ДП «ДержавтотрансНДІпроект»
ДП «ДерждорНДІ»
НТУ

Науково-виробничий журнал
Періодичність 4 рази на рік
№ 2 (258)'2019
(квітень–червень)

Заснований у вересні 1960 року
Зареєстрований
14 грудня 2016 року

Свідоцтво Міністерства юстиції
України про державну реєстрацію
засобу масової інформації
№22472-12372 ПР серія КВ

Наукове фахове видання
згідно з наказом Міністерства
освіти і науки України
від 10.05.2017 №693

Головний редактор:
Дмитриченко М. Ф.

Заступники головного
редактора:
Редзюк А. М.
Безуглий А. О.
Новікова А. М.

Редакційна колегія:
Агеєв В. Б.
Богомолов В. О.
Бондар Н. М.
Бондаренко Є. В.
Бородіна Н. А.
Вирожемський В. К.
Гутаревич Ю. Ф.
Дмитрієв М. М.
Золотарьов В. О.
Колесник Ю. Р.
Криворучко О. М.
Luty Witold
Мержиєвський В. В.
Мозговий В. В.
Нагайчук В. М.
Поліщук В. П.
Сахно В. П.
Sterenharz Arnold
Туренко А. М.
Шинкаренко В. Г.

Випусковий редактор:
Копаниця І. В.

ISSN: 0365-8392

DOI:
10.33868/0365-8392-2019-2-258

Передплатний індекс – 74 000

АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

Горпинюк А. В., Тарабан С. М., Коськовецький В. М., Шатран А. О.
Безпека пішоходів, зокрема дітей шкільного віку, під час їх руху в темну пору доби **2**

Федоров В. В., Яновський В. В., Мазур Є. М.
Вдосконалення глушника шуму бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон» застосуванням газового екрану **11**

Півторак Г. В.
Дослідження тривалості простою маршрутних транспортних засобів на зупинках громадського транспорту Львова **17**

Букоємський С. Л.
Модель функціювання органу технічної підтримки парку автобронетанкової техніки **24**

Агарков О. В., Шевчук К. Я., Іванина Ю. І.
Досвід компаній «AVL» та «Nissan» із використання енергетичних установок на ТОПЕ як розширювачів пробігу електричних легкових автомобілів **31**

Мержиєвський В. В., Пономарьова Ю. О.
Галузевий словник: навантажування, навантаження, навантага **35**

АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

Могила І. А., Безуглий А. О.
Стандартизація вимог до планування та проектування велосипедної інфраструктури **37**

Вирожемський В. К., Копинець І. В., Соколов О. В.
Поліпшення властивостей асфальтобетонів шляхом використання епоксидних складових **46**

Нагребельна Л. П.
Лінійний аналіз – найкращий метод виявлення небезпечних ділянок доріг **50**

Боднар Л. П., Коваль П. М., Степанов С. М., Панібратець Л. Г.
Експлуатаційний стан мостів України **57**

ДорТехЕкспо – 2019 єднає громади **68**

Мови видання: українська, російська та англійська.
Макетування: Школьна К. В.
Усі статті проходять одностороннє сліпе рецензування
або відкрите рецензування та схвалюються до друку
рішенням редколегії.
За достовірність фактів, цифр, точність імен і прізвищ відповідають автори статей,
за зміст рекламних матеріалів – рекламодавці.
Редакція не завжди поділяє погляди авторів публікацій.
Усі права захищені. Передрук матеріалів можливий лише з дозволу редакції.
Видавець:
ДП «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут».
Адреса: 03113, Київ–113, пр. Перемоги, 57, тел. 456-30-30.
Адреса редакції: 03113, Київ–113, пр. Перемоги, 57, к. 902
e-mail: ikopanytsya@insat.org.ua
Підписано до друку 27.06.2019.
Формат 60x84/8. Друк офсетний. Папір крейдований.
Ум. друк. арк. 7,9. Зам. 674.

Видавець і виготівник Комунальне книжково-газетне видавництво «Полісся».
10008 Житомир, вул. Шевченка, 18а.
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру: серія ЖТ № 5 від 26.02.2004 року

АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 656.13.052.8

DOI: 10.33868/0365-8392-2019-2-258-2-10

© А. В. Горпинюк, канд. техн. наук, заст. директора з наук. роботи;
© С. М. Тарабан, канд. техн. наук, зав. відділу;
© В. М. Коськовецький, ст. наук. співробітник;
© А. О. Шатран, інженер 1 категорії
(відділ дослідження безпеки на транспорті, питань нормування, стандартизації та метрології, ДП «ДержавтотрансНДІпроект»)

© Horpyniuk Andrii, Candidate of Technical Sciences (PhD), Deputy Director for Science;
© Taraban Serhii, Candidate of Technical Sciences (PhD), Head of Department;
© Koskovetskyi Volodymyr Senior Researcher;
© Shatran Andrii, Engineer
(Department of Transport Safety Research, Issues of Normalization, Standardization and Metrology, State Enterprise «State Road Transport Research Institute»)

БЕЗПЕКА ПІШОХОДІВ, ЗОКРЕМА ДІТЕЙ ШКІЛЬНОГО ВІКУ, ПІД ЧАС ЇХ РУХУ В ТЕМНУ ПОРУ ДОБИ

PEDESTRIAN SAFETY, IN PARTICULAR SCHOOL-AGE CHILDREN, DURING THEIR MOVEMENT AT NIGHTTIME

Анотація. *Розглянуто питання безпеки пішоходів, зокрема дітей шкільного віку, під час їх руху в темну пору доби з охопленням таких аспектів убезпечення дорожнього руху, як дорожня інфраструктура, конструкція транспортних засобів, поведінка водіїв та безпосередньо пішоходів, насамперед дітей як найбільш уразливих учасників дорожнього руху, та просвітницька діяльність. Здійснено аналіз законодавства України та європейських країн у цій сфері, яке зокрема регламентує вимоги щодо використання світлоповертальних елементів, а також практику та рекомендації стосовно їх використання. Надані рекомендації щодо можливих дій з посилення на національному рівні безпеки пішоходів, зокрема дітей шкільного віку, під час їх руху в темну пору доби.*
Ключові слова: *безпека дорожнього руху, дорожньо-транспортна пригода, уразливий учасник дорожнього руху, пішохід, транспортний засіб, світлоповертальний елемент.*

Аннотация. *Рассмотрены вопросы безопасности пешеходов, в частности детей школьного возраста, во время их движения в темное время суток с охватом таких аспектов безопасности дорожного движения, как дорожная инфраструктура, конструкция транспортных средств, поведение водителей и непосредственно пешеходов, прежде всего детей как наиболее уязвимых участников дорожного движения, и просветительская деятельность. Осуществлен анализ законодательства Украины и европейских стран в этой сфере, которое в частности регламентирует требования по использованию светоотражающих элементов, а также практику и рекомендации по их использованию. Даны рекомендации касательно возможных действий по усилению на национальном уровне безопасности пешеходов, в том числе детей школьного возраста, во время их движения в темное время суток.*
Ключевые слова: *безопасность дорожного движения, дорожно-транспортное происшествие, уязвимый участник дорожного движения, пешеход, транспортное средство, светоотражающий элемент.*

Abstract. *The issue of the safety of pedestrians, in particular school-age children during their movement at nighttime is considered with the coverage of such aspects of road safety as road infrastructure, vehicle design, behavior of drivers and pedestrians, especially children directly as the most vulnerable road users, and educational activities. Particular attention is paid to the fact that road traffic is the most complex and difficult aspect of the environment that a child can experience, especially during in poor daylight and in darkness (because in the autumn and winter it gets dark very early and time when children should go to school or from school falls at this period of the day).*

In the paper is shown how the visibility zones for drivers of motor vehicles in the darkness and in bad weather conditions are changing. Also, in the paper is provided information about the visibility of pedestrians who use or do not use on the clothes the retro-reflective elements, at the use of dipped and distant headlights of the car.

The legislation of Ukraine and European countries in this area, which in particular regulates the requirements for the use of retro-reflective elements, as well as the practice and recommendations regarding their use, are analyzed.

At the same time, the paper conducted a review of existing decisions that ensure pedestrian safety and allow them to be more visible to drivers of motor vehicles, especially with the onset of dusk and at nighttime. The analysis of the recommendations contained in the Consolidated Resolution on Road Traffic (R.E.1) concerning the increase of road safety in the dark time of day is carried out. Recommendations on possible actions to enhance the safety of pedestrians at the national level, including school-age children during their movement at nighttime are given.
Keywords: *road safety, road traffic accident, vulnerable road user, pedestrian, vehicle, retro-reflective element.*

Вступ

До категорії уразливих (незахищених) учасників дорожнього руху належать пішоходи та велосипедисти. При цьому, найбільш уразливими з них є діти, особи з інвалідністю та люди похилого віку, які беруть участь у дорожньому русі насамперед як пішоходи (така категорія учасників дорожнього руху передбачена зокрема в статті 16 Закону України «Про дорожній рух» та 4.2.4 ДСТУ 2935:2018 «Безпека дорожнього руху. Терміни та визначення понять»).

Підтвердженням цього є й статистичні дані щодо смертності та травматизму пішоходів і велосипедистів у дорожньо-транспортних пригодах (далі – ДТП). В Україні відсоток випадків смертей внаслідок ДТП за видами «наїзд на пішохода» та «наїзд на велосипедиста» у 2017 році склав більше 44 % (в абсолютних показниках 1515 осіб з 3432), а в 2018 році – більше 43 % (1455 осіб з 3350) [1].

Показово, що за національною статистикою у 2018 році на 1 загиблого в усіх ДТП припадає трохи більше 9 травмованих, а у ДТП за видами «наїзд на пішохода» та «наїзд на велосипедиста» на 1 загиблого – «лише» 6 травмованих (менше на 33 %), водночас на 100 таких ДТП з постраждалими отримували смертельні травми 15 осіб, а на 100 інших ДТП з постраждалими – 13. Тобто ДТП за участі уразливих (незахищених) учасників дорожнього руху у більшості випадків призводять до смертей.

Треба враховувати і той факт, що вказані види ДТП більш характерні для населених пунктів, де рух пішоходів і велосипедистів є інтенсивнішим, ніж, приміром, на автомобільних дорогах державного значення. Так сумарна частка ДТП із постраждалими за видами «наїзд на пішохода» та «наїзд на велосипедиста» на автомобільних дорогах загального користування (52 тис. км зі 170 тис. км усіх доріг в країні) у 2018 році склала 21 % [2], що вдвічі менше від показників по Україні загалом. Однак небезпека настання ДТП за їх участі саме з фатальними наслідками на цих дорогах в більшості випадків є вищою, особливо в темну пору доби, зокрема з причини більш високих швидкісних режимів руху транспортних засобів, відсутності освітлення дороги, поганої видимості учасників руху тощо.

За даними галузевої Бази даних обліку та аналізу ДТП за 2018 рік на автомобільних дорогах державного значення було скоєно 748 ДТП за участю пішоходів, з них 703 з постраждалими, у яких 332 особи загинули (тобто майже у кожному другому ДТП гинула людина) та 431 особа отримала травми, а частка цих ДТП, що припала на ніч, ранішні та вечірні сутінки, склала 76 % (*рис. 1*) [3].

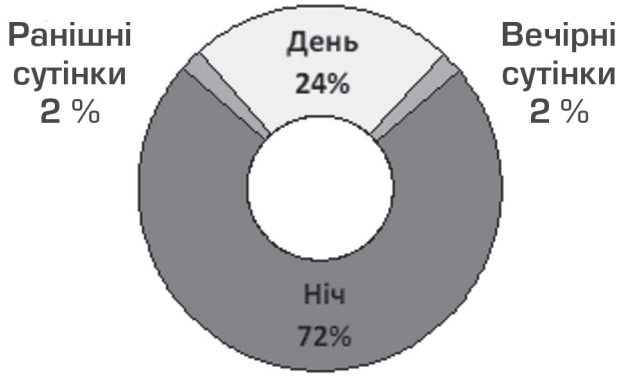


Рис. 1. Розподіл ДТП за видом «наїзд на пішохода» за порою доби на автомобільних дорогах державного значення в Україні (2018 р.)

У Європейському Союзі до бази даних CARE (Community database on Accidents on the Roads in Europe) заносять інформацію стосовно загиблих у ДТП пішоходів залежно від години дня (*рис. 2*) [4]. І хоча кількість загиблих у нічний час різко зменшується, але з огляду на зниження обсягу руху на дорогах за питомим показником смертність в аваріях у цей період доби є значною.

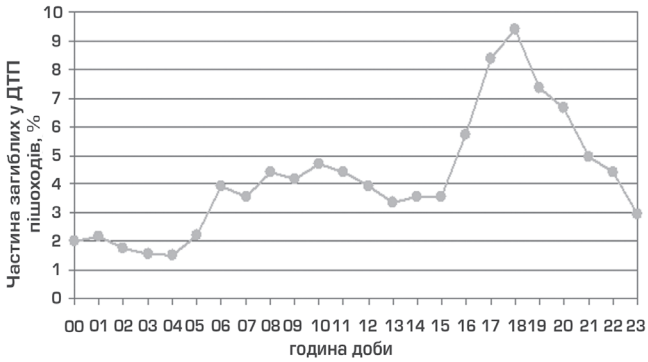


Рис. 2. Розподіл загиблих у ДТП пішоходів за годиною дня в ЄС (2016 р.)

Стосовно дітей, то загальні статистичні дані щодо ДТП, скоєних в Україні за участю дітей віком до 18 років, зокрема дітей-пішоходів, наведені у *табл. 1* [1, 5].

Питання забезпечення безпеки пішоходів, зокрема дітей шкільного віку, під час їх руху в темну пору доби є комплексним, що охоплює багато аспектів убезпечення дорожнього руху, зокрема дорожню інфраструктуру, конструкцію транспортних засобів, поведінку водіїв та безпосередньо пішоходів (зокрема дітей як найбільш уразливих учасників дорожнього руху), та просвітницьку діяльність.

Варто зазначити, що в межах роботи Робочої групи з безпеки дорожнього руху (WP.1) Комітету з внутрішнього транспорту Європейської економічної комісії Організації Об'єднаних Націй підготовлено Зведену резолюцію про дорожній рух (CP.1) (далі – Зведена резолюція) [6]. Ця Зведена резолюція, доповнюючи Конвенцію про дорожній рух 1968 року та Європейську угоду 1971 року, що доповнює Конвенцію про дорожній рух, але не маючи обов'язкової юридичної сили конвенцій, містить велику кількість інформативного матеріалу стосовно дорожнього руху та його безпеки і презентує перелік рекомендованих заходів і практики, які держави покликані здійснювати у цій сфері.

У підрозділі 1.6 Зведеної резолюції, в якому розглядається питання керування транспортним засобом в темну пору доби, зазначено, що у порівнянні зі світлою порою доби, в темну пору не тільки істотно підвищується ризик ДТП, але й самі ДТП мають серйозніший характер. Близько 35 % осіб, які отримують травми, і 50 % осіб, які гинуть на дорогах, є жертвами ДТП в темну пору доби, незважаючи на той факт, що обсяг руху вночі становить лише третину від загального обсягу транспортних потоків. Це пояснюється, зокрема, погіршенням видимості (значним зниженням зорової функції, зниженням контрастності об'єктів на дорозі тощо), вживанням алкогольних напоїв, стресом і загальним стомленням, які уповільнюють реакцію; зокрема недостатньою підготовленістю водіїв до керування транспортним засобом в темну пору доби. Всі ці та багато інших чинників призводять до того, що водій може невірно оцінювати елементи навколишнього середовища (ситуації на дорозі), внаслідок чого неправильно реагувати на них.

Водночас у Зведеній резолюції, зокрема в частині, що стосується питання безпеки дітей-пішоходів, акцентовано увагу на те, що дорожній рух є найбільш складним і важливим аспектом навколишнього середовища, з яким може зіткнутися дитина, тим паче в темну пору доби (оскільки восени та взимку темніє дуже рано, час, коли дітям необхідно йти до школи або зі школи, припадає саме на цю пору). У результаті фізіологічного та психічного розвитку дитини її поведінка є менш передбачуваною та суттєво відрізняється від поведінки дорослої людини. Крім того, діти схильніші до дорожньо-транспортного травматизму та небезпеки тривалої (постійної) втрати працездатності, яка може надати глибокий негативний вплив на якість життя постраждалих у ДТП дітей.

