

Кашканов А. А., Пальчевський О. В.
Вінницький національний технічний університет

ПРОБЛЕМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ВЕЛИКИХ МІСТ УКРАЇНИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Важливість постійного розширення існуючих мереж транспортних систем для сучасного суспільства є незаперечною. Однак, щоб забезпечити якісне функціонування транспортної мережі, потрібно врахувати безліч умов та закономірностей, що значно ускладнює її реалізацію. Основними умовами є зниження навантаження на транспортну систему, забезпечення найвищого рівня безпеки та екологічності. Виконання цих умов потребує значних витрат на поліпшення транспортної інфраструктури, перетворення її на варіативну, багатофункціональну логістичну систему. Без врахування цих умов при проектуванні транспортних мереж, шанс виникнення ускладнень при їх експлуатації надзвичайно високий.

В роботі на основі статистичних даних за останні роки було виявлено сталий ріст чисельності транспортних засобів та темпів автомобілізації, які випереджають розвиток транспортної інфраструктури міст України. Це спричиняє зростання рівня завантаженості доріг, унеможливорює ефективне пересування містом, збільшує кількість дорожньо-транспортних пригод та обсяги шкідливих викидів до атмосфери. Аналіз результатів оцінювання впливу окремих елементів вулично-дорожньої мережі на ефективність організації дорожнього руху показує, що насправді дієві рішення можна напрацювати лише на основі комплексного підходу. Виконане дослідження дозволило окреслити перспективи розвитку функціонування транспортних систем великих міст України та запропонувати шляхи підвищення якості та надійності автомобільних перевезень з метою мінімізації соціально-економічних втрат користувачів вулично-дорожніх мереж.

Ключові слова: транспортні системи міст, автомобільний транспорт, ефективність сполучення, організація дорожнього руху, дорожня та екологічна безпека.

ВСТУП

В Україні спостерігається щорічний приріст кількості автомобілів [1], що спричиняє зростання рівня завантаженості доріг, унеможливорює ефективне пересування містом, збільшує кількість дорожньо-транспортних пригод (ДТП) та обсяги шкідливих викидів до атмосфери. Водії, долаючи ту саму відстань, змушені свідомо витратити додатковий час та кошти, які могли б бути заощаджені, при запровадженні сучасних підходів з організації дорожнього руху та забезпечення пропускну здатності вулично-дорожніх мереж (ВДМ), дорожньої та екологічної безпеки на автомобільному транспорті. Саме тому вивчення та розробка нових методик щодо оптимізації роботи транспортних систем та оцінювання якості їх функціонування є актуальними в теоретичному і практичному плані.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Розвитком теорії організації дорожнього руху займалися такі закордонні та вітчизняні дослідники як N. Gartner, B. Kerner, D. Drew, R. Herman, F. Haight, B. V. Сильянов, Г.І. Клінковштейн, В.Ф. Бабков, А.П. Васильєв, М.С. Фішельсон, Я.В. Хомяк, Е.В. Гаврилов, В.П. Поліщук.

В наш час теоретичними та практичними питаннями, які пов'язані з організацією руху автомобільного транспорту, забезпеченням дорожньої та екологічної безпеки на ВДМ, активно займаються R. Babit [2], K. Chen [3], R. Mahnke [4], T. Mathew [5], Є.Ю. Форнальчик, І.А. Могила, В.Е. Трушевський, В.В. Гілевич [6], О.О. Лобашов, О.В. Прасоленко [7], О.Т. Лановий [8], О.О. Бакуліч, О.П. Дзюба, В. І. Єресов, В.П. Поліщук [9], Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. [10] та багато інших.

Аналіз останніх публікацій та фактичного стану забезпечення автомобільних перевезень у містах України показує, що проблема організації дорожнього руху в умовах насиченості транспортних потоків актуалізується зі збільшенням чисельності транспортних засобів (ТЗ) та темпів автомобілізації, які випереджають розвиток транспортної інфраструктури міст. Рух транспорту в умовах насичення транспортних потоків характеризується інтенсивністю, складом та швидкістю руху, інтервалами між автомобілями та щільністю потоку. Внаслідок взаємодії автомобілів в потоці усі ці характеристики функціонально пов'язані одна з іншою. Діюча, історично сформована, дорожня мережа не справляється з існуючим навантаженням, що призводить до системних заторів, а відповідно, до великих витрат часу сполучення на власному чи суспільному транспорті.

З метою підвищення ефективності проектування та експлуатації дорожніх мереж за останні роки розроблені методичні рекомендації з моделювання транспортних потоків під час оцінювання ефективності проектних рішень щодо дорожньої інфраструктури, з оцінювання відповідності існуючих

дорожніх умов вимогам безпеки руху з урахуванням інтенсивного руху та складу транспортних потоків, з визначення загальної соціально-економічної ефективності фінансування робіт з нового будівництва, реконструкції та ремонтів автомобільних доріг загального користування. Виконано багато науково-дослідних робіт з оцінювання впливу окремих елементів, таких як: пішохідний рух та пішохідні переходи, регульовані перетинання міських вулиць, паркування автомобільного транспорту, рух маршрутного транспорту загального користування, стан дорожнього покриття, керування дорожнім рухом. Дослідження результатів оцінки впливу окремих елементів ВДМ на ефективність організації дорожнього руху, безумовно, важливе завдання, яке дозволяє детально опрацювати ступінь впливу окремих елементів та запропонувати рекомендації щодо зниження їх негативного впливу. Але насправді дієві рішення можна напрацювати лише на основі комплексного підходу, який дозволяє врахувати вплив усіх елементів ВДМ одночасно.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виявлення причин зниження якості та надійності автомобільних перевезень у містах України й формування напрямків подальших розробок щодо мінімізації соціально-економічних втрат користувачів ВДМ.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Під час проведення аналізу проблеми перенасичення транспортних мереж в Україні, було виявлено ряд критеріїв, що вказують на необхідність застосування заходів із реорганізації транспортної системи більшості міст. Серед досліджуваних критеріїв було вирішено зосередитись на розгляді таких, що в достатній мірі описують стан досліджуваної проблеми – це кількість дорожньо-транспортних пригод, рівень завантаженості доріг та показники кількості шкідливих речовин, які виділяють автомобілі. Для найбільшої об'єктивності аналізу було вирішено розглядати показники на основі зібраних даних у місті Київ, що обумовлено найбільшою інформативністю наявних даних.

