sigma}\right). \quad (2.40)$$

Розподіл ймовірності для використання запропонованого методу показаний на рисунках 2.14-2.17. Умови при цьому були вибрані такими: початкова швидкість $V_n = 15$ м/с, відстань до світлофора $S = 200$ м.

Розглядаючи графічну залежність (рис. 2.14) необхідно виділити, що час до включення дозвільного сигналу світлофора $t_{\text{дозв}} = 10$ с дуже малий, тому ймовірність використання запропонованого раціонального методу проїзду складає 0 %.

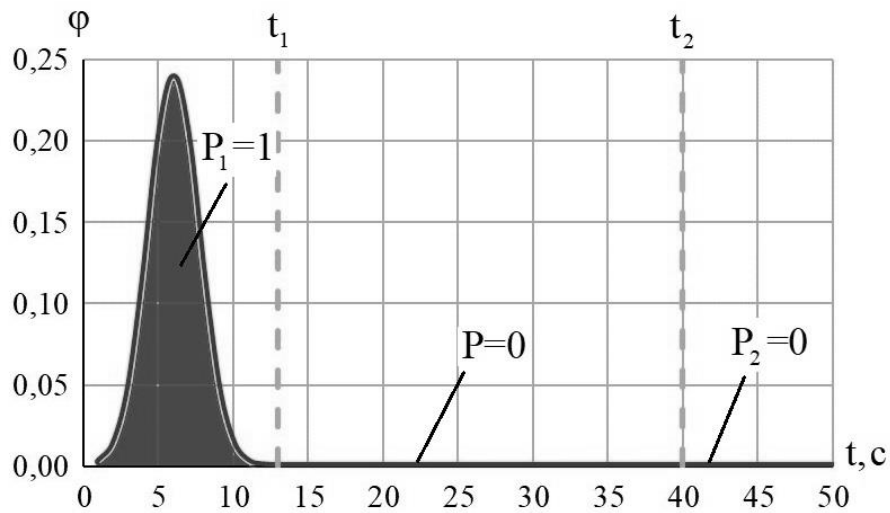


Рисунок 2.14 – Ймовірність використання раціонального методу проїзду при $t_{\text{дозв}} = 10$ с

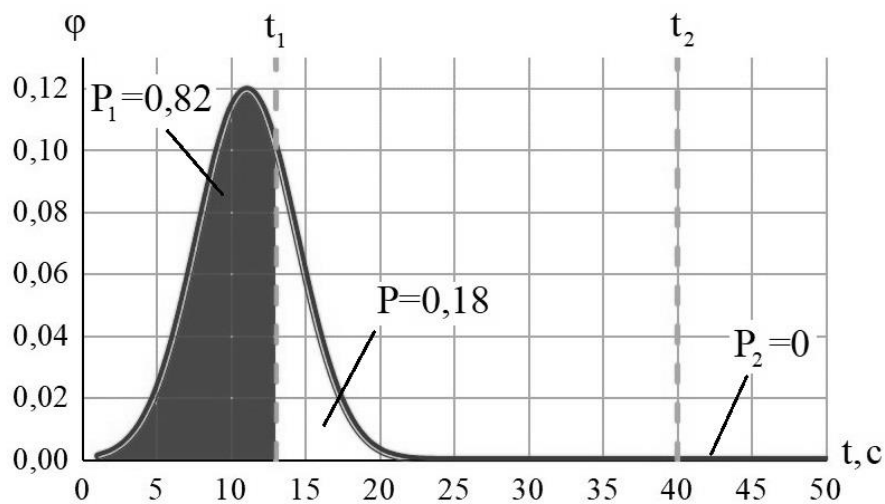


Рисунок 2.15 – Ймовірність використання раціонального методу проїзду при $t_{\text{дозв}} = 20$ с

Розглядаючи графічну залежність (рис. 2.15) необхідно виділити, що при часі до включення дозвільного сигналу світлофора $t_{\text{дозв}} = 20$ с використання запропонованого методу можливе, а ймовірність використання методу складатиме 18 %.

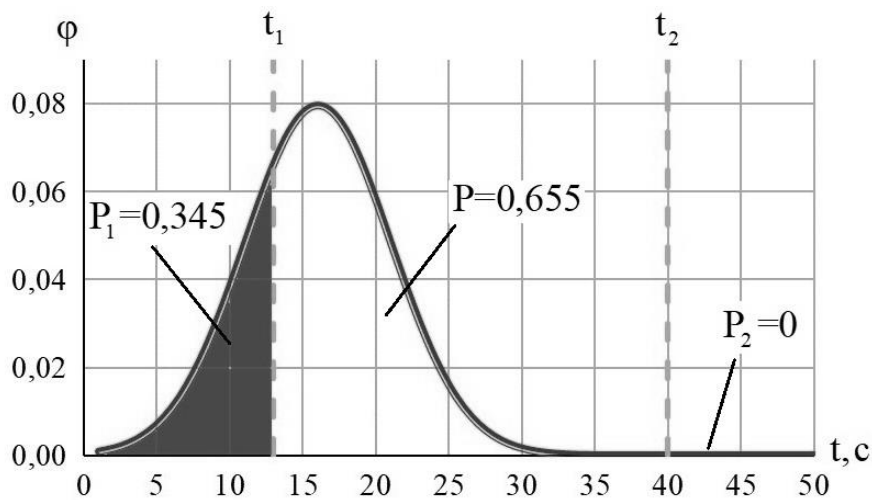


Рисунок 2.16 – Ймовірність використання раціонального методу проїзду при $t_{\text{дозв}} = 30$ с

Розглядаючи графічну залежність, показану на рисунку 2.16, необхідно виділити, що при часі до включення дозвільного сигналу $t_{\text{дозв}} = 30$ с використання запропонованого методу рекомендоване, а ймовірність його використання становитиме 66 %.

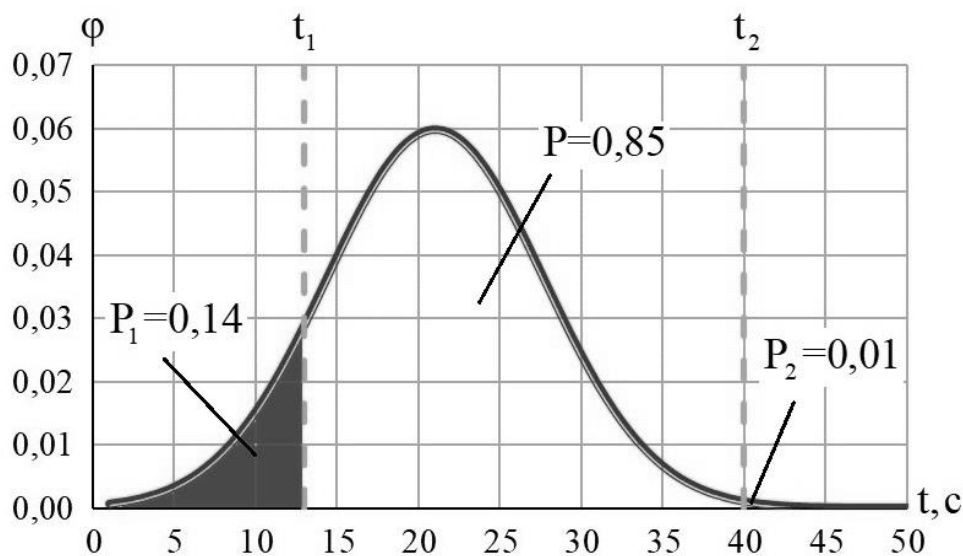


Рисунок 2.17 – Ймовірність використання раціонального методу проїзду при $t_{\text{дозв}} = 40$ с

Розглядаючи графічну залежність, показану на рисунку 2.17, необхідно виділити, що при часі $t_{\text{дозв}} = 40$ с використання запропонованого методу рекомендоване, а ймовірність використання раціонального методу проїзду буде становити 85 %.

Враховуючи графічні залежності (рис. 2.14-2.17), необхідно зауважити, що використання методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг можливо, якщо час до ввімкнення дозвільного сигналу світлофора в межах від 20 с до 40 с при заданих умовах. Найбільша ймовірність використання методу буде, якщо $t_{\text{дозв}} = 40$ с при заданих умовах.

Для перевірки можливості використання методу необхідно провести експериментальні дослідження проїзду світлофорних об'єктів за різних вхідних параметрів $t_{\text{дозв}}$.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Загальні умови та методика проведення досліджень

Експериментальна частина роботи включає проведення стендових та дорожніх випробувань руху ТЗ.

Стенові випробування проводилися для визначення відповідності технічного стану дослідного ТЗ згідно з випробувальним стандартом.

У процесі стендових випробувань визначаються масово-габаритні, швидкісні, динамічні властивості дослідного ТЗ.

Результати стендових випробувань використовувались для проведення моделювання, як початкові дані. Також у процесі стендових випробувань проводилось тарування вимірювальної і реєструючої апаратури.

Під час проведення експериментальних досліджень раціонального проїзду регульованих ділянок доріг до уваги були взяті параметри руху ТЗ, що регламентовані міським їздовим циклом [93-95].

Експериментальні дослідження спрямовані на визначення і оптимізацію витрати палива, підвищення експлуатаційної швидкості ТЗ, підвищення кінцевої швидкості ТЗ, зменшення токсичності відпрацьованих газів, зменшення часу проїзду регульованої ділянки дороги згідно з запропонованим методом. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень проводилася оцінка адекватності математичної моделі (див. 2.3).

Згідно з оглядом попиту на малолітражні автомобілі [96] для

проведення експериментальних досліджень був вибраний автомобіль малого класу Geely СК-1 (рис. 3.1).

Даний автомобіль [97] є 1,5-літровим 16-клапанним бензиновим ДВЗ, що відповідає стандартам «Євро-4». Максимальна швидкість автомобіля – 160 км/год. У змішаному циклі автомобіль витрачає 7-7,5 л/100 км.

Експериментальні дослідження мають проводитись на прямій горизонтальній ділянці дороги, що відповідає правилам ЄЕК-ООН № 83 [98].



Рисунок 3.1 – Стендові випробування автомобіля Geely СК-1

Досліджуваний автомобіль має пройти перевірку згідно з правилами ЄЕК-ООН № 83 [98].

3.2 Дослідно-вимірювальний комплекс

3.2.1 Система відображення рекомендованого режиму руху

У ході роботи поставлено завдання: розробити систему раціонального проїзду регульованих ділянок доріг. Тому була

розроблена система відображення рекомендованого режиму руху ТЗ [99].

Суть корисної моделі пояснюється схемою системи відображення рекомендованого режиму руху ТЗ (рис. 3.2).

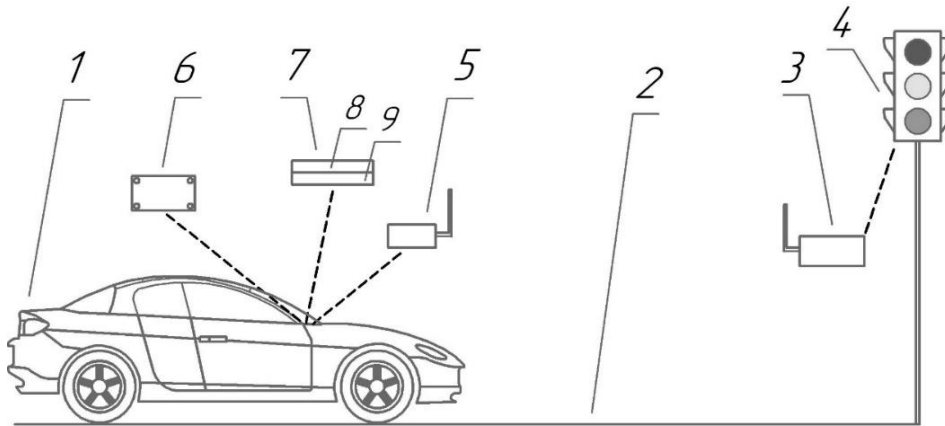


Рисунок 3.2 – Системи відображення рекомендованого режиму руху ТЗ

Система відображення рекомендованого режиму руху ТЗ складається з транспортного засобу 1, який наближається до регульованої ділянки дороги 2, передавального пристрою 3, який розміщений у середині світлофора 4 та приймального пристрою 5, контролера 6 оброблення інформації, індикатора 7 з шкалою 8 рекомендованого сповільнення або прискорення транспортного засобу та шкалою 9 реального сповільнення або прискорення транспортного засобу, який розміщений у нижній частині лобового скла транспортного засобу 1, давачі транспортного засобу (на рис. 3.2 не позначені).

Система відображення рекомендованого режиму руху працює наступним чином.

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, який також приймає дані з давачів транспортного засобу 1, після чого отримана інформація використовується для розрахунку рекомендованого 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 та 9 виконує проїзд світлофорного об'єкта без зупинки.

3.2.2 Програмне забезпечення для системи відображення рекомендованого режиму руху транспортного засобу

Для підвищення процентного відношення безупинного проїзду регульованих ділянок доріг необхідно створити і налаштувати програмне забезпечення для використання запропонованої системи. Тому була створена комп'ютерна програма «Система відображення рекомендованого режиму руху транспортного засобу» (додаток Б) [100].

Перед початком її застосування необхідно здійснити налаштування підключення до апаратної складової системи. В головному меню програми необхідно вказати тип використовуваної платформи (Board, Processor) та інтерфейс підключення (Port) (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Налаштування підключення програми до апаратної складової системи

Наступним етапом є завантаження та налаштування коду програми системи. Для цього необхідно вибрати файл програми в форматі *.ino через меню File – Open.

Для забезпечення належної роботи програми в автономному режимі необхідно задати початкові параметри змінних, що подані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Початкові параметри для розрахунку

Код	Опис параметра, одиниці виміру
green_col	Режим роботи зеленого кольору світлофора, мс
yeallow_col1	Режим роботи жовтого кольору світлофора між зеленим та червоним, мс
red_col	Режим роботи червоного кольору світлофора, мс
yeallow_col2	Час роботи жовтого кольору світлофора між червоним та зеленим, мс

Код	Опис параметра, одиниці виміру
d_wheel	Радіус колеса автомобіля, м
s_wheel	Кількість зубців імпульсного кільця, зубчатого ротора, системи АБС автомобіля, шт
jg	Сповільнення, м/с ²
kv	Коефіцієнт корекції обрахунку швидкості
ks	Коефіцієнт корекції обрахунку відстані

Дані, отримані в результаті роботи програми, записуються на SD-карту у форматі *.txt та розшифровуються як:

1. *Time (ms)* – час проїзду світлофора з використанням системи, мс;
2. *S sum (m)* – сумарний шлях із використання системи, м;
3. *V abs (m/s)* – швидкість ТЗ, м/с;
4. *J (m/s²)* – сповільнення ТЗ, м/с²;
5. *Engine RPM* – оберти двигуна ТЗ, об/хв;
6. *Intake Pressure (kPa)* – тиск у впускному колекторі, кПа;
7. *Throttle Position (%)* – відкриття дроселя, %;
8. *T force (mks)* – час роботи форсунок, мкс;
9. *T cycle (mks)* – час циклу роботи форсунок, мкс;
10. *Q fс* – витрата палива за цикл впорску, мл;
11. *Q mg* – миттєва витрата палива, л/100 км;
12. *Q sm* – сумарна витрата палива, мл;
13. *Q ser* – середня витрата палива, л/100 км;
14. *Ssv (m)* – відстань до світлофора, м;
15. *Tg (s)* – час, с.

Дані з .txt-файла були перенесені у Microsoft Excel (рис. 3.4), для кращого сприйняття, корекції і подальшого оброблення.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Time (ms)	S sum (m)	V abs (m/s)	J (m/s ²)	Engine RPM	Pressure (t)	Position (m)	Force (mN)	Cycle (mN)	Q fc	Q mg	Q sm	Q ser	Ssv (m)	Tg (s)
2	492	1431,56	15,27	0,38	2341	21	0	2624	57796	0,02	1124,8	2045,75	19709,5	192,5	5,69
3	485	1438,22	13,77	3,09	2015	22	0	2468	66472	0,02	1022,33	2061,98	19632,6	185,84	4,66
4	483	1445,45	15,01	2,57	1669	23	0	2448	80976	0,02	881,83	1631,7	19548,5	178,61	5,73
5	483	1452,12	13,82	2,45	1382	23	0	2524	96020	0,02	737,16	1480,66	19473	171,94	4,95
6	472	1457,6	11,63	4,64	1169	25	0	2596	109048	0,02	618,63	1476,51	19412	166,47	3,37
7	492	1461,67	8,3	6,77	1023	28	0	3056	123640	0,02	610,12	2040,34	19368	162,39	0,84
8	475	1463,08	2,96	11,25	939	30	0	3244	130108	0,02	620,75	5824,24	19361,1	160,99	-
9	472	1466,67	7,63	9,9	894	30	0	3184	135544	0,02	596,26	2169,38	19325,9	157,39	-
10	461	1471,1	9,62	4,32	863	30	0	3152	138944	0,02	575,59	1660,5	19276,9	152,96	-
11	463	1475,31	9,11	1,11	867	30	0	3104	140252	0,02	571,7	1742,73	19230,9	148,76	-
12	464	1479,82	9,75	1,39	857	30	0	3160	139488	0,02	558,63	1590,58	19184	144,24	-
13	500	1484,77	9,93	0,35	859	30	0	3168	138344	0,02	571,48	1598,49	19128,9	139,29	-
14	466	1488,41	7,82	4,51	865	30	0	3116	138608	0,02	569,65	2021,52	19094	135,65	-
15	462	1492,01	7,8	0,06	860	30	0	3124	139264	0,02	561,3	1998,83	19056,8	132,05	-
16	462	1495,73	8,08	0,62	866	30	0	3160	137892	0,02	568,13	1951,74	19018,1	128,33	-
17	463	1498,19	5,31	5,98	867	30	0	3144	138904	0,02	576,07	3010,37	18998,7	125,87	-
18	464	1502,27	8,81	7,53	854	30	0	3104	139504	0,02	558,11	1759,97	18955,9	121,8	-
19	467	1506,61	9,33	1,13	864	30	0	3160	139160	0,02	571,9	1701,48	18910	117,46	-
20	458	1510,68	8,92	0,9	869	30	0	3176	140032	0,02	578,13	1799,49	18870,7	113,38	-
21	463	1514,89	9,11	0,41	862	30	0	3120	138820	0,02	570,58	1739,3	18827,1	109,17	-
22	463	1518,79	8,44	1,43	861	30	0	3148	138848	0,02	564,85	1857,28	18787,3	105,27	-
23	472	1523	8,93	1,04	859	30	0	3176	138660	0,02	572,92	1780,47	18747	101,06	-
24	462	1526,81	8,27	1,43	860	30	0	3120	139568	0,02	564,92	1896,08	18708,9	97,25	-
25	468	1530,85	8,64	0,78	861	30	0	3140	140244	0,02	561,23	1804,53	18668,1	93,22	-
26	458	1534,62	8,25	0,84	867	30	0	3160	139320	0,02	572,43	1926,77	18633,7	89,45	-
27	463	1538,52	8,44	0,42	861	30	0	3132	139476	0,02	572,08	1881,06	18595,1	85,54	-
28	463	1542,24	8,07	0,82	864	30	0	3096	140284	0,02	566,82	1951,45	18558,7	81,82	-

Рисунок 3.4 – Відображення отриманих даних у Microsoft Excel

Отримані дані були використані для моделювання проїзду світлофорних об'єктів ТЗ.

3.2.3 Параметри, що реєструються

За результатами аналізу математичної моделі та результатів теоретичних досліджень встановлено, що найбільш доцільними критеріями оцінки роботи та ефективності процесу проїзду світлофорних об'єктів є роботи, що виконуються системами ТЗ.

Тому, під час експериментальних досліджень повинні реєструватися наступні показники:

- швидкість руху ТЗ (початкова, з накатом, під час сповільнення, прискорення, кінцева);
- режим роботи світлофора;
- час сповільнення, прискорення, накату;
- шлях;
- прискорення або сповільнення.

Запис параметрів руху виконується неперервно з достатньо високою дискретизацією протягом всього руху ТЗ на регульованих ділянках дороги.

3.2.4 Випробувальне устаткування для проведення експериментальних досліджень

Проведення експерименту здійснено із використання випробувального устаткування, застосуванням створеного програмного забезпечення і засобів вимірювальної техніки та допоміжного устаткування.

Параметри руху ТЗ фіксувалися за допомогою бортового комп'ютера [101] Multitronics VG1031 GPL (рис. 3.5, а) [102] та бортового комп'ютера Multitronics TC 750 (рис. 3.5, б) [103].

Маршрутний бортовий комп'ютер Multitronics VG1031GPL та бортовий комп'ютер Multitronics TC 750 встановлюються на ТЗ з електронною подачею палива у найбільш оптимальних місцях із точки зору сприйняття інформації.



а)

б)

Рисунок 3.5 – Бортовий комп'ютер:

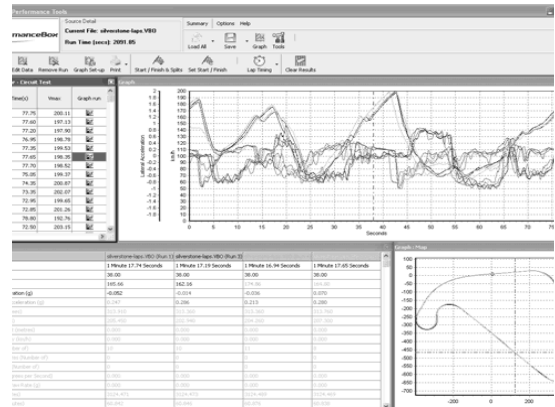
а) Multitronics VG1031 GPL; б) Multitronics TC 750

Робота приладу можлива, як з ЕБУ, так і безпосередньо з давачем швидкості та форсунками, при цьому робота з ЕБУ значно розширює функціональність бортового комп'ютера [102, 103].

З використанням бортових комп'ютерів для фіксування параметрів руху додатково використовувався вимірювальний пристрій VBOX mini (рис. 3.6) [104].



а)



б)

Рисунок 3.6 – Використання VBOX mini на транспортному засобі:

а) розміщення; б) зразок запису маршруту

V-BOX mini – інноваційний вимірювальний інструмент, що дозволяє за допомогою GPS вимірювати швидкість і траєкторію руху

ТЗ. Він виконаний із використанням нового покоління приймачів супутникового сигналу і дозволяє вимірювати швидкість, відстань, динаміку розгону, час проходження кола і т.д. Дані взяті з VBOX можуть передаватися одразу в реальному часі на ПК, де їх за допомогою програмного забезпечення ПО VBOX Tools [105] можливо відразу і обробляти.

Витрата палива Q_n , повітря $G_{нов}$, кут відкриття дроселя φ , розрідження у впускному колекторі Δp_k , частота обертання колінчастого вала n визначалась за допомогою бортового комп'ютера Multitronics VG1031 GPL, Multitronics TC 750. Значення шляху S , прискорення j , вимірювалось за допомогою VBOX mini. Величина значення швидкості руху V визначалась як за допомогою бортового комп'ютера Multitronics, так і за допомогою VBOX mini для зменшення похибки вимірювання та для отримання більш достовірних значень під час проведення експерименту.

Електронні сигнали з датчиків надходять до платформи – Arduino (рис. 3.7), після чого реєструються на комп'ютері.



Рисунок 3.7 – Плата Arduino Mega, Uno, Micro

Arduino – це сучасна платформа-конструктор, для розробки електронних систем і різноманітних пристроїв. Перевагу даній платформі надають за зручність у користуванні, відкритому коду і простоті архітектурного створення.

Сам пристрій запрограмовується через USB без додаткового обладнання.

Прилади на базі Arduino можуть отримувати інформацію про навколишнє середовище за допомогою датчиків, а також можуть керувати різними виконавчими пристроями.

Для проведення досліджень був використаний світлофор транспортний Т2.1-Т2.18-АТ. Світлофор встановлювався на малонавантажених приміських дорогах. Параметри світлофора відповідають вимогам ДСТУ 4092-2002 [51] та ТУ У 31.6-14228451-007-2003. Світловий потік, сформований МС, має 30 % запасу за силою світла для збереження відповідності вимогам ДСТУ 4092-2002.

На даному світлофорі було встановлено радіомодуль (рис. 3.8) для відправлення даних режиму його роботи. На ТЗ встановлений такий же самий радіомодуль, який отримує дані від радіомодуля світлофора.

Радіомодулі nRF24L01 PA LNA працюють на базі Arduino та призначені для прийому та передачі даних радіоканалом на відстань до 1000 м на дозволеному ISM (промисловому, науковому) діапазоні радіочастот. У модулі nRF24L01 PA LNA, даний діапазон розбитий на 128 каналів, із кроком 1 МГц: від 2,400 ГГц до 2,527 ГГц. Модуль дозволяє вибрати будь-який із 128 каналів для прийому або передачі даних.