Таким чином, узагальнюючи викладене вище та з огляду на поставлені амбітні цілі щодо зниження рівня смертності внаслідок ДТП та тяжкості їх наслідків для учасників дорожнього руху в меж-

Таблиця 1

Загальні статистичні дані щодо ДТП, скоєних в Україні за участю дітей віком до 18 років, зокрема дітей-пішоходів

Показник \ Рік	2017		2018	
	Кількість за 12 місяців	% до попереднього періоду	Кількість за 12 місяців	% до попереднього періоду
ДТП, скоєні за участю дітей віком до 18 років (усього/з постраждалими), у яких:	4770 / 4135	+6,0 / +10,1	4327 / 3739	-9,3 / -9,6
загинуло, осіб	175	-3,3	176	+0,6
травмовано, осіб	4483	+12,1	4059	-9,5
ДТП, скоєні з вини дітей-пішоходів віком до 18 років (усього/з постраждалими), у яких:	181 / 175	-21,3 / -20,8	139 / 130	-23,2 / -25,7
загинуло, осіб	6	+20,0	5	-16,7
травмовано, осіб	170	-22,7	125	-26,5

ах Стратегії підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 14.06.2017 № 481-р, та Державної програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 25.04.2018 № 435, вважаємо, що проблематиці убезпечення пішоходів, зокрема дітей шкільного віку, під час їх руху в темну пору доби має бути приділено на національному рівні особливої уваги.

Основна частина

Одна з найпоширеніших причин ДТП в Україні – низька видимість пішоходів у темний час доби, особливо в осінньо-зимовий період, про це зазначається на сайті Міжнародного благодійного фонду «Допомоги постраждалим внаслідок дорожньо-транспортних пригод» [7].

Недостатня видимість є важливим фактором, що впливає на ризик нещасних випадків на дорогах серед усіх категорій користувачів доріг. У країнах з низьким та середнім рівнем доходу погана видимість пішоходів і транспортних засобів є серйозною проблемою. Поєднання руху транспортних засобів та інших користувачів доріг разом із поганим вуличним освітленням збільшує ризик того, що незахищені учасники дорожнього руху (пішоходи, діти, люди старшого (похилого) віку, велосипедисти) можуть бути непоміченими. Нехтування необхідністю використання в темну пору доби доступних, простих та відносно недорогих засобів, зокрема, таких як велосипедні ліхтарі або світлоповертальні елементи, ускладнює вже наявні небезпечні умови [8].

Європейські дослідження виявили, що третині пішоходів-жертв ДТП було складно побачити автомобіль, який ударив їх, в той час як 40 % водіям було проблематично побачити пішохода [8].

Велика частина наїздів на пішоходів і велосипедистів в країнах із низьким рівнем доходу відбувається з настанням сутінків, на світанку або в нічний час, через погану видимість. Однак дослідження в цій сфері на сьогодні обмежені і є недостатніми.

Проблема поганої видимості пішоходів, зокрема дітей-пішоходів, часто фігурує в літературі як один з факторів ризику травматизму [9,10,11]. Погана видимість пішоходів є наслідком:

• недостатньої освітленості або повної відсутності освітленості дороги;

• відсутності світлових приладів на транспортних засобах і велосипедах;

• невикористанням пішоходами світлоповертальних накладок або яскравого одягу, особливо з настанням сутінків, на світанку та в нічний час;

• тощо.

На сьогодні відомо достатньо рішень, які забезпечують безпеку пішоходів та дають змогу їм бути більш помітними для водіїв транспортних засобів, особливо з настанням сутінків та в нічний час доби. До таких рішень, зокрема належать використання світлоповертальних елементів.

Світлоповертальні елементи (флікери) – це флуоресцентна смужка. Завдяки спеціальній структурі поверхні світло, що потрапляє на флікер, не розсіюється в усі боки, як це відбувається зі звичайними предметами. Світло відбивається точно в тому напрямку, звідки воно потрапило на флікер, тобто навіть ослаблене відстанню світло автомобільних фар спрямовуватиметься флікером чітко в напрямку очей водія. Саме це спрямоване відображення робить флікер таким помітним у темряві [12].

Для поліпшення умов видимості водіям, пішоходи насамперед повинні розуміти, що водії можуть не побачити їх в умовах поганої освітленості або в умовах темряви, особливо в тих випадках, коли вони одягнені у темний одяг. Основні заходи задля поліпшення видимості пішоходів – це носіння ними світлого і яскравого вбрання, а також використання світлоповертальних елементів на верхньому одязі, взутті та інших предметах (рюкзаку, сумці тощо).

Відомо, що всі поверхні відбивають світло, при цьому, матові поверхні – з меншою інтенсивністю, ніж блискучі або поліровані. Відбиття буває дифузійне, коли частка світла відображається у зворотному напрямку, а більша частина (іноді до 90 %) в інші сторони, і дзеркальне, коли промінь відображається під кутом, рівним куту падіння. Водночас, буває таке відбиття світла, коли світлові промені, падаючи на поверхню, майже повністю відбиваються назад (в напрямку джерела світла). Це значною мірою пояснює той факт, що темний одяг набагато гірше помітний у темряві, ніж світлий (темна куртка відбиває лише 5 % світла, що попадає на неї, у той час як світла куртка – 80 % [13].

Стосовно світлоповертальних елементів, то найкращої помітності можна досягти, використовуючи флікери-смужки лимонно-жовтого або білого кольорів. Флікери червоного, зеленого й синього кольорів програють у відбиваючій здатності вказаним вище кольорам [12].

Типові фари ближнього світла автомобіля дають змогу освітлювати дорогу перед автомобілем не більше ніж на 150 метрів. Ця відстань не завжди є достатньою для водіїв, пішоходів і велосипедистів, аби вчасно побачити один одного та зуміти уникнути небезпеки потенційного зіткнення на дорозі. Видимість дороги з місця водія сильно знижується з настанням сутінків, в ночі та на світанку (в ранкові години), за умов туману та інших ускладнених погодних умов. Видимість водіїв знижується до відстані менше ніж 150 метрів унаслідок поганих погодних умов та темряви, що менше ніж ділянка дороги, яку освітлюють фари автомобіля (низькі промені) [14].

Багато пішоходів та велосипедистів недооцінюють важливість їх видимості на дорозі, і не враховують те, що навіть на вулицях та дорогах з освітленням можуть бути присутні ділянки з поганою видимістю (зокрема між лампами освітлення та під деревами).

Зір є основним каналом, яким до водіїв транспортних засобів надходить інформація (до 90 %). Людське око здатне чітко бачити яскраві предмети на темному тлі. Це означає, що якщо навкруги темно і пішохід одягнений у темний одяг, водій транспортного засобу, який рухається, помітить його набагато пізніше, ніж у випадку, якщо пішохід має світлоповертальні елементи на одязі або носить яскравий одяг.

Як змінюються зони видимості для водія у темряві та за важких погодних умов показано на *рис. 3*.

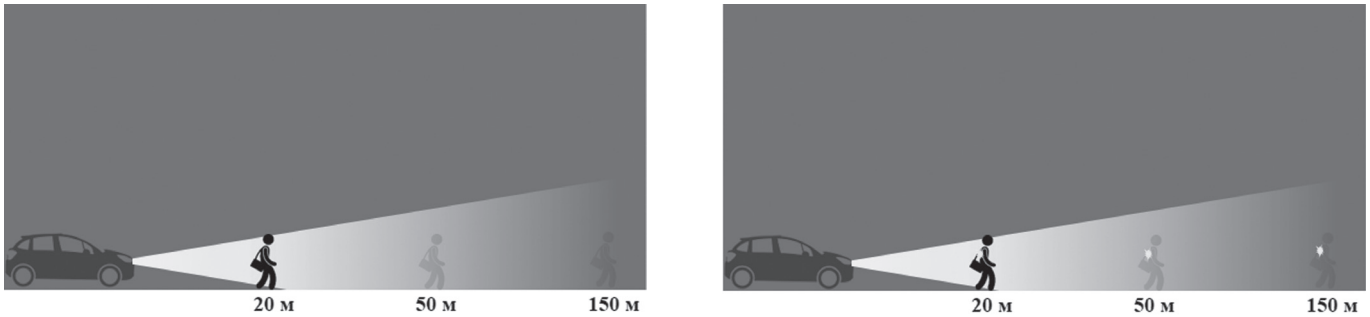
Пішоходи та велосипедисти часто не об'єктивно оцінюють свою видимість у темну пору доби та в умовах недостатньої видимості для водіїв. Більшість з них вважають, що якщо вони зможуть чітко побачити фари транспортних засобів здалеку, то одночасно і водій транспортного засобу зможе побачити їх. Однак насправді, водій помічає пішохода на дорозі лише на відстані 20–150 метрів до пішохода (залежно від часу дня та погодних умов). У зв'язку з цим, надзвичайно важливо для забезпечення власної безпеки, пішоходам та велосипедистам бути більш помітними на дорозі [14].

Одним із найпростіших способів поліпшити видимість цієї категорії уразливих учасників дорожнього руху полягає у використанні світлоповертальних елементів на верхньому одязі та/або взутті. Багато країн Європейського Союзу вже впровадили подібну практику для пішоходів, які рухаються вночі, зобов'язуючи їх у темну пору доби тримати маленькі ліхтарики або інші світловідбивні предмети в руці. Це робить їх помітнішими для водіїв транспортних засобів. Таким чином, водії, перш ніж доїхати до них, зможуть помітити їх на відстані близько 150 метрів.

Є й інші дослідження на тему видимості пішоходів у темну пору доби.

Дуже часто водії просто не мають змоги побачити пішоходів, особливо дітей, на достатній для успішного гальмування відстані. На відміну від дорослих, діти, у яких когнітивні й фізичні функції ще перебувають у процесі становлення, не можуть повною мірою орієнтуватися в складній ситуації дорожнього руху. Вони часом не в змозі об'єктивно оцінити дистанцію до автомобіля та швидкість його руху, вчасно зробити маневр або звільнити дорогу. Це обумовлює їхню уразливість як пішоходів. Крім того відносно невеликі розміри тіла дитини роблять її менш помітною на дорозі, а у випадку ДТП ризик ушкодження життєво-важливих органів від удару елементами конструкції транспортного засобу буде більшим, ніж у дорослих. Ці фактори дитячої уразливості варто враховувати [11,13].

Використання світлоповертальних елементів дає змогу знизити травматизм та смертність на дорогах в 6-8 разів. Під час руху автомобіля з увімкненим ближнім світлом фар водій може помітити пішохода на відстані 20–30 метрів (*рис. 4*). Та якщо людина носитиме світлоовертальні елементи, то відстань її видимості збільшиться до



а) *б)*

Рис. 3. Видимість на дорозі пішоходів: а) без використання на одязі світлоповертального елементу; б) з використанням на одязі світлоповертального елементу

130–150 метрів! У разі використання дальнього світла фар водій зможе побачити пішохода на відстані від 300 до 400 метрів [7].

Гальмовий шлях автомобіля на швидкості 60 км/год на сухій дорозі становить приблизно 30 метрів. При цьому, пішохода в темному одязі водій побачить на відстані 20 метрів. Отже, за швидкості 80 км/год автомобіль проходить 22 метри за секунду. Це означає, що за 2 секунди автомобіль встигне проїхати цілих 44 метри. Водночас людину в одязі зі світлоповертальними елементами буде видно на відстані 130 метрів. Відповідно, це обумовлює важливість носіння світлоповертальних елементів, яка стає ще більше очевидною із розумінням того, що на сьогодні більшість автомобілістів перевищує швидкість у 60 км/год.

Дуже показовим є європейський досвід використання світлоповертальних елементів. Зокрема, в Норвегії саме використання світлоповертальних елементів дало змогу скоротити травматизм серед пішоходів на 85 % [7]. Цікавим є також те, що за останні кілька років у Фінляндії жоден нічний пішохід не загинув внаслідок наїзду. Саме тому в багатьох країнах (Фінляндії, Данії, Швеції, Естонії, Білорусі) на законодавчому рівні закріплено обов'язкове носіння одягу зі світлоповертальними елементами. У Великобританії в 2001 році компанія Nationwide роздала 6 мільйонів аксесуарів, що відбивають світло, всім учням початкових шкіл країни, і вже протягом наступного календарного року кількість ДТП за участю дітей цього віку знизилося на 26 %, що мало великий суспільний резонанс [13].

Також існує досвід використання світлоповертальних елементів і в країнах пострадянського простору. Так, у Білорусії ще в 2006 році почала діяти програма «Мінус сто» [12], за якою передбачалося, що в результаті загального застосування пішоходами світлоповертальних елементів вдасться знизити кількість загиблих людей внаслідок ДТП на сто осіб. У пресі та на телебаченні проводилася широка агітаційна кампанія щодо застосування громадянами флікерів. Світлоповертальні елементи продавалися фактично в кожному магазині й газетному кіоску, а рекламними плакатами було завішано значну кількість автобусних зупинок. Завдяки комплексу заходів програми вдалося у 2007 році скоротити кількість загиблих у ДТП, порівняно з попереднім роком, майже на 200 осіб.

В Україні також є досвід проведення заходів, пов'язаних з використанням світлоповертальних елементів. Ще в 2005 році МВС України разом з Державним науково-дослідним центром безпеки дорожнього руху й діяльності дорожньо-патрульної служби вивчали ефективність мікропризматичних світловідбивачів [13]. Зразки флікерів були закріплені на темній трасі, на висоті 1,20 метри (а це відповідає середньому зросту дитини 8-10 років). На швидкості 60 км/год автомобіль «Daewoo Lanos» висвітлював ближнім світлом фар уявного школяра. Помітивши відбивач, водій заздалегідь знижував швидкість, і «резервна відстань» між пішоходом і зупиненим легковим автомобілем сильно збільшувалася. Із ближнім світлом, з 25–40 до 130–140 метрів, а з дальнім світлом й до всіх 400 метрів.

Також втілювався спільний українсько-естонський проект [15], спрямований на підвищення рівня безпеки пішоходів. Досягти бажаного результату пропонувалося через ознайомлення та розвиток культури носіння пішоходами світлоповертальних елементів.

У тих країнах, де вже існує практика використання світлоповертальних елементів, вимога до необхідності їх використання викладена у відповідних законодавчих актах. Зазвичай це правила дорожнього руху країни або законодавчий акт, який врегульовує питання безпеки дорожнього руху.

Рис. 4. Видимість пішоходів, які використовують або не використовують на одязі світлоповертальні елементи, при ближньому та дальньому світлі фар автомобіля (відстань між автомобілем і пішоходами відображено в метрах)

Для прикладу, Закон про дорожній рух Естонії включає в себе правила дорожнього руху та містить такі норми: «*При движении по дорогам в условиях недостаточной видимости или в темное время суток пешеходы должны пользоваться светоотражателями или источниками света*» (пункт 8 розділу 2 «Правила движения для пешеходов» глави 2 «Правила дорожного движения»). Також для організованих груп людей передбачена вимога, що керівник групи повинен забезпечувати безпеку руху за допомогою відповідних засобів, зокрема в темний час доби – світловідбивачів, ліхтариків тощо.

Також у зазначеному Законі (стаття 2) є визначення терміну «*светоотражатель*» – устройство для повышения заметности людей или иных объектов в темное время суток, отражающее свет обратно к освещающему его источнику, которое видно в пучке ближнего света на расстоянии не менее 150 метров и в пучке дальнего света на расстоянии не менее 300 метров», а в статті 11 Закону вимагається таке:

«*используемые в дорожном движении предметы сигнальной одежды, жилет безопасности, велосипедный шлем и светоотражатель пешехода должны отвечать требованиям, предъявляемым к средствам индивидуальной защиты, и соответствовать своему целевому назначению*».

Щодо України, то у пункті 4.4 розділу 4 Правил дорожнього руху, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 10.10.2001 № 1306, існує норма щодо використання світлоповертальних елементів саме рекомендаційного характеру:

«*4.4. У темну пору доби та в умовах недостатньої видимості пішоходи, які рухаються проїзною частиною чи узбіччям, повинні виділити себе, а за можливості мати на зовнішньому одязі світлоповертальні елементи, для своєчасного їх виявлення іншими учасниками дорожнього руху*».

З огляду на це, а також враховуючи практику та досвід успішних в убезпеченні дорожнього руху європейських країн, доцільно вказану національну норму перевести в категорію обов'язкової та забезпечити належний контроль за її дотриманням громадянами.

Повертаючись до Зведеної резолюції, варто врахувати та реалізувати на українських теренах рекомендації, що містяться у ній стосовно підвищення безпеки дорожнього руху в темну пору доби [6].

Так стосовно влади рекомендується:

- активізувати роботу з розповсюдження інформації про фактори ризику ДТП в темну пору доби;
- проводити кампанії з роз'яснення нагальної потреби для пішоходів і водіїв двоколісних транспортних засобів, зокрема велосипедистів, бути помітними в темну пору доби для інших учасників дорожнього руху завдяки використанню існуючих систем освітлення на двоколісних транспортних засобах, а також світлоповертальних матеріалів (жилети, люмінесцентні підошви, нарукавні пов'язки тощо);
- удосконалити систему підготовки водіїв і здачі іспитів на отримання посвідчень водія таким чином, щоб домогтися кращого засвоєння особливостей керування транспортним засобом в темну пору доби як, наприклад, спеціальні візуальні прийоми;
- активізувати поліцейський контроль;
- удосконалити систему забезпечення нічної візуальної орієнтації на дорогах поза населеними пунктами, зокрема за допомогою більш чіткого позначення контурів доріг на поворотах за рахунок поліпшення горизонтальної та вертикальної розмітки та дорожніх знаків і сигналів, використання більш широких катафотів на стовпах вздовж узбіч доріг та іншого;
- удосконалити загалом дорожню розмітку, покажчики напрямку руху, дорожні знаки, сигнали тощо, шляхом використання світлоповертальних і флуоресцентних матеріалів;
- проаналізувати ефективність вуличного освітлення, особливо в місцях зосередження інформаційних знаків, зокрема на міських магістралях, а також в місцях, де водії транспортних засобів і пішоходи користуються загальною проїзною частиною.