Аналіз аварійності на дорогах України за статистичними даними Патрульної поліції [11] у 2014-2021 роках вказує на повільне зростання кількості ДТП (рис. 1).

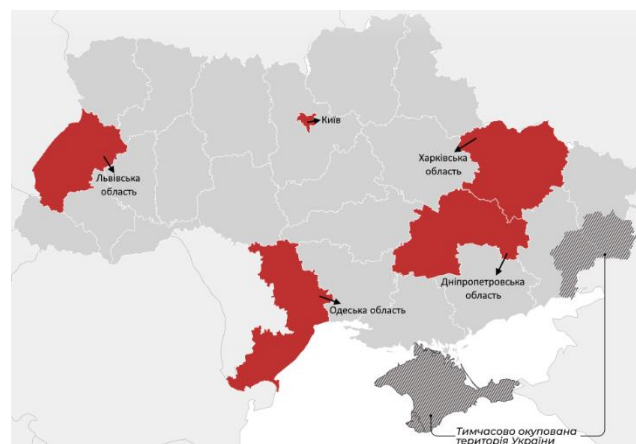
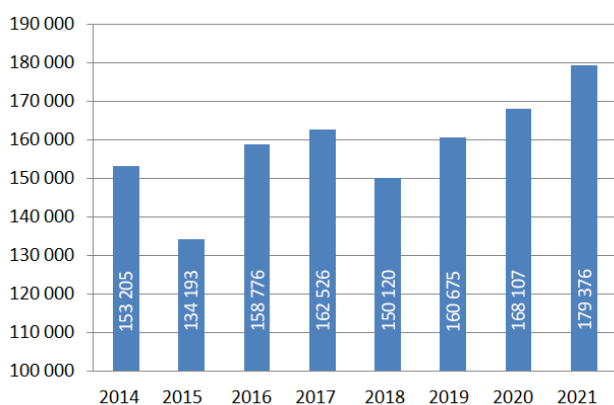


Рисунок 1. Загальна кількість ДТП в Україні та регіони з найбільшою аварійністю

Як видно із графіку (рис. 1), мінімальна кількість ДТП, за останні 8 років, спостерігалась у 2015 році, а максимальна – у 2021 році. Крім того, загальна аварійність із плином часу тільки збільшується. Основною причиною цього є збільшення кількості ТЗ на дорогах, що, в свою чергу, призводить до виникнення низки інших проблем. Наприклад, виникнення великої кількості заторів призводить до марної витрати палива та часу учасників дорожнього руху, підвищеної загазованості окремих ділянок доріг.

Негативною тенденцією останніх років є поступове зростання кількості часу, необхідного на подолання одного і того ж маршруту. Ця тенденція на перший погляд може здатись несуттєвою, проте, якщо поррахувати яку частку складає простій у пробках від загального часу поїздки, одразу виникає розуміння того, що це є свідченням неефективного функціонування транспортної мережі міст і ситуація потребує вирішення та корегування під сучасні умови.

Для прикладу розглянемо стан проблеми у місті Київ, ситуація в якому найкращим чином відображає тенденцію прогресування у менших містах України, в яких, хоч і не в такій мірі, але вже стає відчутним це явище. За даними моніторингового сервісу TomTom [12], мешканці Києва через затори, у 2021 році, в середньому витрачали на 56% більше часу у поїздки, ніж вони б витрачали за їх

відсутності. Тобто, для проїзду по маршруту, розрахованого на 30 хвилин, потрібно витратити 17 додаткових хвилин на подолання заторів. У зібраних сервісом даних за останні 5 років (рис. 2), найменший рівень завантаженості становив 44% у 2017 році, а найвищий – 56% у 2021 році, при цьому в години «пік» рівень завантаженості близький до 100%.