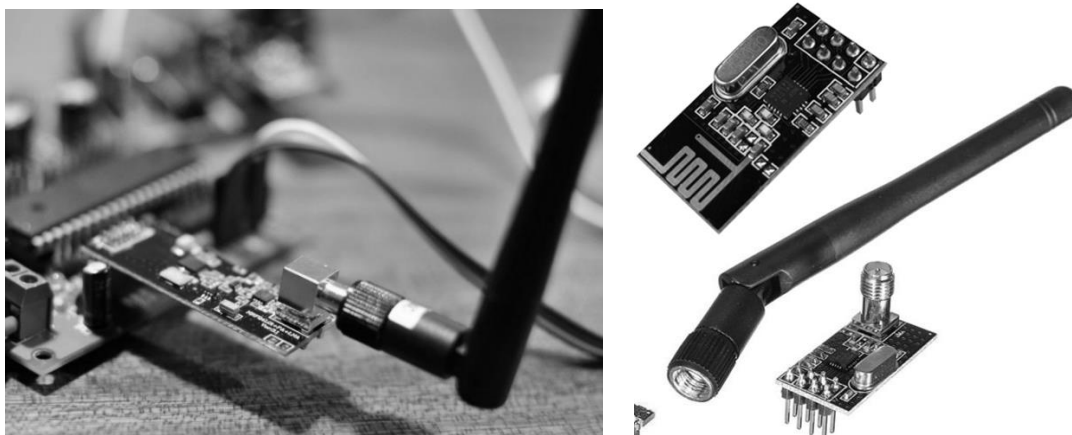


Рисунок 3.8 – Радіомодулі NRF24L01

Для контролювання отриманих даних, використовувались персональні комп'ютери (ноутбуки) різних моделей.

Комплекс апаратури живиться від бортової мережі ТЗ та перетворювача напруги 12-220 - IPS-1000C (600Вт) (рис. 3.9).



Рисунок 3.9 – Інвентор IPS-1000C DC/AC 12-220 В

Для обчислення додаткових даних, під час експерименту вимірювальний комплекс був підключений до діагностичного роз'єму OBD II через модуль ELM327 (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Діагностичний пристрій, підключення через OBD II

Через OBD II брались показники відкриття дроселя, температури охолоджуючої рідини, обертів колінчастого вала, що передавались на Arduino.

3.2.5 Похибки приладів і вимірів під час експерименту

Визначення похибки вимірювання під час випробовування здійснювалось зважаючи на метод вимірювання, що застосовувався за відомими методиками [106-109]. За прямими та непрямыми одноразовими вимірюваннями визначалися похибки приладів, наведених у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Дані вимірювальних приладів і апаратури, які застосовувались під час експериментальних досліджень

Величина, що вимірювалась	Розмірність	Засоби вимірювання	Похибка, не більше
Витрата палива	л/100 км	Multitronics	1 %
Шлях	м	Multitronics	0,5 %
		V-BOX mini	0,3 %

Величина, що вимірювалась	Розмірність	Засоби вимірювання	Похибка, не більше
Час	с	Multitronics V-BOX mini	0,5 % 0,3 %
Швидкість руху	м/с	Multitronics V-BOX mini	1 % 0,5 %
Прискорення	м/с ²	V-BOX mini	0,5 %
Частота обертання колінчастого вала	хв ⁻¹	Multitronics	1 %
Температура	°C	Multitronics	1 °C
Відносна вологість повітря	%	Multitronics	7 %
Кут відкриття дроселя	%	Multitronics	1 %
Розрідження у впускному колекторі	кПа	Multitronics	0,5 %

Похибка вимірювання іншого обладнання, що має кілька складових частин, а саме за допомогою якого зчитувались дані з ABS ТЗ, форсунок та з ЕБУ визначається за формулою:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\partial}^2 + \delta_{nidc}^2 + \delta_{nep}^2 + \delta_{apd}^2 + \delta_{rad}^2}, \quad (3.1)$$

де δ_{∂} – похибка давачів;

δ_{nidc} – похибка підсилювача;

δ_{nep} – похибка аналогового цифрового перетворювача (АЦП);

δ_{apd} – похибка та затримка розрахунку Arduino;

δ_{rad} – похибка та затримка радіомодулів.

Точність вимірювання визначається з точністю до останнього значущого знака. Враховуючи ці показники було встановлено, що похибка отриманих даних від 0,5 % до 1 %, що задовольняє наші умови проведення експериментальних досліджень.

3.2.6 Дослідно-вимірювальний комплекс транспортного засобу

Розробивши систему та програмне забезпечення для підвищення можливості використання методу раціонального проїзду світлофорних об'єктів розроблювана система була встановлена і перевірена на дослідному ТЗ (рис. 3.11).



Рисунок 3.11 – Компонування системи під час експерименту

Додатково в ТЗ було встановлено обладнання, що дозволяє імітувати та передавати дані про режим роботи світлофорного об'єкта. Дане обладнання разом із системою повністю імітують режим роботи світлофорного об'єкта, що дозволяє проводити експериментальні

дослідження максимально наближено до реальних умов руху ТЗ на регульованих ділянках дороги.

3.3 Експериментальні дослідження проїзду світлофорних об'єктів транспортними засобами

Випробування проводилися на дорогах загального користування та на дорогах з невеликою щільністю ТЗ, а також на штучно створеній регульованій ділянці дороги з світлофорним об'єктом. Дані умови відповідають вимогам правил ЕЭК ООН № 84 [36] та правил ЄЕК-ООН № 83 (Випробування автомобіля на паливну економічність та екологічність ТЗ) [98]. При цьому визначалися такі показники:

- контрольна витрата палива;
- витрата палива в міському циклі на дорозі;
- паливна характеристика усталеного руху.

Автомобіль Geely СК-1 пройшов перевірку згідно з правилами ЄЕК-ООН № 83 [98] і встановлено, що:

- ТЗ справний, укомплектований, заправлений згідно з регламентом. Двигун на інші агрегати ТЗ, в тому числі і шини, пройшли належну і повну обкатку;

- шини не мали пошкоджень, тиск відповідав вимогам виробника і знос протектора шин був на 20 %, що допускається згідно з вимогами;

- вікна були повністю закриті;
- вимірювальні прилади для випробування мали відповідну вібростійкість і не заважали пропускну особливості палива;

– похибка вимірювальних засобів не перевищувала допустимих значень.

Метеорологічні умови, під час яких проводилися випробування наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Метеорологічні умови проведення випробувань

Найменування параметра	Значення
Температура навколишнього середовища, °C	+16...+25
Атмосферний тиск, кПа	98-99,6
Швидкість вітру, м/с	1,5-2,7
Відносна вологість повітря, %	61-70

У дорожньому русі сповільнення перед світлофорним об'єктом можна досягти, за рахунок гальмування робочою гальмівною системою, при цьому сповільнення може становити від $0,4 \text{ м/с}^2$ до 4 м/с^2 , за допомогою використання примусового холостого ходу (ПХХ) та за допомогою вибігу, руху накатом з працюючим двигуном. Для визначення сповільнення під час використання методу забезпечення сповільнення за допомогою ПХХ та вибігу ТЗ необхідно додатково провести експериментальні дослідження.

Для визначення сповільнення під час використання ПХХ на різних передачах були проведені експериментальні дослідження з записом даних. У програмі Microsoft Excel були побудовані відповідні графіки зміни швидкості V за часом t . Побудовані лінії тренду $V = f(t)$.

І з залежності $j = \frac{dV}{dt}$ виведені відповідні сповільнення ТЗ під час гальмування двигуном залежно від часу (рис. 3.12-3.17).

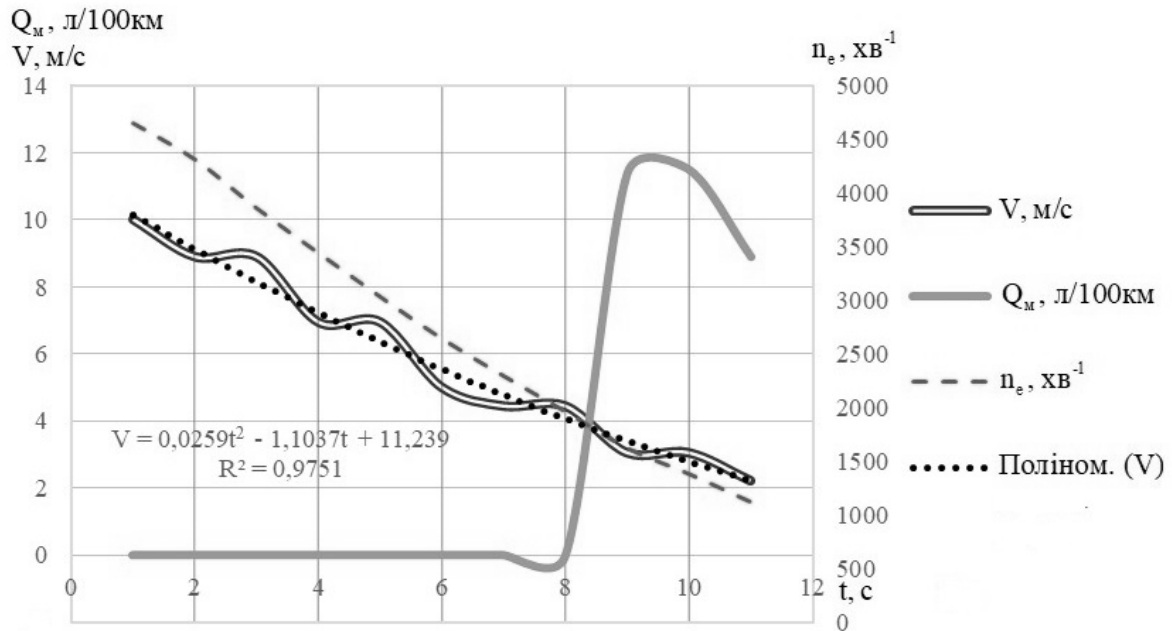


Рисунок 3.12 – Характеристика сповільнення ТЗ під час гальмування двигуном на першій передачі

Залежність зміни швидкості ТЗ під час гальмування двигуном на першій передачі (рис. 3.12) описується рівнянням:

$$V = 0,026 \cdot t^2 - 1,1 \cdot t + 11,2.$$

Звідси сповільнення ТЗ:

$$j = \frac{dV}{dt} = 2 \cdot 0,026 \cdot t - 1,1 = 0,052 \cdot t - 1,1.$$

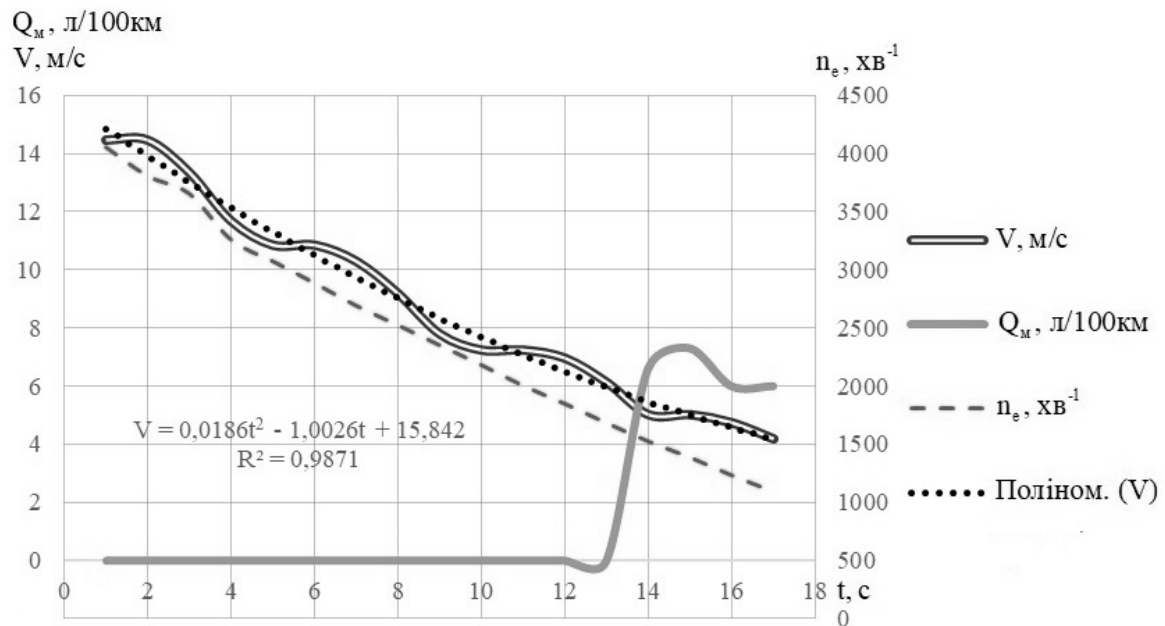


Рисунок 3.13 – Характеристика сповільнення ТЗ під час гальмування двигуном на другій передачі

Залежність зміни швидкості ТЗ під час гальмування двигуном на другій передачі (рис. 3.13) описується рівнянням:

$$V = 0,019 \cdot t^2 - 1 \cdot t + 15,8.$$

Звідси сповільнення ТЗ:

$$j = \frac{dV}{dt} = 2 \cdot 0,019 \cdot t - 1 = 0,038 \cdot t - 1,1.$$

Залежність зміни швидкості ТЗ під час гальмування двигуном на третій передачі (рис. 3.14) описується рівнянням:

$$V = 0,0057 \cdot t^2 - 0,72 \cdot t + 17,3.$$

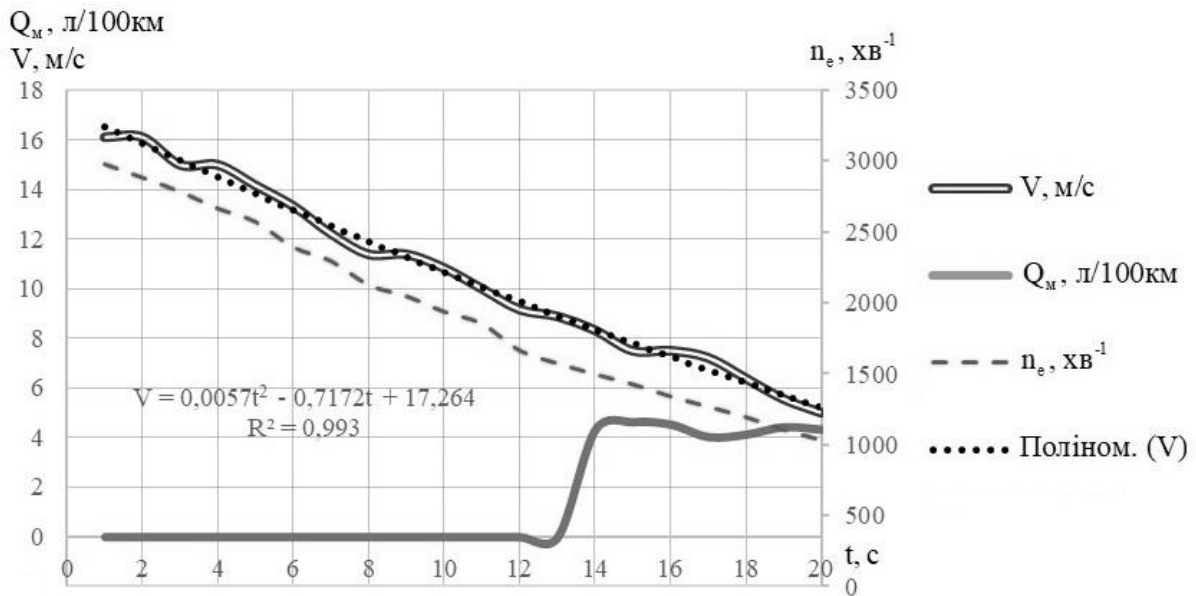


Рисунок 3.14 – Характеристика сповільнення ТЗ під час гальмування двигуном на третій передачі

Звідси сповільнення ТЗ:

$$j = \frac{dV}{dt} = 2 \cdot 0,0057 \cdot t - 0,72 = 0,011 \cdot t - 0,72.$$

Залежність зміни швидкості ТЗ під час гальмування двигуном на четвертій передачі (рис. 3.15) описується рівнянням:

$$V = 0,011 \cdot t^2 - 0,71 \cdot t + 18,3.$$

Звідси сповільнення ТЗ:

$$j = \frac{dV}{dt} = 2 \cdot 0,011 \cdot t - 0,71 = 0,022 \cdot t - 0,71.$$

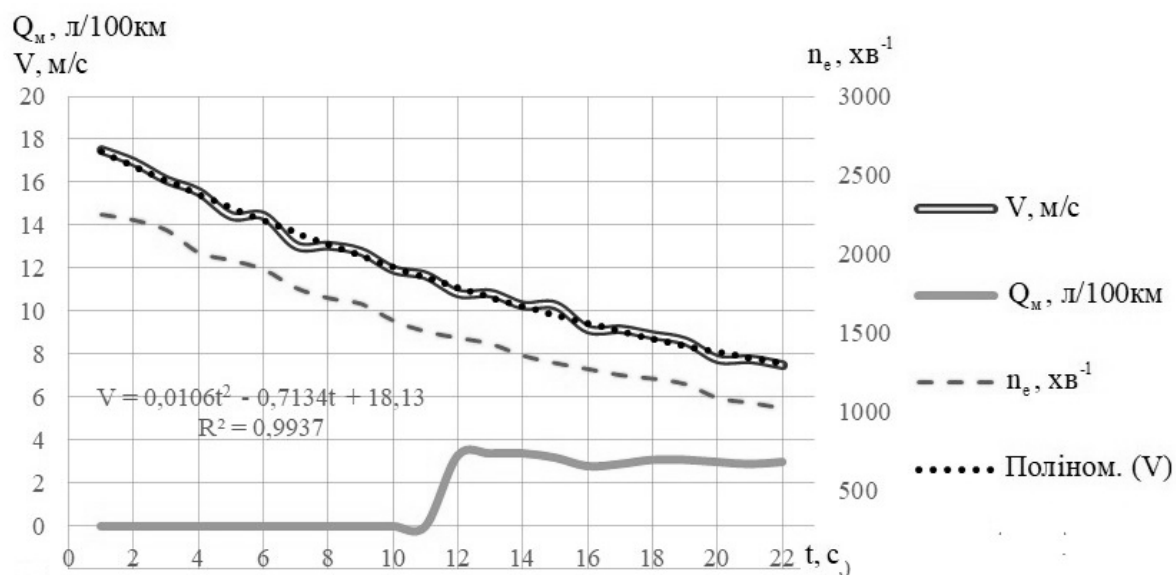


Рисунок 3.15 – Характеристика сповільнення ТЗ під час гальмування двигуном на четвертій передачі

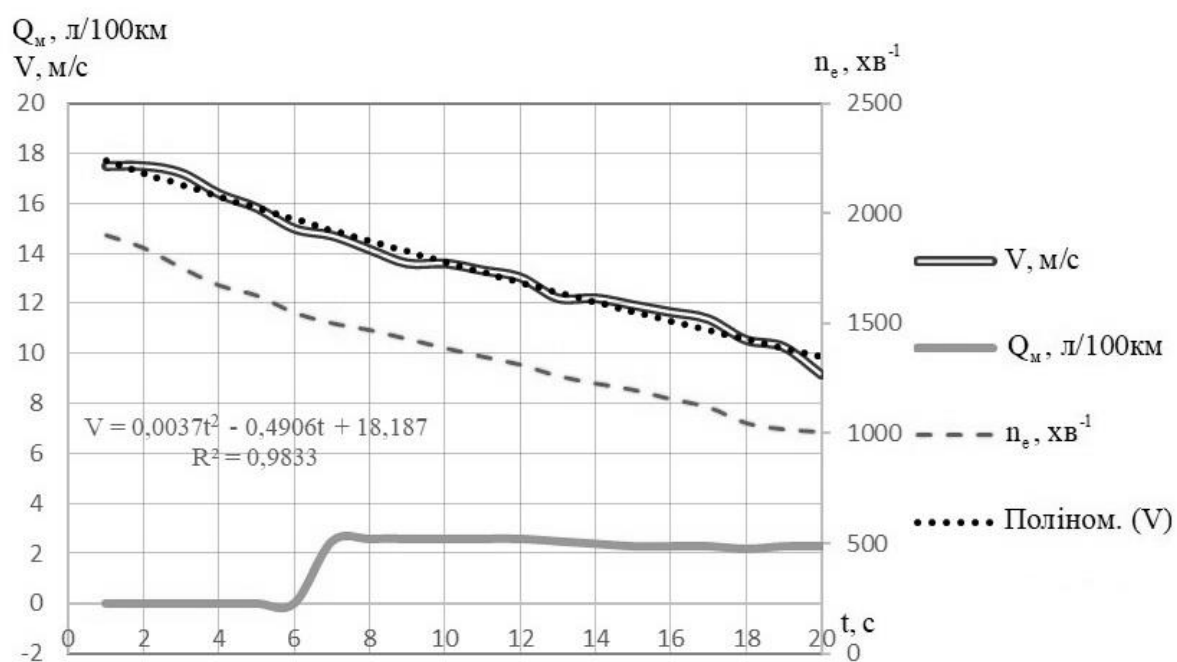


Рисунок 3.16 – Характеристика сповільнення ТЗ під час гальмування двигуном на п'ятій передачі

Залежність зміни швидкості ТЗ під час гальмування двигуном на п'ятій передачі (рис. 3.16) описується рівнянням:

$$V = 0,0037 \cdot t^2 - 0,49 \cdot t + 18,2,$$

Звідси сповільнення ТЗ:

$$j = \frac{dV}{dt} = 2 \cdot 0,0037 \cdot t - 0,49 = 0,007 \cdot t - 0,49.$$

У процесі проведення експериментальних досліджень видно, що під час гальмування двигуном при відпусканні педалі подачі палива, припинялася подача палива паливними форсунками (так звана «відсічка» подачі палива). Для ТЗ Geely СК-1 подача палива відновлюється при частоті обертання колінчастого валу при обертах 1500 хв^{-1} (рис. 3.12 – 3.16), тому фіксуємо величину вибігу і сповільнення до досягнення даного значення по частоті обертання колінчастого вала.

Було встановлено, що використання методу з використанням ПХХ можливе, але для проведення експериментальних досліджень необхідно було застосовувати службове гальмування в широкому діапазоні сповільнень. Тому було прийнято рішення не вносити корективи з використанням ПХХ у системі відображення рекомендованого режиму руху та програмному забезпеченні.

Виходячи з цього необхідно було визначити сповільнення ТЗ під час руху накатом. Дане сповільнення визначалося експериментально в режимі вільного вибігу при вимкнутій передачі за методикою визначеною у правилах ЄЕК-ООН № 83 [98] (рис. 3.17).

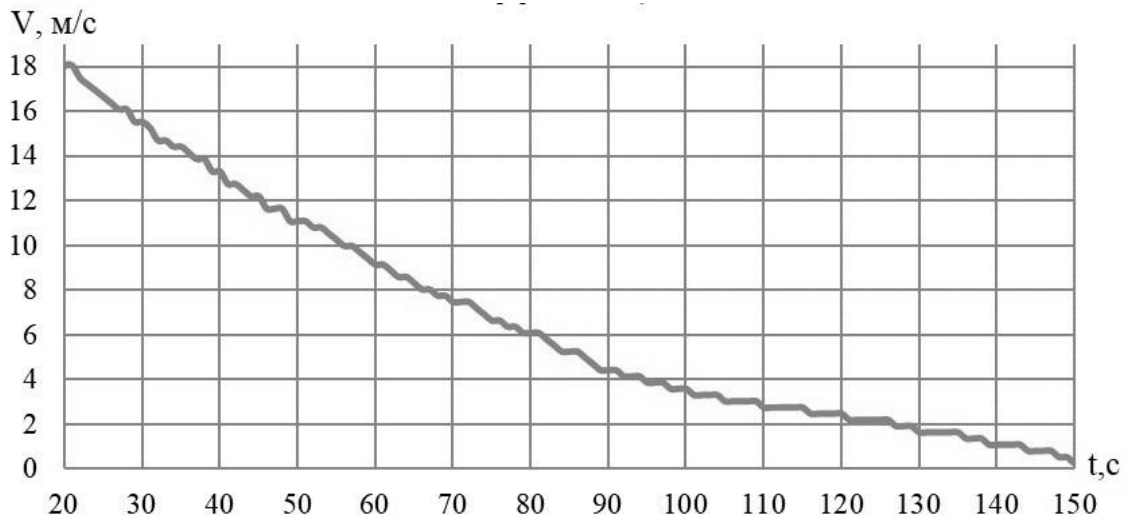


Рисунок 3.17 – Характеристика вибігу ТЗ

Із графічної залежності (рис. 3.17) визначали шлях вибігу та сповільнення під час вибігу.

Результати представлені на рисунку 3.18.

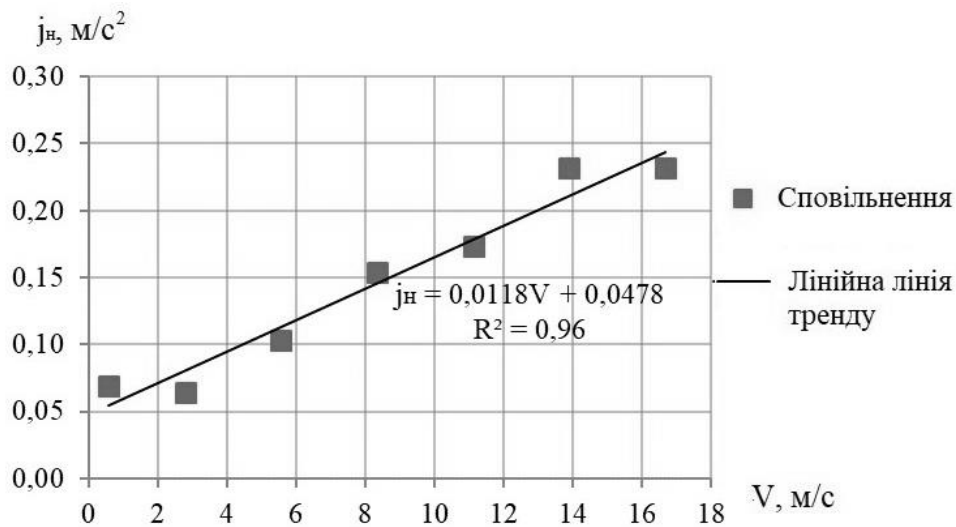


Рисунок 3.18 – Сповільнення ТЗ під час руху накатом

Сповільнення в залежності від швидкості змінюється від 0,2 м/с² до 0,055 м/с². Для розрахунків було прийнято, що сповільнення під час руху накатом $j_n = 0,16$ м/с².