Водночас Зведена резолюція містить рекомендації, що стосуються безпеки дітей на їх шляху до школи та зі школи (розділ 4.2), зокрема щодо руху в темну пору доби.

Так, *органам влади рекомендується*:

- враховувати аспекти безпеки на шляху до школи та зі школи в процесі навчання дітей правилам безпечної поведінки на дорогах, зокрема в школах;
- захищати дітей за допомогою активних і пасивних заходів;
- посилити контроль за дотриманням водіями правил дорожнього руху поблизу шкіл, особливо в години, коли діти приходять до шкіл та їх полишають;
- заохочувати використання засобів масової інформації для поширення програм, які призначені для батьків і дітей та мають на меті підвищення безпеки дітей на шляху до/зі школи;

- ужити необхідних заходів для проведення досліджень, спрямованих на підвищення безпеки дітей, які беруть участь у дорожньому русі;

- організувати систему перевезень дітей (наприклад, шкільними автобусами), зокрема для учнів молодших класів, і особливо якщо школа розташована далеко від місця проживання.

Водночас для батьків та адміністрацій шкіл рекомендуються викладені нижче заходи:

- батьків необхідно інформувати про те, що їхні діти як учасники дорожнього руху мають обмежені можливості, та спонукати (заохочувати) до підвищення безпеки своїх дітей шляхом нагляду та навчання:

- дорослим варто нагадувати про необхідність звертати особливу увагу на те, щоб на власному прикладі постійно демонструвати дітям безпечне поводження, що забезпечує дотримання правил дорожнього руху;

- батьки та адміністрації шкіл мають усвідомлювати важливість поліпшення видимості дітей за допомогою яскравого одягу або пристосувань (зі світлоповертальних або люмінесцентних матеріалів), щоб підвищити безпеку, зокрема в умовах поганої видимості.

Стосовно дітей, які відповідно до національного законодавства можуть використовувати велосипеди і мопеди:

- доводити їм до відома важливість правильного обладнання їх транспортного засобу (освітлення, світлоповертальні пристосування, гальма тощо), а також носіння яскравого одягу або одягу зі світлоповертальними смугами;

- вказувати їм на особливі види небезпеки, які можуть виникнути під час руху на дорозі для їх категорії транспортних засобів, особливо у зв'язку з наявністю важких транспортних засобів.

Водночас у Главі 9 Зведеної резолюції наведені рекомендації щодо обладнання для забезпечення безпеки дітей на шляху в школу та зі школи і поблизу шкіл, зокрема рекомендації, що стосуються навколишніх умов поблизу шкіл і розташування шкіл, та рекомендації, що стосуються зупинок рейсових і шкільних автобусів, а в додатку VIII – додаткові рекомендації щодо навчання дітей безпечній поведінці на дорозі.

Висновки

Очевидним є те, що за умов недостатньої або поганої видимості ризик настання ДТП за участю пішоходів з тяжкими наслідками є високим. Причинами цього можуть бути година дня (нічний час, вечірні та ранкові сутінки), складні погодні умови (туман, дощ, хурделиця тощо), неосвітленість ділянки дороги (відсутнє або недостатнє освітлення), невикористання освітлювальних приладів або їх відсутність у транспортних засобах, низька видимість пішоходів, а також втома та втрата концентрації водіями транспортних засобів або неуважність учасників дорожнього руху тощо.

Бачити і бути побаченим є основними передумовами для забезпечення безпеки усіх учасників дорожнього руху.

Ефективним засобом у досягненні видимості може стати застосування світлоповертальних елементів (на верхньому одязі, взутті та інших предметах), ліхтариків або одягу світлого кольору пішоходами, зокрема дітьми шкільного віку, адже ці засоби дають змогу водіям транспортних засобів значно раніше їх побачити, а відтак вчасно зреагувати та уникнути ДТП з тяжкими наслідками.

Застосування світлоповертальних елементів дає змогу водіям автомобілів з увімкненим ближнім світлом фар помітити пішохода на відстані до 130–150 метрів (замість 20–30 метрів, у разі не використання світлоповертальних елементів), а з увімкненим дальнім світлом фар – на відстані від 300 до 400 метрів. За деякими даними використання світлоповертальних елементів дає змогу знизити травматизм та смертність на дорогах в 6–8 разів.

Окрім того, темний одяг набагато гірше помітний у темряві, ніж світлий (темна куртка відбиває лише 5 % світла, що попадає на неї, у той час як світла куртка – 80 %).

Враховуючи законодавство та досвід країн стосовно убезпечення дорожнього руху в темну пору доби або за умов поганої чи недостатньої видимості, вважаємо за доцільне:

- врахувати рекомендації, викладені в Зведеній резолюції, в частині безпеки пішоходів, зокрема дітей на шляху до школи та зі школи, насамперед стосовно забезпечення їх видимості в темну пору доби;

- забезпечити проведення широкої агітаційної та роз'яснювальної кампанії щодо застосування в темну пору доби світлоповертальних елементів, ліхтариків або одягу світлого кольору пішоходами, зокрема дітьми шкільного віку. Такі заходи будуть актуальними і в межах виконання заходу 1 завдання 7 Державної програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 25.04.2018 № 435

(«проведення інформаційної кампанії щодо використання світловідбивних елементів пішоходами та велосипедистами у темну пору доби»);

- розглянути питання щодо внесення до Правил дорожнього руху норми стосовно обов'язкового використання пішоходами, зокрема дітьми шкільного віку, під час їх руху в темну пору доби світлоповертальних елементів, ліхтариків тощо.

До цієї роботи мають бути залучені усі зацікавлені сторони, зокрема МВС, МОН, Мінінфраструктури, адміністрації населених пунктів, навчальні заклади, наукові та громадські організації та інші.

ЛІТЕРАТУРА

1. Статистика ДТП в Україні за період з 01.01.2018 по 31.12.2018 [Електронний ресурс] / Департамент патрульної поліції Національної поліції України: [сайт]. – Текст дані. – Київ, 2019. – Режим доступу: http://patrol.police.gov.ua/wp-content/uploads/2019/01/DTP-12-2018.xls
2. Статистика аварійності за 2018 рік [Електронний ресурс] / Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П.Шульгіна»: [сайт]. – Текст дані. – Київ, 2019. – Режим доступу: http://dorndi.org.ua/ua/statistika-avariynosti-za-2018-rik
3. Пішоходе, будь уважним на дорозі! [Електронний ресурс] / Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П.Шульгіна»: [сайт]. – Текст дані. – Київ, 2019. – Режим доступу: http://dorndi.org.ua/ua/pishohode-budy-uvaghnim-na-dorozi
4. Annual Accident Report 2018 [Електронний ресурс] / Європейська Комісія. – Брюссель, 2018. – Режим доступу: https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2018.pdf
5. Статистика ДТП в Україні за 2017 рік [Електронний ресурс] / Департамент патрульної поліції Національної поліції України : [сайт]. – Текст дані. – Київ, 2019. – Режим доступу: http://patrol.police.gov.ua/wp-content/uploads/2018/06/DTP-12-2017.xls
6. Сводная резолюция о дорожном движении (CP.1) [Электронной ресурс] : росс. версия / Європейська економічна комісія ООН. – Женева, 2009. - Режим доступа: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2016/wp1/ECE-TRANS-WP1-123r.pdf
7. Світло, що рятує життя! [Електронний ресурс] / Міжнародний благодійний фонд «Допомоги постраждалим внаслідок дорожньо-транспортних пригод». – Київ, 2016. – Режим доступу: http://dopomogadtp.com/ua/svitlo-shho-ryatuye-zhy-ttya/?fbclid=IwAR3Z16YFuZqKNZ9KtYzHSdrCaBmW9Stoq_Q3f3Q2ofNKygGDpZv_KaldigQ
8. Road safety – Visibility [Електронний ресурс] / ВООЗ. – Женева, 2004. – Режим доступу: https://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/world_report/visibility_en.pdf
Безопасность пешеходов. Руководство по безопасности дорожного движения для руководителей и специалистов [Электронной ресурс] : росс. версия / ВОЗ. – Женева, 2013. – Режим доступа: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/79753/10/9789244505359_rus.pdf
9. Сделать передвижение пешком безопасным. Краткий обзор состояния безопасности пешеходов в мире [Электронной ресурс] : росс. версия / ВОЗ. – Женева, 2013. - Режим доступа: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/112638/WHO_NMH_VIP13.02_rus.pdf
10. Доклад о профилактике детского травматизма в Европе [Электронной ресурс] : росс. версия / ВОЗ. – Женева, 2009. - Режим доступа: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/98744/E92049R.pdf
11. Забаштанський Д. «Засвіти» себе [Електронний ресурс] / Д. Забаштанський // Інформаційно-аналітичний журнал «Вісник. Офіційно про податки». – Київ : ДП «СВЦ», 2013. - № 6 (6). – Електронні дані. – Режим доступу: http://www.visnuk.com.ua/ua/pubs/id/4850?issue=110
12. Стань помітним у темряві – врятуй своє життя! [Електронний ресурс] / Управління ДАІ ГУМВС України у Дніпропетровській області. – Дніпропетровськ, 2011. – Режим доступу: https://gorod.dp.ua/news/67166?fbclid=IwAR0xvyRz1xWO1-Vh1y12HN26Zhr9DX7uC9ZisPUNDduwIfyVHMNI8rKXHR8
13. Pedestrian visibility and safe walking at night [Електронний ресурс] / [сайт]. – 2016. – Електронні дані. – Режим доступу: https://www.shofior.com/wordpress/pedestrian-visibility-and-safe-walking-at-night/?lang=en
14. В Україні підвищують рівень безпеки пішоходів [Електронний ресурс] / Інформаційне агентство УНІАН. – Київ, 2011. – Режим доступу: https://www.unian.ua/health/country/586444-v-ukrajini-pidvischuyut-riven-bezpeki-pishohodiv.html

REFERENCES

1. Department of the patrol police of the National Police of Ukraine. Statystyka DTP v Ukrayini za period z 01.01.2018 po 31.12.2018 [Statistics of accidents in Ukraine for the period from 01/01/2018 to 31/12/2018]. Retrieved February 01, 2019, from http://patrol.police.gov.ua/wp-content/uploads/2019/01/DTP-12-2018.xls
2. M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise. Statystyka avariynosti za 2018 rik [Statistics of accidents 2018]. Retrieved March 14, 2019, from http://dorndi.org.ua/ua/statistika-avariynosti-za-2018-rik
3. M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise. Pishokhode, bud' uvazhnym na dorozi! [Pedestrian, be attentive on the road!]. Retrieved March 14, 2019, from http://dorndi.org.ua/ua/pishohode-budy-uvaghnim-na-dorozi
4. European Commission, Directorate General for Transport (2018). Annual Accident Report 2018. Retrieved March 14, 2019, from https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2018.pdf
5. Department of the patrol police of the National Police of Ukraine. Statystyka DTP v Ukrayini za 2017 rik [Statistics of accidents in Ukraine 2017]. Retrieved February 01,2019, from http://patrol.police.gov.ua/wp-content/uploads/2018/06/DTP-12-2017.xls
6. United Nations Economic Commission for Europe (2009). Svodnaya rezolyutsyya o dorozhnom dvyzhenyy (SR.1) [Consolidated Resolution on Road Traffic (R.E.1)]. Retrieved February 01, 2019, from https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2016/wp1/ECE-TRANS-WP1-123r.pdf
7. International Charity Fund "Assistance to Victims of Road Accidents" (2016). Svitlo, shcho ryatuye zhyttya! [Light that saves lives!]. Retrieved February 01, 2019, from http://dopomogadtp.com/ua/svitlo-shho-ryatuye-zhy-ttya/?fbclid=IwAR3Z16YFuZqKNZ9KtYzHSdrCaBmW9Stoq_Q3f3Q2ofNKygGDpZv_KaldigQ
8. World Health Organisation (2004). Road safety – Visibility. Retrieved February 01, 2019, from https://www.who.int/violence_injury_prevention/publications/road_traffic/world_report/visibility_en.pdf
9. World Health Organisation (2013). Bezopasnost' peshekhodov. Rukovodstvo po bezopasnosty dorozhnoho dvyzhenyya dlya rukovodyteley y spetsyalystov [Pedestrian safety: a road safety manual for decision-makers and practitioners]. Retrieved February 01, 2019, from http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/79753/10/9789244505359_rus.pdf
10. World Health Organisation (2013). Sdelat' peredvyzhenye peshkom bezopasnым. Kratkyy obzor sostoyanyya bezopasnosty peshekhodov v myre [Make walking safe: a brief overview of pedestrian safety around the world]. Retrieved February 01,2019, from https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/112638/WHO_NMH_VIP13.02_rus.pdf
11. World Health Organisation (2009). Doklad o profylaktyke det·skoho travmatyzma v Evrope [European report on child injury prevention]. Retrieved February 01, 2019, from http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/98744/E92049R.pdf
12. Zabashtans'kyy D. (2013). «Zasvity» sebe ["Light up" yourself]. Informatsiyno-analitychnyy zhurnal «Visnyk. Ofitsiyno pro podatky», № 6 (6), http://www.visnuk.com.ua/ua/pubs/id/4850?issue=110
13. Upravlinnya DAI HUMVS Ukrayiny u Dnipropetrovs'kiy oblasti (2011). Stan' pomitnym u temryavi – vryatuy svoye zhyttya! [Be visible in the darkness - save your life!]. Retrieved February 01, 2019, from https://gorod.dp.ua/news/67166?fbclid=IwAR0xvyRz1xWO1-Vh1y12HN-26Zhr9DX7uC9ZisPUNDduwIfyVHMNI8rKXHR8
14. Pedestrian visibility and safe walking at night. (2016). Retrieved February 01,2019, from https://www.shofior.com/wordpress/pedestrian-visibility-and-safe-walking-at-night/?lang=en
15. Information Agency UNIAN (2011). V Ukrayini pidvyshchuyut' riven' bezpeky pishokhodiv [In Ukraine increase the level of pedestrian safety]. Retrieved February 01, 2019, from https://www.unian.ua/health/country/586444-v-ukrajini-pidvischuyut-riven-bezpeki-pishohodiv.html

УДК 629.113/.115;534.836.2;621.43.65

DOI: 10.33868/0365-8392-2019-2-258-11-16

© В. В. Федоров, канд. техн. наук, доцент;
© В. В. Яновський, канд. техн. наук, доцент;
© Є. М. Мазур, магістр (НТУ)

© Fedorov Volodymyr, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.);
© Yanovsky Vasyl, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.);
© Mazur, E. M., Master Degree (National Transport University)

ВДОСКОНАЛЕННЯ ГЛУШНИКА ШУМУ БРОНЕАВТОМОБІЛЯ КрАЗ «БАСТІОН» ЗАСТОСУВАННЯМ ГАЗОВОГО ЕКРАНУ

IMPROVEMENT OF NOISE SILENCER ARMORED VEHICLE KRAZ "BASTION" APPLICATION OF THE GAS SCREEN

Анотація. *Запропоновано підвищення акустичної ефективності глушників шуму спалин ДВЗ автомобілів застосуванням газового екрану, який досі використовувався лише у літакобудуванні. Суть пропозиції полягає у створенні навколо вихідного патрубка глушника газового потоку, швидкість якого більша за швидкість витікання спалин. Завдяки цьому, звукові хвилі, що містяться у спалинах, не зможуть піти у довкілля, пройшовши через додатковий газовий потік, та попадуть на спеціальну звукопоглинальну пластину. Відповідно спалини відіб'ються від цієї пластини і підуть у довкілля. У цій роботі на прикладі бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон» показано прогнозоване підвищення акустичної ефективності існуючого глушника завдяки застосуванню газового екрану.*
Ключові слова: *бронеавтомобіль, двигун внутрішнього згоряння, глушник, спалини, шум, джерело шуму, акустична ефективність, газовий екран.*

Аннотация. *Предложено повышение акустической эффективности глушителей шума отработанных газов ДВС автомобилей применением газового экрана, который до сих пор использовался только в самолетостроении. Суть предложения заключается в создании вокруг выходного патрубка глушителя газового потока, скорость которого больше скорости вытекания отработавших газов. Благодаря этому, звуковые волны, содержащиеся в отработавших газах, не смогут пойти в окружающую среду, пройдя через дополнительный газовый поток, и попадут на специальную звукопоглощающую пластину. В свою очередь, отработанные газы отразятся от этой пластины и пойдут в окружающую среду. В данной работе на примере бронеавтомобиля КрАЗ «Бастион» показано прогнозируемое повышение акустической эффективности существующего глушителя благодаря применению газового экрана.*
Ключевые слова: *бронеавтомобиль, двигатель внутреннего сгорания, глушитель, отработанные газы, шум, источник шума, акустическая эффективность, газовый экран.*