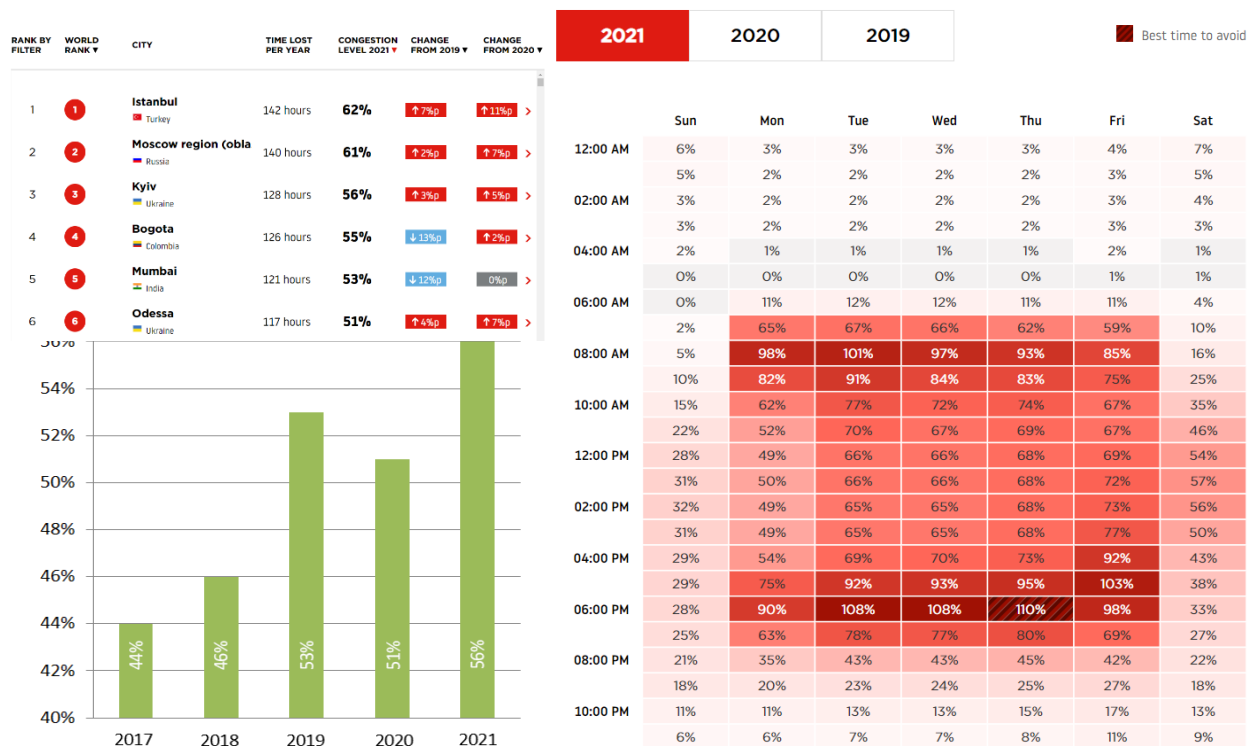


Рисунок 2. Середня завантаженість доріг у місті Київ та його місце у світовому рейтингу

Як і у випадку із загальною аварійністю, показник завантаженості доріг вказує на нездатність існуючої транспортної мережі міста справлятися із постійним зростанням кількості учасників дорожнього руху. Супутньою до попередніх двох факторів є проблема негативного впливу заторів на екологічну ситуацію. Процеси пуску двигуна та активного зниження швидкості автомобіля продукують інтенсивніше вивільнення шкідливих викидів, ніж їзда у належному режимі – зі сталою швидкістю. Ці викиди, як усім відомо, є доволі шкідливими, та становлять біля 55% від усього обсягу, що потрапляють у навколишнє середовище. Один із результатів збору статистичних даних групою дослідників про кількість автомобілів у місті Київ [13], та рівень викидів, що вони виділяють, відображено нижче (табл.1).

Таблиця 1. Рівень забруднення навколишнього середовища у м. Київ за 2009-2018 р.

Рік	Викиди від заторів в м. Київ, т							Кількість АТЗ в м. Київ, тис. шт.
	Оксид вуглецю	Вуглеводні	Оксиди азоту	Ангідрид сірчаної кислоти	Альдегіди	Сажа	Свинець	
2009	6064	340	407	117	22	71	7	906
2010	6312	354	424	122	23	74	7	936
2011	6569	369	441	127	23	77	7	951
2012	6838	384	459	132	24	80	8	1026
2013	7117	399	478	138	25	84	8	1064
2014	7407	415	497	143	26	87	8	1055
2015	7709	432	518	149	28	91	9	1048
2016	8024	450	539	155	29	94	9	1051
2017	8352	468	561	161	30	98	9	1052
2018	8692	488	584	168	31	102	10	1060

Дана таблиця ілюструє закономірність зростання кількості шкідливих речовин, що потрапляють у навколишнє середовище до загальної кількості автомобілів по місту. Дослідниками було визначено, що збільшення викидів в заторах залежить на 82 % від зростання автопарку в Києві. Крім того, було виявлено, що за 1 км шляху одним середньостатистичним автомобілем виділяється 30 г чадного газу, який утилізується дуже повільно, 4 г оксидів азоту і 2 г отруйних 13 вуглеводнів. Разом із тим, через часту зміну режиму руху (тобто – «холостий хід», прискорення, гальмування) виникає додаткове зношування і руйнування деталей, вузлів та агрегатів, що призводить до потреби у ремонті та обслуговуванні транспортного засобу.

Таким чином, щільний взаємозв'язок цих окремо взятих проблем, який прослідковується у зібраних даних, вказує на нездатність коректного функціонування транспортної системи в умовах сучасної насиченості трафіку. Усі ці фактори впливають на побут не тільки учасників руху, а й усього населення, держави загалом, що має вираження не тільки у часі, який люди витрачають на дорогу, чи кількості ДТП, або ж екологічній ситуації, наслідки нехтування якою змусять колись звернутися до цього питання першочергово, - це виражається ще і в економічному плані. Комплексний ефект від накладання однієї проблеми на іншу, призводять до економічних втрат. Відсутність дієвих підходів у коригуванні та виправленні цих проблем у найближчі 10 років призведе до досить суттєвих наслідків, які буде ще складніше вирішувати, коли вони стануть критичними. Саме тому, як і в Україні так і в усьому більшій кількості країн світу, виникає потреба у дієвих заходах щодо оптимізації та реорганізації транспортних систем міст, що стикаються із перенасиченням транспортних мереж учасниками дорожнього руху. Розв'язку поставленої задачі щоденно присвячують свої роботи все більше науковців та, безпосередньо, фахівців у цій області. Основну частку цих робіт можна умовно поділити на фундаментальні методик, методик обмеження руху та методик засновані на використанні інтелектуальних транспортних систем (ІТС).

Фундаментальний підхід засновується на конструктивних змінах існуючих мереж, або ж розробці та забудові нових. Використання його є найочевиднішим та найзатратнішим. Теоретично, застосування такого методу має дієво боротися із заторами, та розподіляти навантаження з одних ділянок транспортної мережі на інші. Проте, досвід великої кількості країн, які вирішували це питання таким чином, свідчить про недієвість фундаментальних методик, яка полягає у відкладеному попиті (індукованому попиті).