Тому під час гальмування на першому етапі можна використати режими гальмування робочою гальмівною системою, примусове гальмування двигуном внутрішнього згоряння або під час використання гібридної силової установки гальмування електричним двигуном з рекуперацією енергії.

Так, як метод, раціонального проїзду ТЗ світлофорних об'єктів є малодослідженим, то для етапу активного гальмування використовується робоча гальмівна система, що дозволяє встановити в широкому діапазоні значення сповільнення та часу гальмування ТЗ.

Проводячи експериментальні дослідження проїзду ТЗ на регульованих ділянках доріг, використовували систему відображення рекомендованого режиму руху та її програмне забезпечення.

Використання даної системи з вимірювальним комплексом дозволило провести дослідження руху із відображенням всіх показників звичайного проїзду світлофорного об'єкта та проїзду з використанням запропонованого методу раціонального проїзду.

Згідно з проведеними заїздами звичайного проїзду світлофорного об'єкта було отримано і опрацьовано дані, що оброблено за допомогою Microsoft Excel. За результатами обробки побудовано графічні залежності показників ТЗ (рис. 3.19-3.24).

У даному випадку за умови початкової швидкості 14 м/с, шляху до стоп-лінії світлофора 200 м та часу до включення дозвільного сигналу 18 с було показано швидкісний режим, витрата палива, положення дроселя та тиск у впускному колекторі.

Звідси можна побачити, що зупинка перед стоп-лінією світлофорного об'єкта є енергозатратною з підвищеною миттєвою

витратою палива під час старту та розгону ТЗ, що може досягати до 300 л/100 км. При цьому час розгону після проїзду світлофорного об'єкта впливав на експлуатаційну швидкість ТЗ.

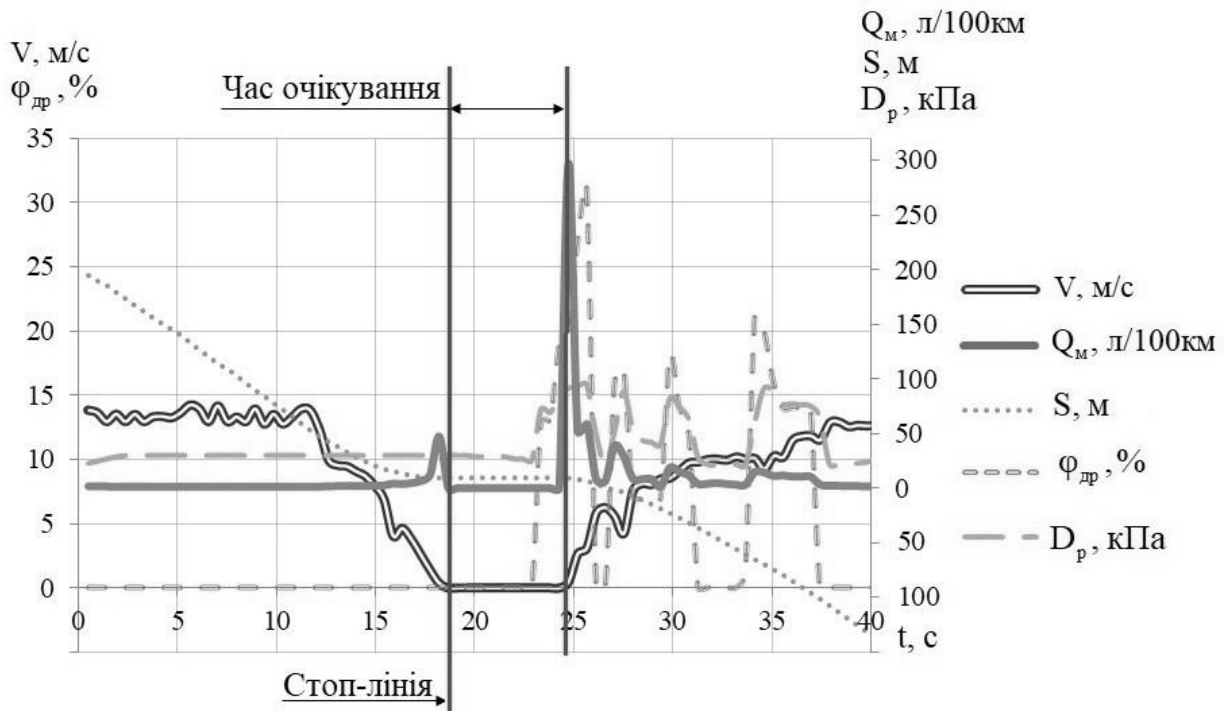


Рисунок 3.19 – Звичайний проїзд світлофорного об'єкта ($V_n = 14$ м/с)

Для перевірки отриманих показників, були проведені експериментальні заїзди за тих же умов, що показали пряму залежність отриманих даних (рис. 3.20).

В даному варіанті проїзду світлофорного об'єкта також спостерігається підвищена миттєва витрата палива до 300 л/100 км.

Також проводились заміри за початкової швидкості $V_n = 16,7$ м/с (рис. 3.21).

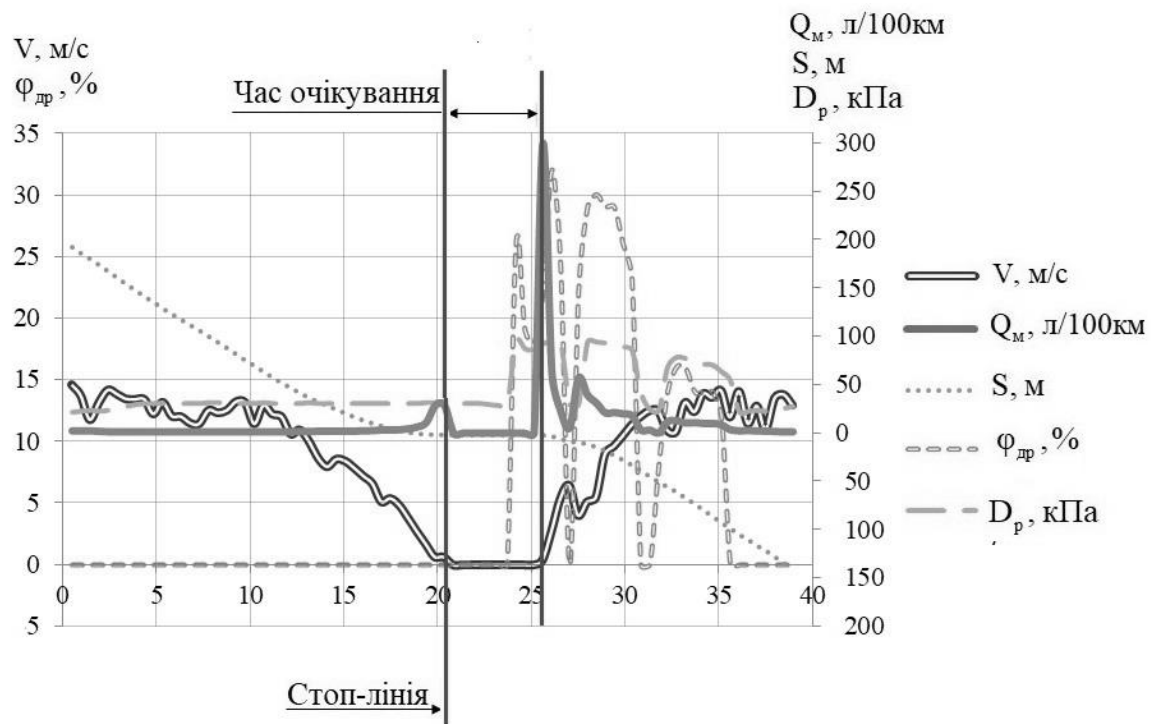


Рисунок 3.20 – Звичайний проїзд світлофорного об'єкта ($V_n = 14$ м/с)

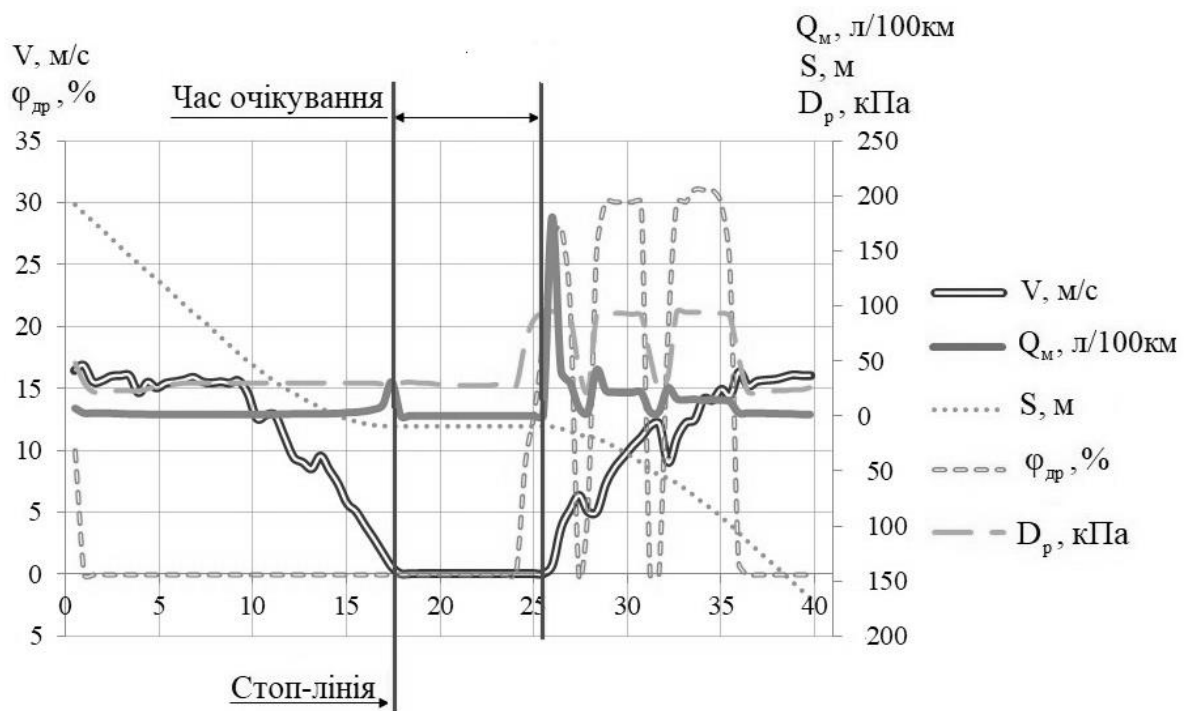


Рисунок 3.21 – Звичайний проїзд світлофорного об'єкта
($V_n = 16,7$ м/с)

Звідси можна побачити, що у разі збільшення початкової

швидкості ТЗ раніше доїжджає до стоп-лінії. Це призводить до збільшення ймовірності проїзду світлофорного об'єкта з зупинкою.

Для того, щоб побачити показники ТЗ та витрату часу під час використання запропонованого методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг, були проведені експериментальні заїзди за тих же умов (рис. 3.22).

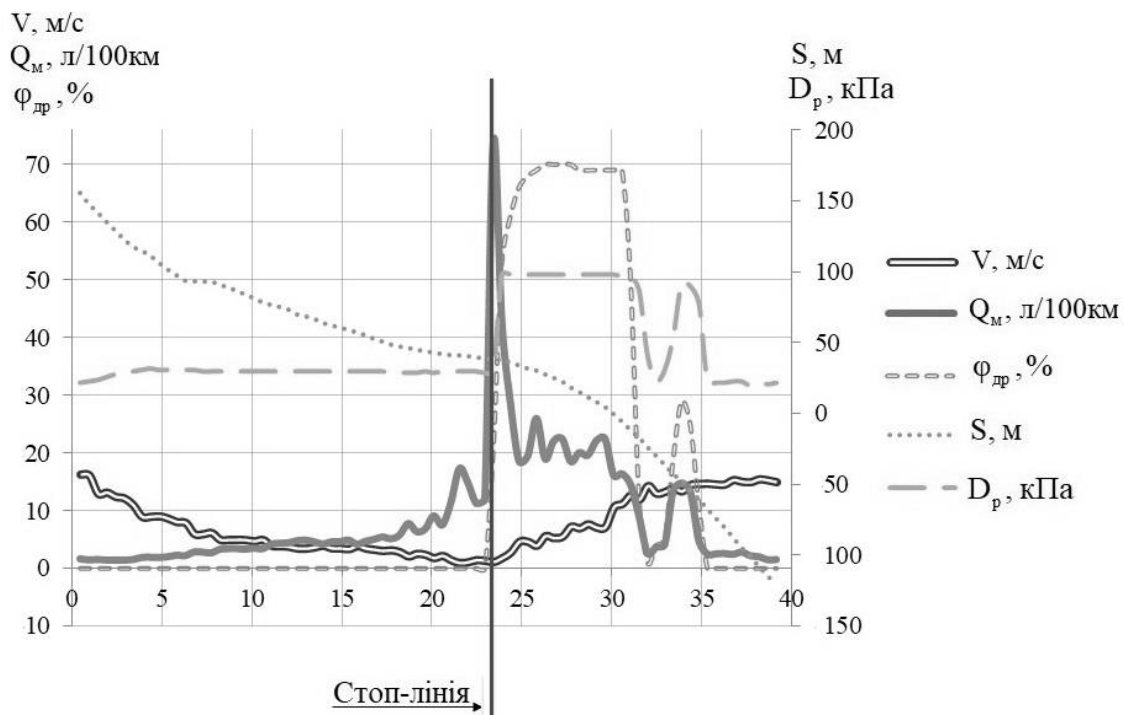


Рисунок 3.22 – Проїзд світлофорного об'єкта з використанням запропонованого методу ($V_n = 16,7$ м/с)

Розглядаючи графічні залежності проїзду світлофорного об'єкта з застосуванням методу раціонального проїзду, необхідно виділити зменшення миттєвої витрати палива і економії часу під час розгону після стоп-лінії світлофора. Кінцева швидкість за даного варіанта проїзду становила $V_k = 1,4$ м/с. Враховуючи математичне моделювання, даний варіант проїзду світлофорного об'єкта

задовольняє не повністю. Оптимальною умовою використання методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг є отримання максимальної кінцевої швидкості V_k . Для цього було проведено корекцію роботи програмного забезпечення.

Наступним етапом було проведення експериментальних заїздів за тих же умов з відкоригованим програмним забезпеченням. Дані заїздів показано на рисунках 3.23, 3.24.

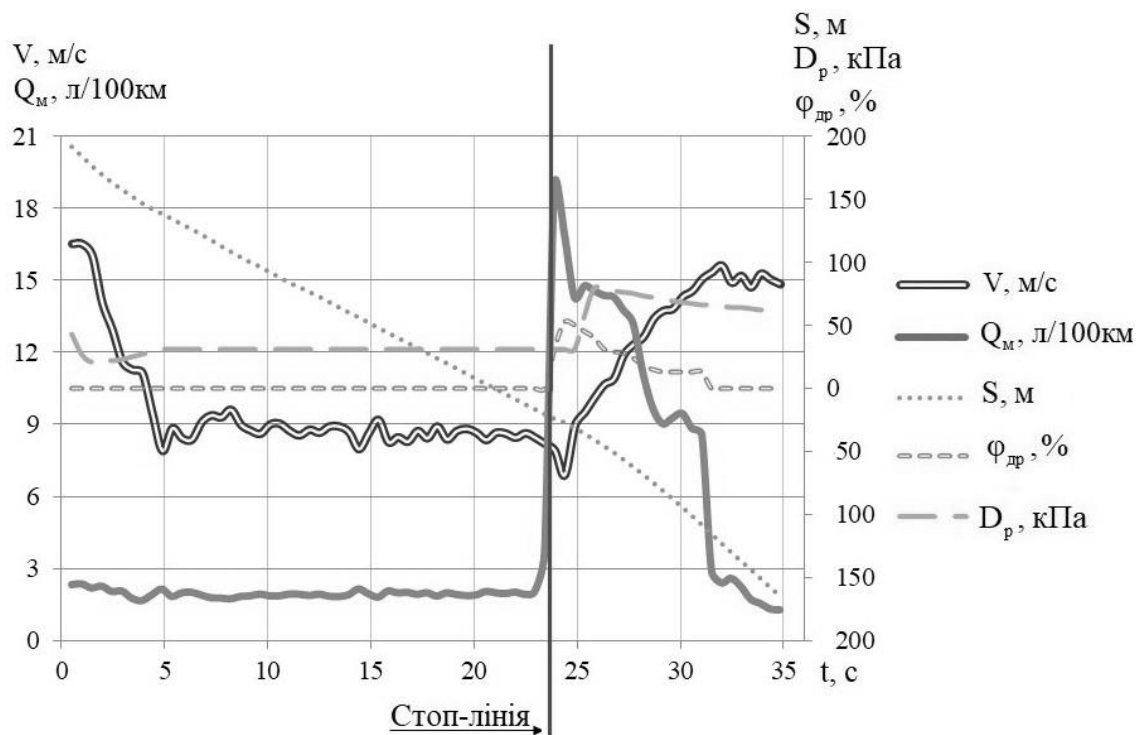


Рисунок 3.23 – Проїзд світлофорного об'єкта з використанням запропонованого методу ($V_n = 16,7$ м/с)

Звідси можна зауважити, що в даному варіанті проїзду за тих же умов кінцева швидкість V_k збільшилася до 8,3 м/с, що повністю задовольняє умову використання методу раціонального проїзду світлофорних об'єктів. Розглядаючи проїзд із відкоригованим

програмним забезпеченням, також необхідно виділити зменшення миттєвої витрати палива, підвищення середньої швидкості та економії часу під час проїзду регульованої ділянки дороги.

Враховуючи проведення експериментальних заїздів проїзду світлофорних об'єктів без застосування методу з початковою швидкістю $V_n = 14$ м/с, були проведені експериментальні заїзди за таких же умов із застосуванням запропонованого методу (рис. 3.24).

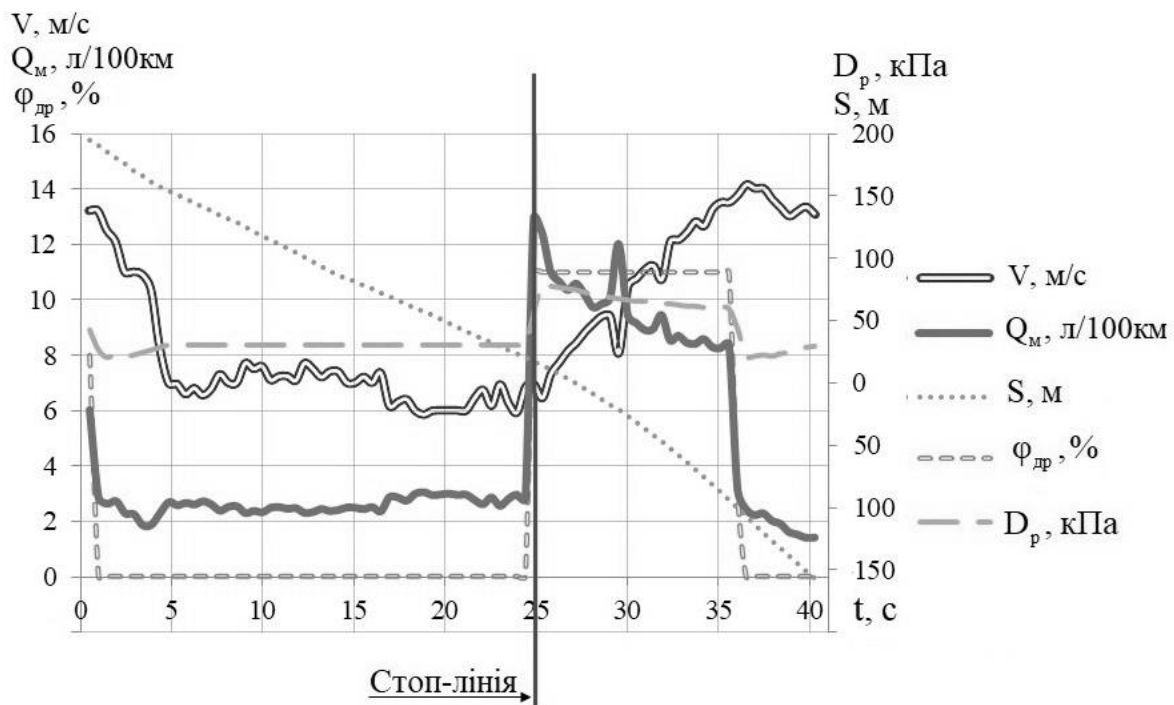


Рисунок 3.24 – Проїзд світлофорного об'єкта з використанням запропонованого методу ($V_n = 14$ м/с)

Даний заїзд показав, що зміна початкової швидкості з використанням методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг також дозволила проїхати світлофорний об'єкт без зупинки з мінімальним зменшенням швидкісного режиму та миттєвою витратою палива.

Для кращого відображення показників миттєвої витрати палива та економії часу на графічних залежностях показані лише параметри шляху S , часу t , миттєвої витрати палива Q_m та швидкості V під час різних варіантів проїзду світлофорних об'єктів (рис. 3.25, 3.26).

Розглядаючи режим руху ТЗ під час проїзду світлофорного об'єкта без використання методу, необхідно відмітити, що ТЗ гальмує зі швидкості 14 м/с до нуля, стоїть чекаючи дозвільний сигнал світлофора, а потім починає рух зі стоп-лінії. При цьому максимальна миттєва витрата палива Q_m досягає відмітки 300 л/100 км. Що є надзвичайно великою, як для легкового автомобіля малого класу.

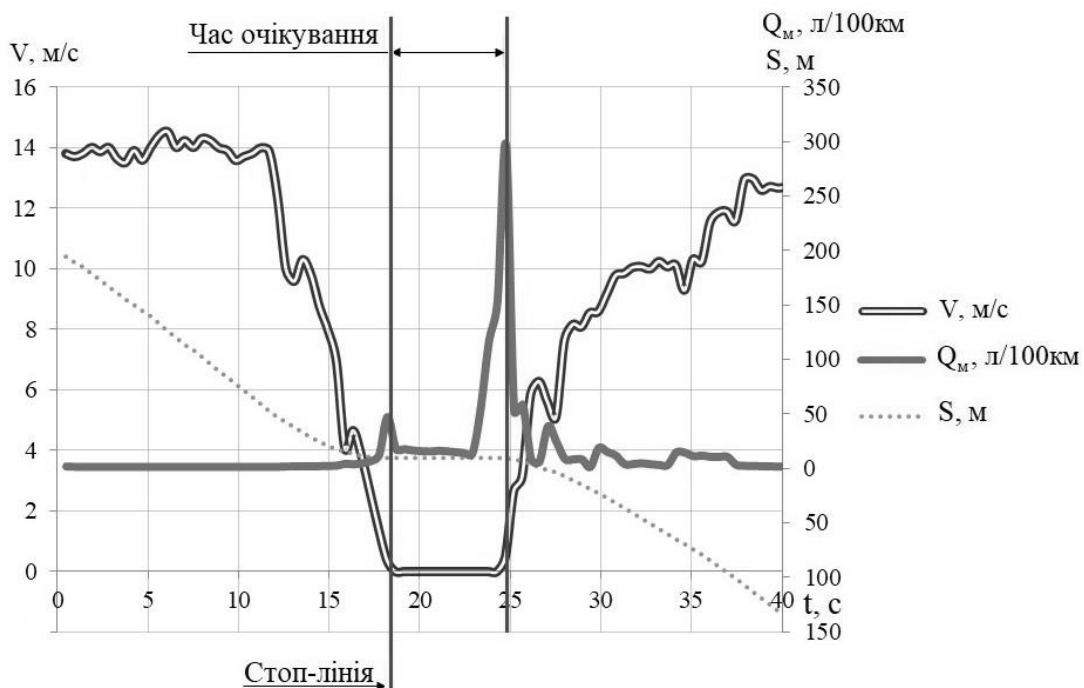


Рисунок 3.25 – Звичайний проїзду світлофорного об'єкта

Використовуючи метод раціонального проїзду регульованих ділянок доріг ТЗ проїжджає світлофорний об'єкт зі швидкістю 9 м/с після використання руху накатом (рис. 3.26).