Abstract. *Ukraine has been fighting for five years in the east with the Northern Neighbor and for much more time striving for NATO membership. Under these circumstances, the ongoing improvement of military technology. Creation of modern armored cars is topical. One of the important requirements for them is high masking properties. In addition to visual masking there is also sound. In this case, it means reducing the external noise of armored cars. The source of noise and ways to reduce them is a lot. One of the most powerful sources of armored car noise is the noise of the release system, the noise of the bedroom. This type of noise is reduced by means of silencers. The latter are diverse in terms of designs, principles of operation, frequency characteristics and acoustic efficiency. The increase of the acoustic efficiency of silencer noise of the car internal combustion engines was proposed using a gas screen, which until now was used only in aircraft engineering. The essence of the proposal is to create around the outlet branch muffler gas flow, the speed of which is higher than the speed of the outflow of bedrooms. Due to this, the sound waves contained in the sleeping bags will not be able to go into the environment, passing through an additional gas stream, and they will fall onto a special sound absorbing plate. Correspondingly, the sponges will be reflected from this plate and will go to the environment. In this work, for example, the KrAZ Armored Vehicle «Bastion» shows the projected increase in the acoustic efficiency of the existing silencer through the use of a gas screen for the speed of the armored vehicle 45, 50, 75 and 85 km / h. At the same time, the dependence of the difference in speeds of artificially created gas flow and the beds in the muffler of noise from the angle of incidence of sound waves in the flow of bedrooms was calculated. Also shown is the dependence of the angle of incidence of sound waves on the frequency of the latter. Improvement of the existing muffler noise of the internal combustion engines through the use of a gas screen is projected to reduce the external noise of the KrAZ «Bastion» car at 4-6 dB in the range of 45–85 km/h.*
Keywords: *armored vehicle, internal combustion engine, silencer, exhaust gases, noise, noise source, acoustic efficiency, gas screen.*

Вступ

Враховуючи ті факти, що Україна вже 5 років воює та прагне до вступу в НАТО, актуальність створення якісних військових автомобілів є очевидною. Все, що стосується війська, вимагає особливого ставлення. До військової техніки вимоги значно вищі, аніж до цивільної, оскільки від якості даної техніки залежить не лише здоров'я людей, а й життя. Така властивість цивільного автомобіля, як екологічність в плані шумового забруднення, для військового автоматично є безпечністю, тому що шум на війні – це, зазвичай, демаскуючий фактор з усіма катастрофічними наслідками. І якщо покарання за перевищення рівня шуму для цивільного автомобіля – це штраф, то для військового досить часто – смерть. Враховуючи це, не залишається сумнівів у необхідності вдосконалення військових автомобілів у «шумовому» напрямі.

Основна частина

Для поліпшення шумових та маскувальних властивостей [1] бронеавтомобілів (*рис. 1*) останніх необхідно розглядати як акустичні системи з багатьма джерелами шуму та вібрацій. Такі джерела взаємодіють між собою, наприклад, вібрація від двигуна передається на корпус автомобіля, що відповідно перевипромінює цю енергію у вигляді структурного шуму. Як вже було доведено в [2], одним з найбільших джерел шуму є процес випуску спалин двигуна внутрішнього згоряння. Тому

свою увагу ми приділимо саме цьому джерелу, з шумом якого борються за допомогою глушників шуму. За об'єкт дослідження нами був вибраний бронеавтомобіль КрАЗ «Бастіон» [3] (*рис. 2*).

Рис. 1. Англійські бронеавтомобілі «Ланчестер» Мк. II, замасковані під слонів (Друга Світова війна, Індія) [1]

Автомобілі КрАЗ-6322РА-01(02) «Бастіон» – бойові комплекси РСЗО в складі автомобіля-шасі КрАЗ-6322 і артилерійської частини – реактивної системи залпового вогню БМ-21 «Град», реактивної системи залпового вогню 9К57 «Ураган» [3].

Бронеавтомобілі КрАЗ «Бастіон» призначені для знищення живої сили та бойової техніки противника, артилерійських і мінометних батарей, руйнування укріплень, опорних пунктів та вузлів опору противника. Автомобіль впевнено працює в екстремальних природних, кліматичних і дорожніх умовах всіх континентів у діапазоні температур від – 50° С до + 60° С на висоті до 5 тис. м над рівнем моря, долаючи водяні перешкоди глибиною до 1,5 м, снігове покриття до 0,6 м.

У *табл. 1* наведені тактико-технічні характеристики бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон».

1. Ефект газового екрану

Відоме зменшення шуму потоку робочого тіла з допомогою екрану із цього ж або іншого робо-

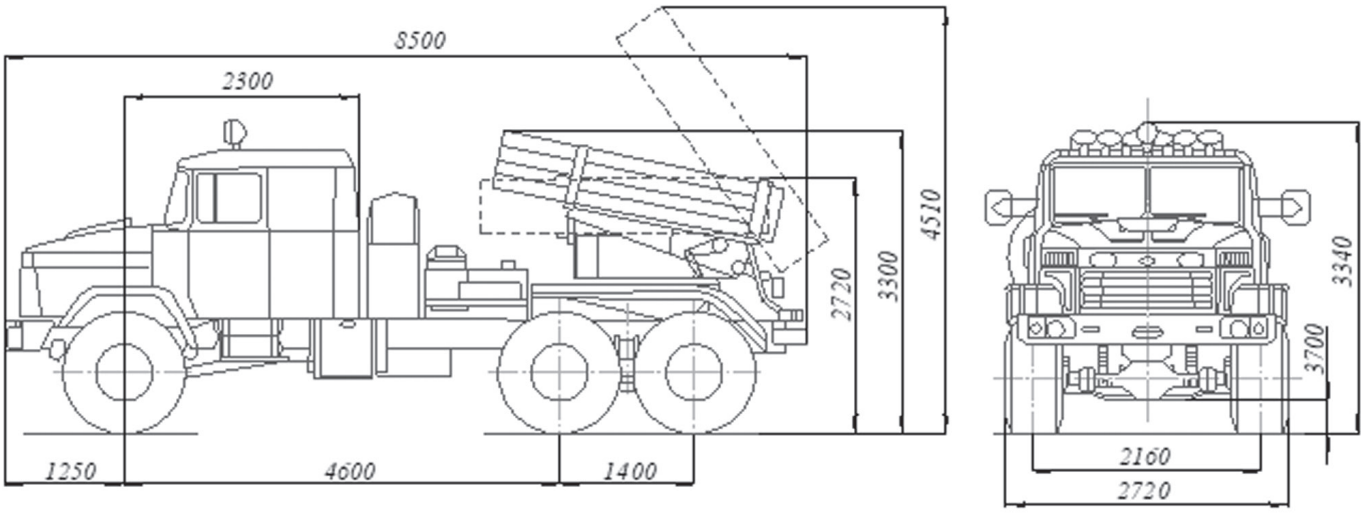


Рис. 2. Бронеавтомобіль КрАЗ-6322РА «Бастіон» (основні геометричні розміри) [3]

Таблиця 1

Тактико-технічні характеристики бронеавтомобіля КрАЗ-6322РА-01(02) «Бастіон» [1]

Повна маса, кг	21 600
Довжина / ширина / висота, м	8 500
Рівень шуму, дБ	80
Колісна формула	6×6
Максимальна швидкість, км/год	85
Двигун з турбонаддувом	ЯМЗ, Cummins, Deutz
Потужність, к.с.	330 – 400
Артилерійна частина, 9К57 «Ураган»	
Калібр, мм	122
Максимальна дальність стрільби, м	20 400
Кількість направляючих, шт	40
Час повного залпу, сек	20

чого тіла з іншими параметрами [4]. Так, на пасажирських літаках, де застосовуються двоконтурні турбореактивні двигуни, з метою зниження шуму частина потоку пропускається з пониженою швидкістю через зовнішній контур. Останнім часом як один із варіантів зниження шуму надзвукових літаків розглядається можливість застосування турбореактивних двигунів із «перевернутим» профілем швидкостей на вихлопі (швидкість в зовнішньому контурі перевищує швидкість у внутрішньому).

Розглянемо один із можливих випадків [5], коли звук і різношвидкісні шари струменю розповсюджуються в одному напрямку (*рис. 3*), звук повертається в бік шару з меншою швидкістю, а зустрічний звук, навпаки, загинається в бік шару з більшою швидкістю. Як бачимо, в основному профілі (*рис. 3, а*), де швидкість газів екрану менша швидкості газу основного струменя, звук виходить назовні струменю, а в «перевернутому» профілі (*рис. 3, б*) – всередину. Тобто, в першому випадку звук виходить у довкілля, а в другому – спрямовується в звукопоглинаючий матеріал екранного глушника. Тому в [5] був проаналізований саме «перевернутий» профіль, коли гази, які виходять із зовнішніх щілин сопла і утворюють екран навколо основного струменю, мають швидкість більшу, ніж гази основного профілю.

Розглянемо схему (*рис. 4*) проходження звуку з основного струменю (індекс 1) через екран (індекс 2) у навколишнє середовище (індекс 3). Вважаючи, що на цій невеликій відстані – між зрізом сопла і звукопоглинаючим матеріалом – швидкість газу змінюється стрибком від значення U_2 до значення U_2, запишемо [5] закон заломлення:

$$\frac{c_1}{\sin\theta_1}+U_1=\frac{c_2}{\sin\theta_2}+U_2 \qquad (1)$$

де c_1 і c_2 – швидкість звуку в основному струмені та екрані відповідно, θ_1 – кут падіння, θ_2 – кут заломлення.

Під час аналізу в [6] швидкість звуку вважали однаковою як в основному струмені, так і в екрані, адже склад газів та їх температура в обох шарах одні й ті ж. Тоді з (1):

$$\frac{c_1}{\sin\theta_1}+U_1-U_2=\frac{c_2}{\sin\theta_2},$$

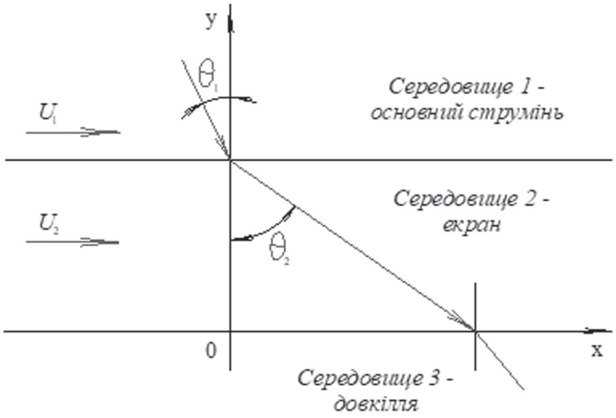


Рис. 4. Проходження звуку з основного струменю (1) через екран (2) у довкілля (3)

$$\frac{c+\sin\theta_1(U_1-U_2)}{\sin\theta_1}=\frac{c}{\sin\theta_2},$$

$$\sin\theta_2=\frac{c\sin\theta_1}{c+\sin\theta_1(U_1-U_2)}$$

Оскільки $U_2>U_1$, то $\Delta U<0$ (де $\Delta U=U_1-U_2$), тобто

$$\sin\theta_2=\frac{c\sin\theta_1}{c+\Delta U\sin\theta_1} \qquad (2)$$

Умова відбиття: $\theta_2 \geq \frac{\pi}{2}$. Достатньо було граничного випадку, коли $\theta_2 \geq \frac{\pi}{2}$, тобто звукові хвилі не проходять в газовий екран, а йдуть вздовж межі основного струменю і екрану в звукопоглинаючий матеріал екранного глушника.

Таким чином, $\sin\theta_2=1$. Тоді ΔU для випадку, коли звукові хвилі йдуть вздовж межі основного струменю:

$$\sin\theta_2=1=\frac{c\sin\theta_1}{c+\Delta U\sin\theta_1}$$

$$c+\Delta U\sin\theta_1=c\sin\theta_1$$

$$c+\Delta U\sin\theta_1=\frac{c\sin\theta_1}{\sin\theta_2} \qquad (3)$$

Визначимо різницю швидкостей для загального випадку, виходячи з рівняння (2):

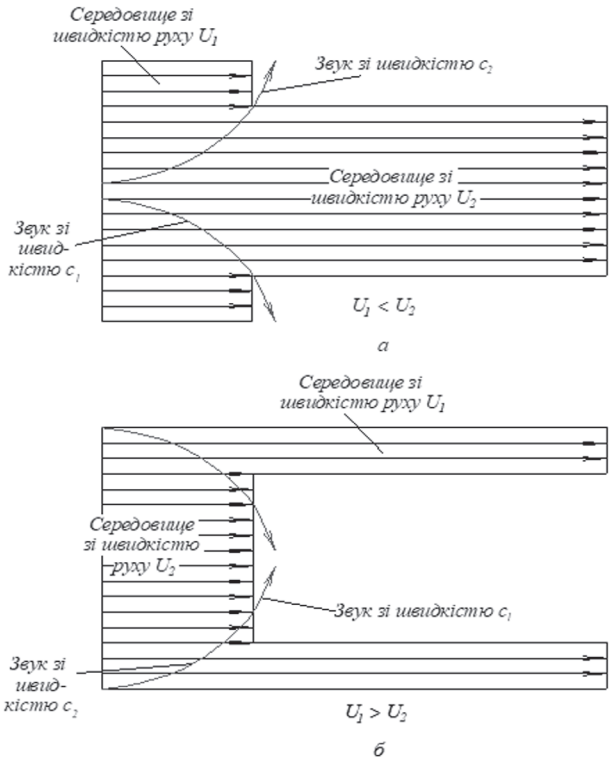


Рис. 3. Профілі потоку газів: а) основний, б) «перевернутий»

$$\Delta U = \frac{c(\sin\theta_1 - 1)}{\sin\theta_1}$$

$$\Delta U = \frac{c(\sin\theta_1 - \sin\theta_2)}{\sin\theta_2 \sin\theta_1}$$

Оскільки $U_2 > U_1$, то $\Delta U < 0$, у такому разі можна ввести модуль ΔU, тоді:

$$|\Delta U| = \frac{c(\sin\theta_1 - \sin\theta_2)}{\sin\theta_2 \sin\theta_1}$$

Отже, забезпечуючи вираховану різницю швидкостей газів екрану і газів основного струменю, вся звукова енергія основного струменю направляється на екранний глушник, чим не допускається її вихід у довкілля. Такий захід підвищить ефективність шумоглушіння.

2. Застосування ефекту газового екрану для вдосконалення існуючого глушника шуму бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон»

Із метою поліпшення екологічних/маскувальних властивостей бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон» нами був вдосконалений існуючий глушник шуму спалин ДВЗ для даного автомобіля. Це вдосконалення полягало у використанні коаксіального сопла та екранного глушника. В існуючому глушнику спалини рухаються зі швидкістю U_1 (*рис. 5*). Коаксіальне сопло монтується на випускному патрубку існуючого глушника шуму, по ньому протікає газ, це може бути повітря. Повітря качається компресором (на *рис. 5* не показаний), причому повітря витікає зі швидкістю $U_2 > U_1$. Внаслідок цього, як було доведено вище, відбувається так званий газовий ефект. Тобто звукові хвилі 3 (*рис. 5*), вийшовши із випускного патрубка глушника, рухаються виключно в сторону екранного глушника 6 і не виходять із зони впливу струменя повітря. У результаті цього шум повністю поглинається звукопоглинальним матеріалом екранного глушника 6, а акустична ефективність існуючого глушника шуму підвищується.

Єдиним нюансом даного процесу є визначення необхідної швидкості руху U_2 повітря в коаксіальному соплі. Очевидно, що чим більше вона буде, тим ефективніше буде вдосконалення існуючого глушника. Це пов'язано з тим, що звукові хвилі рухаються під різними кутами. Як випливає з формули (3): чим менше кут падіння звукової хвилі θ_1 (*рис. 4*), тим більше має бути різниця швидкостей ΔU.

Якщо прийняти швидкість звуку у відпрацьованих газах 400 м/с, то маємо таку картину, при цьому використовується формула (3). Результати розрахунків наведені на *рис. 6*.

Залежність кута падіння θ_1 звукових хвиль від частоти останніх наведена на *рис. 7*.