Іншим підходом до вирішення поставленого питання є перерозподіл транспортного навантаження з приватного транспорту на громадський. Теоретично, транспорт, який має перейняти на себе більшу частку пасажирів, повинен поєднувати у собі швидкість перевезень, пасажиромісткість та найменшу величину інвестицій. При необхідності у збільшенні провізної здатності транспортної мережі громадським транспортом звертаються до варіантів у вигляді метро, швидкісного трамваю або автобуса. За наявності у місті метрополітену, існуючу мережу можна розширити. Проте, розширення протяжності мережі потребує значних вкладень, коштів та часу на забудову, а ефект від такої інвестиції буде мінімальним. За ті ж кошти, що були витрачені на таке розширення, можна збудувати мережу швидкісного трамваю та швидкісного автобуса, що зможуть задовольнити попит у більшій мірі, ніж побудова аналогічної протяжності мережі метро [14]. Дієвою комбінацією може стати утворення ефективних пересадних вузлів, що дозволять інтегрувати між собою декілька видів громадського транспорту. Важливою складовою є і заміна маршрутних таксі на більш практичні автобуси, місткість та комфорт яких є більшими, а маневреність майже ідентичною, особливо в умовах транспортного потоку. Виділення окремої смуги під потреби громадського транспорту є надзвичайно дієвим заходом. Тим не менш, для коректного функціонування виділеної смуги вона має повноцінно контролюватись, щоб нею користувався виключно громадський транспорт, а рухомий склад був у належному стані, кількість якого повністю задовольняла би попит на нього. Також фахівці розглядають заходи часткового рішення проблем, наприклад, через організацію «перехоплювальних паркінгів», або ж платного паркування та в'їзду до центру міста, що дозволили б звільнити дороги від приватного транспорту, та розподілити учасників руху серед громадського транспорту. Проте, для реалізації цих методів потрібна ефективна мережа громадського транспорту, аби надати можливість водієві та пасажирам приватного транспорту без дискомфорту пересісти на інший вид транспорту. Тобто, однією із головних цілей даного підходу із реорганізації транспортної системи є заохочення найбільшої кількості водіїв, які щодня пересуваються приватним транспортом, до користування громадським транспортом, тим самим розвантажуючи транспортну мережу.

Нині найбільш ефективним та популярним методом вирішення проблем організації функціонування транспортної системи є організація ІТС на вже існуючих мережах або тих, які тільки

планується збудувати [15]. Саме для таких цілей, як правило, застосовуються програмні комплекси макро-, мезо- та мікроскопічного моделювання дорожнього трафіку та супутніх змінних. Результатом роботи в даних програмних комплексах є можливість реалізації достатньо ефективної моделі, що вирішує переважну більшість вихідних задач. Обсяг можливостей, які містять у собі комплекси імітаційного моделювання є надзвичайно широкими. Це дозволяє враховувати безмежну варіативність дорожньо-транспортних ситуацій та їх наслідки, що надає цьому способу моделювання найбільшої реалістичності. Ефективні моделі ІТС мають керувати транспортними потоками завдяки збору фактичної інформації на усіх ділянках такої мережі, регулюванню світлофорів, динамічній зміні тарифів на в'їзд чи паркування в завантажених ділянках та інших складових управління дорожнім рухом [16]. Тобто, система збирає фактичні дані всередині транспортної мережі, аналізує їх, а вже після, за потреби, коригує параметри, внаслідок чого критична ситуація усувається. Саме застосування методів ІТС потенційно несе в собі рішення комплексу проблем – зниження аварійності, зниження кількості шкідливих викидів до атмосфери, зниження економічних та часових витрат на подолання шляху.

Серед опублікованих робіт можна виділити такі [17, 18], що змістовно відрізняються серед більшості. В своїй роботі [17] Абрамова Л.С. використовує принципи децентралізації, автоматизації та інші принципи ІТС як основу методики. В основі методики лежить багаторівнева автоматична система управління дорожнім рухом, кожному рівню призначається окреме завдання із управління певним процесом, після обробки результату своєї роботи передає іншим, пов'язаним із ним, рівням та об'єкту управління. Об'єктом управління в даній системі виступає дорожній рух. Рівні управління складають ієрархічну структуру (рис. 3), в залежності від поставленої цілі, і поділяються на локальні, стратегічні, тактичні та оперативні.

На локальному рівні управління об'єктом прийняття рішень здійснюється технічними засобами регулювання (світлофори, керовані дорожні знаки, засоби контролю за рухом та ін.), що прямим чином впливають на дорожній рух. Сигналом до коригування умов дорожнього руху на локальному рівні є команда системи тактичного рівня.

Функціонування тактичного рівня проходить за принципом системи узгодження, керуючий вплив якого формується на основі визначених керованих змінних для заданого алгоритму управління. На даному рівні здійснюється вирішення завдань систем автоматичного управління, які базуються на оцінці зміни параметрів об'єкту управління у часі.

Стратегічний рівень управління призначений для оптимізації параметрів управління, на якому системі потрібно врахувати пріоритети підлеглих йому рівнів, реалізація чого забезпечується системою програмного управління.

Головним за ієрархією є рівень прийняття рішень, або ж оперативного управління. Призначенням даного рівня є конкретизація загальних цілей у чіткі задачі для нижчих рівнів управління. Здійснюється це у відповідності до загального критерію ефективності управління дорожнім рухом. В цілому, оперативний рівень призначений для узагальненого контролю за функціонуванням об'єкту управління, та, за потреби, виборі міри впливу на об'єкт управління.

Саме такий спосіб організації роботи системи управління дорожнім рухом забезпечує збалансований розподіл ресурсів управління серед підсистем, що у сукупності, із повною автоматизацією системи, дозволяє підвищити швидкість та якість прийняття рішень.