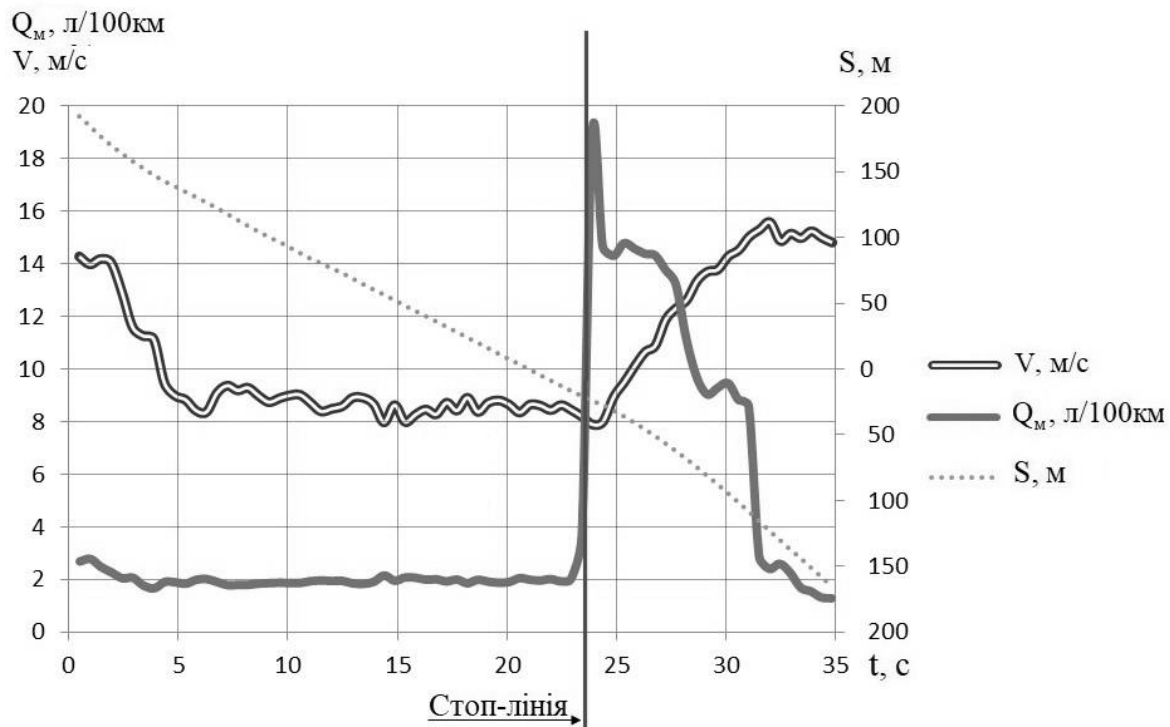


Рисунок 3.26 – Проїзд світлофорного об'єкта з використанням запропонованого методу

Під час пришвидшення ТЗ після вмикання дозвільного сигналу світлофора, рух відбувається на 3 передачі і при цьому в початковий момент розгону миттєва витрата палива Q_m не перевищує 20 л/100 км.

Так, за одних і тих самих режимів роботи світлофорного об'єкта було визначено наступне: без застосування методу ТЗ проїжджав відмітку 100 м після світлофорного об'єкта через 13 с; із застосуванням методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг через 8 с. Тому застосування методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг є доцільним із точки зору економії часу руху ТЗ.

Суттєво зменшується максимальне значення миттєвої витрати палива під час розгону зі стоп-лінії світлофора. Так, використання методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг дозволяє

зменшити цей показник в 10-15 разів, що підтверджує доцільність застосування запропонованого методу з точки зору паливної економічності.

Використання двох методів проїзду зображено на рисунку 3.27.

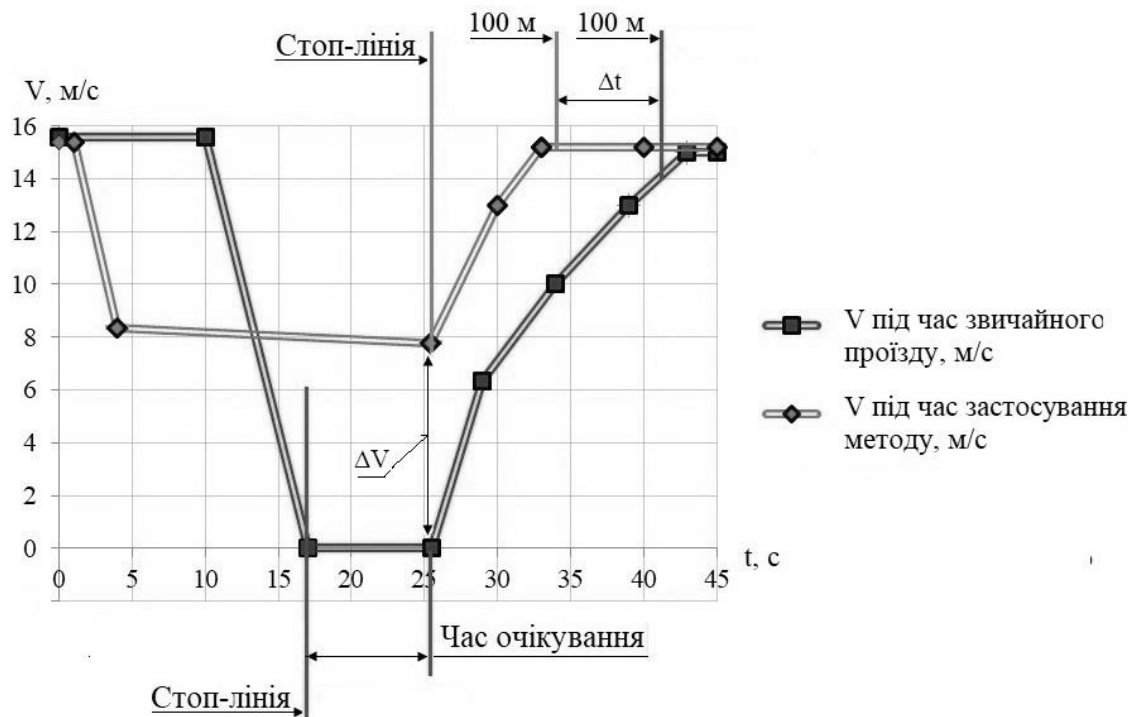


Рисунок 3.27 – Схеми проїзду світлофорного об'єкта ТЗ

Звідси пройдений шлях ТЗ виражається площею, що характеризує лінія швидкості V . Схематично показано звичайний рух ТЗ та рух із використанням методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг.

За звичайного проїзду світлофорного об'єкта ТЗ під'їжджає до стоп-лінії світлофора, зупиняється і очікує вмикання дозвільного сигналу світлофора (час очікування) для того, щоб продовжити рух.

Під час застосування запропонованого методу ТЗ попередньо виконує службове гальмування і, зменшивши швидкість, накатом

доїжджає до світлофорного об'єкта. Так, як ТЗ рухається з меншою швидкістю, то він буде перетинати стоп-лінію в момент, коли уже буде ввімкнутий дозвільний сигнал світлофора. При цьому немає часу очікування, і швидкість, з якою починає рух ТЗ, збільшується на величину ΔV . Збільшена швидкість на стоп-лінії ΔV дозволяє зменшити час проїзду ТЗ до відмітки 100 м на величину Δt . Це дозволяє здійснити рух ТЗ у міських умовах більш рівномірно з меншою часткою прискорень та сповільнень і стоянки на місці, що призводить до зменшення витрати палива, зменшення спрацювання елементів ТЗ та підвищення безпеки руху.

У результаті експериментальних досліджень були визначені параметри впливу сповільнення j_z на максимальну кінцеву швидкість $V_{\text{кmax}}$ ТЗ за заданого $t_{\text{дозв}} = 40$ с, що були використані для математичного моделювання (рис. 3.28).

Звідси було встановлено і підтверджено, що сповільнення j_z під час службового гальмування не суттєво впливає на максимальну кінцеву швидкість проїзду регульованої ділянки дороги під час сповільнення (j_z від $0,5 \text{ м/с}^2$ до $2,5 \text{ м/с}^2$). Тому заданий показник сповільнення під час службового гальмування вибраний таким, як максимально комфортний $j_z = 0,7 \text{ м/с}^2$ і в той же час забезпечує максимальну швидкість $V_{\text{кmax}}$ в усьому полі значень.

У результаті експериментальних досліджень було визначено залежність швидкості V ТЗ і сумарної витрати палива Q_s від шляху S після рушання зі стоп-лінії світлофора.

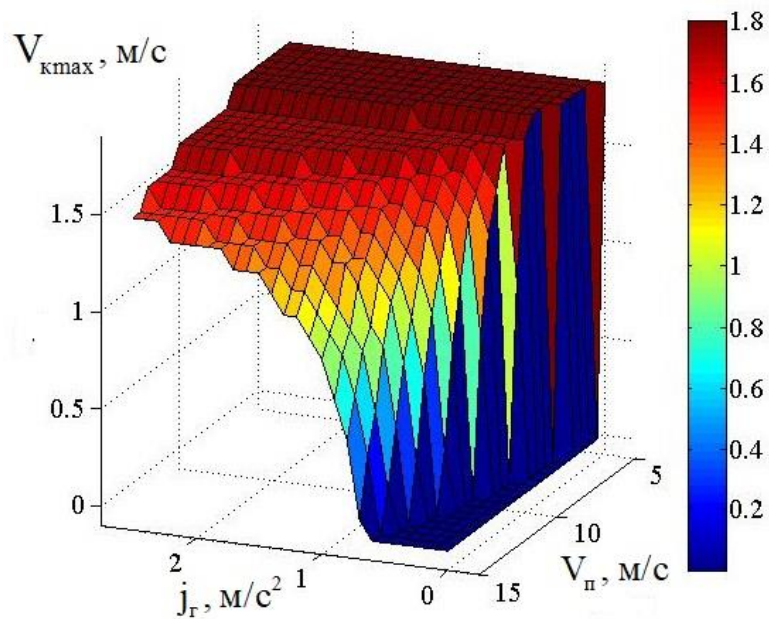


Рисунок 3.28 – 3D-модель впливу j_r та V_n на V_{kmax} під час проїзду світлофорних об'єктів

За результатами було побудовано графічну залежність (рис. 3.29).

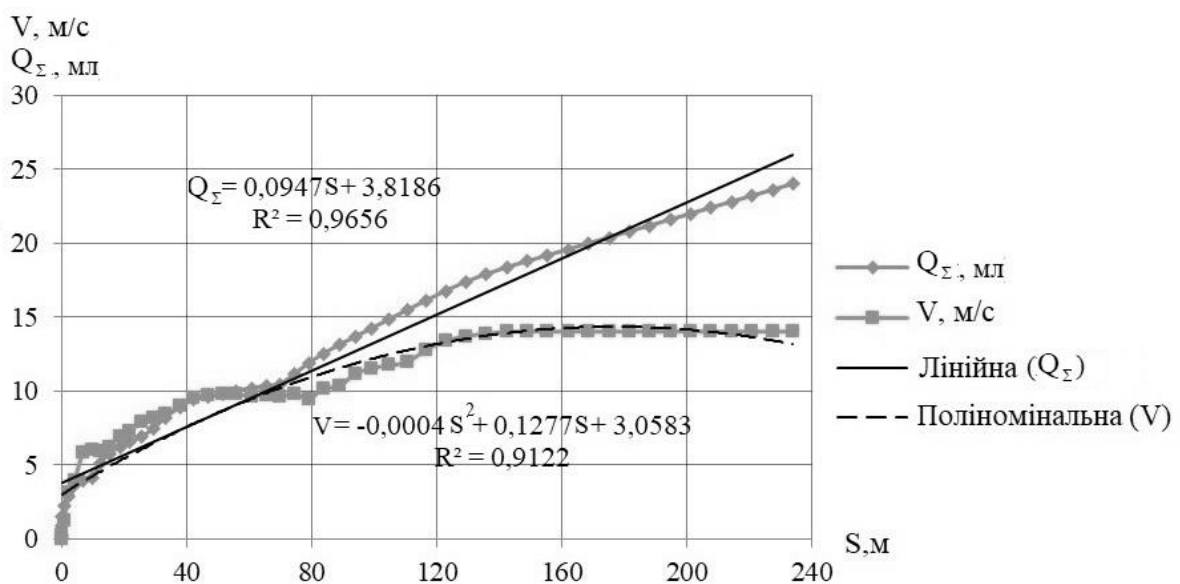


Рисунок 3.29 – Залежність швидкості і сумарної витрати палива від шляху під час розгону ТЗ

Дані, отримані під час експериментальних досліджень, у подальшому були використані для моделювання сумарної витрати палива Q_{Σ} під час розгону ТЗ після старту зі стоп-лінії з використанням і без використання запропонованого методу проїзду світлофорного об'єкта.

Під час звичайного проїзду світлофорного об'єкта показник сповільнення ТЗ під час службового гальмування був заданий $j_z = 1,5 \text{ м/с}^2$. І в результаті проведення математичного моделювання руху ТЗ було визначено залежність сумарної витрати палива Q_{Σ} (рис. 3.30).

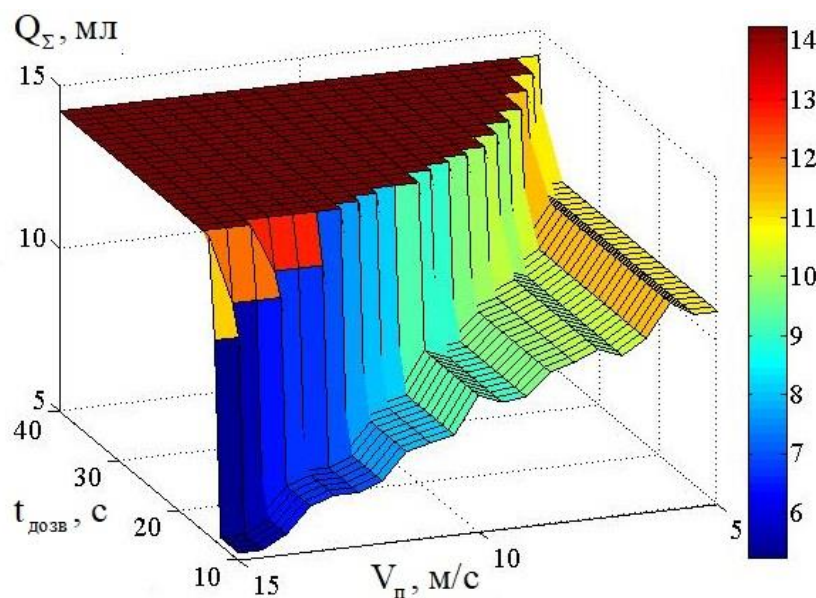


Рисунок 3.30 – 3D-модель впливу $t_{\text{дозв}}$ та V_n на Q_{Σ} під час звичайного проїзду світлофорного об'єкта

Розглядаючи сумарну витрату палива під час звичайного проїзду світлофорного об'єкта ТЗ, можна виділити, що зона максимально сумарної витрати палива переважає всі інші зони витрат.

Під час руху ТЗ у тяговому режимі майже до самого світлофорного об'єкта водій виконує службове гальмування перед самим світлофорним об'єктом зі сповільненням $j_z = 1,5 \text{ м/с}^2$, що може переходити іноді до екстреного гальмування (j_z від 4 м/с^2 до 7 м/с^2). У результаті моделювання даного режиму проїзду світлофорного об'єкта отримано значення сумарної витрати палива (рис. 3.31).

Розглядаючи нераціональний варіант проїзду світлофорних об'єктів, необхідно виділити збільшення зони максимально сумарної витрати палива.

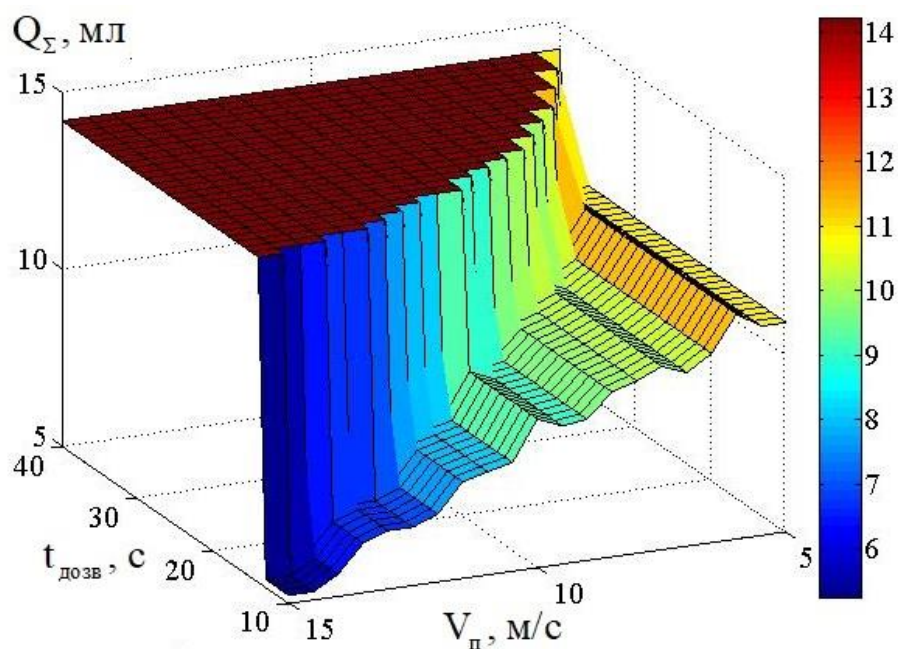


Рисунок 3.31 – 3D-модель впливу $t_{дозв}$ та V_n на Q_Σ під час нераціонального проїзду світлофорного об'єкта

У даному випадку в 55 % сумарна витрата палива буде максимальною. Натомість, за таких же самих початкових умов із застосуванням запропонованого методу раціонального проїзду

регульованих ділянок доріг помітне значне зменшення сумарної витрати палива (рис. 3.32).

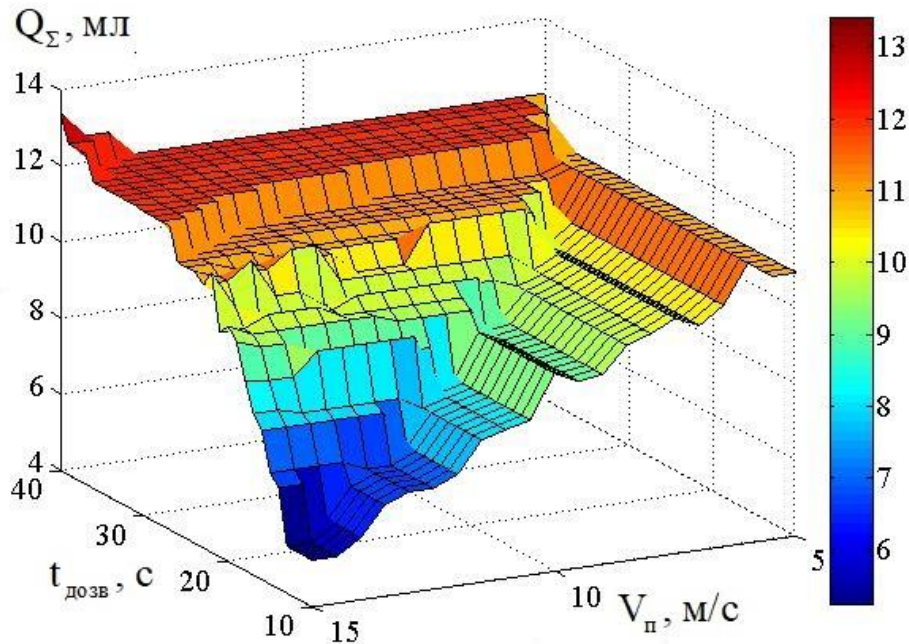


Рисунок 3.32 – 3D-модель впливу $t_{\text{дозв}}$ та V_n на Q_{Σ} із використанням запропонованого методу під час проїзду світлофорного об'єкта

Також можна відмітити, що зникає велика зона максимальної сумарної витрати палива і переходить до значно менших значень витрати палива. Тому з використанням методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг ТЗ проїжджає світлофорний об'єкт у всіх випадках із мінімальною сумарною витратою палива і з максимальним комфортом.

Для визначення ефективності застосування запропонованого методу раціонального проїзду світлофорних об'єктів було змодельовано в середовищі MATLAB і визначено різницю сумарної витрати палива Q_{Σ} залежно від методу проїзду світлофорного об'єкта (рис. 3.33).

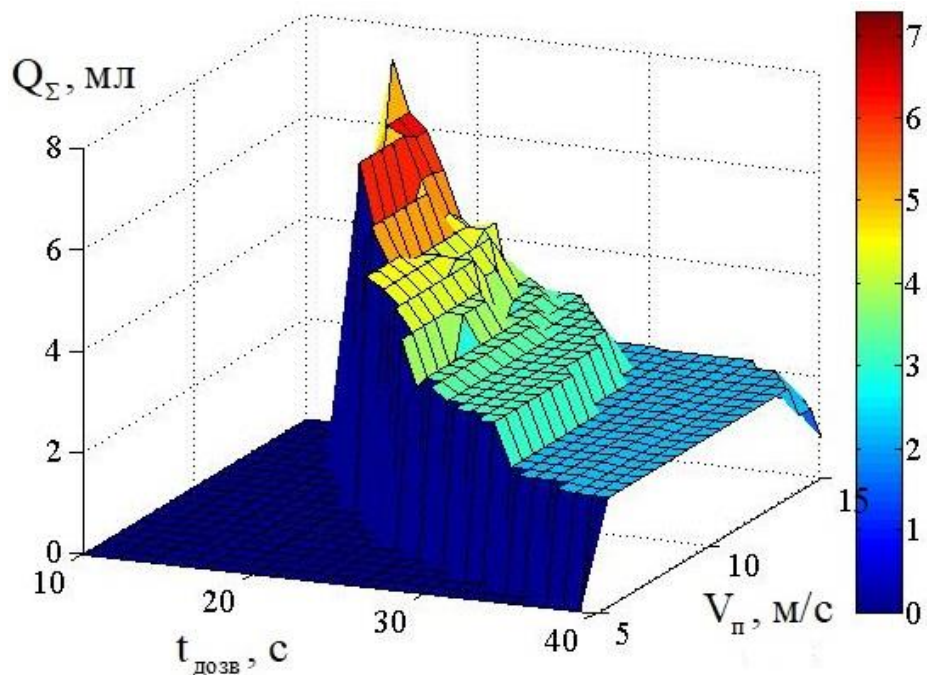


Рисунок 3.33 – 3D-модель різниці Q_{Σ} під час застосування різних методів проїзду світлофорного об'єкта

Крім того, під час використання запропонованого методу зменшується час проїзду регульованої ділянки дороги.

Для порівняння часу проїзду світлофорного об'єкта за звичайного проїзду та із застосуванням запропонованого методу було встановлено відмітку 100 м після світлофорного об'єкта та визначався час, за який ТЗ проїжджає від стоп-лінії світлофора до відмітки 100 м.

Під час звичайного проїзду світлофорного об'єкта можна побачити, що часу ($t_{розг}$) затрачається набагато більше (рис. 3.34).

Так, у більшості випадків, що відмічені темно-червоним кольором, витрачається максимальний час $t_{розг} = 13,7$ с на проїзд і розгін під час проїзду регульованої ділянки дороги.

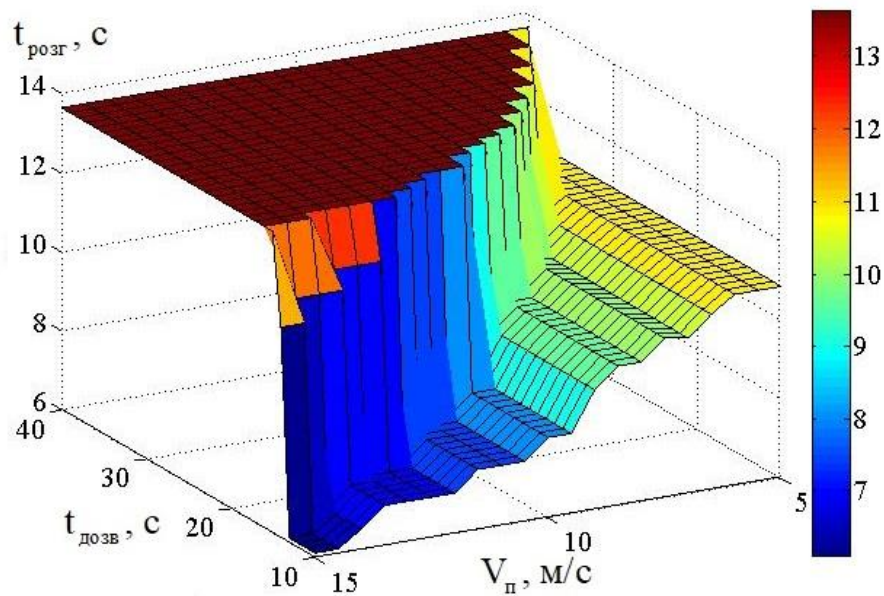


Рисунок 3.34 – 3D-модель впливу $t_{дозв}$ та V_n на $t_{розг}$ під час звичайного проїзду світлофорного об'єкта

За тих же умов було змодельовано нераціональний варіант проїзду світлофорного об'єкта (рис. 3.35).

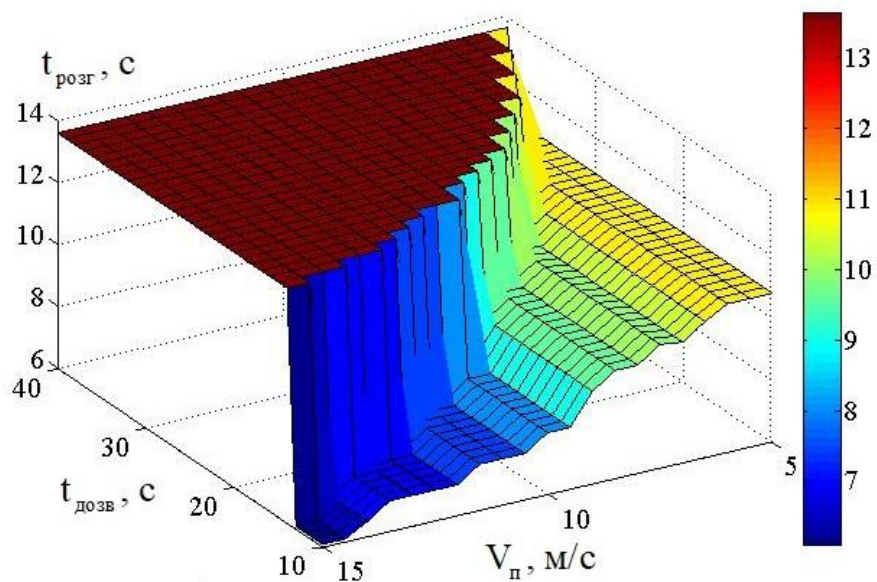


Рисунок 3.35 – 3D-модель впливу $t_{дозв}$ та V_n на $t_{розг}$ під час нераціонального проїзду світлофорного об'єкта

У даному варіанті проїзду, ймовірність витрати максимального часу, який позначено темно-червоним кольором, підвищується. А лише частина водіїв буде проїжджати регульовану ділянку дороги швидше чим за 13,7 с.