3. Прогнозоване зменшення рівня зовнішнього шуму бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон» завдяки застосуванню газового екрану

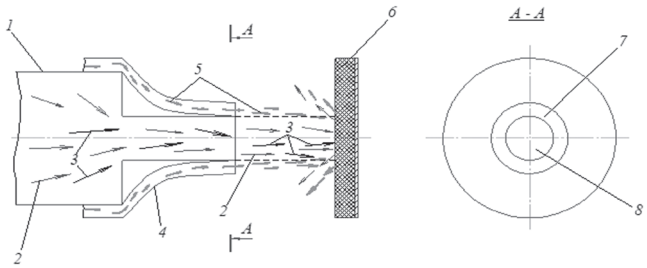


Рис. 5. Екранний глушник у поєднанні з існуючим глушником шуму бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон»: 1 – існуючий глушник; 2 – спалини ДВЗ, що рухаються зі швидкістю U_1; 3 – звукові (шумові) хвилі у спалинах; 4, 7 – коаксіальне сопло; 5 – газ (повітря), що рухається зі швидкістю U_2; 6 – звукопоглинальний екран; 8 – випускний патрубок існуючого глушника

Розглянемо результати, що можна отримати, застосувавши газовий екран для бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон», під час руху останнього на магістральному циклі дорогою (дослідження згідно з ГОСТ 20306-90 [7]) на швидкостях 45, 50, 75 та 85 км/год.

На *рис. 8–9* показані спектри шуму відпрацьованих газів ДВЗ бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон» за швидкостей руху 45, 50, 75 та 85 км/год.

Величина основної гармоніки f_1 знаходиться за формулою [8]:

$$f_1 = \frac{ni}{60\,\tau}$$

де n – частота обертання колінчастого валу, хв$^{-1}$; i – кількість циліндрів (для двигуна ЯМЗ – $i = 8$); τ – коефіцієнт тактності (для чотиритактних ДВЗ $\tau=2$).

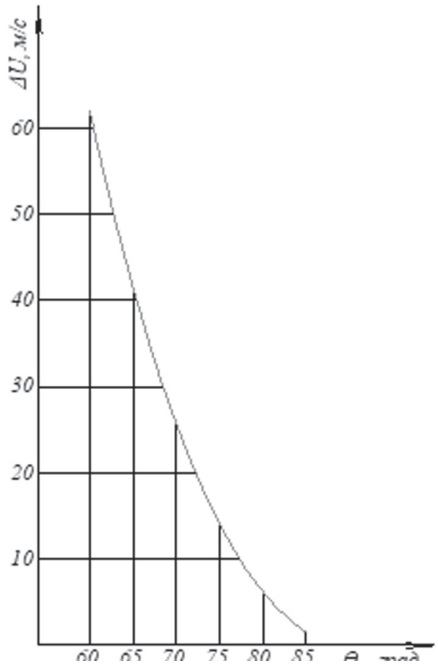


Рис. 6. Залежність різниці швидкостей ΔU у глушнику шуму від кута падіння θ_1 звукових хвиль у потоці спалин

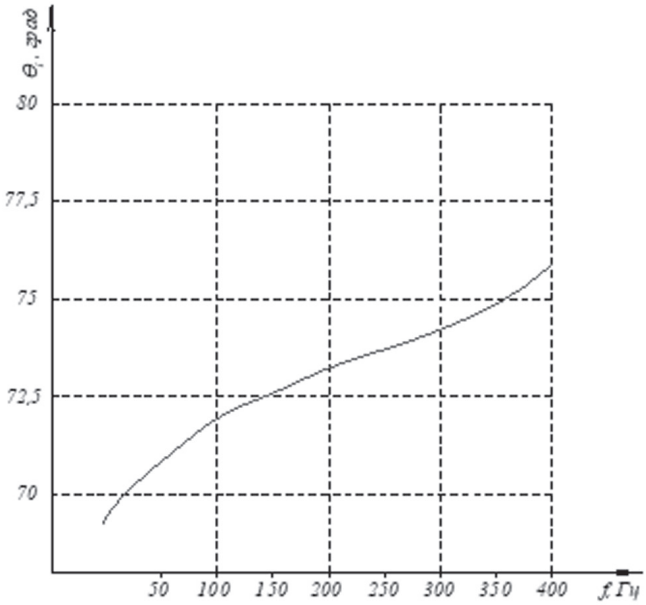


Рис. 7. Залежність кута падіння θ_1 звукових хвиль від частоти останніх

Для швидкості руху 45 км/год основна гармоніка частоти шуму спалин ДВЗ бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон» становить:

$$f_{45} = \frac{ni}{60\,\tau} = \frac{650x8}{120} = 43Гц$$

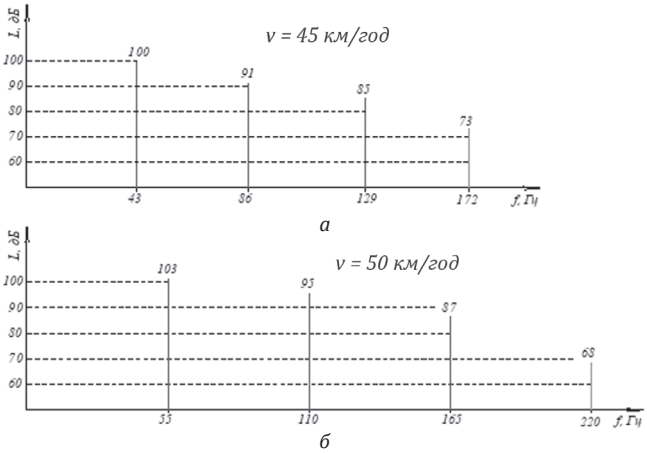


Рис. 8. Спектр шуму спалин ДВЗ бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон» за швидкостей руху 45 км/год (а) та 50 км/год (б)

Для швидкості руху 50 км/год основна гармоніка частоти шуму спалин ДВЗ бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон» становить:

$$f_{50} = \frac{ni}{60\,\tau} = \frac{830x8}{120} = 55Гц$$

Для швидкості руху 75 км/год основна гармоніка частоти шуму спалин ДВЗ бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон» становить:

$$f_{75} = \frac{ni}{60\,\tau} = \frac{1740x8}{120} = 116Гц$$

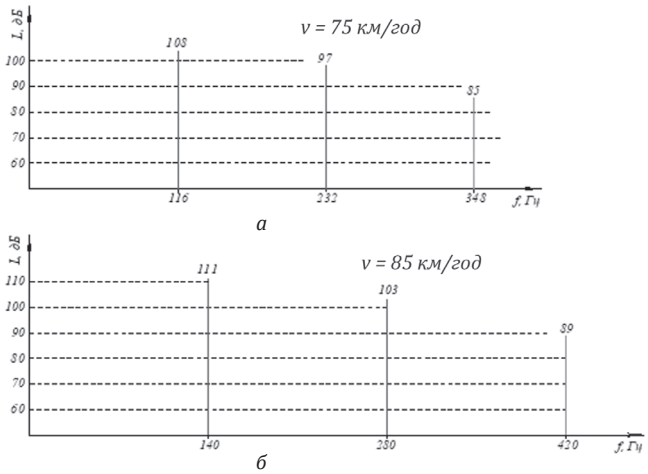


Рис. 9. Спектр шуму спалин ДВЗ бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон» за швидкостей руху 75 км/год (а) та 85 км/год (б)

Для швидкості руху 85 км/год основна гармоніка частоти шуму спалин ДВЗ бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон» становить:

$$f_{85} = \frac{ni}{60\,\tau} = \frac{2100x8}{120} = 140Гц$$

Використовуючи дані, наведені на графіках *рис. 6–7*, можна отримати максимальні швидкості потоку в газовому екрані за різних швидкостей руху автомобіля. Під максимальними швидкостями мається на увазі швидкість, яка забезпечує практично повне відбиття звуку з основного потоку від газового екрану. Подальше збільшення швидкості газового потоку є недоцільним, оскільки вимагатиме додаткової енергії, а також створиться додаткове джерело шуму у вигляді газової турбулентності.

Для швидкості руху бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон» 45 км/год ΔU=25 м/с; для швидкості 50 км/год – ΔU=22 м/с; для швидкості 75 км/год – ΔU=20 м/с; для швидкості 85 км/год – ΔU=18 м/с. Дана залежність показана на *рис. 10*.

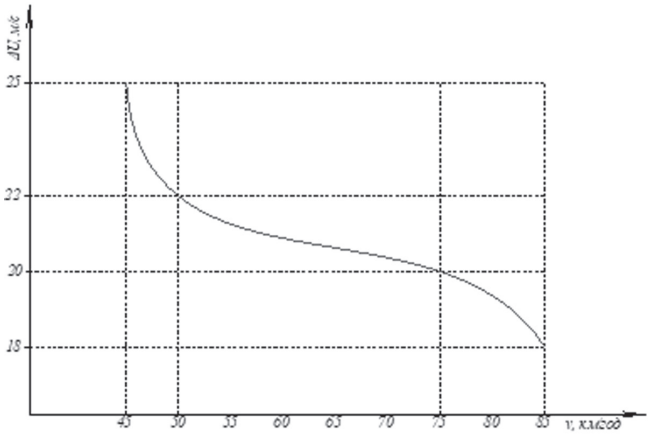


Рис. 10. Залежність різниці швидкостей руху газових потоків ΔU від швидкості руху бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон»

На *рис. 11* показана залежність рівня зовнішнього шуму бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон» від швидкості руху (на магістральному циклі) з існуючим глушником та із вдосконаленим (з газовим екраном).

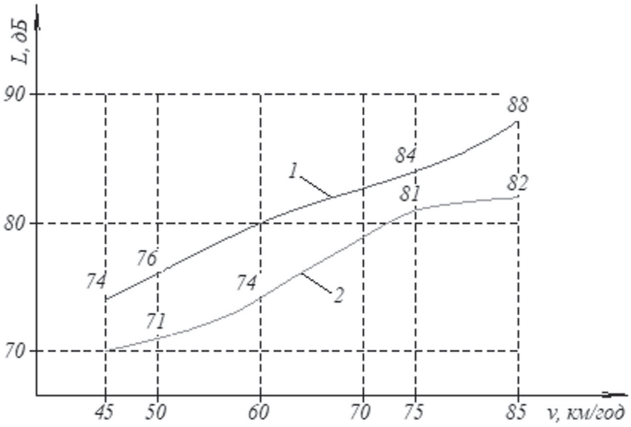


Рис. 11. Залежність рівня зовнішнього шуму бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон» від швидкості руху (на магістральному циклі на дорозі): 1 – з існуючим глушником; 2 – із вдосконаленим (з газовим екраном)

Виходячи з даних, наведених на *рис. 11*, можна отримати ефективність вдосконалення існуючого глушника шуму спалин ДВЗ щодо зниження рівня зовнішнього шуму бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон» (*рис. 12*).

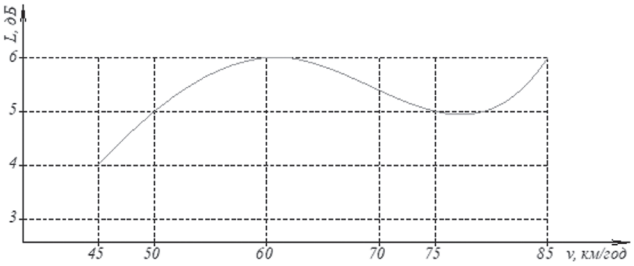


Рис. 12. Залежність зниження рівня зовнішнього шуму бронеавтомобіля КрАЗ «Бастіон» від швидкості руху останнього (на магістральному циклі на дорозі)

Висновки

Вдосконалення існуючого глушника шуму спалин ДВЗ шляхом застосування газового екрану прогнозовано зменшить рівень зовнішнього шуму автомобіля КрАЗ «Бастіон» на 4–6 дБА в діапазоні швидкостей руху 45 – 85 км/год.

ЛІТЕРАТУРА

1. Танки, замаскированные под автомобили. [Электронный ресурс] / Военное обозрение: [сайт]. – Текст данные. – 2016. – Режим доступу: https://topwar.ru/96065-tanki-zamaskirovannye-pod-avtomobili.html.
2. Федоров, В. В., Яновський, В. В., Ковальчук, Д. М. Вдосконалений глушник шуму бронеавтомобіля КрАЗ «Фіона» // Автошляховик України. – 2019. – № 1. – С. 20–25.
3. KrAZ Bastion… 2016 года. [Электонный ресурс] / Drive2: [сайт] – Текст данные. – Режим доступа: http://www.autokraz.com.ua/index.php/ru/fabrication/automobile/military/spetstekhnika/item/1317-kraz-6322-ra.
4. Кузнецов, В. М., Мунин, А. Г. Шум соосных струй. Изотермические струи // Акустический журнал, – 1978. – Т. 24 (6). – С. 878–886.
5. Чернов, Л. А. Акустика движущейся среды. Обзор // Акустический журнал. – 1958. – Т. IV, 4. – С. 299–306.
6. Деклараційний патент № 61608 А, МПК F01N 1/08 (2003.11) Спосіб глушіння шумів та пристрій для його здійснення / Федоров, В. В., Сахно, В. П., Терещенко, В. П. – опубл. 17.11.2003. Бюл. “Промислова власність” № 11, р.
7. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы измерения: ГОСТ 20306-90. – [Дата введения 1992-01-01]. – Москва, 1992.
8. Разумовский, М. А. Прогнозирование шумовых характеристик поршневых двигателей. – Минск: Вышэйш. школа. – 1981. – 31 с.

REFERENCES

1. Tanki, zamaskirovannyye pod avtomobili. (2016). [Tanks disguised as cars]. Retrieved from https://topwar.ru/96065-tanki-zamaskirovannye-pod-avtomobili.html
2. Fedorov, V. V., Yanovsky, V. V., Kovalshuk, D. M. (2019). Vdoskonalenyy hlushnyk shumu broneavtomobilya KrAZ «Fiona» [An improved armored vehicle KrAZ “Fiona” noise silencer]. Kyiv, Avtoshlyahovik Ukraine, 1 (257), 20–25.
3. KrAZ Bastion. Specifications. (2019). Retrieved from http://www.autokraz.com.ua/index.php/ru/fabrication/automobile/military/spetstekhnika/item/1317-kraz-6322-ra.
4. Kuznetsov, V. M., Munin, A. G. (1978). Shum soosnykh struy. Izotermicheskiye strui [Noise of coaxial jets. Isothermal jets]. Acoustic Journal, 24, 6, 878–886.
5. Chernov, L. A. (1958). Akustika dvizhushcheysya sredy. Obzor. [Acoustics of a moving environment. Overview]. Acoustic Journal, IV, 4, 299–306.
6. Fedorov, V. V., Sakhno, V. P., Tereshchenko, V. P. (2003). Sposib hlushinnya shumiv ta prystriy dlya yoho zdiysnennya [Noise jamming and device for implementing it]. Declarative Patent No. 61608 A, bulletin “Industrial Property” No. 11.
7. GOST 20306-90. (1992). Avtotransportnyye sredstva. Toplivnaya ekonomichnost’. Metody izmereniya [Motor vehicles. Fuel economy. Test methods]. Moscow.
8. Razumovsky, M. A. (1981). Prognozirovaniye shumovykh kharakteristik porshnevykh dvigateley [Prediction of noise characteristics of piston engines] Minsk, Vysheyshaya shkola, 31.

УДК 656.022.9 DOI: 10.33868/0365-8392-2019-2-258-17-23

© Г. В. Півторак, асистент (НУ «Львівська політехніка») © Pivtorak Galyna, assistant (National University «Lviv Polytechnic»)

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ПРОСТОЮ МАРШРУТНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ЗУПИНКАХ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ЛЬВОВА

RESEARCH OF THE DOWNTIME OF PUBLIC TRANSPORT VEHICLES AT STOP IN LVIV

Анотація. *Тривалість простою маршрутного транспортного засобу на зупинці впливає на функціювання як маршруту громадського пасажирського транспорту, так і зупинки. На основі аналізу даних натурних досліджень у м. Львові визначено середні значення тривалостей та проведено оцінку чинників, які впливають на цей показник.*
Ключові слова: *тривалість простою, зупинка громадського транспорту, пасажирообмін зупинки, статистичні характеристики.*

Аннотация. *Время простоя маршрутного транспортного средства на остановке влияет на функционирование как маршрута общественного пассажирского транспорта, так и остановки. На основании анализа данных натурных исследований в городе Львов определены значения продолжительности простоя и проведена оценка факторов, влияющих на этот показатель.*
Ключевые слова: *время простоя, остановка общественного транспорта, пассажирооборот остановки, статистические характеристики.*

Abstract. *Understanding the features and availability of information about the functioning indicators of public transport stops will improve the organization of movement in the city. This paper intended to study the trends change the downtime of public transport vehicles at stop using data of field research. The analysis of literary sources has shown that the number of studies of combined stops is insufficient and we tried to concentrate on the comparison of bus and combined stops. The field inspections were conducted at the city's stops in Lviv on working days separately in the morning peak time and separately in the interpeak dinner period. For the given series of data of field inspections the following statistical characteristics were calculated: average value, median, percentile, confidence interval, value asymmetry. On the basis of research, it was discovered that other factors, other than the time of boarding and landing of passengers, affect the duration of downtime. And the influence of these factors is more than half the duration of the entire downtime. It was found that the downtimes are longer for combined bus and tram stops. When constructing trend lines to determine the relationship between passenger traffic and the downtime of public transport vehicles at stop the value of the determination factor in all cases does not exceed 0.52. Dependence on the sufficient value of the determination factor is found for the interconnection between the average downtime and number of vehicles arrivals per hour and between the average downtime and the stop passenger traffic per hour. The results obtained should be taken into account when calculating the capacity of public transport stops, lines of public transport routes, links of the street and road network.*
Keywords: *downtime, stop of public transport, passenger exchange, median.*

Вступ

Зупинки громадського транспорту є одним з елементів системи «перехрестя + зупиночний пункт – транспортний потік» і здійснюють значний вплив на зручність руху міською транспортною мережею [1]. Тому розуміння особливостей та наявність інформації про показники їх функціювання сприятиме вдосконаленню організації руху у місті. Однією з основних характеристик роботи зупинки громадського пасажирського транспорту (далі – ГПТ) є тривалість простою маршрутного транспортного засобу (далі – ТЗ) на ній, яка суттєво впливає на пропускну здатність зупинки, а, отже, ліній маршрутного транспорту та ділянок вулично-дорожньої мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальноприйнято час простою ТЗ на зупинці визначають за формулою [2]:

$$t_{зпі}=t_{з\text{-}ві}+t_{п\text{-}ві} \quad (1)$$

де $t_{з\text{-}ві}$ – час на відкриття та закриття дверей на *і*– ому зупинковому пункті;

$t_{п\text{-}ві}$ – час на посадку та висадку пасажирів на *і* – ому зупинковому пункті.