Робота ж Бенто Л. [18], заснована на дещо радикальніших принципах організації структури транспортної системи міста, хоч і використовує переважно принципи ІТС. Загальна відмінність полягає у її орієнтації на транспортні засоби із можливістю часткового коригування руху допоміжними системами авто, або ж наявним повним автопілотом. Майбутнє застосування методики передбачає часткову модернізацію автомобіля - компонентну або ж програмну, що дозволить в повній мірі інтегруватися користувачу такої транспортної системи у керований транспортний потік. Проте, автор врахував, у розроблених алгоритмах інтелектуального управління трафіком (ІТМ), можливість застосування непідготовлених транспортних засобів, за умови обмеженої взаємодії з іншими учасниками руху. На відміну від роботи Абрамової Л.С., в цій роботі більше уваги приділено саме розробці методології для управління рухом на перехрестях. Автором розроблено алгоритми ІТМ, які базуються на принципі резервування клітин просторово-часової матриці, що забезпечують проїзд транспортних засобів через перехрестя без зіткнення з іншими транспортними засобами, одночасно зменшуючи затримку на перехресті та вплив на навколишнє середовище. Коли транспортний засіб в'їжджає у заздалегідь визначений радіус контролю, агент інфраструктури запускає вибраний алгоритм ІТМ. Для кожного запиту від транспортного засобу, вибраний алгоритм ІТМ генерує шлях без зіткнень, за яким буде рухатися транспортний засіб під час перетину перехрестя. Шлях без зіткнень розкладається

на двовимірний шлях і пов'язаний швидкісний режим. Двовимірний шлях і швидкісний режим використовуються в процедурі резервування тривимірної матриці. Тривимірна матриця складається з набору шарів, по одному шару на кожен момент часу. Кожен шар поділений на клітинки, де кожна клітинка представляє двовимірний простір на карті сценарію.

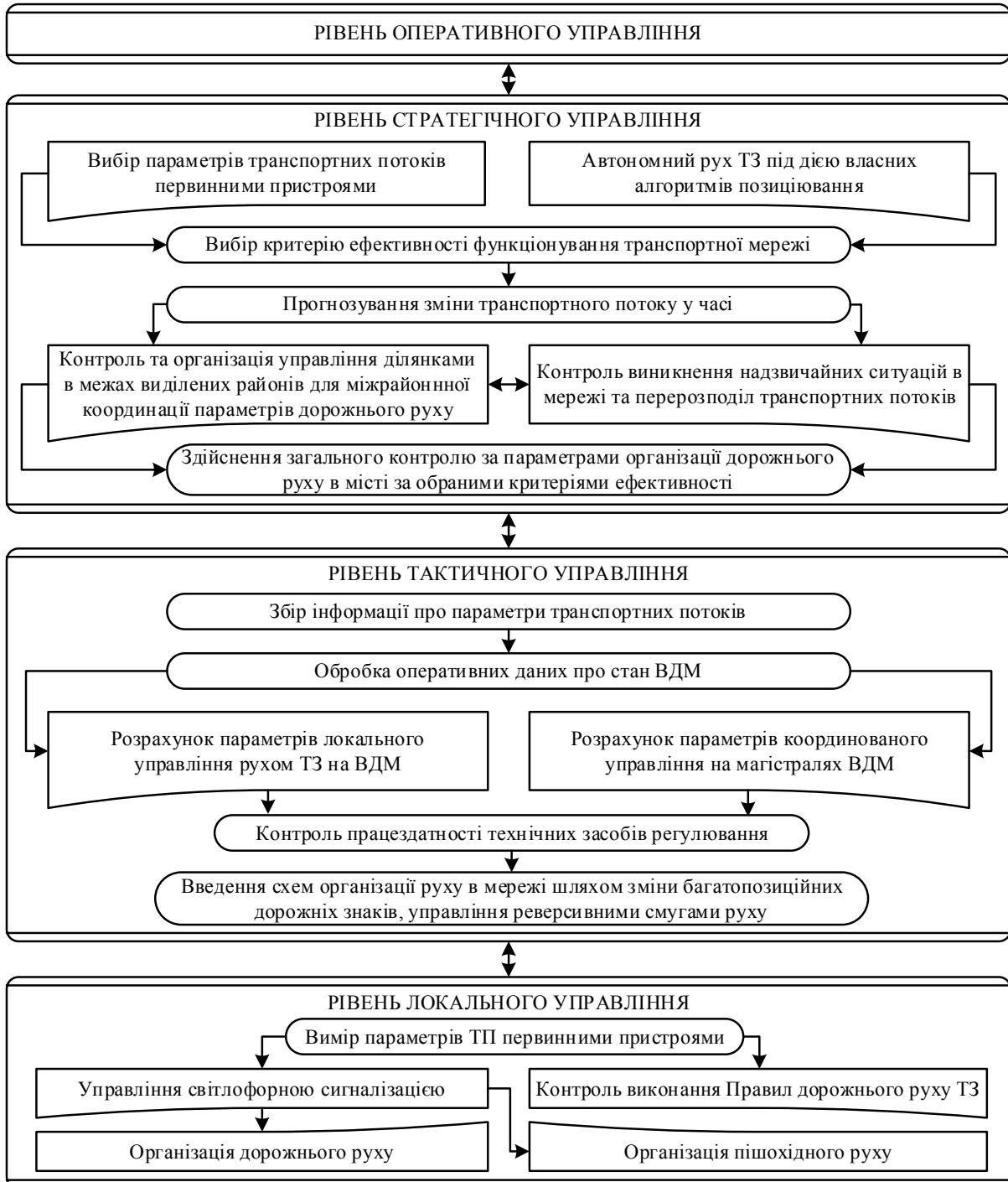


Рисунок 3. Схема функціонування системи управління дорожнім рухом за методикою Абрамової Л.С.

Концепція майбутньої мережі наступна (рис. 4) – ділянки під'їздів до перехресть та самих перехресть будуть обладнані набором датчиків, зокрема датчиками руху, які в свою чергу транслюватимуть зібрані дані до локальної системи управління. Сама система аналізуватиме дані кожного учасника руху, та бронюватиме конкретну клітину просторово-часової матриці. У залежності від наданої автомобілю системою клітини, по відношенню до нього, через розроблену систему зв'язку автомобіль-інфраструктура (V2X), буде застосований один із трьох алгоритмів. Перший алгоритм (WMITM) уповільнює ТЗ і резервує для нього клітину наступного шару після того, як клітини поточного шару просторово-часової матриці будуть укомплектовані іншими ТЗ. Другий алгоритм (EMITM)

уповільнює транспортний засіб і резервує вільні клітини найбільш ранніх із доступних шарів просторово-часової матриці. Третій алгоритм (FMТМ) прискорює транспортний засіб і резервує вільні клітини шару просторово-часової матриці швидше, ніж це було б, якби транспортний засіб рухався у звичайному швидкісному режимі.