Також було виконано моделювання витрати часу на проїзд ТЗ від стоп-лінії світлофорного об'єкта до відмітки 100 м після світлофора із застосуванням запропонованого методу раціонального проїзду (рис. 3.36).

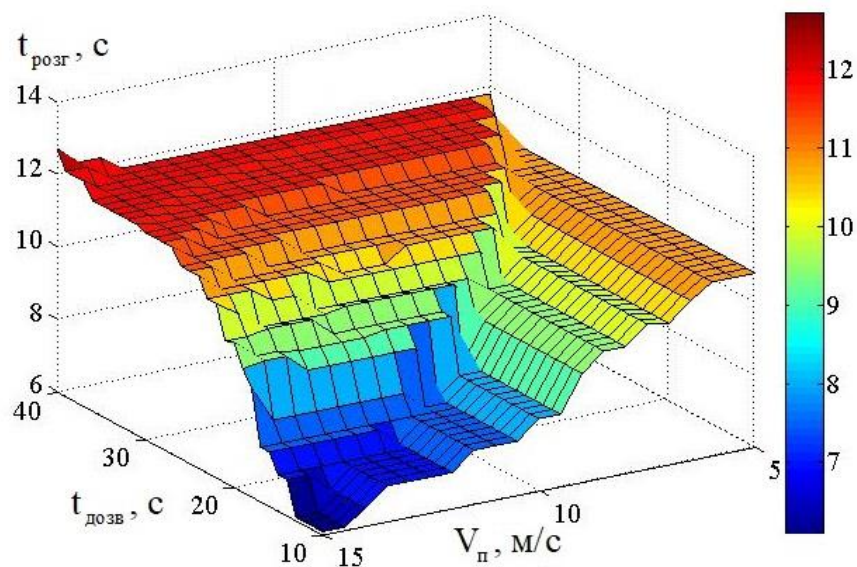


Рисунок 3.36 – 3D-модель впливу $t_{дозв}$ та V_n на $t_{розг}$ з використанням методу раціонального проїзду світлофорного об'єкта

З використанням методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг необхідно виділити повне зникнення великої темно-червоної зони з максимальним часом проїзду і різке зменшення часу проїзду ТЗ в інших зонах.

Для визначення впливу запропонованого методу на час проїзду світлофорного об'єкта в середовищі MATLAB також була визначена

різниця часу за різних варіантів проїзду (рис. 3.37).

Як видно з графічної залежності запропонований метод дозволяє водіям долати регульовані ділянки дороги з мінімальною витратою часу, що задовольняє умови використання методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг.

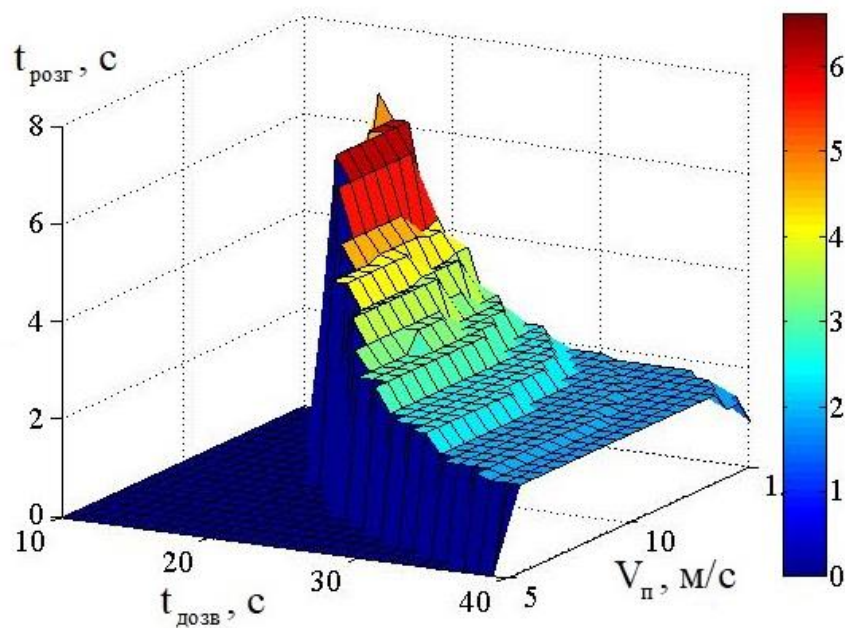


Рисунок 3.37 – 3D-модель різниці $t_{\text{дозв}}$ під час застосування різних методів проїзду світлофорного об'єкта

3.4 Перевірка адекватності математичної моделі

Побудова математичної моделі ще не означає рішення поставленої задачі. Це тому, що немає відомостей про якість моделі.

Основою оцінки якості математичної моделі є похибка експерименту. Для експериментального встановлення похибки експерименту, необхідно в кожній точці i поставити паралельні

досліди з максимально можливою кількістю.

Якщо немає впевненості в однорідній дисперсії, то дослідникам необхідно ставити паралельні досліди у кількох чи навіть у всіх точках, обчислювати дисперсії і перевіряти їх однорідність. Як правило для цього використовується критерій Кохрена [109, 110].

Обчислюються дисперсії за формулою:

$$\sigma_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (y_{ji} - \bar{y}_i)^2}{m-1}, \quad (3.2)$$

де σ_i^2 – дисперсія в i -й точці;

m – число паралельних дослідів;

y_{ji} – значення параметра в j -му паралельному досліді i -ї точки;

$\bar{y}_i$ – середнє значення параметра серії паралельних дослідів у i -й точці.

Якщо розрахункове значення критерію Кохрена не перевищує табличного значення, то дисперсії є однорідними. Тут $\sigma_{i\max}^2$ є найбільшою дисперсією серед інших.

$$G = \frac{\sigma_{i\max}^2}{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}. \quad (3.3)$$

У разі однорідності дисперсії похибка дослідів дорівнює:

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}{n}. \quad (3.4)$$

Для перевірки адекватності математичної моделі зазвичай використовують F-критерій Фішера:

$$F = \frac{\sigma_{a\partial}^2}{\sigma_y^2}, \quad (3.5)$$

де $\sigma_{a\partial}^2$ – дисперсія адекватності.

$$\sigma_{a\partial}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - k - 1}. \quad (3.6)$$

Значення y_i визначається з математичної моделі для i -го досліду.

Порівняння F-критерію, який розрахований, із табличним, може дати відповідь про адекватність математичної моделі. Якщо розрахункове значення не перевищує табличного, то математична модель є адекватною.

Якщо проведено n паралельних дослідів в i точках, що отримані для початкової швидкості $V_{поч} = 14$ м/с, то визначимо середні значення і їх результати занесемо в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати теоретичних та експериментальних досліджень значень кінцевої швидкості V_k

Точка і	$t_{\text{дозв}}$, с	$V_{k \text{ розр.}}$, м/с	$V_{k \text{ експер.}}$ м/с				σ_i^2
			1	2	3	середн.	
1	17	10,3	11	9	10,5	10,17	1,08
2	19	8,7	9	9	8	8,67	0,33
3	22	6,7	7	7	6	6,67	0,33
4	26	4,6	5	4	5	4,67	0,33
5	27	4,2	4	4	5	4,33	0,33

Паралельно експериментальним даним у таблицю 3.4 занесені розрахункові значення кінцевої швидкості $V_{k \text{ розр.}}$, що отримані з математичної моделі.

Для усіх значень експериментів визначаються дисперсії σ_i^2 за формулою 3.1.

Для визначення однорідності дисперсії $\sigma_{i \max}^2 = 1,08$.

Критерій Кохрена дорівнює:

$$G = \frac{1,08}{2,42} = 0,45.$$

Оскільки $G = 0,45 < G_{\text{табл.}} = 0,967$, то дисперсії однорідні.

Похибка досліду у випадку однорідності дисперсії дорівнює:

$$\sigma_y^2 = \frac{2,42}{5} = 0,48.$$

Дисперсія адекватності $\sigma_{ad}^2 = 0,021$. Звідси можна визначити F-критерій Фішера [102]:

$$F = \frac{0,021}{0,483} = 0,044.$$

Оскільки $F = 0,044 < F_{табл.} = 4,30$, то математична модель є адекватною.

4 ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРОЇЗДУ РЕГУЛЬОВАНИХ ДІЛЯНОК ДОРІГ

4.1 Спосіб передачі даних від світлофорного об'єкта

Наступним етапом представленої системи відображення рекомендованого режиму руху [99] є її практичне використання та серійне встановлення.

Дана система ділиться на дві основні частини:

- передача даних від світлофора до ТЗ (рис. 4.1);
- отримання і опрацювання даних на ТЗ.

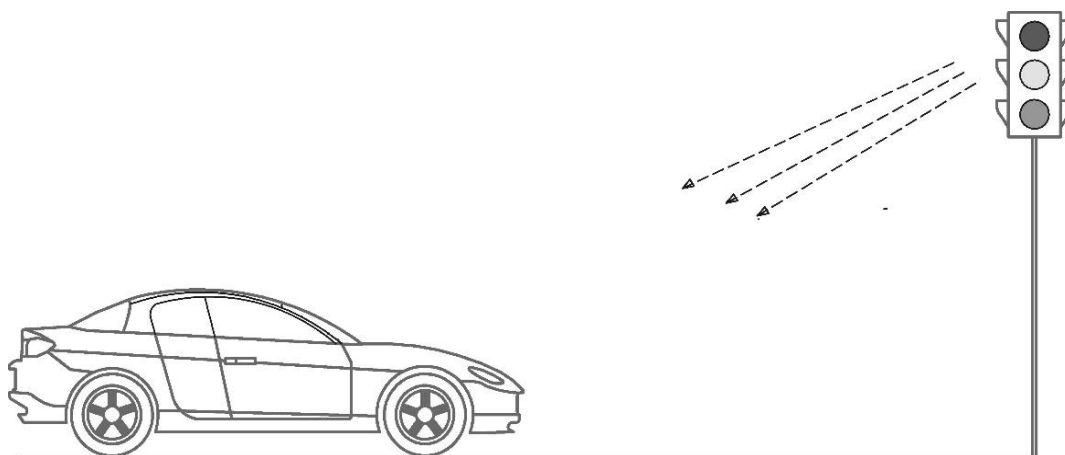


Рисунок 4.1 – Передача даних від світлофора до ТЗ (перша частина)

Розглядаючи першу частину, необхідно вибрати спосіб передачі даних, який би доцільно виконував свої функції з можливістю його простого і, водночас, реального впровадження.

Дослідження показали, що використання радіомодулів на світлофорах є дуже практичним і економним у порівнянні з іншими способами передачі даних. Частота передавача налаштована на 2400

МГц. Одним із найбільш поширених радіомодулів є радіомодуль NRF24L01 (рис. 4.2).

Згідно з проведеними дослідженнями для повноцінного використання на світлофорних об'єктах, або об'єктах, на яких записано режим роботи світлофора, необхідно доставляти додаткові модулі для трансмітера / ресивера (передавача / приймача), що забезпечують бездротову радіопередачу на відстані до 1 км. Ці модулі використовують зовнішню антену, що може встановлюватися безпосередньо на модуль або антена, що підключається за допомогою додаткових конекторів.

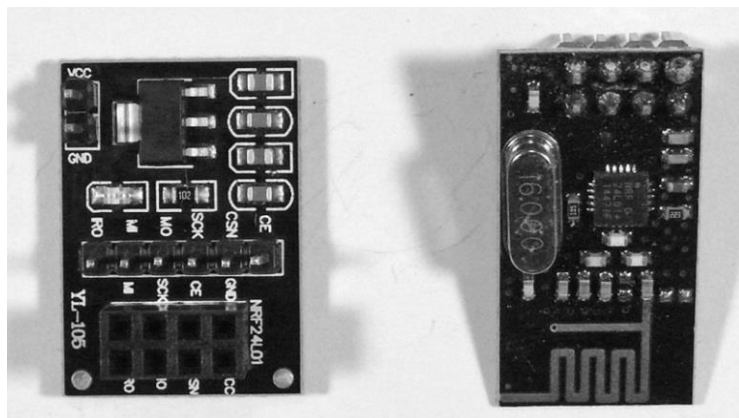


Рисунок 4.2 – Радіомодуль NRF24L01

На рисунку 4.3 показаний радіомодуль NRF24L01 з використанням додаткового трансмітера / ресивера (PA + LNA).

Як показала практика, використання додаткових модулів допомагає вирішити ряд проблем: достатня дальність дії, кількість переданої інформації, швидкість її передачі та отримання. Так, трансивер (додатковий модуль) використовує частоту 2.4 ГГц, як і більшість сучасних WiFi-роутерів та телефонів.

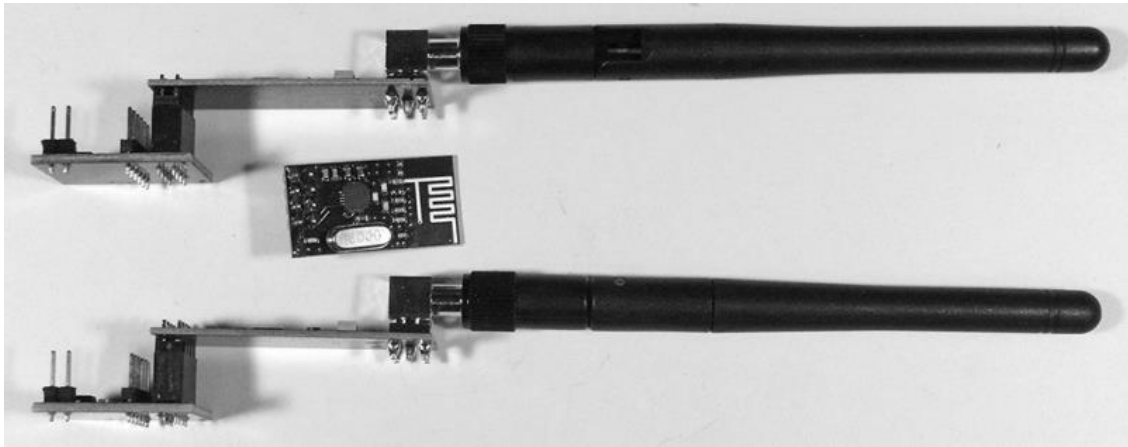


Рисунок 4.3 – Радіомодулі NRF24L01 + PA + LNA

Подібні трансивери відправляють і приймають пакети даних по кілька байт. Передбачена вбудована корекція похибок і можливість відправити дані ще раз. А кожен окремий модуль NRF24L01 може одночасно обмінюватися з багатьма іншими модулями. У кінці трансивер має вихід для підключення антени. Для покращення передачі даних є можливість ставити виносні антени (рис. 4.4).

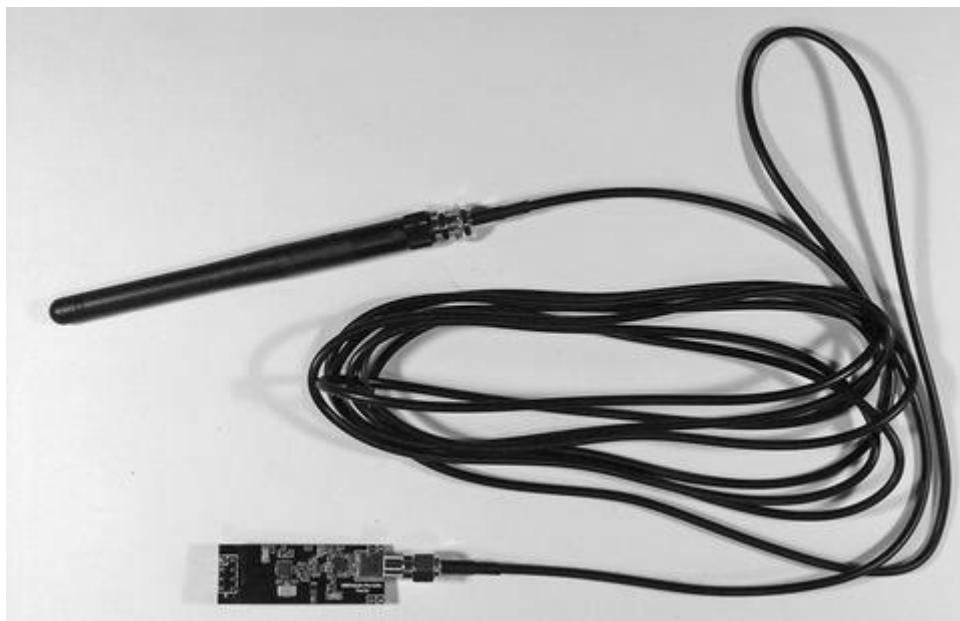


Рисунок 4.4 – Виносна антена трансивера

Дальність дії радіомодуля з трансивером і антеною становить порядку 1 кілометра. Ціна радіомодуля – близько 60 гривень, ціна додаткових модулів і антени становить 180 гривень.

Для повноцінної роботи радіомодулів NRF24L01 додатково потрібне живлення і контролер (Arduino).

Плата Arduino вибирається найкомпактніша з малою кількістю цифрових входів та виходів середнього цінового діапазону. Дослідження ринку електроніки вказує, що для даних критеріїв підходить Arduino Micro (рис. 4.5). У його склад входить все необхідне для зручної роботи з мікро-контролером: 20 цифрових входів/виходів, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм micro-USB. Ціна даного контролера з конекторами близько 180 гривень.

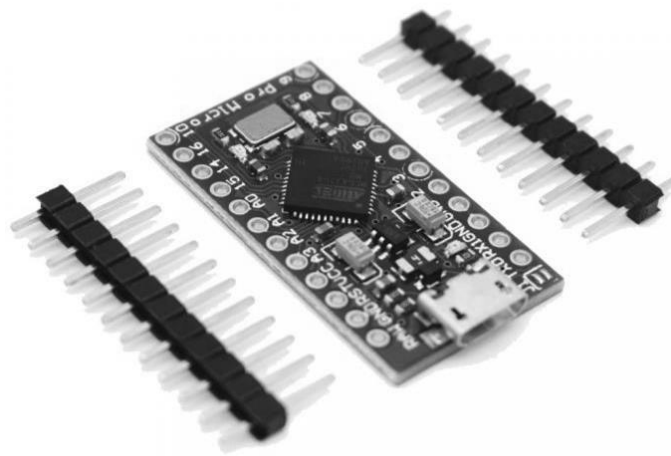


Рисунок 4.5 – Контролер Arduino Micro з конекторами

Програмне забезпечення для даного контролера описано в додатку В.

Живлення для контролера можна використовувати зі світлофору або іншого об'єкта, де він встановлюється, використовуючи простий перетворювач напруги.

4.2 Спосіб отримання і опрацювання даних на транспортному засобі

Розглядаючи другу частину системи відображення рекомендованого режиму руху транспортного засобу, можна зауважити, що ця частина є найскладніша у виготовленні і складності її встановлення і впровадження (рис. 4.6).

Для передачі і отримання даних між світлофором і ТЗ, необхідно вибрати просте, недороге і раціональне рішення – використання радіомодулів з трансивером та антеною. Даний радіомодуль буде встановлюватись уже в ТЗ з налаштуваннями приймання даних від радіомодуля, встановленого на об'єкті передачі даних. Передача даних може бути вибрана, як від самого світлофорного об'єкту так і від контрольного центру тощо.

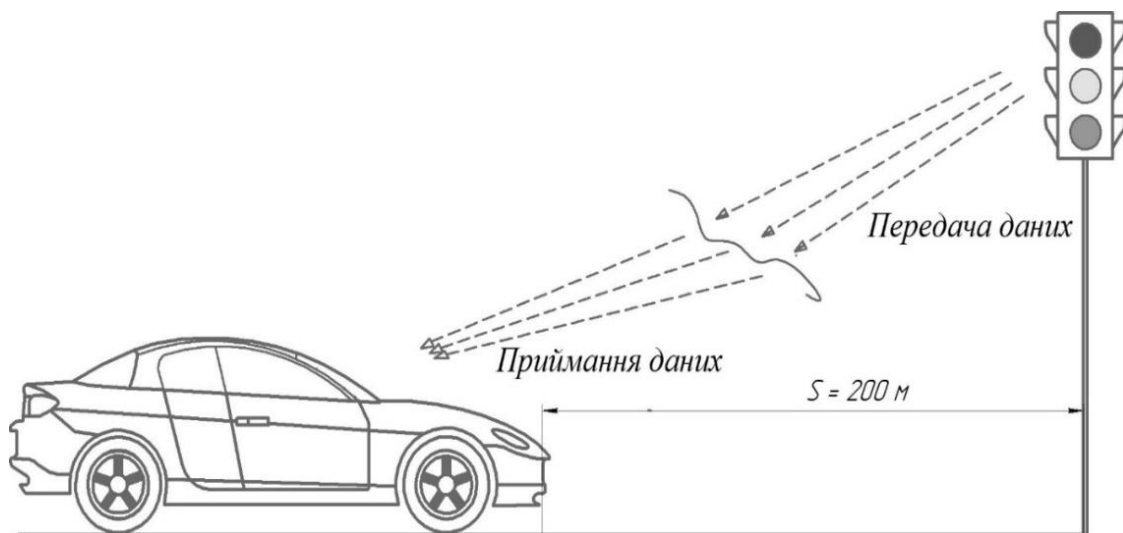


Рисунок 4.6 – Отримання даних від світлофора на ТЗ (друга частина)

Крім отримання інформації зі світлофора на ТЗ буде додатково оброблятися інформація з давачів. Тому було запропоновано

встановлювати на ТЗ контролер Arduino Mega (рис 4.7).



Рисунок 4.7 – Використання Arduino Mega

У його склад входить все необхідне для зручної роботи з мікроконтролером: 54 цифрових пінів входу / виходу, 16 аналогових входів, 4 UART (апаратних приймача для реалізації послідовних інтерфейсів), роз'єм USB, роз'єм живлення.

Для контролера Arduino Mega, що встановлений на ТЗ, було написане програмне забезпечення (додаток Б), що дозволяє оброблювати дані, прийняті з радіомодуля NRF24L01 від світлофора аналогічним приймальним радіомодулем ТЗ.

Дані на Arduino Mega також передаються з давачів ТЗ та з ЕБУ через OBD II.

Для отримання даних із давача ТЗ про кут нахилу дороги можна використовувати триосьовий акселерометр на мікросхемі ADXL345 (рис. 4.8).

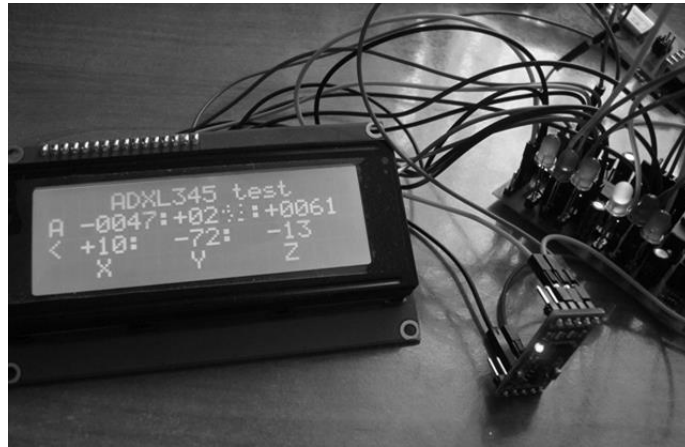


Рисунок 4.8 – Акселерометр на мікросхемі ADXL345

Отримана інформація обробляється у контролері за допомогою програмного забезпечення (додаток Б) і отримане рекомендоване значення сповільнення або прискорення передається на стрічковий індикатор 1 водієві у вигляді підсвічування певної кількості червоних або зелених світлодіодів (рис. 4.9) [111].

На індикаторі 2 відображається реальне значення сповільнення або прискорення ТЗ, що розраховується контролером Arduino Mega.

Для забезпечення безупинного проїзду світлофорних об'єктів необхідно забезпечити значення і час реального сповільнення у відповідності з рекомендованими значенням і часом сповільнення. Це сповільнення може виконуватись, як в ручному, так і автоматичному режимах.

Враховуючи, прогресивні темпи розвитку транспортних технологій, були розглянуті сучасні методи відображення підказок водієві і місце їх розташування в ТЗ. Згідно з проведеними дослідженнями, було встановлено, що найкращим місцем для розташування підказок водієві для безупинного проїзду світлофорних об'єктів є місце на лобовому склі. У даному варіанті водієві

відображається інформація, яку він може сприймати без відриву від контролю за дорожньою обстановкою. Тому підвищуються показники безпеки дорожнього руху в різних ситуаціях.

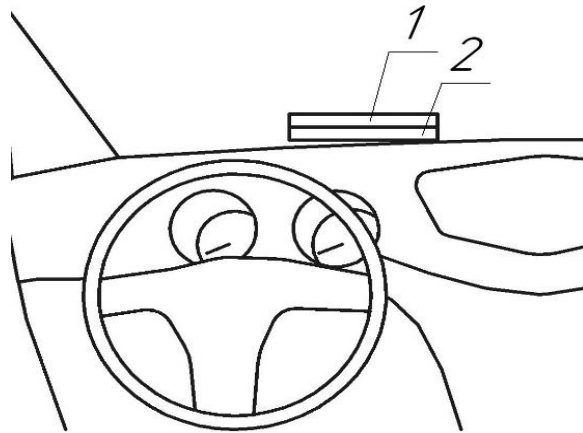


Рисунок 4.9 – Розміщення індикатора у ТЗ

Серед способів відображення на лобовому склі був виділений голографічний спосіб, або, як ще називають відображення на «скло-дисплеї» (рис. 4.10) [112].