Час на відкриття та закриття дверей є однаковим для більшості маршрутних ТЗ і становить 3÷5 с [3].

Відповідно, час посадки та висадки пасажирів виступає як основна змінна частина загального часу простою автобуса на зупинці й розраховується залежно від пасажирообміну зупинки:

$$t_{п\text{-}ві}=\frac{t_{пас}\cdot(A_в+A_з)\cdot k_н}{n} \quad (2)$$

де $t_{пас}$ – час на посадку чи висадку одного пасажира;

$A_в$, $A_з$ – кількість пасажирів, що здійснили висадку чи посадку на зупинці;

$k_н$ – нерівномірність входу/виходу пасажирів через різні двері;

n – кількість дверей у ТЗ для входу/виходу пасажирів.

Час на посадку/висадку одного пасажира залежить від наповнення салону ТЗ, його конструктивних особливостей. Більшість досліджень показують, що цей час змінюється в межах від 1 с до 1,3 с [3 – 4].

У зв'язку зі зміною характеристик транспортних та пасажирських потоків на вулично-дорожній мережі міста (порівняно з кінцем XX ст.) і підвищенням ролі громадського транспорту було помічено, що час простою на зупинці не завжди має безпосередню залежність з пасажирооборотом зупинки. Тому виникла потреба у глибшому вивченні чинників, що впливають на час простою ТЗ на зупинці ГПТ.

У роботі [5] час простою на зупинці визначається як сума двох складових: непродуктивного простою в черзі та простою, який є складовою технологічного процесу (часу посадки/висадки пасажирів). Непродуктивна складова простою виникає через неузгодженість графіків руху, коли на зупинку одночасно прибувають кілька ТЗ, а кількість місць обслуговування зупинкового пункту недостатня. Проте числові значення цих складових часу простою в роботі не визначалися.

У роботі [6] авторами розроблена багатофакторна регресійна модель зміни часу простою автобуса на зупинкових пунктах маршруту залежно від коефіцієнта використання місткості автобуса, кількості зупинкових пунктів на маршруті, місткості автобуса та коефіцієнта змінюваності пасажирів. Проте автори не розглядали час простою на окремій зупинці, а тільки сумарну тривалість простою в структурі тривалості рейсу.

У роботі [7] А. В. Зедгенізов виводить рівняння регресії для визначення часу обслуговування пасажирів на зупинці залежно від пасажирообміну на зупинковому пункті окремо для різних типів транспортних засобів: особливо малий, середній з одними дверима, середній з двома дверима, великий. Автор стверджує, що варіація часу обслуговування пасажирів коливається в межах від 40 % до 80 % і рекомендує у випадку відсутності натурних обстежень приймати значення коефіцієнта варіації рівним 54 %.

Автори праці [8] на основі проведених анкетувань пасажирів і натурних досліджень вивели модель зміни часу простою пасажирів у ТЗ на зупинці залежно від кількості пасажирів, що здійснюють посадку-висадку, кількості та ширини дверей ТЗ та коефіцієнта використання місткості ТЗ.

Розглядали питання тривалості простою і автори роботи [13]. Результати їхніх досліджень підтвердили, що час простою суттєво залежить від типу ТЗ. Для великих автобусів зв'язок між пасажирооборотом і тривалістю простою є більш чітким, ніж для маршрутних ТЗ. Автори пояснюють це тим, що маршрутні таксі обслуговуються приватними перевізниками (тоді як великі автобуси є в основному на муніципальних маршрутах), і в таких випадках частіше спостерігаються випадки очікування водієм пасажирів на зупинці. Далі детальніше розглянуто явище «простою в очікуванні» [9]. У результаті було виділено низку чинників, які впливають на наявність і величину цієї складової часу простою на зупинці, зокрема наповненість ТЗ, інтенсивність підходу пасажирів до зупинки, інтервал руху на маршруті. В результаті проведення автором натурних обстежень в місті Нижній Новгород виявлено, що найбільш явно тривалість «простою в очікуванні» корелюється з наповненістю ТЗ, причому найбільш точно отримана автором модель прогнозує тривалість «простою в очікуванні» при середній і високій наповненості ТЗ. Значення величини «простою в очікуванні» коливається в межах від 32 с до 82 с.

У роботі [10] автори детальніше досліджують втрати часу від взаємних перешкод між автобусами за зупинці ГПТ. Ними отримані регресійні моделі визначення цієї складової загальної тривалості перебування ТЗ на зупинці окремо для зупинок без маневрування та зупинок з маневруванням та залежно від кількості місць на зупинці. Врахування цих втрат часу, на думку авторів, дасть змогу більш точно розраховувати пропускну здатність зупинок.

У роботі [11] з допомогою багатовимірного аналізу (методу основних компонентів) на основі даних GPS – трекерів щодо часу простою автобусів на зупинках та характеристик досліджуваних зупинок (кількість маршрутів, що проходять через зупинку, наявність точки тяжіння, віддаленість зупинки від початку маршруту) визначено вплив цих характеристик на час простою на зупинці. Зокрема отримано дані про взаємозв'язок між часами простою на двох суміжних зупинках маршруту.

У роботі [12] детальніше розглянуто вплив на тривалість простою кількості маршрутів, що проходять через зупинку. В результаті отримано ви-

сновки, що кількість маршрутів більше впливає на час простою середніх автобусів (у порівнянні з великими). Найтривалішим часом простою характеризувалися зупинки з кількістю маршрутів від 1 до 5 (середня частота появи часу простою більше 65 с становила 33 % в пікові періоди і 47 % – у міжпікові, а більше 45 с – 73 % і 85 % відповідно). Проте недоліком цих робіт є те, що через відсутність даних про кількість пасажирів, що здійснюють посадку-висадку в дані моменти часу, цей важливий показник не враховано і не оцінено його вплив на отримані результати.

Тобто, для опису тривалості простою ТЗ на зупинці існує багато підходів, що можна пояснити значною кількістю чинників, які на нього впливають. Автори [13] поділяють ці чинники на такі групи:

• чинники, що характеризують технічні характеристики ТЗ (кількість та ширина дверей, рівень підлоги, наявність поручнів);

• чинники, що характеризують пасажиропотік на зупинці (кількість посадок/висадок, нерівномірність розподілу пасажирів по дверях);

• чинники, пов'язані з організацією перевізного процесу (спосіб оплати за проїзд, наповненість ТЗ, наявність на зупинковому пункті інших ТЗ, відставання ТЗ від розкладу тощо);

• демографічний чинник (вікова категорія пасажирів, наявність у них багажу тощо);

• дії оператора (бажання чи небажання водія почекати пасажира, що підбігає до зупинки тощо);

• природно-кліматичні чинники (пора року, період доби, погода).

Щодо дій оператора, то вплив цього чинника на тривалість простою ТЗ на зупинці описується також у роботі [14]. На основі аналізу даних, отриманих під час проведення анкетувань серед водіїв громадського транспорту, автори наводять основні причини, що змушують водіїв зупинятися для посадки/висадки пасажирів без заїзду в присутню «кишеню» (створюючи перешкоди для транспортного потоку), на самому початку зупинки, незважаючи на наявність попереду вільного місця, а позаду – іншого маршрутного ТЗ (створюючи чергу), у два ряди (створюючи конфліктні ситуації) тощо. Врахування цих чинників, на думку авторів, дадуть змогу точніше визначати час простою ТЗ на зупинці.

Під час моделювання тривалості простою (особливо у випадках, коли пасажиропотік зупинки невідомий) часто використовуються закони розподілу. Зокрема, такий підхід використовується в програмному середовищі PTV Vision VISSIM, яке застосовується для транспортного планування і моделювання. В результаті досліджень, результати яких викладено в праці [15], автор пропонує описувати тривалість простою ТЗ на зупинці логарифмічним нормальним законом розподілу. На основі проведених натурних обстежень у місті Києві автор [16] визначила, що тривалість простою автобуса на зупинці розподіляється за зміщеним експоненційним законом. Автори роботи [13] підтверджують своїми дослідженнями адекватність застосування для опису часу простою ТЗ на зупинці ГПТ логарифмічно-нормального закону та гама-розподілу.

Формулювання мети статті. Сучасні дослідження підтверджують, що на тривалість простою маршрутного транспортного засобу на зупинці ГПТ впливають, окрім кількості пасажирів, що здійснюють посадку/висадку, ще багато інших чинників. Аналіз літературних джерел показав, що в основному ці дослідження стосуються автобусних зупинок. Проте в багатьох українських містах зупинки ГПТ поєднують у собі автобусний і трамвайний рух. Тому актуальним є дослідження функціювання таких суміщених зупинок і визначення середньої тривалості простою на них ТЗ.

Основна частина

Для проведення натурних обстежень обрано 7 суміщених автобусно-трамвайних зупинок Львова та 4 розділених зупинки, дві з яких відокремлені, а дві розділені по довжині перегону. Натурні обстеження проводилися окремо в ранковий час пік та в обідній (міжпіковий) періоди. В результаті обстежень отримано статистичні переліки даних часу простою ТЗ на зупинці. Для суміщених зупинок для ранкового пікового періоду кількість отриманих значень – 341, для міжпікового періоду – 323. Граничні значення становлять 140 с і 143 с відповідно. Поділивши переліки даних на окремі інтервали (по 20 інтервалів) і розрахувавши абсолютні частоти попадання даних в кожен з інтервалів визначено, що основний набір даних для ранкового періоду попадає в межі від 5 с до 65 с (відкидаються 3 значення, які виходять за межі вказаного інтервалу). Для обіднього періоду основний діапазон значень – у межах від 3 с до 60 с (відкидаються 5 значень). Подальший аналіз проводився без врахування відкинутих значень. Для відокремлених зупинок кількість отриманих значень становить 227 для ранкового пікового періоду (80 – для окремих автобусних зупинок і 147 – для автобусних зупинок, розділених з трам-

вайними по довжині перегону) і 145 значень (63 і 82 відповідно) для міжпікового періоду.

Під час проведення розрахунків характеристик статистичних переліків часу простою на зупинках ГПТ використовувався пакет статистичних функцій в Microsoft Office Excel.

Оскільки з-поміж середнього значення, моди та медіани, медіана є найбільш стійкою до наявності у вибірці «викидів» (тобто значень, які трапляються рідко, є нехарактерними для даної вибірки), то вирішено також проаналізувати значення медіани часу простою на зупинці. Узагальнено отримані середні значення та медіани часу простою ТЗ на зупинці ГПТ подано в *табл. 1.*

На основі проведених обчислень на суміщених автобусно-трамвайних зупинках в ранковий піковий період можна зробити такі висновки:

• середній час простою ТЗ на зупинці становить 26 с;

• найбільш ймовірне значення часу простою ТЗ на зупинці – 20 с;

• оскільки значення асиметрії додатне, то розподіл досліджуваної величини відносно середнього значення має ухил в ліву частину;

• середнє значення досліджуваної генеральної сукупності часів простою з ймовірністю 95 % знаходитиметься у проміжку від 25 с до 27 с;

• у 50 % випадків значення часу простою ТЗ на зупинці не перевищуватиме 26 с, а у 95 % випадків – 46 с.

На основі проведених обчислень на суміщених автобусно-трамвайних зупинках у міжпіковий період можна зробити такі висновки:

• середній час простою ТЗ на зупинці становить 26 с;

• найбільш ймовірне значення часу простою ТЗ на зупинці – 25 с;

• оскільки значення асиметрії додатне, то розподіл досліджуваної величини відносно середнього значення має ухил в ліву частину.

• середнє значення досліджуваної генеральної сукупності часів простою з ймовірністю 95 % перебуватиме у проміжку від 25 до 27 с;

• у 50 % випадків значення часу простою ТЗ на зупинці не перевищуватиме 26 с, а у 95 % випадків – 45 с.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що для суміщеної автобусно-

Таблиця 1

Значення середніх часів простою ТЗ на зупинці ГПТ залежно від різних умов

Умови функціювання зупинки	Середній час простою на зупинці, с	Медіана часу простою на зупинці, с
Суміщена автобусно-трамвайна зупинка, ранковий час пік	26	24
Розділена по довжині перегону автобусна зупинка, ранковий час пік	23	21
Розділена по довжині перегону трамвайна зупинка, ранковий час пік	22	20
Відокремлена автобусна зупинка, ранковий час пік	17	15
Відокремлена трамвайна зупинка, ранковий час пік	17	17
Суміщена автобусно-трамвайна зупинка обідній період	26	25
Розділена по довжині перегону автобусна зупинка, обідній період	26	25
Розділена по довжині перегону трамвайна зупинка, обідній період	30	30
Відокремлена автобусна зупинка, обідній період	15	14
Відокремлена трамвайна зупинка, обідній період	21	19

трамвайної зупинки ГПТ середній час простою є однаковим незалежно від періоду дня, а для відокремлених зупинок в обідній період час простою є більшим у всіх випадках, окрім відокремленої автобусної зупинки. Це можна пояснити тим, що в міжпіковий період у зв'язку з меншою інтенсивністю прибуття ТЗ вони довше простоюють на зупинці в очікуванні пасажирів. У піковий період час простою на суміщеній зупинці є більшим, ніж на розділених зупинках. Найменшим є час простою на відокремлених зупинках, він на 9 с менший, ніж на суміщених. На розділених по довжині перегону зупинках час простою є меншим на 3–4 с. У міжпіковий період найдовшим є час простою на розділеній по довжині перегону трамвайній зупинці. Час простою на відокремленій автобусній зупинці на 11 с менший, ніж на суміщеній автобусно-трамвайній.

При побудові ліній тренду для визначення взаємозв'язку між пасажирообміном та часом простою ТЗ на зупинці тільки на відокремлених трамвайних зупинках коефіцієнт детермінації становив 0,52 для ранкового пікового періоду ($y=7.2239 \cdot x^{0.3793}$) та 0,47 – для міжпікового ($y=12.379 \cdot x^{0.2624}$). Для решти випадків коефіцієнт детермінації не перевищував 0,4.

На основі отриманих в результаті натурних обстежень даних про пасажирообмін зупинки проведено також обчислення розрахункового часу простою ТЗ на зупинці залежно від кількості посадок/висадок та типу ТЗ (і, відповідно, кількості дверей) за формулою (2).

На основі проведених обчислень для суміщених автобусно-трамвайних зупинок отримано такі розрахункові значення:

• середній час простою ТЗ на зупинці становить 10 с в ранковий пік і 9 с в міжпіковий період;

• найбільш імовірне значення часу простою ТЗ на зупинці – 9 с і 8 с відповідно;

• середнє значення досліджуваної генеральної сукупності часів простою з імовірністю 95 % знаходитиметься у проміжку від 9 с до 10 с в ранковий пік та від 8 с до 9 с в міжпіковий період;

• у 95 % випадків значення часу простою ТЗ на зупинці не перевищуватиме 16 с та 15 с відповідно.

Такі ж розрахунки проведено для відокремлених автобусних зупинок.

Тобто, розрахункові значення часів простою є суттєво меншими, ніж фактичні значення, отримані в результаті обстежень. Зокрема, на суміщених автобусно-трамвайних зупинках середній розрахунковий час простою є на 16 с меншим, ніж фактичний, а 95 % процентиль – на 33 с (незалежно від періоду дня). На відокремлених автобусних зупинках різниця між середнім розрахунковим і середнім фактичним часом простою становить в ранковий піковий період 11 с, в міжпіковий період – 9 с, а різниця між 95 % процентилями – 26 с і 19 с відповідно. Для автобусних зупинок, відокремлених від трамвайних по довжині перегону, різниця між середніми фактичним і розрахунковим часами простою становить 14 с в ранковий час пік і 16 с – в міжпіковий період, а різниця між 95 % процентилями – 25 с і 33 с відповідно.