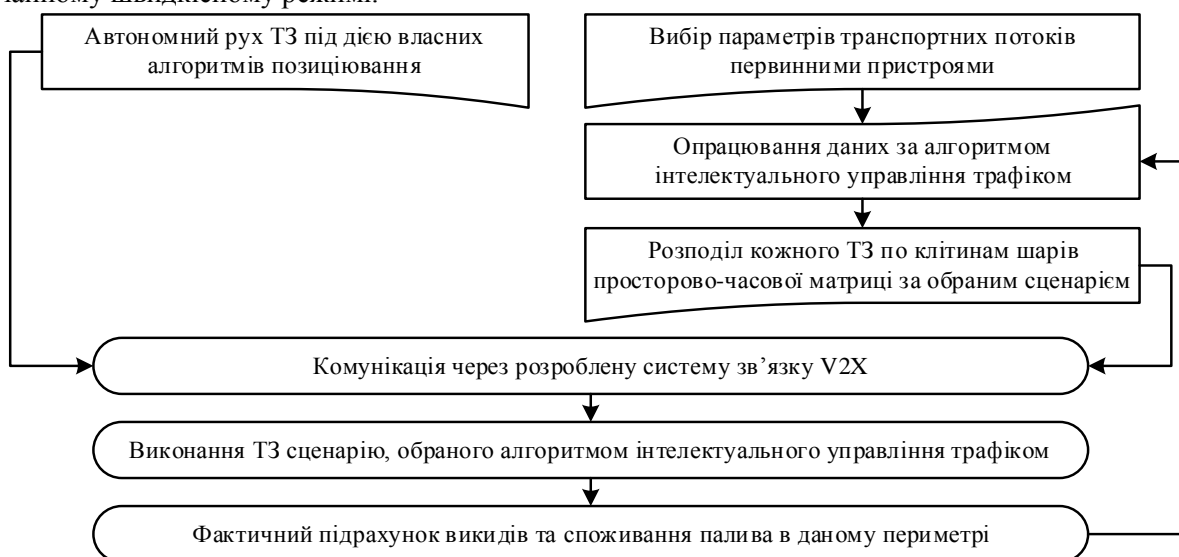


Рисунок 4. Схема функціонування системи управління дорожнім рухом за методикою Бенто Л.

Позиціонування та зміна напрямку руху ТЗ на дорозі відбувається за допомогою розробленого оцінювача положення, що забезпечує автономну навігацію навіть у випадку відсутності контакту із системою управління дорожнього сегменту. Інструмент оцінки позиції транспортного засобу був додатково розширений, щоб забезпечити з'єднання датчиків між транспортними засобами для більш високої точності позиціонування автомобіля. Це розширення включає доповнення локалізації через глобальну навігаційну супутникову систему (GNSS) іншою сенсорною інформацією.

У рамках цього дослідження автор розробив систему ISR - Traffic Simulator (ISR-TRAFSIM) як середовище моделювання. Також було розроблено декілька алгоритмів ІТМ, спрямованих на мінімізацію аварій, заторів і, як наслідок, екологічних витрат при дорожньому русі. Це дослідження демонструє, що існує потенціал скорочення викидів та оптимізації потоку трафіку завдяки використанню цих алгоритмів ІТМ.

Результати проведеного моделювання та підрахунків показують, що ці покращення є більш значними, коли транспортний потік збільшується. Що стосується викидів CO₂ та інших супутніх елементів, то вони значно зменшуються, до тих пір поки розроблена система здатна розподіляти транспортний потік без значних затримок.

«Проведений аналіз двох розглянутих робіт показує, що обсягу розроблених авторами методик достатньо, щоб в повній мірі виконувати початково поставлені завдання. Запропоновані методики включають в себе алгоритми, ефективність яких, теоретично, забезпечує дієву роботу на усіх рівнях управління трафіком, що є невід'ємною частиною від загальної системи управління. Робота цієї системи є надійною та шкідливою, що належним чином реалізується через ієрархічних розподіл оперативних задач. Результатом такого підходу є ефективне управління як на дорожній ділянці, так і в межах міста. Про це свідчить й оптимізація транспортних потоків, на що вказує помітне зниження аварійності у мережі. Також виявлено, що оптимізація впливає і на рівень викидів до атмосфери, скорочуючи їх обсяг.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для успішного пристосування до умов сьогодення та реалізації уже розроблених різними авторами методик [15-18] потрібна велика кількість ресурсів та часу на переобладнання або перебудову. Це обумовлено складністю самих методик, та неможливістю користування частково переобладнаною транспортною системою. До того ж, системи в тій чи іншій мірі піддаються впливу несправностей чи збоїв у роботі виконавчих вузлів та оснащення транспортних мереж, що під час максимального насичення доріг може призвести до наслідків у вигляді тривалих заторів або ж великої кількості ДТП. Остання методика [18], із розглянутих, хоч і структурно найпростіша, але у реалізації є найскладнішою, принцип її функціонування унеможливує швидку адаптацію існуючих транспортних мереж під умови майбутнього використання, час впровадження якої слугуватиме значним ускладненням нормальній циркуляції трафіку по ним. Але, навіть систему такої складності

можна відбудувати ефективно та з мінімальними перешкодами при переобладнанні, якщо закласти у її структуру можливість поетапної модернізації, що, із впровадженням нового функціонального модуля, розширювало би набір можливостей та ефективність самої системи. Тим не менш, потенційні складнощі при впровадженні подібних систем відштовхують відповідні служби і органи від розгляду їх як вирішення поточних проблем транспортної системи.