Рисунок 4.10 – Спосіб відображення даних на «скло-дисплеї» [112]

Даний варіант відображення дозволяє водієві сприймати різноманітну інформацію, не відволікаючись від керування ТЗ під час дорожнього руху.

Використання досить недорогого і надійного обладнання дозволить впровадити запропоновану систему раціонального проїзду ТЗ регульованих ділянок доріг в Україні і за кордоном.

4.3 Перевірка можливості використання раціонального проїзду регульованих ділянок доріг на заданому маршруті

Для перевірки можливості використання раціонального проїзду регульованих ділянок доріг необхідно реально побачити дії водіїв, громадського ТЗ, під час проїзду світлофорних об'єктів. Водії маршрутних ТЗ мають постійні маршрути та долають одні і ті ж самі регульовані ділянки дороги декілька разів на день. Але цією перевагою користуються дуже рідко. Тому було досліджено типовий маршрут громадського транспорту, який проходив з одного кінця міста Луцьк в інший кінець: Луцький НТУ – «Модерн-Експо». Враховуючи дослідження О. П. Сітовського [113], час для проведення дослідження був вибраний не піковий, коли навантаження на дорогах не було максимальним.

За допомогою карти Google [114], було показано маршрут руху та номери світлофорних об'єктів, що працювали на даному маршруті. Вибраним маршрутом рухаються в основному маршрутні ТЗ № 12 та № 3 (рис. 4.11) [115, 116].

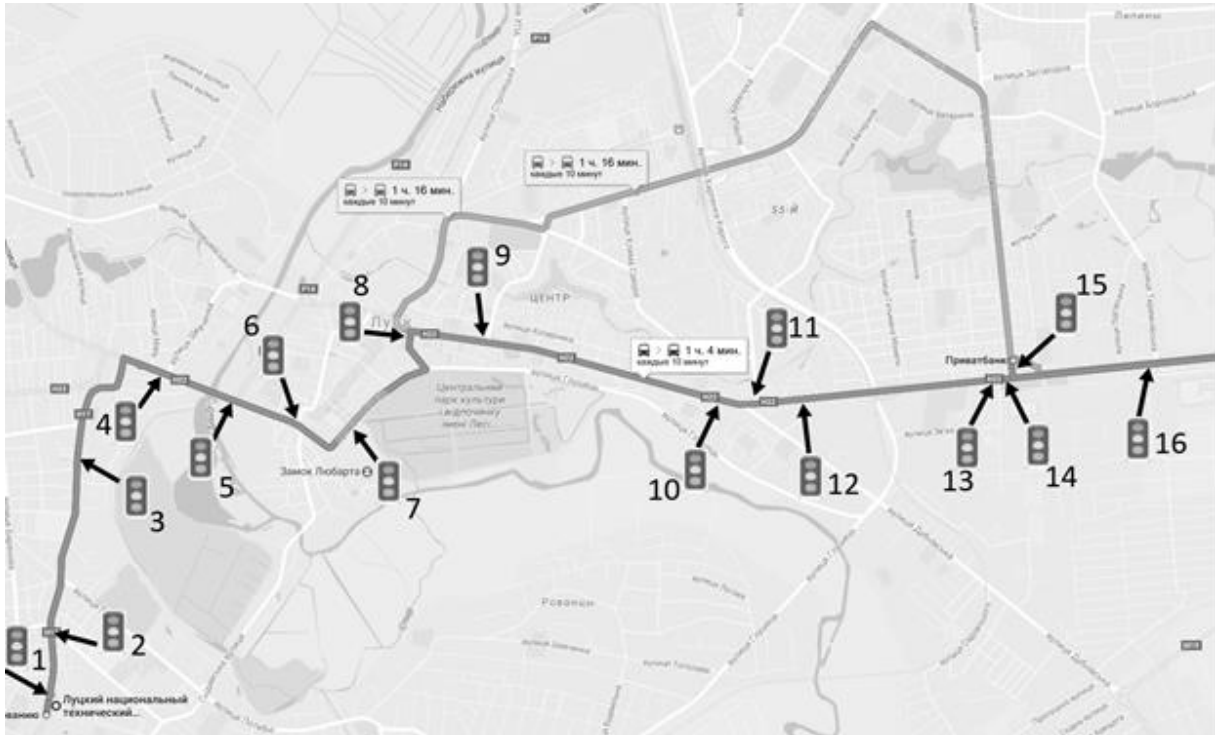


Рисунок 4.11 – Розміщення світлофорів на маршруті Луцький НТУ – «Модерн-Експо»

За результатами спостережень за рухом маршрутного ТЗ та діями водіїв цих маршрутних ТЗ були встановлені певні визначення та побудована відповідна гістограма (рис 4.12) на якій:

- реальна можливість (а) – це відсоток випадків, що дозволяють використовувати рекомендований метод проїзду світлофора. Сюди входять реальні швидкості і час проїзду до світлофора;
- проїзд без зупинки (б) – це відсоток маршрутних ТЗ, що проїхали світлофорний об’єкт без зупинки;
- використання можливості (в) – це відношення проїзду без зупинки до реальної можливості проїзду ТЗ.

За результатами розрахунків було встановлено, що ефективність дій по проїзду перехресть маршрутними ТЗ становить 21...76 % в залежності від складності регульованої ділянки дороги.

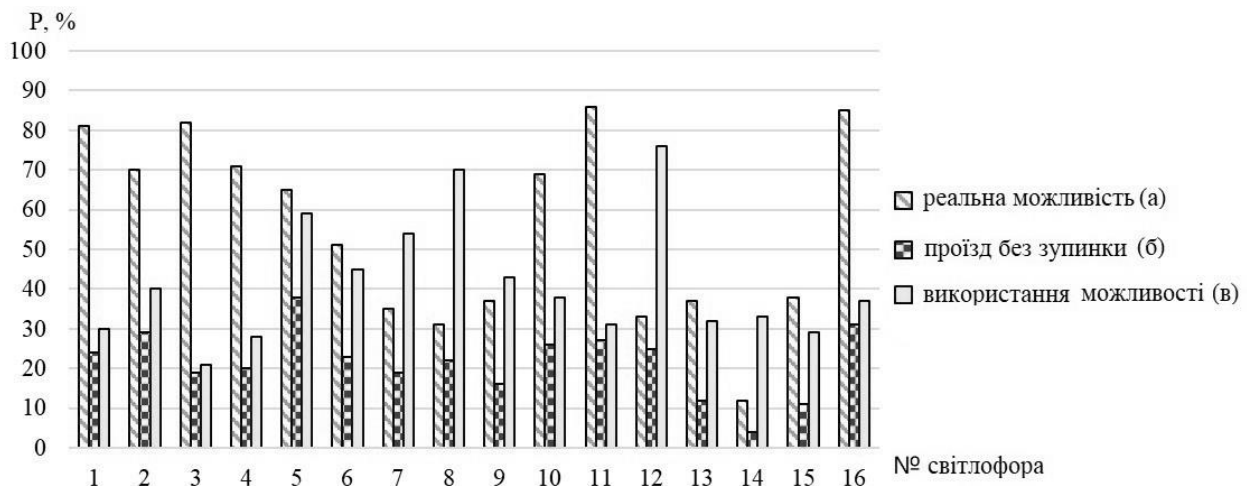


Рисунок 4.12 – Результати досліджень і оцінка дій водіїв маршрутних ТЗ на світлофорних об’єктах

Враховуючи складність перехрестя, можна зауважити, що на складних ділянках дороги великого ефекту від використання запропонованого методу не передбачається. Беручи до уваги, що відсоток досить складних перехресть становить 5-10 %, можна прийти до висновку, що вони не будуть впливати на застосування методу в цілому.

Виходячи зі статистики використання можливості проїзду світлофорів без зупинки, можна зауважити, що більшість водіїв маршрутних ТЗ виконують проїзд світлофорів неефективно, що призводить до значного збільшення витрати пального та погіршення екологічної обстановки у місті.

Для того, щоб побачити повну обстановку на дорозі, було проведено дослідження руху легкових ТЗ на початку і в кінці вибраного маршруту, показаного на рисунку 4.11, світлофор № 1 – Луцький НТУ та світлофор № 16 – «Модерн-Експо».

У результаті спостережень за рухом легкових ТЗ та діями водіїв

цих ТЗ було встановлено додаткове визначення: використання економічних прийомів керування ТЗ (г) – показує процентний розподіл ТЗ, водії яких застосували методи економічного проїзду світлофора.

Результати досліджень наведено на рисунку 4.13.

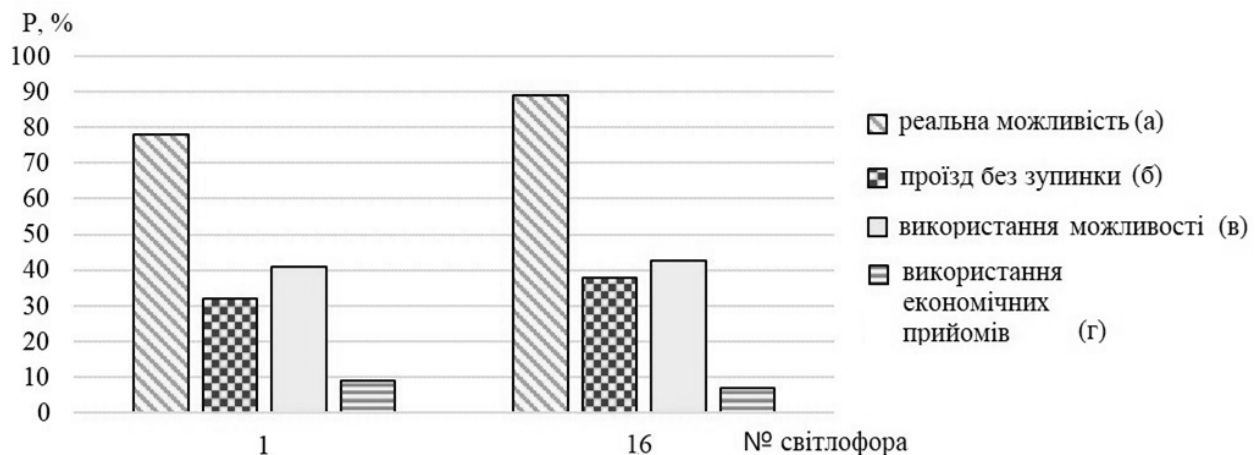


Рисунок 4.13 – Результатів досліджень і оцінка дій водіїв легкових ТЗ на світлофорних об’єктах

За результатами розрахунків та оцінки дій водіїв легкових ТЗ також можна відмітити, що абсолютна більшість водіїв проїжджають перехрестя не раціонально. Тому проїзд світлофорів без зупинки ТЗ здійснили лише 32...38 % водіїв із урахуванням реальної можливості.

Виходячи з результатів досліджень руху ТЗ, можна констатувати, що водії маршрутних ТЗ і водії легкових ТЗ не використовують під час управління економічних методів проїзду світлофорних об’єктів. З усіх реально можливих випадків проїзду світлофорних об’єктів приблизно третина ТЗ проїжджає їх без зупинки. Лише до 10 % водіїв застосовують під час управління ТЗ економічні методи керування. Тому є необхідність у подальшому продовженні досліджень та впровадженні запропонованого методу

проїзду у рекомендації для водіїв та у повсякденну практику водіїв ТЗ. Найкращим способом для впровадження цього методу буде його автоматизація за допомогою вказаних раніше приладів.

4.4 Вплив інших транспортних засобів на проїзд світлофорних об'єктів

Щоб розглядати можливість використання раціонального методу проїзду світлофорних об'єктів необхідно врахувати, як відсутність ТЗ перед світлофором, так і наявність перед світлофором інших ТЗ.

У результаті попередніх досліджень було встановлено, яка завантаженість і відсоток розподілу складу ТЗ на основних перехрестях міста Луцьк (табл. 4.1) [117].

Таблиця 4.1 – Склад ТП на всіх напрямках перехрестя

Вид ТЗ	Частка в потоці, %	Інтенсивність руху, авт./год
Легкові автомобілі	79.4	1389
Автобуси	13.3	232
Вантажні	7.3	128

Як видно з таблиці 4.1, склад ТП в основному різного роду, тому він відіграє важливу роль у параметрах, що характеризують час дорожнього-транспортного руху на різних ділянках дороги [118].

У НДІ проекті була змодельована організація ТП і встановлено, що ТЗ можуть проїжджати регульовані перехрестя з урахуванням їх завантаженості [119].

Тому необхідно визначити, як швидко може бути звільнений проїзд біля світлофора іншими учасниками дорожнього руху (рис. 4.14) [120].

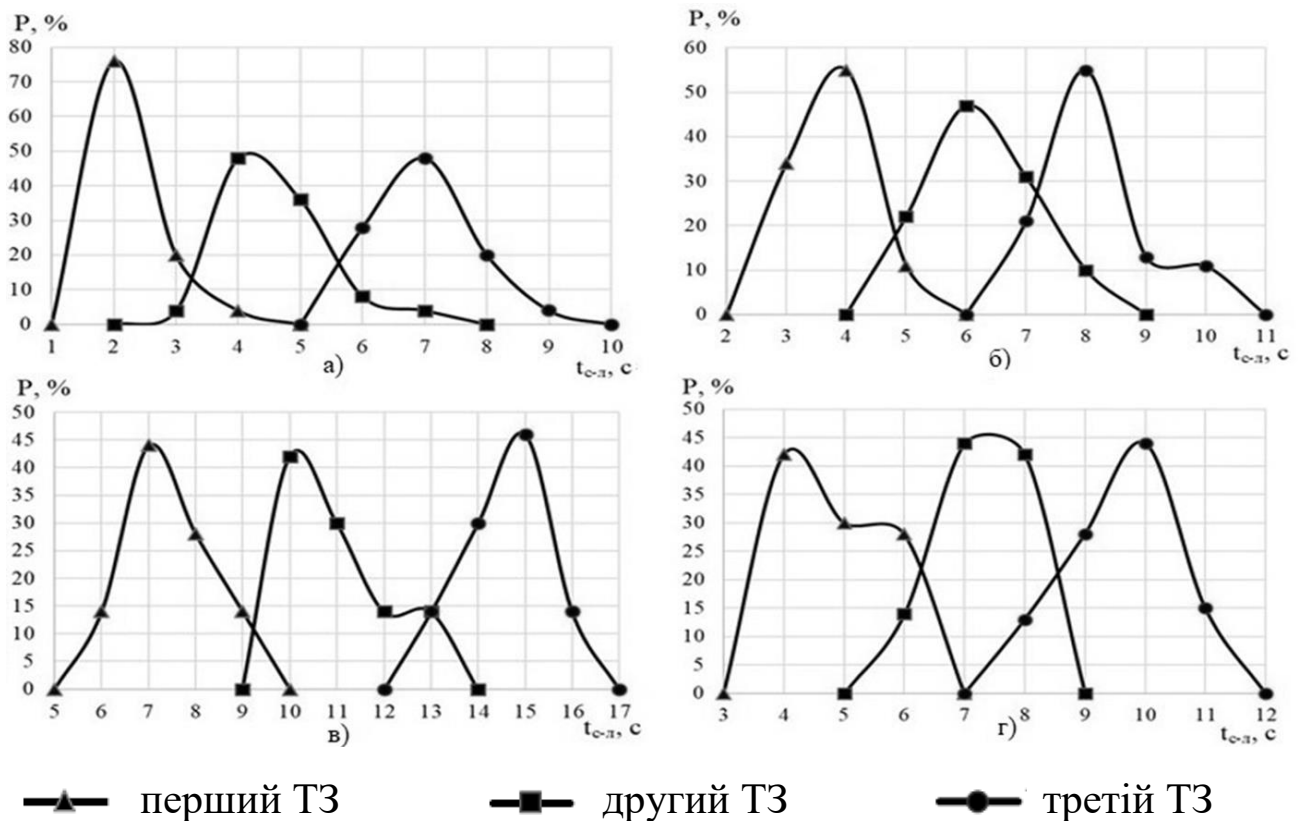


Рисунок 4.14 – Процентний розподіл ТЗ від часу проїзду стоп-лінії світлофора:

а) легкові ТЗ; б) вантажні ТЗ; в) автопоїзди; г) автобуси

Виходячи з даних досліджень, було визначено середньо-розрахунковий час проїзду стоп-лінії світлофора легковими ТЗ і він становив: для першого ТЗ – 1,8 с; для другого – 4,1 с; для третього – 6,7 с.

Був визначений процентний розподіл ТЗ (P), який залежить від часу рушання та проїзду стоп-лінії світлофора ($t_{c-л}$), під час старту з першої, другої та третьої позиції. Результати досліджень для легкових

ТЗ показано на рисунку 4.14, а.

Для вантажних ТЗ середньо розрахунковий час проїзду стоп-лінії світлофора становив: для першого – 3,5 с; для другого – 5,9 с; для третього – 7,8 с. Процентний розподіл часу рушання та проїзду стоп-лінії світлофора вантажними ТЗ показано на рисунку 4.14, б.

Для автопоїздів середньо розрахунковий час проїзду стоп-лінії світлофора становив: для першого – 7,1 с; для другого – 10,6 с; для третього – 14,2 с. Процентний розподіл часу рушання та проїзду стоп-лінії світлофора автопоїздами показано на рисунку 4.14, в.

Для автобусів середньо розрахунковий час проїзду ТЗ стоп-лінії світлофора становив: для першого – 4,4 с; для другого – 6,6 с; для третього – 9,1 с. Процентний розподіл часу рушання та проїзду стоп-лінії світлофора автобусами показано на рисунку 4.14, г.

Під час проведення досліджень та спостережень було відмічено, що на час старту і проїзду світлофора мають вплив типи ТЗ, завантаженість ТЗ, вік, як транспортного засобу, так і водія та погодні умови.

Розглядаючи час рушання і проїзду стоп-лінії можна сказати, що використання раціонального методу проїзду світлофорних об'єктів можливо у випадку, коли перед світлофором очікують дозвільний сигнал 1-2 легкових ТЗ, по одному автобусу або вантажному ТЗ. Коли ж ТЗ більше чи стоїть автопоїзд, тоді вірогідність використання методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг суттєво зменшується.

4.5 Перевірка отриманих результатів на симуляторі дорожнього руху

Розглядаючи отримані дані теоретичних та експериментальних досліджень раціонального проїзду регульованих ділянок доріг легковими ТЗ, необхідно перевірити можливість і ефективність застосування запропонованого методу для вантажних ТЗ, автопоїздів та автобусів. Для цього був використаний симулятор дорожнього руху, який встановлений у Луцькому НТУ.

Використання даного симулятора дозволяє моделювати різні режими руху ТЗ зі зміною їх типу та навантаження. На дорогах ВДМ проведення експериментальних досліджень проїзду світлофорних об'єктів великогабаритними ТЗ є досить проблематичним.

Розглядаючи отримані дані з використання раціонального методу проїзду регульованих ділянок доріг необхідно виділити, що стаж і вміння водія відіграє велику роль для його застосування. Тому рекомендовано ввести заняття для практичного стажування водіїв на спеціалізованих технічних засобах. Одним із таких технічних засобів може бути використаний симулятор дорожнього руху.

Також водії зможуть оцінювати економічну ефективність проїзду регульованих ділянок доріг та контролювати усі показники ТЗ (рис. 4.15).

Використовуючи симулятор дорожнього руху можна побачити ефективність запропонованого методу проїзду, а водіям прогнозувати і проїжджати світлофорні об'єкти з мінімальною витратою палива і максимальною ефективністю.



Рисунок 4.15 – Використанням симулятора дорожнього руху під час звичайного проїзду світлофорного об'єкта

Якщо під час старту з місця легкового ТЗ малого класу миттєва витрата палива Q_m може сягати відмітки 300 л/100 км, то у вантажних ТЗ, автобусів і автопоїздів ці значення можуть доходити до 1000 л/100 км (рис. 4.15), що призводить до збільшення сумарної витрати палива Q_{Σ} . Звідси можна зробити висновки, що використання раціонального методу проїзду регульованих ділянок доріг рекомендовано для всіх типів ТЗ, а найбільшого економічного ефекту за один проїзд світлофорного об'єкта він принесе великогабаритним пасажирським та вантажним ТЗ.

Враховуючи розвиток технологій, використання методу раціонального проїзду регульованих ділянок доріг позитивно впливає на безпеку руху, тому, що дистанції між ТЗ збільшуються, а швидкості зменшуються і не перевищують дозволених. Проблема відволікання водія інформацією зникає з використанням скло-дисплея.

За значної інтенсивності руху на світлофорному об'єкті може виникнути ситуація, коли оглядовість дорожньої обстановки обмежена. Тому у даному випадку необхідно знизити швидкість ТЗ до

мінімальної або зупинитись.

Сучасні гальмівні системи дозволяють автоматично вмикати екстрене гальмування ТЗ [121], з використанням якого метод раціонального проїзду світлофорних об'єктів можливий із точки зору безпеки дорожнього руху майже у всіх випадках.

Використовуючи всі можливості технологій, проблему безпеки дорожнього руху можна вирішити також із використанням систем навігації, системи розпізнавання об'єктів, та завчасного попередження про небезпеку на скло-дисплеї [122].

Тому для функціонування даних варіантів, необхідно, щоб система стеження була обладнана комбінацією давачів (лідар + оптична камера), що у випадку виявленої перешкоди або небезпеки передають сигнал до системи обробки інформації та ухвалення рішень. Інформація, що надходить від системи стеження, повинна містити дані щодо ідентифікації об'єкта, його стану, швидкості.

4.6 Область застосування методу раціонального проїзду транспортними засобами регульованих ділянок доріг

Запропонований метод може бути рекомендований до застосування в усіх населених пунктах, де застосовується світлофорне регулювання руху ТЗ. Найбільша ймовірність використання методу коли час горіння червоного сигналу від 30 до 40 с.

Даний метод проїзду може бути рекомендований до застосування, як на легкових ТЗ, так і на вантажних ТЗ і автобусах. У разі збільшення маси ТЗ та об'єму двигуна, економія палива під час

проїзду регульованої ділянки дороги зростає з пропорційною залежністю. Для вантажних автомобілів та автопоїздів зменшується знос коробки передач за рахунок зменшення кількості переключання передач до 2 разів на регульованій ділянці дороги в залежності від початкових умов руху.

Для громадського транспорту, крім особливої актуальності цього питання, є досить суттєві можливості використання даного методу проїзду з огляду на те, що водій, як правило, тривалий час рухається одним і тим самим маршрутом по багато разів на день. У багатьох містах для громадського транспорту застосовується виділена смуга руху. Все це сприяє до безперешкодного використання методу раціонального проїзду для громадського транспорту.

З розвитком штучного інтелекту даний метод стає необхідним під час створення алгоритмів руху ТЗ під час проїзду регульованих ділянок доріг. Сучасні ІТ-технології дозволяють комунікувати між різними пристроями, що можуть застосовуватись під час ОДР зі світлофорним регулюванням: між світлофорним об'єктом і ТЗ, між ТЗ, що наближаються до світлофорного об'єкта. На основі цих даних може бути сформований алгоритм керування рухом ТП та окремого взятого ТЗ та розв'язана конфліктна ситуація, що виникає між одиночними ТЗ і світлофорним об'єктом, на якому горить заборонний червоний сигнал.

Для ТЗ з електричним приводом застосування методу раціонального проїзду дозволить суттєво підвищити ефективність використання електричної енергії під час рекуперативного гальмування. Це можливо тому, що під час звичайного проїзду

використовується службове гальмування зі сповільненням від $1,5 \text{ м/с}^2$ до 2 м/с^2 і до мінімальної швидкості руху або до зупинки. Цей режим є не ефективним для рекуперативного гальмування.

Під час використання запропонованого методу рекуперативне гальмування здійснюється зі сповільненням $0,7 \text{ м/с}^2$ і на значно більших швидкостях руху, що призводить до збільшення обертів генератора. У такому режимі тягові акумуляторні батареї більш ефективно заряджаються з меншими струмами, що при цьому виникають, що підвищує загальну ефективність рекуперації, а також збільшує термін служби тягових акумуляторних батарей.

Із застосуванням методу на ТЗ із традиційними силовими установками для службового гальмування може використовуватись двигун внутрішнього згоряння в режимі примусового холостого ходу [123]. У такому випадку величина сповільнення не регулюється в процесі гальмування, а залишається фіксованою. На кожній передачі при цьому ТЗ гальмує з різним сповільненням, але алгоритм роботи запропонованого методу дозволяє вводити корективи в роботу системи і застосовувати її без суттєвого зменшення ефективності методу.

Для ТЗ з автоматичними коробками передач цей метод може бути застосований шляхом гальмування двигуном із подальшим рухом ТЗ із постійною швидкістю.

Враховуючи розвиток сучасних технологій розпізнавання дорожньої обстановки, розпізнавання і ідентифікації окремих учасників дорожнього руху, визначення їх положення, траєкторії та швидкості їх руху можна спрогнозувати час до звільнення смуги руху

і тим самим розрахувати необхідне сповільнення для безупинного проїзду ТЗ ділянок доріг з врахуванням будь-якої прогнозованої перешкоди.

Крім того для створення умов безупинного руху з врахуванням прогнозованих перешкод можна врахувати і режим прискорення ТЗ в дозволених межах з врахуванням безпеки дорожнього руху.