Також вирішено проаналізувати, чи спостерігається взаємозв'язок між середнім часом простою на зупинці та кількістю прибуттів ТЗ громадського транспорту на зупинку і між середнім часом простою та годинним пасажирообміном зупинки. Така перевірка проводилася тільки для суміщених автобусно-трамвайних зупинок, оскільки кількість досліджених відокремлених зупинок є недостатньою.

При побудові ліній тренду (*рис. 1–4*) виявлено, що для всіх випадків спостерігається залежність (поліноми третього ступеня).

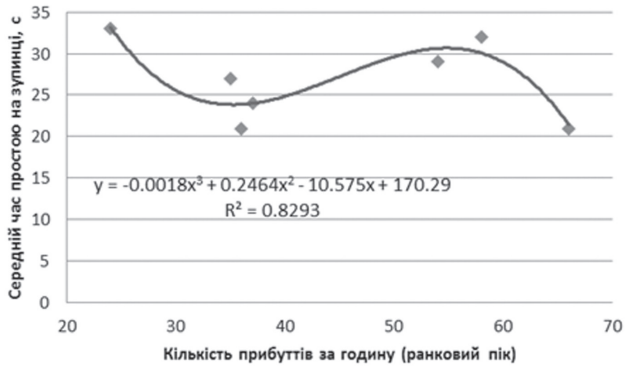


Рис. 1. Лінія тренду для залежності між середнім часом простою ТЗ ГПТ на зупинці та годинною кількістю прибуттів у ранковий пік

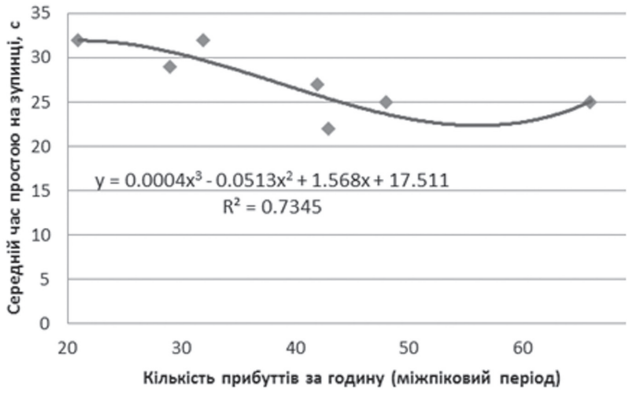


Рис. 2. Лінія тренду для залежності між середнім часом простою ТЗ ГПТ на зупинці та годинною кількістю прибуттів у міжпіковий період

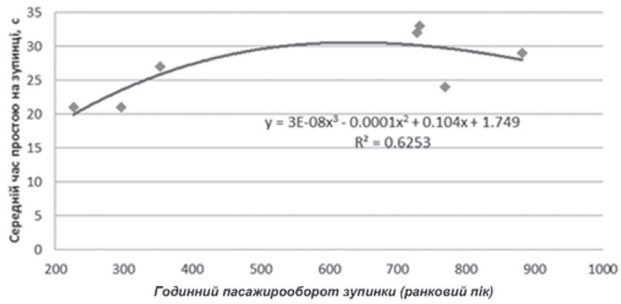


Рис. 3. Лінія тренду для залежності між середнім часом простою ТЗ ГПТ на зупинці та годинним пасажирообіоротом зупинки в ранковий пік

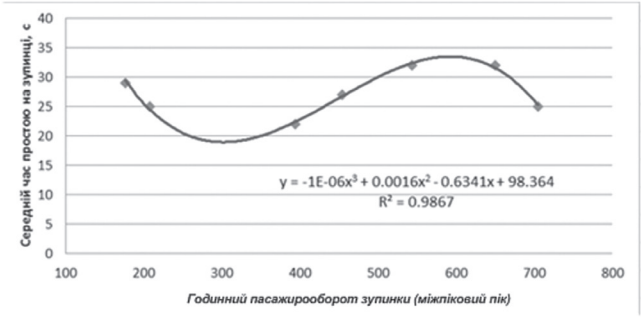


Рис. 4. Лінія тренду для залежності між середнім часом простою ТЗ ГПТ на зупинці та годинним пасажирообіоротом зупинки в міжпіковий період

З отриманих графіків можна зробити висновок, що зміна часу простою на зупинці має хвилеподібний характер: найменші значення часів простою спостерігаються в діапазоні приблизно від 30 до 40 прибуттів у ранковий пік і від 40 до 50 прибуттів у міжпіковий період, за більших та менших значень кількості прибуттів середній час простою зростає. Це можна пояснити тим, що за менших значень прибуттів водії частіше простоюють в очікуванні пасажира, а за більших значень частіше спостерігається ускладнення заїзду/виїзду через накопичення кількох ТЗ ГПТ на зупинці.

Висновки

На основі отриманих результатів підтверджується висновок, що вплив таких чинників, як час заїзду/виїзду із зупинки (очікування можливості заїзду через зайнятість зупинкового пункту чи можливості виїзду через інтенсивний рух транспортного потоку) та час додаткового простою водія на зупинці в очікуванні пасажирів чи через заборонний сигнал світлофора (для зупинок, розташованих перед перехрестям зі світлофорним регулюванням) є набагато більшим, ніж раніше вважалося. Ці чинники збільшують розрахунковий час простою в середньому на 64 % (від 60 % для автобусної зупинки в міжпіковий період до 69 % для відокремленої по довжині перегону автобусної зупинки в міжпіковий період). Також результати досліджень показують, що середня тривалість простою ТЗ на суміщених автобусно-трамвайних зупинках є в середньому на 39 % більшою, ніж на відокремлених автобусних зупинках (в ранковий пік – на 35 %, а в міжпіковий період – на 42 %), що потрібно враховувати при розрахунку їх пропускної здатності. Також варто зауважити, що надлишкові простої ТЗ на зупинці зменшують ефективність системи громадського транспорту загалом, погіршують екологічну ситуацію в місті. Тому потрібно прагнути до зменшення таких непродуктивних простоїв, наприклад, шляхом впровадження електронного квитка (зменшення часу посадки пасажирів) оптимізацією шляху руху маршрутів (зменшення завантаження ВДМ) тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. Поліщук, В. П., Корчевська, А. А. До питання про функціонування системи «перехрестя + зупиночний пункт – транспортний потік» // Вісник НТУ. – 2012. – № 26. – С. 259–262.
2. Доля, В. К. Пасажирські перевезення. // Харків: «Вид-во «Форт». – 2011. – 504 с.
3. Вакуленко, К. Є., Доля, В. К. Управління міським пасажирським транспортом: навч.посібник // ХНУМГ ім. О.Бекетова. – 2015. – 257 с.
4. Василенко, Т. Є., Фесенко, Д. В., Дульнявка, О. Й. Дослідження розподілу часу очікування пасажирами на автобуси на сумісній ділянці маршрутів // АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. – 2009. – № 2 (9) . – С. 206–214.
5. Вдовиченко, В. О., Самчук, Г. О. Формування математичної моделі функціонування транспортно-пересадочних вузлів міського пасажирського транспорту // Вісник НТУ «ХПІ» Механіко-технологічні системи та комплекси». – 2016. – № 17 (1189). – С. 56 – 61.
6. Давідіч, Ю. О., Калюжний, М. В., Куш, Є. І. Визначення довжини перегону маршрутного міського пасажирського автомобільного транспорту: монографія // Харків. – 2015. – 163 с.
7. Зедгенизов, А. В. Повышение эффективности функционирования остановочных пунктов городского пассажирского транспорта // Вестник ИрГТУ. –2008. – № 3 (35). – С. 123–125.
8. Чумаченко, І. В., Давідіч, Н. В. Математична формалізація параметрів якості перевезення пасажирів міським транспортом // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2016. – № 160. – С. 88 – 97.
9. Липенков, А. В. Исследование простоев маршрутных транспортных средств в ожидании дополнительных пассажиров на остановочных пунктах // Вестник ИрГТУ. – 2014. – № 2(85) . – С. 160–166.
10. Липенков, А. В., Кузьмин, Н. А. Исследование потерь времени от взаимных помех между автобусами на остановочных пунктах // Вестник «Мир транспорта и технологических машин» . – 2015. – № 3(50). – С. 84–95.
11. Півторак, Г. В., Вариницька, О. В. Оцінка впливу умов руху та характеристик міських автобусних маршрутів на вибір зупинок як контрольних точок // «Вісник СНУ ім.В.Даля». – 2016. – № 1 (255). – С.166–169.
12. Жук, М. М., Півторак, Г. В. Оцінка тривалості посадки-висадки пасажирів на зупинці громадського транспорту в залежності від кількості маршрутів // Науковий журнал «Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті» . – Луцький НТУ. – 2016. – № 1(5). – С.73–77.
13. Липенков, А. В., Маслова, О. А., Елисеев, М. Е. О подходах к моделированию времени простоя автобусов на остановочных пунктах городского пассажирского транспорта // Научно-технический журнал «Мир транспорта и технологических машин», секция «Безопасность движения и автомобильные перевозки». – 2012. – № 3(38). – С. 84–92.
14. Исхаков, М. М., Рассоха, В. И. «Человеческий фактор»

в организации работы маршрутных транспортных средств на остановочных пунктах // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2008. – № 1. – С. 144–149.
15. Ламбуцький, М. М. Формування структури парку міського пасажирського транспорту: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.22.01 «Транспортні системи» // Київ. – 2007. – 20 с.
16. Гульчак, О. Д. Дослідження закономірностей функціонування таксомоторних маршрутів // Збірник наукових праць НТУ. – 2011. – С. 141–143.

REFERENCES

1. Polishchukm, V. P., Korchevska, A. A. (2012). Do pytannya pro funktsionuvannya systemy «perekhrestya + zupynochnyy punkt – transportnyy potik» [On the functioning of the «Crossroads + a stopping point – traffic flow»] . Visnyk NTU, 26, 259–262.
2. Dolya, V. K. (2011)/ Pasazhyrs'ki perevezennya [Passenger transportation]. «Publishing House «Fort», 504.
3. Vakulenko, K. J., Dolya, V. K. (2015). Upravlinnya mis'kym pasazhyrs'kym transportom: navchal'nyy posibnyk [Management of urban passenger transport: tutorial]. KhNUMH im. O.Beketova, 257.
4. Vasylenko, T. J., Fesenko, D. V., Dul'nyavka, O. J. (2009). Doslidzhennya rozpodilu chasu ochikuvannya pasazhyramy na avtobusy na sumisniy dilyantsi marshrutiv [Regularity Research of Bus Passengers Waiting Time Distribution on the Parallel Route Segments]. Visti Avtomobil'no-dorozhn'oho instytutu, 2 (9), 206–214.
5. Vdovychenko, V. O., Samchuk, G. O. (2016). Formuvannya matematychnoyi modeli funktsionuvannya transportno-peresadochnykh vuzliv mis'koho pasazhyrs'koho transportu [Development of a mathematical model of public transport interchanges functioning]. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes, 17, 56–61.
6. Davidich, Yu. O., Kalyuzhnyy, M. V., Kush, Ye. I. (2015). Vyznachennya dovzhyny perehonu marshrutnoho mis'koho pasazhyrs'koho avtomobil'noho transportu: monohrafiya [Determination of the length of the runway of city urban passenger motor transport: monograph]. Kharkiv, 163.
7. Zedhenyzov, A. V. (2008). Povыshenye эffektyvnosty funktsyonyrovanyya ostanovochnыkh punktov horodskoho passazhyrskoho transporta [Improving the efficiency of stopping points of urban passenger transport. Bulletin IrSTU, 3, 123–125.
8. Chumachenko, I. V., Davidich, N. V. (2016). Matematychna formalizatsiya parametriv yakosti perevezennya pasazhyriv mis'kym transportom [Mathematical formalization of passengers urban transport parameters quality]. Assailant of scientific works of Ukrainian State University of Railway Transport, 160, 88–97.
9. Lypenkov, A. V. (2014). Yssledovanye prostoev marshrutnыkh transportnыkh sredstv v ozhydanyy dopolnytel'nыkh passazhyrov na ostanovochnыkh punktakh [Studying route transport downtime due to waiting for additional passengers at bus stops]. Bulletin IrSTU, 2 (85), 160–166.
10. Lipenkov, A. V., Kuz'min, N. A. (2015). Yssledovanye poter' vremeny ot vzaymnыkh pomekh mezhdu avtobusamy na ostanovochnыkh punktakh [The study of loss of time ate the bus stops as a reason of mutual hindrance between busses]. Scientific and Technical Journal «World transport and technological machinery», 3 (50), 84–95.
11. Pivtorak, H. V., Varynytcka, O. V. (2016). Otsinka vplyvu umov rukhu ta kharakterystyk mis'kykh avtobusnykh marshrutiv na vybir zupynok yak kontrol'nykh tochok [Assessment of the influence of traffic conditions and characteristics cities bus routes on choice public stop as time point]. «Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University», 1 (255), 166–169.
12. Zhuk, M. M, Pivtorak, H. V. (2016). Otsinka tryvalosti posadky-vysadky pasazhyriv na zupyntsi hromads'koho transportu v zalezhnosti vid kil'kosti marshrutiv [Estimation of time approach and landing for passengers at public stop depending on the number of routes]. Research Journal "Modern Technologies in Machine Building and Transport", 1 (5), 73–77.
13. Lypenkov, A. V., Maslova, O. A., Elyseev, M. E. (2012). O podkhodakh k modelyrovanyyu vremeny prostoya avtobusov na ostanovochnыkh punktakh horodskoho passazhyrskoho transporta [About approaches to modeling the idle time of buses at bus stops of urban passenger transport]. Scientific and Technical Journal «World transport and technological machinery, 3 (38), 84–92.
14. Iskhakov, M. M., Rossokha, V. Y. (2008). «Chelovecheskyy faktor» v orhanyzatsyy rabotы marshrutnыkh transportnыkh sredstv na ostanovochnыkh punktakh ["Human factor" in the organization of work of route vehicles at stopping points]. Bulletin OSU, 1, 144–149.
15. Lambuts'kyy, M. M. (2009). Formuvannya struktury parku mis'koho pasazhyrs'koho transportu [Formation of the structure of the urban passenger transport fleet]. Thesis for competition of scientific degree, 20.
16. Hul'chak, O. D. (2011). Doslidzhennya zakonomirnostey funktsionuvannya taksomotornykh marshrutiv [Investigation of the regularities of taxonomic routes functioning]. The National Transport University Bulletin: A Scientific and Technical Journal, 141–143.

ПЕРЕДПЛАТА НА ІІ ПІВРЯЧЧЯ 2019 РОКУ

(№ 3 (вересень), № 4 (грудень))

«Автошляховик України» – науково-виробничий журнал для фахівців автомобільного транспорту та дорожнього господарства, видається з 1960 року. На його сторінках друкуються матеріали про сучасні технології, наукові дослідження та розробки, висвітлюються питання організації та економіки виробництва, впровадження системи управління якістю транспортно-дорожнього комплексу, а також інформація про нові експлуатаційні й будівельні матеріали.