Поточний стан транспортних систем міст України ще дозволяє не вдаватися до їх кардинальної перебудови, та дає можливість поступово впроваджувати та перевіряти на практиці більш прості, але принципово близькі до розглянутих методик, підходи. Можна сказати, що в даних умовах доцільною буде розробка методики, яка включала б основні переваги методик із раніше розглянутих робіт, та дозволила би уникнути недоліків, частково викликаних складністю таких підходів. Для впровадження вона має бути структурно простою, це дозволило б інтегрувати її у вже існуючі системи, та, за потреби, застосовувати. Обов'язковою є можливість поетапної модернізації, періоди роботи над якою найменшим чином впливали б на ефективність функціонування транспортної системи.

Окремої уваги потребує комплекс вирішення ситуацій пов'язаних із несправністю або виведенням з ладу певного компонента чи групи компонентів такої системи управління та розробка алгоритмів комплексного оцінювання якості роботи транспортних систем як на стадії експлуатації, так і за результатами моделювання. Врахування цього переліку вимог дозволило би спростити впровадження подібної інтелектуальної системи управління та забезпечити перехід до ідейно складнішої системи.

ВИСНОВКИ

Зростання попиту на якісний та ефективний міський транспортний рух гостро вказує на необхідність у реформуванні транспортної системи міст, принципи роботи якої не змінювались впродовж багатьох років. Про це свідчить проведений аналіз основних показників її функціонування, який виявив тенденцію до щорічного зростання кількості ДТП, заторів та шкідливих викидів до атмосфери.

Серед обсягу робіт, спрямованих на дослідження питань належного функціонування транспортної системи, що мають принципову різницю у методах їх вирішення, було обрано найбільш ґрунтовні та багатofункціональні. Порівняльний аналіз цих робіт вказує на великий потенціал до реалізації розроблених систем у містах. Результати моделювання, які проводили автори, зазначають суттєве розвантаження транспортної системи, скорочення обсягу викидів до атмосфери та підвищення рівня безпеки на дорогах. Як бачимо, розглянуті вище підходи розраховані на роботу із різними компонентами транспортної системи – транспортною мережею, структурою рухомого складу та регулюючою структурою. Навіть поодиночі, застосування цих підходів є потенційно ефективними, проте дієвим рішенням може стати утворення комплексного підходу, який би включав у себе принципи декількох.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Автопарк України досяг 10 мільйонів одиниць: який середній вік авто? [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://auto.24tv.ua/avtopark_ukrainy_v_2021_rotsi_statystyka_n28094.
2. Babit R. Level of service concept in urban roads / R. Babit, V. Charma, A.K. Duggal // *International Journal of Engineering Science Invention Research & Development*; Vol. III, Issue I, 2016, pp. 44-48.
3. Chen K. C. Determination of Level of Service (LOS) on Different Roads in Kuching Area (A Case study) / K.C. Chen, S.T. Larry // *UNIMAS E-Journal of Civil Engineering*, Vol 1: issue 1, 2009. <https://doi.org/10.33736/jcest.61.2009>.
4. Mahnke R. Probabilistic description of traffic flow / R. Mahnke, J. Kaupuzs, I. Lubashevsky // *Phys. Rep.* 2005. Vol. 408. P. 1–130. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2004.12.001>.
5. Mathew T. *Transportation Systems Engineering* / T. Mathew // ІТ Bombay, 2014, pp. 21.1-21.5.
6. Управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях у містах : монографія / Є.Ю. Форнальчик, І.А. Могила, В.Е. Трушевський, В.В. Гілевич ; за заг. ред Є.Ю. Форнальчика. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 236 с.
7. Лобашов О.О. Практикум з дисципліни «Організація дорожнього руху» : навч. посіб. / О.О. Лобашов, О.В. Прасоленко. – Харків : ХНАМГ, 2011. – 221 с.
8. Лановий О.Т. Аналіз впливу функціонування мережі автомобільних доріг на економічну систему України та її суспільство // *Управління проектами, системний аналіз і логістика. Науковий журнал*. – К. : НТУ, 2014. – Вип. 14. Частина 1: Серія «Технічні науки». – С. 99-109.

9. Організація та регулювання дорожнього руху : підручник / [О.О. Бакуліч, О.П. Дзюба, В.І. Єресов та ін.]; за заг. ред. В. П. Поліщука. – К. : Знання України, 2012. – 467 с.
10. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець «КОД», 2017. – 370с.
11. Статистика. Офіційний сайт патрульної поліції України. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://patrol.police.gov.ua/statystyka/>
12. Kyiv in Traffic index 2021. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/kyiv-traffic/
13. International Organization of Motor Vehicle Manufacturers OICA is the voice speaking on automotive issues in world forums. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.oica.net>
14. Сментина Н.В. Модернізація міського електротранспорту на шляху забезпечення збалансованого розвитку міста / Н.В. Сментина, Н.В. Доброва // Економіка. Фінанси. Право. – 2017. – № 5(2). – С. 55-60.
15. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем : монографія / В.В. Аулін, А.В. Гриньків, А.О. Головатий [та ін.]; під заг. ред. В.В. Ауліна. – Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2020. – 428с.
16. Бойко В.В. «Інформаційна технологія організації логістичних систем автоматизованого управління та безпеки руху міського пасажирського транспорту» дис. канд. техн. наук., фак-т інф. техн. і сист., Черк. держ. тех. ун-т, Черкаси, 2021.
17. Л.С. Абрамова, «Теоретичні основи формування розподілених систем управління дорожнім рухом у містах.» дис. д-ра. техн. наук, м-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т, Харків, 2020.
18. L.M.K. Bento, “Intelligent traffic management algorithms for environmental impacts reduction at city centers aided GNSS positioning.” Ph. D. thesis, Dept. Elect. and Comp. Eng., Coimbra Univ., Coimbra, Portugal, 2016.