Створена система [99] та програмне забезпечення [100] передбачає використання і прискорення ТЗ в алгоритмі раціонального проїзду прогнозованих перешкод.

ВИСНОВКИ

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-вимірювальний 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 відображати 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Книш Ю. В., Копій М. Л. Шляхи зменшення шкідливих викидів автотранспорту у навколишнє середовище. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2014. №24. С. 81–85.
2. Першаков В. М., Белятинський А. О., Степанчук О. В., Кротов Р. В. Дослідження транспортних потоків в аспекті заторових станів дорожнього руху : монографія. Київ : НАУ, 2015. 177 с.
3. Беспалов Д. О. Особливості режиму руху транспортного потоку на перетинах міських магістралей в різних рівнях /. URL: <https://bespalov.me/2012/04/10/osobennosti-reghima-dvigheniya-transporta/> (дата звернення: 10.04.2014).
4. İlk trafik lambası Doodle oldu - İlk trafik lambasını kim, nasıl buldu. URL: <http://www.hurriyet.com.tr/gundem/ilk-trafik-lambasi-doodle-oldu-ilk-trafik-lambasini-kim-nasil-buldu-29731098> (дата звернення: 05.08.2015).
5. Светофоры в Киеве будут работать в режиме «Зеленая волна» / Київ «сьогодні». URL: <http://kiev.segodnya.ua/ktransport/svetofory-v-kieve-budut-rabotat-v-rezhime-zelenaya-volna-729589.html> (дата обрання: 01.06.2016).
6. The principle of a green wave / Fietsberaad crow. URL: <http://www.fietsberaad.nl/?section=Voorbeeldenbank&lang=nl&mode=detail&repository=Green+wave+for+cyclists> (дата звернення: 05.07.2016).
7. Технология распознавания светофоров Audi снизит расход топлива. URL: <http://meinland.ru/article-672-1-texnologiya-raspoznaniya-svetoforov-audi-snizit-rasxod-topliva.html> (дата

обращения: 25.12.2014).

8. Start stop system / Audi glossary. URL: <https://www.audi.co.uk/glossary/s/start-stop-system.html> (дата звернення: 24.01.2015).

9. Автопроизводители считают лишние литры. URL: <http://mami.ru/index.php?id=2112&view=88> (дата обращения: 04.12.2014).

10. Лобанов Е. М. Транспортная планировка городов : учебник для студентов вузов. Москва, 1990. 240 с.

11. Список країн за кількістю автомобілів на 1000 осіб. Вікіпедія – вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Список_країн_за_кількістю_автомобілів_на_1000_осіб (дата звернення: 04.03.2017).

12. У ДФС назвали кількість авто на єврономерах, які незаконно перебувають в Україні. Інформаційне агентство. URL: <https://economics.unian.ua/transport/2236626-u-dfs-nazvali-kilkist-avto-na-evronomerah-yaki-nezakonno-perebuvayut-v-ukrajini.html> (дата звернення: 04.03.2017).

13. Трофименко Ю. В., Якимов М. Р. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов : монографія. Москва, 2013. 464 с.

14. Лобанов Е. М., Сильянов В. В., Ситников Ю. М. Пропускная способность автомобильных дорог. Москва, 1970. 152 с.

15. Lighthill M. J., Whitham G. B. On kinematic waves: II. Theory of traffic flow on long crowded roads. Proc. R. Soc. London, Ser. A. 1955. 345 p.

16. Richards P. I. Shock Waves on the Highway. Oper. Res. 1956. P. 42–51.

17. Editors N. H., Gartner C., Messer J., Rathi. A. K. Traffic flow theory: A state-of-the-art report / Washington DC: Transportation Research Board, 2001.
18. Митюгин В. А., Фролов Н. А. Развитие теорий моделирования транспортных потоков. *Известия ТулГУ*. 2015. Вып. 6. Ч. 1. С. 68–76.
19. Kerner, Boris S. Experimental Features of Self-Organization in Traffic Flow. *Physical Review Letters*. 3797-3400. 1998. 81 p.
20. Kerner, Boris S. The physics of traffic. *Physics World Magazine* 12, 25-30 August 1999.
21. Boris S. Kerner. Congested Traffic Flow: Observations and Theory. *Transportation Research Record*. 1999. P. 160–167.
22. Helbing D. Traffic and related self-driven many particle systems. *Rev. Mod. Phys.* 2001. P. 1067–1141.
23. Lighthill M. J., Whitham G. B. On kinematic waves: II. Theory of traffic flow on long crowded roads. London. 1955. P. 281–345.
24. Гасникова А. В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков : учебное пособие. Москва. 2013. 417 с.
25. Петров В. В. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах : учебное пособие. Омск. 2007. 104 с.
26. Режими руху автомобілів. *МТЛ лекц., Ужгородський національний університет*. URL: <https://studfiles.net/preview/5656256/> (дата звернення: 02.06.2017).
27. Процишин О. С. Дослідження миттєвих швидкостей руху у транспортному потоці. *Наукові нотатки*. Луцьк. 2014. С. 488–452.
28. Рэнкин В. У., Клафи П., Халберт С. Автомобильные

перевозки и организация дорожного движения. Москва, 1981. 592 с.

29. Коноплянко В. И. Организация и безопасность дорожного движения. Москва, 1991. 183 с.

30. Лобашов О. О., Прасоленко О. В. Організація дорожнього руху, практикум з дисципліни «Організація дорожнього руху» : навч. посіб. Харків, 2011. 221 с.

31. Врубель Ю. А. Организация дорожного движения в двух частях. Минск. 1996. 328 с.

32. Клинковштейн Г. И., Афанасьев М. Б. Организация дорожного движения. Москва, 1992. 207 с.

33. Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. Системологія на транспорті. Організація дорожнього руху. Під ред. М. Ф. Дмитриченко. Київ, 2007. 452 с.

34. Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Лановий О. Т., Поліщук В. П. Організація дорожнього руху : в 5 кн. за заг. ред. М. Ф. Дмитриченко. Київ, 2006. 497 с.

35. Деркач В. Л., Мазилук 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.

36. Правила ЕЭК ООН № 84. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения дорожных транспортных средств, оборудованных двигателем внутреннего сгорания, в отношении измерения потребления топлива [Введены в действие 15.06.1990]. Женева.: Европейская Экономическая комиссия Организации Объединенных наций, 1990. 64 с.

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

38. Сітовський О. П., Дембіцький В. М., Мазилук 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.

39. ГОСТ 20306 – 90. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний [Введены в действие 01.01.1992]. Москва, 1991. 34 с.

40. Якунін М. Є., Ребров О. Ю., Насальський В. А., Трофимова Н. Б. Аналіз особливостей сучасних їздових циклів, що застосовуються для нормування токсичності відпрацьованих газів і оцінки паливної економічності автомобілів. *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2017. № 14 (1236). С. 98–103.

41. Чернишов О. С. Організація та безпека дорожнього руху : конс. лекцій. Київ, 2017. 64 с.

42. Закон України 3353-12. Про дорожній рух : від 30.06.1993 р. № 3353 – XII.

43. Організація та регулювання дорожнього руху : підручник / О.О. Бакуліч та ін. : підручник. Київ, 2014. 467 с.

44. Петров В. В. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах : учеб. пос. Омск, 2007. 104 с.

45. Вікович І. А., Жук М. М., Ройко Ю. Я. Організація дорожнього руху : конс. лекц. Львів, 2006. 272 с.

46. Система підготовки та обробки даних для дорожніх контролерів / ТОВ «КОМКОН ТРАФІК». URL: <http://komkon.ua/ua/products/sw/spod/> (дата звернення: 20.03.2018).

47. Светофоры-знаки-разметка: пропускная способность / Экспертный центр Probok.net. URL: <http://probok.net/activity/programms/187/58755/> (дата обращения: 25.04.2015).

48. Біліченко В. В., Цимбал О. В., Канащук М. В. Дослідження інтенсивності руху транспортних засобів та розробка рекомендацій по вдосконаленню організації дорожнього руху на перехрестях вулиці замостянської м. Вінниці. *Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*. Вінниця, 2018. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2018/paper/view/5376> (дата звернення: 25.11.2018).

49. Світлофори транспортні з відліком часу T1.1.TBЧ-АТ - T1.17.TBЧ-АТ / Атілос. URL: <http://www.atilos.com.ua/uk/svitloforne-obladnanya/svitlofori/svitlofori-transportni-z-vidlikom-chasu-t11tvch-at-t117tvch-at.html> (дата звернення: 01.02.2018).

50. Світлофори транспортні T1.1-T1.17-АТ та T2.1-T2.18-АТ / Атілос. URL: <http://www.atilos.com.ua/uk/svitloforne-obladnanya/svitlofori/svitlofori-transportni-t-11-t-117-at-ta-t-21-218-at.html> (дата звернення: 02.02.2018).

51. ДСТУ 4092-2002. Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосовування та вимоги безпеки [Чинний від 2003-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 2003. 27 с.

52. Revealed: how long you really spend waiting at traffic lights /

Telegraph. URL: <https://www.telegraph.co.uk/cars/news/revealed-how-long-you-really-spend-waiting-at-traffic-lights/> (дата звернення: 15.04.2016).

53. Птіцин П.В. Автоматизована система керування дорожнім рухом : маг. роб. Київ, 2018. 107 с.

54. Индукционная система обнаружения и идентификации транспортных средств, индукционный регистрационный номерной знак и индукционный считыватель : пат. RU 2 514 025 C1 / И. Ю. Мацюр, Ю. Н. Адякин. Россия, кл. G08G1/017, G08G1/042, B60R13/10; дата подачи 2012-11-16; опуб. 27.04.2014.

55. Радарні датчики для заднього бампера запущені в серійне виробництво / Офф. сайт Bosch Service. URL: <http://bosch-service.if.ua/?p=2198> (дата звернення: 28.02.2020).

56. Лидар / Wikipedia. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B8%D0%B4%D0%B0%D1%80> (дата звернення: 21.04.2020).

57. Мигаль В. Д. Інтелектуальні системи в технічній експлуатації автомобілів: монографія. Харків, 2018. 262 с.

58. Лях М. А., Дем'янюк О. С., Бешун О. А. Основи керування автомобілем та безпека дорожнього руху : навч. посіб. Київ, 2011. 368 с.

59. ДСТУ 3587–97. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану [Чинний від 1997-07-31]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1997. 20 с.

60. 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.-прак. конф. (м. Харків, 19–20 жовт. 2017 р.). Харків, 2017. С. 48–49.

61. Беспалов Д. Распределение по целям поездок киевлян. URL: <https://bespalov.me/2016/09/12/raspredelenie-po-celjam-poezdok-kiavljan/> (дата обращения: 12.09.2016).

62. Von Stein, W., 1961. Traffic flow with pre-signals and the signal funnel. Theory of traffic flow. Amsterdam: Elsevier, 1961, P. 28–56.

63. Иносэ Х., Хамада Т. Управление дорожным движением. Под. ред. М.Я. Блинкина: Пер. с англ. Москва, 1983. С. 194–196.

64. Pre-signals for Transit Priority / UMTC Research URL: <https://umtcresearch.wordpress.com/2016/05/17/pre-signals-for-transit-priority/> (дата звернення: 29.04.2017).

65. Устройство для индикации рекомендуемой скорости движения : пат. 2012166010 A1 / А. И. Колюнов. Россия, кл. G08G1 1/0968; дата подачи 2012.04.26; опуб. 2012.12.06.

66. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими : учеб. Москва, 1972. 424 с.

67. Ярута А. М. Удосконалення автоматизованої системи : дис. канд. техн. наук : 05.22.01. Харьков, 2016. С. 47–53.

68. Форнальчик Є. Ю., Могила І. А. Модель керування роботою світлофора з використанням нечіткої логіки. *Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Транспорт і логістика»*. Донецьк, 2010. С. 216–220.

69. Левицька О. С., Прищепов О. Ф. Аналіз впливу режимів роботи двигунів автомобілів на їх токсичність при експлуатації в

умовах міста. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2009. С. 107–110.

70. Говорущенко Н. Я. Экономия топлива и снижения токсичности на автомобильном транспорте. Москва, 1990. 133 с.

71. Ройко Ю. Я. Дослідження втрат часу в основних тактах на регульованих перехрестях. *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. Луцьк, 2016. №55. С. 332–337.

72. Garmin Nuvi 57 и Nuvi 67 / Aparat Новинки. URL: <http://blog.aparat.ua/%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%BA%D0%B8-garmin-nuvi-57-%D0%B8-nuvi-67/> (дата обращения: 11.02.2016).

73. Predictive efficiency assistant / Audi Technology Portal. URL: https://www.audi-technology-portal.de/en/mobility-for-the-future/audi-future-lab-mobility_en/audi-future-engines_en/predictive-efficiency-assistant (date of the requests: 27.10.2017).

74. Матейчик В. П. Повышение топливной экономичности многоцилиндровых бензиновых двигателей, совершенствование способа отключения группы цилиндров : дис. канд. техн. наук : 05.04.02. Киев, 1990. 231 с.

75. Как в Audi хотят понизить расход топлива на 20 %? / Autoconsulting. Технологии будущего. URL: <http://www.autoconsulting.com.ua/article.php?sid=25380> (дата обращения: 12.10.2012).

76. Audi networks with traffic lights in Düsseldorf; «Green wave» / Green Car Congress. Energy, technologies, issues and policies for sustainable mobility. URL: <https://www.greencarcongress.com/2020/01/20200129-audio2i.html> (date of the requests: 27.02.2020).

77. Новая технология Ford сделает ненужными светофоры / Офф. сайт Ford. URL: http://www.ford.ru/AboutFord/News/Corporate/2018/Corp_181012 (дата обращения: 12.10.2018р).

78. Стукота С. А. Порівняльний аналіз систем підготовки водіїв автотранспортних засобів у країнах ЄС та Україні. *Науково-виробничий журнал автомобільний транспорт*. 2015. № 5. С. 5–6.

79. Дерех З. Д., Заворицкий Ю. Е. Иллюстрированные Правила дорожного движения Украины : учеб. пос. Киев, 2012. 96 с.

80. Соколов В. Г. Автомобиль в современной информационной среде. *Автомобиль – дорога – инфраструктура : электронный научный журнал*. МАДИ № 2 (12) URL: https://www.adimadi.ru/madi/article/view/398/pdf_269 (дата обращения: 09.01.2018).

81. Qiang Lu. Safe and Efficient Intersection Control of Connected and Autonomous Intersection Traffic. Dissertation : arXiv:1801.09361v1 [cs.SY] 29 Jan 2018, 94 p.

82. Медведков Д. И. Полный факторный эксперимент в исследовании работы блока управления проезда перекрестка беспилотным транспортным средством. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2018. Т. 18. № 4. С. 669–676.

83. Abduladhem Abdulkareem Ali. Traffic lights system based on RFID for autonomous driving vehicle. *Annual Conference on New Trends in Information & Communications Technology Applications (NTICT)*. 2017. P. 122–127.

84. Context-Aware Intelligent Traffic Light Control through Secure Messaging / Mükremin Özkul, Ilir Capuni, Elton Domnori. *Hindawi Journal*

of Advanced Transportation Volume 2018, Article ID 4251701 URL: <https://doi.org/10.1155/2018/4251701> (date of the requests 05.12.2018).

85. Развитие наземных беспилотных транспортных средств, систем помощи водителю и компонентов по данным патентных публикаций / Сайкин А. М., Туктакиев Г. С., Журавлев А. В., Зайцева Е. П., науч.-исслед. авт. и автмот. инст. «НАМИ» URL: http://nami.ru/uploads/docs/truck/5a33b139c4210Развитие_наземных_беспилотных_транспортных_средств.pdf (дата обращения: 03.01.2019).

86. Can artificial intelligence stop traffic jams? / Paving Expo & conference South America. URL: <https://pavingexpo.com.br/2019/02/06/can-artificial-intelligence-stop-traffic-jams/> (date of the requests 07.02.2019).

87. Кульпанов А. И. Теоретические основы и практические навыки безопасного управления транспортным средством в различных условиях. Н. Новгород, 2013. 39 с.

88. Бортницкий П. И., Задорожний В. И. Тягово-скоростные качества автомобилей : учеб. Киев, 1978. 175 с.

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

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

91. Правило трех сигм (3-sigma rule) / Wiki.loginom. URL: <https://wiki.loginom.ru/articles/3-sigma-rule.html> (дата обращения: 10.04.2017).

92. Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисление для втузов : учеб. пос. Москва, 1985. 560 с.

93. Правила ЕЭК ООН № 101. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей, приводимых в движение только двигателем внутреннего сгорания либо приводимых в движение при помощи гибридного электропривода, в отношении измерения объема выбросов двуокиси углерода и расхода топлива и/или измерения расхода электроэнергии и запаса хода на электротяге, а также транспортных средств категорий М1 и N1, приводимых в движение только при помощи электропривода, в отношении измерения расхода электроэнергии и запаса хода на электротяге [Введены в действие 04.04.2005]. Женева.: Европейская Экономическая комиссия Организации Объединенных наций, 2005. 128 с.

94. Electrically propelled road vehicles – Measurement of energy performances – Part 1: Pure electric vehicles: EN 1986 – 1:2001 [Enacted 01.04.2001]. Brussel : The European Committee for Standardization, 2001. 16 p.

95. Electrically propelled road vehicles – Measurement of energy performances – Part 2: Thermal electric hybrid vehicles: EN 1986 – 2:2001 [Enacted 01.04.2001]. Brussel : The European Committee for Standardization, 2001. 21 p.

96. Украинцы предпочитают малолитражные машины / Infosmi. URL: <http://infosmi.net/avto/56444-ukraintsy-predpochitayut-malolitrazhnye-mashiny> (дата обращения: 15.11.2014).

97. Geely CK 1.5 MT Impress / Infocar. URL: https://geely-ck.infocar.ua/mod_1.5-mt-impress_ck_id214.html (дата обращения: 10.11.2017).

98. Правила ЄЕК ООН № 83. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів стосовно викидів забруднюючих речовин залежно від палива, необхідного для двигунів [Чинний від 09.06.2011]. Женева : Європейська Економічна комісія Організації Об'єднаних націй, 2011. 83 с.

99. 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.

100. 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.

101. Сітовський О. П. Застосування бортового комп'ютера Multitronics VG1031GPL для дослідження експлуатаційних властивостей автомобіля. *Автомобільний транспорт: збірник наукових праць*. Харків, 2011. № 29. С. 173–175.

102. Бортовой компьютер универсальный Multitronics VG1031GPL / Multitronics. URL: <https://multitronics.ua/products/multitronics-vg1031gpl/> (дата обращения: 10.03.2015).

103. Бортовой компьютер Multitronics TC 750 / Multitronics. URL: <https://multitronics.ua/products/multitronics-tc-750/> (дата обращения: 12.03.2015).

104. Устройство бесконтактного измерения скорости и расстояния на основе технологии GPS / VBOX Automotive Newsletter. URL: <https://www.vboxautomotive.co.uk/index.php/ru/> (дата обращения: 25.03.2015).

105. VBOX Tools Software. URL: https://racelogic.support/01VBOX_Automotive/03Software_applications/VBOX_Tools (дата обращения: 26.03.2015).

106. ДСТУ-Н РМГ 43:2006. Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений» : (РМГ 43:2001, IDT) [Чинний від 2007-07-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 28 с.

107. СТУ – Р УкрАО 913.15:2007. Рекомендації з метрологічного забезпечення випробувальних і калібрувальних лабораторії [Чинний від 2007-02-01]. Київ : Стандарт УкрАО, 2007. 101 с.

108. Никитин В. А., Бойко С. В. Методы и средства измерений, испытаний и контроля : учеб. пос. Оренбург, 2004. 462 с.

109. Кафаров В. В., Глебов М. Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств : учеб. пос. Москва, 1991. 400 с.

110. Костин В. Н., Паничев В. В. Теория эксперимента : учебное пособие. Оренбург, 2013. 209 с.

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

112. Venturebeat Augmented reality's future isn't glasses. It's the

car. URL: https://venturebeat.com/2017/08/23/ar-will-drive-the-evolution-of-automatedcars/?bt_ee=KfzlNN2pyorXlvLuB4c6DFBjQFeHSm65ktew5nqVCSbmBDDKYOi/zX2Jl0ZGeCsj&bt_ts=1503589204450 (date of treatment: 23.08.2017).

113. Сітовський О. П., Кашуба А. М. Визначення параметрів руху автомобіля в дорожніх заторах. *Вісник СевНТУ*. Севастополь, 2012. № 135. С. 134–137.

114. Карта Луцька / Google maps. URL: <https://www.google.com.ua/maps/place/Луцк> (дата звернення: 05.10.2016).

115. 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.

116. 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.

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

118. Павлова І. О., Грабовець В. В., Решетило О. М., Курин М. М. Дослідження транспортного процесу на міських регульованих перехрестях. *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. Луцьк, 2014. № 46. С. 386–397.

119. Тарабан С. М. Моделювання і оптимізація функціонування автотранспортних потоків у вулично-дорожній мережі міста «Новітні

шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів» : тези доп. Миколаїв, 2016. С. 40–42.

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

121. 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.

122. Голографія на лобовом стекле: когда нам ждять стёкол-дисплеев? / Popmech. URL: <https://www.popmech.ru/vehicles/378252-golografiya-na-lobovom-stekle-kogda-nam-zhdatt-styokol-displeev/#part1> (дата обращения: 01.09.2017).

123. Sitovskyi O. P., Dembitskyi B. M., Bulik Y. V., Mazyliuk P. V. (2020) Theoretical Aspects of Diagnosing of Car Engine at the Time of Acceleration. In: Karabegović I. (eds) *New Technologies, Development and Application III*. NT 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 128. Springer, Cham, pp. 638-646 <https://doi.org/10.1504/IJBPM.2020.10027632>

Додаток А

Патенти на винаходи (корисні моделі) та свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір

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.

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 123153

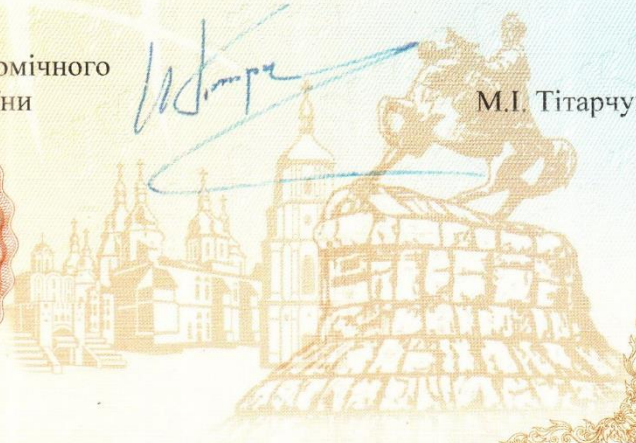
**СИСТЕМА ВІДОБРАЖЕННЯ РЕКОМЕНДОВАНОГО РЕЖИМУ
РУХУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ**

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи
і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні
моделі **12.02.2018.**

Заступник міністра економічного
розвитку і торгівлі України

М.І. Тітарчук



Корисна модель належить до галузі регулювання руху транспортних засобів на регульованих ділянках доріг і може бути використана для забезпечення проїзду регульованих ділянок доріг без зупинок.

Відома система корегування режимів роботи світлофорів відповідно до маршруту руху спецтранспорту та маршрутного транспорту, яка з'єднана з пристроями визначення та передачі поточних координат, встановлених на самих автомобілях, та використовує систему керування роботою світлофорів сумісно з системою, побудованою на основі ZigBee-мережі, яка є мережею пристроїв обладнаних ZigBee-модулями, розміщеними безпосередньо на світлофорах та в автомобілях спецтранспорту та маршрутного транспорту, також встановлений в кожному автомобілі GPS/ГЛОНАСС-пристрій для передачі даних про маршрут руху транспортного засобу по каналу зв'язку ZigBee-модулю передавача [Патент України 91919, Кл. G08G 1/095, G08G 1/0968, 2014 р.].

Недоліком даної системи є те, що система коригує роботу світлофорів для зменшення часу простою лише спецтранспорту та маршрутного транспорту в очікуванні сигналу світлофора, який дозволяє проїзд, а користування системою ускладнюється тим, що для її використання водієві необхідно попередньо задавати маршрут руху.

Найбільш близьким за технічною суттю до запропонованої корисної моделі є пристрій для індикації рекомендованої швидкості руху, який складається з приймального пристрою, встановленого на транспортному засобі і виконаного з можливістю прийому інформації про рекомендовану швидкість руху, та індикатора, який з'єднаний з приймальним пристроєм, що являє собою послідовність світловипромінюючих елементів. Індикатор виконаний у формі дуги і розміщений довкола спідометра або вздовж верхнього краю панелі приладів [Патент РФ WO 2012166010 A1, кл. G08G 11/0968, 2012 р.].

Недоліком даного пристрою є те, що розташування пристрою для індикації рекомендованої швидкості руху знаходиться на спідометрі транспортного засобу, що є незручним для постійного контролю і корекції швидкості транспортного засобу. Це може негативно впливати на безпеку руху. Також даний прилад недостатньо точно надає водієві інформацію для забезпечення того чи іншого режиму руху транспортного засобу.

В основу корисної моделі поставлено задачу в пристрої для індикації рекомендованого режиму руху шляхом зміни розташування індикатора та способу відображення даних на ньому отримати новий результат - забезпечити зручність використання пристрою та отримання рекомендацій водієві для проїзду регульованих ділянок доріг без зупинок.

Поставлена задача вирішується тим, що у пристрої для індикації рекомендованого режиму руху, який містить приймальний пристрій та індикатор, відповідно до корисної моделі, індикатор встановлено у нижній частині лобового скла транспортного засобу, причому одна його шкала виконана з можливістю відображення на ній рекомендованого сповільнення чи прискорення, а інша з можливістю відображення на ній реального сповільнення чи прискорення транспортного засобу.

Суть корисної моделі пояснюється схемами, де:
на фіг. 1 зображена схема системи відображення рекомендованого режиму руху транспортного засобу;
на фіг. 2 зображений індикатор.

Система відображення рекомендованого режиму руху транспортного засобу складається з транспортного засобу 1, який наближається до регульованої ділянки дороги 2, передавального пристрою 3, який розміщений в середині світлофора 4 та приймального пристрою 5, контролера 6 оброблення інформації, індикатора 7 з шкалою 8 рекомендованого сповільнення або прискорення транспортного засобу та шкалою 9 реального сповільнення або прискорення транспортного засобу, який розміщений у нижній частині лобового скла транспортного засобу 1, давачі транспортного засобу (на фіг. 1 та фіг. 2 не позначені).

Система відображення рекомендованого режиму руху працює наступним чином.

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, який також приймає дані з давачів транспортного засобу 1, після чого отримана інформація використовується для розрахунку рекомендованого сповільнення або прискорення транспортного засобу з наступним відображенням її на шкалі 8 індикатора 7. В 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

рекомендованого. Чим більше ці показники будуть співпадати, тим більша ймовірність проїзду регульованої ділянки дороги без зупинки.

- Система відображення рекомендованого режиму руху транспортного засобу рекомендує водієві необхідне сповільнення або прискорення транспортного засобу і в той же час показує його реальне значення, що дозволяє здійснювати проїзд регульованої ділянки дороги безпечно і без зупинки.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- 10 Система відображення рекомендованого режиму руху транспортного засобу, що містить приймальний пристрій та індикатор, яка **відрізняється** тим, що індикатор, встановлено у нижній частині лобового скла транспортного засобу, причому одна шкала виконана з можливістю відображення на ній рекомендованого сповільнення чи прискорення транспортного засобу, а
15 інша з можливістю відображення на ній реального сповільнення чи прискорення транспортного засобу.

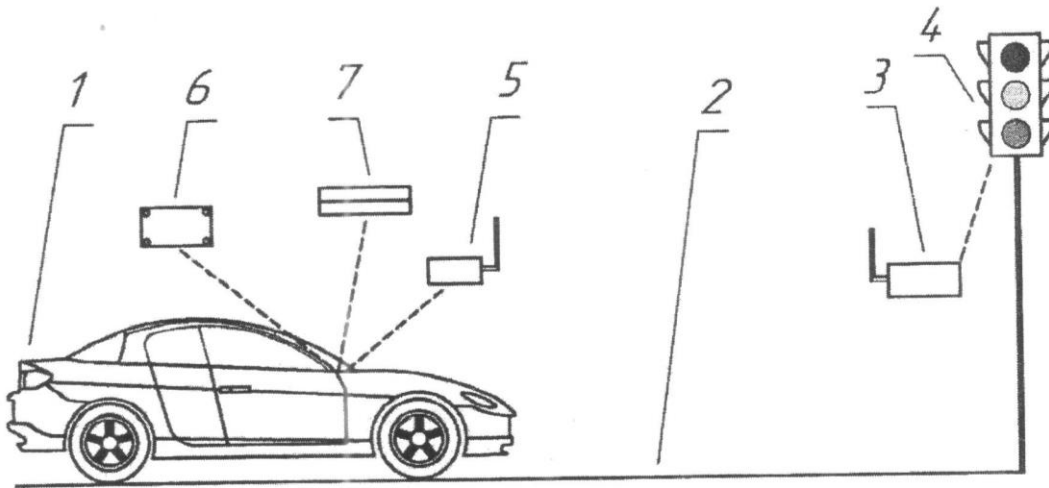


Fig. 1

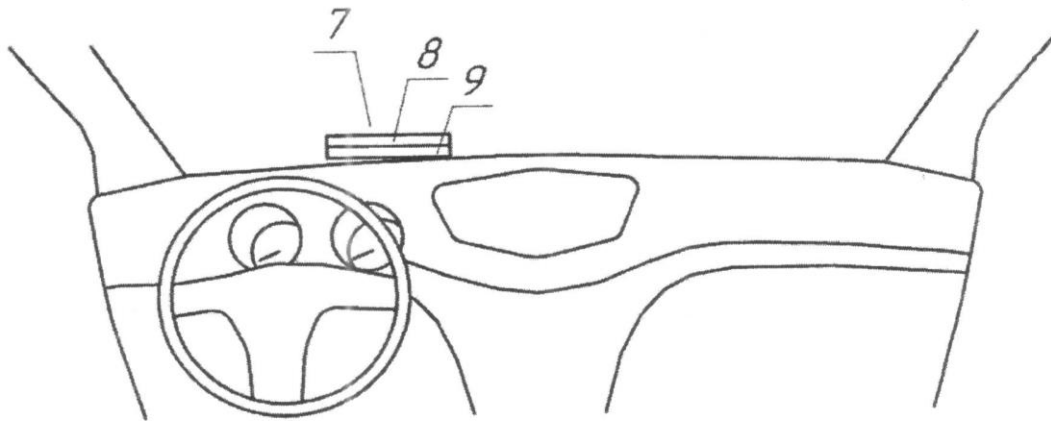


Fig. 2

Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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

(11) **123153**

(19) **UA**

(51) **МПК**

G08G 1/09 (2006.01)

G08G 1/095 (2006.01)

G08G 1/0968 (2006.01)

(21) Номер заявки: **u 2017 09251**

(22) Дата подання заявки: **20.09.2017**

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **12.02.2018**

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **12.02.2018, Бюл. № 3**

(72) Винахідники:

Сітовський Олег Пилипович, UA,

Мазилюк Павло Вікторович, UA

(73) Власники:

Сітовський Олег Пилипович, вул. Федорова, 2а/73, м.

Луцьк, 43026, UA,

Мазилюк Павло Вікторович, вул. Корольова, 11/58, м.

Луцьк, 43022, UA

(54) Назва корисної моделі:

СИСТЕМА ВІДОБРАЖЕННЯ РЕКОМЕНДОВАНОГО РЕЖИМУ РУХУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

(57) Формула корисної моделі:

Система відображення рекомендованого режиму руху транспортного засобу, що містить приймальний пристрій та індикатор, яка **відрізняється** тим, що індикатор, встановлено у нижній частині лобового скла транспортного засобу, причому одна шкала виконана з можливістю відображення на ній рекомендованого сповільнення чи прискорення транспортного засобу, а інша з можливістю відображення на ній реального сповільнення чи прискорення транспортного засобу.



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **123153** (13) **U**

(51) МПК

G08G 1/09 (2006.01)

G08G 1/095 (2006.01)

G08G 1/0968 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2017 09251**

(22) Дата подання заявки: **20.09.2017**

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **12.02.2018**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **12.02.2018, Бюл.№ 3**

(72) Винахідник(и):

**Сітовський Олег Пилипович (UA),
Мазиліук Павло Вікторович (UA)**

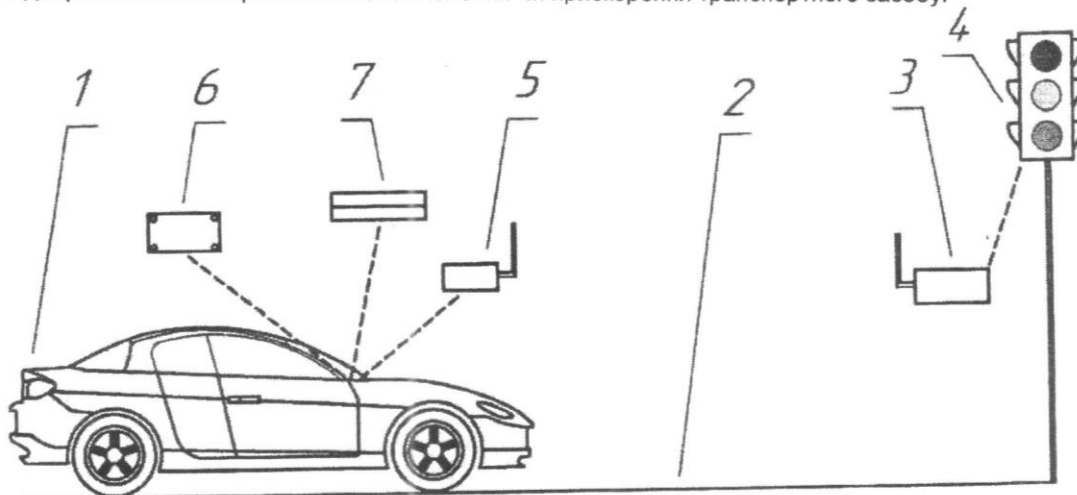
(73) Власник(и):

**Сітовський Олег Пилипович,
вул. Федорова, 2а/73, м. Луцьк, 43026 (UA),
Мазиліук Павло Вікторович,
вул. Корольова, 11/58, м. Луцьк, 43022 (UA)**

(54) СИСТЕМА ВІДОБРАЖЕННЯ РЕКОМЕНДОВАНОГО РЕЖИМУ РУХУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

(57) Реферат:

Система відображення рекомендованого режиму руху транспортного засобу містить приймальний пристрій та індикатор. Індикатор встановлено у нижній частині лобового скла транспортного засобу. Одна шкала виконана з можливістю відображення на ній рекомендованого сповільнення чи прискорення транспортного засобу, а інша з можливістю відображення на ній реального сповільнення чи прискорення транспортного засобу.



Фиг. 1

UA 123153 U

Державне підприємство
«Український інститут інтелектуальної власності»
(Укрпатент)

Оригіналом цього документа є електронний документ з відповідними реквізитами, у тому числі з накладеним електронним цифровим підписом уповноваженої особи Міністерства економічного розвитку і торгівлі України та сформованою позначкою часу.

Ідентифікатор електронного документа 0219050218.

Для отримання оригіналу документа необхідно:

1. Зайти до ІДС «Стан діловодства за заявками на винаходи та корисні моделі», яка розташована на сторінці <http://base.uipv.org/searchInvStat/>.
2. Виконати пошук за номером заявки.
3. У розділі «Документи Укрпатенту» поруч з реєстраційним номером документа натиснути кнопку «Завантажити оригінал» та ввести ідентифікатор електронного документа.

Ідентичний за документарною інформацією та реквізитами паперовий примірник цього документа містить 2 арк., які пронумеровані та прошиті металевими люверсами.

Уповноважена особа Укрпатенту



І.Є. Матусевич

12.02.2018

УКРАЇНА



СВІДОЦТВО

про реєстрацію авторського права на твір

№ 78903

Комп'ютерна програма "Система відображення рекомендованого режиму руху транспортного засобу"

(вид, назва службового твору)

Автор(и) Сітовський Олег Пилипович, Мазилук Павло Вікторович, Великий Олександр Анатолійович

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Авторські майнові права належать Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43018

(повне ім'я фізичної та/або повне офіційне найменування юридичної особи, адреса)

Дата реєстрації

08.05.2018



Державний секретар Міністерства
економічного розвитку і торгівлі
України О. Ю. Перевезенцев

Додаток Б

Комп'ютерна програма «система відображення рекомендованого режиму руху транспортного засобу» на базі Arduino

```
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include <OBD.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <SPI.h>

/* * SD card attached to SPI bus as follows:
** MOSI - pin 51
** MISO - pin 50
** CLK - pin 52
** CS - pin 53
*/

COBD obd;
File myFile;

boolean force = 0;
boolean start = 0;
int red_led = 5;
int green_led = 4;
int yellow_led = 6;
int led_r11 = 31;
int led_r12 = 29;
int led_r13 = 27;
```

```

int led_r14 = 25;
int led_r15 = 23;
int led_r21 = 30;
int led_r22 = 28;
int led_r23 = 26;
int led_r24 = 24;
int led_r25 = 22;
int led_y1 = 41;
int led_y2 = 40;
int a1 = 0;
int a2 = 0;
long green, cycle, n_rpm, n_imp;
long green_col=15000;
long yeallow_col1=5000;
long red_col=22000;
long yeallow_col2=5000;
int pos=1;
unsigned long time10, interval, time_force, time_cycle, times, m_impuls,
m_speed, m_distance;
int impuls = 2;
long count = 0;
int led = 13;
double spd, spd_1, ds, S, S_sum, S_start, a, b, c, D, tg, j, s;
double d_wheel = 0.3;
byte s_wheel = 43;
double jg = 1.5;
double ks = 1;
double kv = 1;
double k_kf = 1;
double k_f = 0.007;

```

```

String filename = "1.txt";
unsigned long time_start = 0;
unsigned long time_end = 0;
double Qc, Qsm, Qmg, Qsum, Qser;
int num_name = 1;

void impuls_count() {
    //if (digitalRead(impuls) == HIGH) {
    //  digitalWrite(led, HIGH);
    //  count++;
    //  Serial.println("ABS Impuls OK");
    // } else digitalWrite(led, LOW);
}

void time_rising() {
    times = micros() - time_start;
    time_start = micros();
    if (force == 0) time_cycle = times; else time_force = times;
    if (time_cycle < time_force)
    {
        times = time_cycle;
        time_cycle = time_force;
        time_force = times;
        force = !force;
    }
    Qc = k_kf * k_f * time_force/1000;
    // Serial.print("Qc =");
    // Serial.println(Qc);
    Qsum += Qc;
    force = !force;
}

```

```

    //Serial.println("Force OK");
}

void testOut()
{
    static const char cmds[][6] = {"ATZ\r", "ATI\r", "ATH0\r", "ATRV\r"};
    char buf[128];

    for (byte i = 0; i < sizeof(cmds) / sizeof(cmds[0]); i++) {
        const char *cmd = cmds[i];
        Serial.print("Sending ");
        Serial.println(cmd);
        if (obd.sendCommand(cmd, buf, sizeof(buf))) {
            char *p = strstr(buf, cmd);
            if (p)
                p += strlen(cmd);
            else
                p = buf;
            while (*p == '\r') p++;
            while (*p) {
                Serial.write(*p);
                if (*p == '\r' && *(p + 1) != '\r')
                    Serial.write('\n');
                p++;
            }
            Serial.println();
        } else {
            Serial.println("Timeout");
        }
        delay(1000);
    }
}

```

```

    }
    Serial.println();
}

void SDstartOver()
{
    myFile = SD.open(filename, FILE_WRITE);
    if (myFile) {
        myFile.print("Time (ms)\t");
        myFile.print("S sum (m)\t");
        myFile.print("V abs (m/s)\t");
        //myFile.print("V obd (m/s)\t");
        myFile.print("J (m/s2)\t");
        myFile.print("Engine RPM\t");
        //myFile.print("Engine Load (%)\t");
        myFile.print("Intake Pressure (kPa)\t");
        myFile.print("Throttle Position (%)\t");
        myFile.print("T force (mks)\t");
        myFile.print("T cycle (mks)\t");
        myFile.print("Q fc\t");
        myFile.print("Q mg\t");
        myFile.print("Q sm\t");
        myFile.print("Q ser\t");
        myFile.print("Ssv (m)\t");
        myFile.println("Tg (s)");
    } else Serial.println("Not Opened");
    myFile.close();
}

void setup(){

```

```

Serial.begin(9600);
S_sum = 0; Qsum = 0;
pinMode(green_led, OUTPUT);
pinMode(red_led, OUTPUT);
pinMode(yellow_led, OUTPUT);
pinMode(impuls, INPUT);
pinMode(led, OUTPUT);
pinMode(led_r11, OUTPUT); pinMode(led_r21, OUTPUT);
pinMode(led_r12, OUTPUT); pinMode(led_r22, OUTPUT);
pinMode(led_r13, OUTPUT); pinMode(led_r23, OUTPUT);
pinMode(led_r14, OUTPUT); pinMode(led_r24, OUTPUT);
pinMode(led_r15, OUTPUT); pinMode(led_r25, OUTPUT);
pinMode(led_y1, OUTPUT); pinMode(led_y2, OUTPUT);
pinMode(3,INPUT);
pinMode(A1,INPUT); //Start
pinMode(A2,INPUT); //Reset
attachInterrupt(0,impuls_count, RISING);
attachInterrupt(1,time_rising, CHANGE);

//*****
byte version = obd.begin();
Serial.print("Freematics OBD-II Adapter ");
if (version > 0) {
  Serial.print("Ver. ");
  Serial.print(version / 10);
  Serial.print('.');
  Serial.println(version % 10);
} else {
  Serial.println("not detected");
  for (;;)

```

```

}Serial.println("Start");
delay(500);
testOut();

// initialize OBD-II adapter
char buf[64];
if (obd.getVIN(buf, sizeof(buf))) {
    Serial.print("VIN:");
    Serial.println(buf);
}
unsigned int codes[6];
byte dtcCount = obd.readDTC(codes, 6);
if (dtcCount == 0) {
    Serial.println("No DTC");
} else {
    Serial.print(dtcCount);
    Serial.print(" DTC:");
    for (byte n = 0; n < dtcCount; n++) {
        Serial.print(' ');
        Serial.print(codes[n], HEX);
    }
    Serial.println();
}
delay(500);
//*****
if (!SD.begin(53)) {
    Serial.println("SD card not found!");
    return;
}
Serial.println("SD ready!");

```

```

bool noexist = true;
while (noexist)
{
    filename = String(num_name) + ".txt";
    if (SD.exists(filename)) num_name++; else noexist = false;
}
SDstartOver();
/* SD.open(filename);
boolean flag = 0;
while (flag == 0) {
    filename = "OBD" + String(millis()) + "0.txt";
    SD.open(filename);
    if (myFile) flag = 0; else flag =1;
    myFile.close();
} */

cycle = green_col + yeallow_col1 + red_col + yeallow_col2;
time10 = interval = millis();
ds = 2*PI*d_wheel/s_wheel;
if (time_force > time_cycle) force = !force;
}

void loop(){
//  digitalWrite(led, state);
    if (digitalRead(A1) == 1) {
        start = 1;
        s = 200;
        tg = -1;
        num_name++;
        filename = String(num_name)+".txt";
        SDstartOver();
    }
}

```

```

    }
    if (digitalRead(A2) == 1) {
        S_sum = 0;
        Qsum = 0;
        num_name++;
        filename = String(num_name)+".txt";
        SDstartOver();
        start = 0;
    }
    //  myFile = SD.open(filename, FILE_WRITE);
    int value;
    //  msg[0] = cycle/1000;
    //  msg[1] = pos;
    green = (cycle - (millis()-time10))/1000;
    //  msg[2] = green;
    if (millis()-time10 > cycle){
        time10 = millis();
    } else
    if (millis()-time10 > green_col+yeallow_col1+red_col) {
        pos=22;
        digitalWrite(red_led, LOW);
        digitalWrite(yellow_led, HIGH);
        digitalWrite(green_led, LOW);
    } else
    if (millis()-time10 > green_col+yeallow_col1) {
        pos=3;
        digitalWrite(red_led, HIGH);
        digitalWrite(yellow_led, LOW);
        digitalWrite(green_led, LOW);
    } else

```

```

if (millis()-time10 > green_col) {
    pos=21;
    digitalWrite(red_led, LOW);
    digitalWrite(yellow_led, HIGH);
    digitalWrite(green_led, LOW);
} else
{
    pos=1;
    digitalWrite(red_led, LOW);
    digitalWrite(yellow_led, LOW);
    digitalWrite(green_led, HIGH);
}
if (millis() - interval > 100) {
    n_imp = count;
    S = ks * ds * n_imp;
    S_sum += S;
    Serial.print("S = ");
    Serial.println(S_sum);
    spd_1 = spd;
    spd = 1000 * kv * S / (millis() - m_impuls);
    Serial.print("V = ");
    Serial.println(spd);
    j = 1000 * fabs(spd_1 - spd) / (millis() - m_impuls);
    Serial.print("j = ");
    Serial.println(j);
    int time_step = millis() - m_impuls;
    m_impuls = millis();
    count = 0;

    if (obd.readPID(PID_RPM, value)) {

```

```

    n_rpm = value;
}
Serial.print("RPM = ");
Serial.println(n_rpm);
Qmg = 30 * Qc * n_rpm;
Serial.print("Qmg =");
Serial.println(Qmg);
if (spd > 0){
    Qsm = 833 * Qc * n_rpm / spd;
    Serial.print("Qsm =");
    Serial.println(Qsm);
}
if (S_sum>0){
    Qser = 100000 * Qsum / S_sum;
    Serial.print("Qser =");
    Serial.println(Qser);
}
//*****

s -= ks * ds * n_imp;
Serial.print("s = ");
Serial.println(s);
if (start == 1){
    //s -= ks * ds * n_imp;
    a = -0.5 * jg;
    b = jg * green;
    c = s - spd * green;
    D = b * b - 4 * a * c;
    if (D > 0) tg = (-b + sqrt(D))/(2 * a);
    /*if (D == 0 || D < 0 || tg < 0) {

```

```

green += cycle;
b = jg * green;
c = s - spd * green;
D = b * b - 4 * a * c;
if (D > 0) tg = (-b + sqrt(D))/(2 * a);
}*/
digitalWrite(led_y1,1);
digitalWrite(led_y2,1);
//Serial.print("s = ");
//Serial.print(s);
Serial.print("tg = ");
Serial.println(tg);
if (tg>0) {
    digitalWrite(led_r11,1);
    digitalWrite(led_r12,1);
    digitalWrite(led_r13,1);
    //tg
} else start = 0;
if (s<20) start = 0;
m_speed = millis();
if (j < 0.01) {
    digitalWrite(led_r21,0);
    digitalWrite(led_r22,0);
    digitalWrite(led_r23,0);
    digitalWrite(led_r24,0);
    digitalWrite(led_r24,0);
} else
if (j < 0.51) {
    digitalWrite(led_r21,1);
    digitalWrite(led_r22,0);

```

```

    digitalWrite(led_r23,0);
    digitalWrite(led_r24,0);
    digitalWrite(led_r24,0);
} else
if (j < 1.01) {
    digitalWrite(led_r21,1);
    digitalWrite(led_r22,1);
    digitalWrite(led_r23,0);
    digitalWrite(led_r24,0);
    digitalWrite(led_r24,0);
} else
if (j < 1.51) {
    digitalWrite(led_r21,1);
    digitalWrite(led_r22,1);
    digitalWrite(led_r23,1);
    digitalWrite(led_r24,0);
    digitalWrite(led_r24,0);
} else
if (j < 2.01) {
    digitalWrite(led_r21,1);
    digitalWrite(led_r22,1);
    digitalWrite(led_r23,1);
    digitalWrite(led_r24,1);
    digitalWrite(led_r24,0);
} else {
    digitalWrite(led_r21,1);
    digitalWrite(led_r22,1);
    digitalWrite(led_r23,1);
    digitalWrite(led_r24,1);
    digitalWrite(led_r24,1);

```

```

    }
} else {
    digitalWrite(led_y1,0);
    digitalWrite(led_y2,0);
    digitalWrite(led_r11,0);
    digitalWrite(led_r12,0);
    digitalWrite(led_r13,0);
    digitalWrite(led_r21,0);
    digitalWrite(led_r22,0);
    digitalWrite(led_r23,0);
    digitalWrite(led_r24,0);
    digitalWrite(led_r24,0);
}
myFile = SD.open(filename, FILE_WRITE);
if (myFile) {
    myFile.print(time_step);
    myFile.print("\t");
    myFile.print(S_sum);
    myFile.print("\t");
    myFile.print(spd);
    myFile.print("\t");
    /*if (obd.readPID(PID_SPEED, value)) {
        myFile.print(value);
        myFile.print("\t");
    }*/
    myFile.print(j);
    myFile.print("\t");
    myFile.print(n_rpm);
    myFile.print("\t");
    /*    if (obd.readPID(PID_ENGINE_LOAD, value)) {

```

```

    myFile.print(value);
    myFile.print("\t");
    Serial.print("Engine Load OK");
}*/

if (obd.readPID(PID_INTAKE_MAP, value)) {
    myFile.print(value);
    myFile.print("\t");
    Serial.print("Intake OK");
}

if (obd.readPID(PID_THROTTLE, value)) {
    myFile.print(value);
    myFile.print("\t");
    Serial.print("Throttle OK");
}

myFile.print(time_force);
myFile.print("\t");
time_cycle += time_force;
Serial.print("Time Cycle OK");
myFile.print(time_cycle);
myFile.print("\t");
myFile.print(Qc);
myFile.print("\t");
myFile.print(Qmg);
myFile.print("\t");
myFile.print(Qsm);
myFile.print("\t");
myFile.print(Qser);
myFile.print("\t");
myFile.print(s);
myFile.print("\t");

```

```
    if (start == 1) myFile.println(tg); else myFile.println("-");  
    //myFile.println("*****");  
    }  
    myFile.close();  
    //count = 0;  
    interval = millis();  
    }  
}
```

Наукове видання

Мазилюк Павло Вікторович
Сітовський Олег Пилипович

МЕТОД РАЦІОНАЛЬНОГО ПРОЇЗДУ ТРАНСПОРТНИМИ
ЗАСОБАМИ РЕГУЛЮВАНИХ ДІЛЯНОК ДОРІГ

Монографія

Інформаційно-видавничий відділ
Луцького національного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України ДК №4123 від 28.07.2011 р.

Підписано до друку ____ . ____ . 2020.
Формат 60х84/16.
Папір офс. Гарн. Times New Roman.
Ум. друк. арк. 12,0. Обл.- вид. арк. 11,9.
Наклад 300 прим. Зам. 8

Інформаційно-видавничий відділ
Луцького національного технічного університету
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75
Друк – ІВВ Луцького НТУ