REFERENCES

1. Avtopark Ukrainy dosiah 10 milioniv odynyt: yakiy serednii vik avto? [Elektron. resurs]. – Rezhym dostupu: https://auto.24tv.ua/avtopark_ukrainy_v_2021_rotsi_statystyka_n28094.
2. Babit R. Level of service concept in urban roads / R. Babit, V. Charma, A.K. Duggal // International Journal of Engineering Science Invention Research & Development; Vol. III, Issue I, 2016, pp. 44-48.
3. Chen K. C. Determination of Level of Service (LOS) on Different Roads in Kuching Area (A Case study) / K.C. Chen, S.T. Larry // UNIMAS E-Journal of Civil Engineering, Vol 1: issue 1, 2009. <https://doi.org/10.33736/jcest.61.2009>.
4. Mahnke R. Probabilistic description of traffic flow / R. Mahnke, J. Kaupuzs, I. Lubashevsky // Phys. Rep. 2005. Vol. 408. P. 1–130. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2004.12.001>.
5. Mathew T. Transportation Systems Engineering / T. Mathew // ИТ Bombay, 2014, pp. 21.1-21.5.
6. Upravlinnia dorozhnim rukhom na rehulovanykh perekhrestyakh u mistakh : monohrafiia / Ye.Iu. Fornalchyk, I.A. Mohyla, V.E. Trushevskiy, V.V. Hilevych ; za zah. red Ye.Iu. Fornalchyka. – Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky, 2018. – 236 s.
7. Lobashov O. O. Praktykum z dystsypliny «Orhanizatsiia dorozhnoho rukhu» : navch. posib. / O. O. Lobashov, O. V. Prasolenko. – Kharkiv : KhNAMH, 2011. – 221 s.
8. Lanovyi O.T. Analiz vplyvu funktsionuvannia merezhi avtomobilnykh dorih na ekonomichnu systemu Ukrainy ta yii suspilstvo // Upravlinnia proektamy, systemnyi analiz i lohistyka. Naukovyi zhurnal. – K. : NTU, 2014. – Vyp. 14. Chastyna 1: Seriia «Tekhnichni nauky». – S. 99-109.
9. Orhanizatsiia ta rehuliuвання dorozhnoho rukhu : pidruchnyk / [О.О. Бакуліч, О.П. Дзюба, В.І. Єресов та ін.]; за заг. ред. В. П. Поліщука. – К. : Знання України, 2012. – 467 с.
10. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець «КОД», 2017. – 370с.
11. Статистика. Офіційний сайт патрульної поліції України. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://patrol.police.gov.ua/statystyka/>
12. Kyiv in Traffic index 2021. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/kyiv-traffic/
13. International Organization of Motor Vehicle Manufacturers OICA is the voice speaking on

automotive issues in world forums. [Elektron. resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.oica.net>

14. Smentyna N.V. Modernizatsiia miskoho elektrotransportu na shliakhu zabezpechennia zbalansovanoho rozvytku mista / N.V. Smentyna, N.V. Dobrova // *Ekonomika. Finansy. Pravo.* – 2017. – № 5(2). – S. 55-60.

15. Metodolohichni osnovy proektuvannia ta funktsionuvannia intelektualnykh transportnykh i vyrobnychykh system : monohrafiia / V.V. Aulin, A.V. Hrynkiv, A.O. Holovatyi [ta in.] ; pid zah. red. V.V. Aulina. – Kropyvnytskyi : Lysenko V.F., 2020. – 428s.

16. Boiko V.V. «Informatsiina tekhnolohiia orhanizatsii lohistychnykh system avtomatyzovanoho upravlinnia ta bezpeky rukhu miskoho pasazhyrskoho transportu» dys. kand. tekhn. nauk., fak-t inf. tekhn. i syst., Cherk. derzh. tekhn. un-t, Cherkasy, 2021.

17. L.S. Abramova, «Teoretychni osnovy formuvannia rozpodilynykh system upravlinnia dorozhnim rukhom u mistakh.» dys. d-ra. tekhn. nauk, m-vo osvity i nauky Ukrainy, Kharkiv. nats. avtomob.-dor. un-t, Kharkiv, 2020.

18. L. M. K. Bento, “Intelligent traffic management algorithms for environmental impacts reduction at city centers aided GNSS positioning.” Ph. D. thesis, Dept. Elect. and Comp. Eng., Coimbra Univ., Coimbra, Portugal, 2016.

A. Kashkanov, O. Palchevskyi. Problems of transport systems functioning of Ukraine large cities in modern conditions

The importance of constantly expanding existing networks of transport systems for modern society is undeniable. However, to ensure the proper functioning of the transport network, it is necessary to take into account many conditions and patterns, which greatly complicates its implementation. The main conditions are to reduce the load on transport systems, ensuring the highest level of safety and environmental friendliness. Meeting these conditions requires significant costs to improve the transport infrastructure, turning it into a variable, multifunctional logistics system. Without taking these conditions into account when designing transport networks, the chance of complications during their operation is extremely high.

Based on statistical data in recent years, a steady increase in the number of vehicles and the pace of motorization, which is ahead of the development of transport infrastructure of Ukrainian cities. This increases the level of road congestion, prevents efficient urban movement, increases the number of road accidents and the amount of harmful emissions into the atmosphere. Analysis of the results of assessing the impact of individual elements of the road network on the effectiveness of traffic organization shows that in fact effective solutions can be developed only on the basis of an integrated approach. The study allowed to outline the prospects for the development of transport systems in major cities of Ukraine and suggest ways to improve the quality and reliability of road transport in order to minimize socio-economic losses of users of street and road networks.

Key words: urban transport systems, road transport, efficiency of traffic, traffic organization, road and environmental safety.

КАШКАНОВ Андрій Альбертович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: a.kashkanov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3294-6135>

ПАЛЬЧЕВСЬКИЙ Олег Вадимович, аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: palchevskyi.o@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3171-2740>

Andrii KASHKANOV, Doctor of Science in Engineering, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: a.kashkanov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3294-6135>

Oleh PALCHEVSKYI, postgraduate student of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: palchevskyi.o@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3171-2740>

DOI 10.36910/automash.v1i18.764