Передплатити журнал можна в усіх поштових відділеннях через Каталог періодичних видань України ДП «Преса»: передплатний індекс – 74000, а також через сайт: www.smartpress.com.ua

З питань замовлення журналів, надання публікацій, розміщення реклами звертайтеся у редакцію:

ikopanytsya@insat.org.ua, (044) 201-08-69

УДК 658.514.3/4

DOI: 10.33868/0365-8392-2019-2-258-24-30

© С. Л. Букоємський, заступник директора департаменту (Адміністрація Державної прикордонної служби України)

© Serghii Bukoiemskyi, Deputy Director of the Department (Administration of the State Border Guard Service of Ukraine)

МОДЕЛЬ ФУНКЦІЮВАННЯ ОРГАНУ ТЕХНІЧНОЇ ПІДТРИМКИ ПАРКУ АВТОБРОНЕТАНКОВОЇ ТЕХНІКИ

MODEL OF FUNCTIONING OF THE AUTOMOTIVE SUPPORT UNIT OF THE AUTOMOBILE FACTORY PARK

Анотація. *Успішне вирішення завдань інформаційного забезпечення технічної підтримки парків автомобільної та бронетанкової техніки органів Державної прикордонної служби України вимагає проведення формалізації процесу функціювання окремих органів технічної підтримки. У дослідженні здійснено моделювання цього процесу. Орган технічної підтримки представлено як систему масового обслуговування з неординарним вхідним потоком запитів та обмеженою чергою на обслуговування. Як результат, отримано низку залежностей, які дають змогу прогнозувати можливості окремих органів технічної підтримки парків машин та використовувати отримані значення у процесі здійснення інформаційного забезпечення технічної підтримки таких парків.*
Ключові слова: *система технічної підтримки, орган технічної підтримки, модель, система масового обслуговування, ефективність.*

Аннотация. *Успешное решение задач информационного обеспечения технической поддержки парков автомобильной и бронетанковой техники органов Государственной пограничной службы Украины требует проведения формализации процесса функционирования отдельных органов технической поддержки. В исследовании осуществлено моделирование этого процесса. Орган поддержки представлено как систему массового обслуживания с неординарным входным потоком запросов и ограниченной очередью на обслуживание. Как результат, получен ряд зависимостей, которые позволяют прогнозировать возможности отдельных органов технической поддержки парков техники и использовать полученные значения в процессе осуществления информационного обеспечения технической поддержки таких парков.*
Ключевые слова: *система технической поддержки, орган технической поддержки, модель, система массового обслуживания, эффективность.*

Abstract. *It is held the analysis of the state of functioning of the system of technical support of automobiles and armored vehicles factory parks. The basis of this system is the technical support units. These units provide quality and timely implementation of technical influences on machinery. So, the main task of information support of technical support is to determine the needs of vehicles parks in such influences and an assessment of the capabilities of the relevant technical support units. Thus, there is an urgent need to model the functioning of these units. These units can be internal or external, with which the Internal Subdivision is subordinate to the State Border Guard Service of Ukraine and the external unit is subordinate to another organization. All these types of units need to be analyzed. The end result of the functioning of this system is the implementation of such a managerial influence on its structure, which will provide maximum effect of the adaptation of the combined system of technical support of automobile and armored vehicles fleets of the units of the State Border Guard Service of Ukraine. Thus, successful resolution of the tasks of information support of technical support of automobile and armored vehicles fleets of the units of the State Border Guard Service of Ukraine requires formalization of the functioning of certain technical support units. The study simulates this process. The technical support unit is presented as a mass service system with an extraordinary inbound request flow and a limited service queue. As a result, a number of dependencies were obtained that allow forecasting of the possibilities of separate technical support departments of technical parks and use of the obtained values in the process of implementation of the information support of technical support of such parks.*
Keywords: *technical support system, technical support unit, model, mass service system, efficiency.*

Вступ

Аналіз стану функціювання системи технічної підтримки парків автомобільної та бронетанкової техніки органів Державної прикордонної служби України [1; 2] показав, що однією із основних складових такої системи є органи технічної підтримки, які безпосередньо забезпечують здійснення якісних і своєчасних технічних впливів на машини [2] з метою відновлення їх постійної готовності до застосування за призначенням. Під поняттям орган технічної підтримки парку автомобільної та бронетанкової техніки у дослідженні розуміється – окремий структурний підрозділ органу Державної прикордонної служби, оснащений необхідним парковим устаткованням [3] або підприємство чи пункт сервісної мережі тощо. Визначено, що основним завданням інформаційного забезпечення технічної підтримки є визначення потреб парків машин у таких впливах та оцінка можливостей відповідних органів технічної підтримки [1] у їх задоволенні. Таким чином, існує гостра потреба у моделюванні процесів функціювання цих органів незалежно від того чи це «внутрішній» орган, який перебуває у безпосередньому підпорядкуванні Державній прикордонній службі, чи «зовнішній», наприклад, пункт сервісної мережі, який підпорядкований іншій структурі, наприклад, заводу виробнику чи постачальнику машин. Отже, досягнення кінцевої мети системи технічної підтримки парків автомобільної та бронетанкової техніки полягає у забезпеченні їхньої постійної готовності до застосування за призначенням та вимагає безперервного, якісного та своєчасного визна-

чення потреб у технічних впливах на зразки та відповідного прогнозування можливостей органів технічної підтримки, які розташовані у межах відповідальності окремого органу Державної прикордонної служби України, у задоволенні цих потреб. Кінцевим результатом інформаційного забезпечення технічної підтримки є здійснення такого управлінського впливу на структуру системи, за якого буде забезпечено максимальний ефект від адаптації комбінованої системи технічної підтримки парків, що визначена в роботі [1], до зовнішніх та внутрішніх умов функціювання органу Державної прикордонної служби.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями моделювання діяльності авторемонтних організацій переймалися такі науковці як С. Медью, В. М. Власов, С. В. Нікульшин, Р. Г. Хабібуллін, Х. М. Тахтамишев та інші. Не претендуючи на повноту аналізу, розглянемо роботи [4–8]. Типовим недоліком моделей, представлених в роботах [6–9], є їх непридатність враховувати вплив групових заявок на процес функціювання авторемонтної організації. Наявність зазначеного недоліку не дає змоги отримати корисну модель, яка б відображала істотні для цілей моделювання параметри і властивості досліджуваного процесу.

Мета статті. Побудувати модель функціювання органу технічної підтримки парку автомобільної та бронетанкової техніки.

Основна частина

Основним призначенням органу технічної підтримки є здійснення своєчасних та якісних технічних впливів на машину (зразок) або групу машин (групу зразків), які потребують відновлення їх готовності до застосування за призначенням. Таким чином, у найпростішому разі, модель функціювання такого органу достатньо точно може бути описана за допомогою інструментів теорії масового обслуговування, оскільки сам орган технічної підтримки парку – деяка система, яка складається з таких елементів: канал або канали обслуговування (пост або пости технічного обслуговування і ремонту, які можуть бути розгорнуті окремим органом технічної підтримки), вхідний потік запитів на обслуговування, що надходять до органу технічної підтримки у певні випадкові моменти часу, вихідний потік обслуговувань та, відповідно, черга, яка утворюється у результаті невідповідності між вхідним та вихідним потоками. Джерелом виникнення вхідного потоку запитів, у даному випадку, є парк автомобільної та бронетанкової техніки конкретного органу Державної прикордонної служби, у складі якого одночасно перебувають різні за типом, маркою та віком машини, які постійно використовуються за призначенням. Кожен орган технічної підтримки утворюватиме окрему підсистему у системі технічної підтримки парку, вхідний потік запитів на обслуговування для якої формуватиме підсистема інформаційного забезпечення технічної підтримки, що здійснюватиме ранжування відмов машин та, відповідно, впливів за рівнем їх вагомості. Крім того, інформаційне забезпечення технічної підтримки передбачатиме постійний моніторинг функціювання кожного окремого органу технічної підтримки та побудову, на основі отриманих даних, оптимальних планів технічного обслуговування та ремонту машин і обладнання з урахуванням виробничих можливостей кожного із органів технічної підтримки. Таким чином, парк автомобільної та бронетанкової техніки органу Державної прикордонної служби є нескінченним джерелом вхідних запитів.

Відповідно запити від парку машин до органу технічної підтримки прибувають у деякі моменти часу $t_0<t_1<...<t_k...$ з відповідними їм інтервалами часу $\xi_k=t_k-t_{k-1}$, (k>1), де k – загальна кількість вхідних запитів. Також класичний підхід до опису систем масового обслуговування передбачає, що інтервали часу утворюють послідовність незалежних та однаково розподілених величин з деякою функцією розподілу $A(t)=P\{\xi_k<t\}$. Однак, процес функціювання органу технічної підтримки пов'язаний з надходженням груп запитів із заздалегідь невідомим кількісним складом даних груп у випадкові моменти часу. Такий потік запитів називається неординарним, відповідно виникає потреба здійснення опису інтенсивності цього потоку (λ), оскільки класичний підхід до опису систем масового обслуговування передбачає опис стаціонарних пуассонівських потоків. Загалом кожна із груп запитів може містити певну кількість запитів, що потребують окремих каналів обслуговування. Час, протягом якого такі канали будуть зайняті, відповідатиме продуктивності кожного із зайнятих каналів обслуговування та у середньому буде рівним $1/\mu$.

Нині оцінку ймовірностей станів системи масового обслуговування із неординарним вхідним потоком запитів здійснюють за допомогою чисельних методів із врахуванням конкретної структури кожного із потоків. Дослідження саме такої системи здійснено у роботі [9], проте автор не здійснив пошук фінальних імовірностей.

Приймемо, що у вхідному потоці запитів існує деяка група запитів, яка містить k запитів, що надійшли у систему одночасно у момент t_i. Таку групу запитів назвемо заявкою на обслуговування органом технічної підтримки парку автомобільної та бронетанкової техніки. Максимально можлива кількість запитів у одній заявці відповідатиме деякій величині L, причому $1 \le k \le L$. Тобто до органу технічної підтримки, наприклад, для обслуговування може одночасно прибути лише стільки зразків, скільки постів технічного обслуговування має даний пункт сервісної мережі.

Визначити скільки запитів містить кожна із груп не можливо, оскільки орган технічної підтримки може здійснювати технічні впливи не лише на зразках, які перебувають на озброєнні конкретного підрозділу чи органу охорони кордону. Особливо це стосується пунктів сервісних мереж, визначених заводом виробників окремих зразків або їх постачальником. Тому кількість запитів у одній заявці на обслуговування (i) вважатимемо випадковою величиною, а a_i – ймовірністю надходження заявки, яка містить i-ту кількість запитів. Незміщеною оцінкою генеральної сукупності таких заявок буде математичне очікування кількості запитів у одній заявці:

$$M_{вим.з} = \sum_{i=1}^{L} i \cdot a_i, \qquad i=1, 2,...,L. \qquad (1)$$

де $M_{вим.з}$ – математичне очікування кількості запитів у одній заявці.

Отже, частота надходження заявок у систему з неординарним вхідним потоком обслуговувань буде відрізнятись від частоти надходження заявок у систему з ординарним вхідним потоком та буде меншою. Оскільки передбачається надходження у систему декількох запитів одночасно. Тому під інтенсивністю неординарного вхідного потоку у систему (λ) необхідно розуміти середню кількість заявок, що надходять до системи за одиницю часу. Також приймемо, що парціальним потоком заявок з параметром λ є частина вхідного неординарного потоку запитів, яка охоплює потік заявок, що містять у собі рівно i запитів. Тоді загальна кількість заявок N_3 протягом деякого періоду часу $T_{спост}$ буде рівною:

$$N_3 = \sum_{i=1}^{L} N_i$$

де N_i – кількість заявок, які містять i запитів.

Тоді ймовірність надходження заявки, що містить i запитів буде дорівнювати:

$$a_i = \frac{N_i}{N_3}$$

Відповідно інтенсивність потоку заявок λ неординарного вхідного потоку у систему та відповідна інтенсивність потоку заявок, які містять i запитів λ_i будуть:

$$\lambda = \frac{N_3}{T_{спост}} \qquad \lambda = \lambda \cdot a_i$$

Між зазначеними характеристиками неординарного вхідного потоку заявок виникають такі взаємозв'язки:

$$M_{вим.з} = \sum_{i=1}^{L} i \cdot a_i, \qquad \lambda = \frac{I}{M_{вим.з}} \qquad \lambda_i = \lambda \cdot a_i$$

де I – частота надходження груп вимог:

$$I = \frac{N_{вим}}{T_{спост}}$$

де $N_{вим}$ – загальна кількість запитів, яка надійшла за період часу $T_{спост}$.

Отже, процес функціювання органу технічної підтримки парку автомобільної та бронетанкової техніки доцільно формалізувати як багатоканальну систему масового обслуговування ($M_L/M/n/m$) з неординарним вхідним потоком та обмежено чергою, яка має m місць для очікування. Вхідний потік характеризується надходженням груп запитів. До складу системи входить n однотипних каналів обслуговування. Кожен із запитів обслуговується окремим каналом. Тоді максимальна кількість заявок у одній групі відповідатиме нерівності:

$$L \le (n+m)$$

Загальна кількість запитів, яка може перебувати у системі $\{k\}, k=1,2,..., (n+m-1)$. Якщо кількість запитів, які одночасно перебувають у системі перевищує кількість каналів обслуговування, то n запитів буде обслуговуватись, а решта перебуватиме у черзі. Середній час перебування у черзі позначимо як $t_{черг}$. У випадку, коли усі місця очікування у черзі зайняті, то запит, який надходить до системи отримує відмову та полишає систему без обслуговування. Тобто, якщо загальна кількість запитів, які перебувають у системі $k \ge n$, то n запитів будуть обслуговуватись, а інші займуть відповідне місце у черзі. До того ж, якщо у систему одночасно находить декілька заявок, то $k = \sum_{x=1}^{N_i} i_x$. Відповідно, якщо $k \ge (n+m)$, то така заявка не буде сприйнята системою та полишить її без обслуговування. У разі, коли заявка полишає систему масового обслуговування, яка описує процес функціювання одного з органів технічної підтримки, вона повертається до підсистеми інформаційного забезпечення технічної підтримки, яка на основі аналізу причин відмови корегує плани обслуговування та передає таку заявку до іншого органу

технічної підтримки, здатного її сприйняти. Тоді стани системи, у яких здійснюється обслуговування $k \le n$ запитів позначимо як S_k $(0 \le k \le n)$. Загальну кількість запитів, які перебувають у черзі, позначимо як γ, стани системи, які характеризують запити у черзі позначимо як $S_{n+\gamma}$ $(1 \le \gamma \le m)$.

Отже, у разі надходження заявки у складі якої перебуває $i>1$ запитів, здійснюється підключення додаткових каналів обслуговування, а у разі заповнення усіх каналів запит займає місце у черзі. За надходження великої кількості запитів у одній заявці здійснюється різкий зріст кількості станів системи $(k+i-1)$. У разі, коли на момент надходження заявки усі канали обслуговування були вільні $(k=0)$, то зріст кількості станів відбудеться на величну $(i-1)$ за умови, якщо у системі на момент часу t_k є достатня кількість вільних каналів обслуговування та/або місць у черзі. У випадку, коли відсутні вільні канали та місця у черзі, система переходить у стан S_{n+m}, за якого відповідні запити або частина запитів однієї заявки отримують відмову від обслуговування та полищають систему.

У процесі формування інтенсивностей переходів справа наліво врахуємо кількість зайнятих каналів у кожному стані. Якщо зайнятий обслуговуванням один канал (стан S_1), то інтенсивність звільнення каналу (переходу зі стану S_1 у стан S_0) збігається з продуктивністю μ одного каналу, якщо зайняті обслуговуванням усі n каналів (стан S_n), то інтенсивність звільнення каналу та переходу у попередній (S_{n-1}) стан буде рівна $n\mu$ – сумарній продуктивності n зайнятих каналів. Стан S_{n+1} відповідає стану системи, у якому усі канали обслуговування зайняті та у черзі на обслуговування перебуває один запит. Інтенсивність переходу у стан S_n відповідатиме сумарній продуктивності усіх каналів обслуговування $n\mu$. Та відповідно стан $S_{n+\gamma}$ – це стан системи, за якого усі n каналів обслуговування та γ місць у черзі заняті. Перехід системи масового обслуговування у попередній стан $S_{n+\gamma-1}$ буде залежати від сумарної продуктивності усіх каналів обслуговування $n\mu$.

Із початком надходження першої заявки у систему відбувається заповнення відповідної кількості каналів обслуговування, яка відповідає кількості запитів i у заявці. Із заповненням каналів обслуговування у системі перебуває $k \le n$ запитів. У момент часу, коли загальна кількість запитів у системі відповідатиме кількості каналів обслуговування $k=n$ система перейде у стан S_n. Відповідно сумарна інтенсивність вихідного потоку у кожному зі станів системи відповідатиме сумарній продуктивності зайнятих каналів обслуговування $k\mu$. Оскільки вважається, що продуктивність усіх каналів обслуговування рівна, то перехід від одного з будь-яких станів системи у другий відбуватиметься покроково, відповідно загальна кількість таких кроків є деякою скінченною величиною. Отже, встановлення стаціонарного режиму функціювання системи буде можливим за умови встановлення постійних інтенсивностей переходів між станами системи. Тому необхідно здійснити пошук аналітичних виразів для визначення фінальних ймовірностей $P_k (0 \le k \le n)$ між відповідними станами системи S_k. Аналіз процесу функціювання органу технічної підтримки парку автомобільної та бронетанкової техніки показав, що пошук аналітичних виразів для фінальних ймовірностей доцільно здійснювати за виразами близькими до формул Ерланга:

$$P_k = \frac{P_0^k}{k!} P_0 f_k \qquad 0 \le k \le n \qquad (2)$$

У виразі (2) функція неординарності вхідного потоку заявок повинна максимально точно відображати особливості його структури. У випадку виродження вхідного потоку заявок усі функції неординарності f_k мають отримати значення одиниці, відповідно вирази фінальних ймовірностей набудуть вигляду, який відповідатиме формулам Ерланга. Така поведінка функцій f_k підтверджуватиме коректність обраного методу моделювання. Для подальшого дослідження уведемо позначення коефіцієнтів завантаження системи окремими заявками або їх частинами ρ_x, $(0 \le x \le L)$:

$$\rho_i = \begin{cases} \frac{1}{\mu} \sum_{j=1+i}^{L} \lambda_j & \text{за умови} \quad 0 \le i \le L \\ 0 & \text{за умови} \quad i \ge L \end{cases} \qquad (3)$$

Скористаємося правилом балансу потоків переходів [10] та складемо рівняння балансу моделі, отримаємо:

$$\left.\begin{aligned} & 1\mu P_1 = \left(\sum_{i=1}^{L} \lambda_j\right) P_0 \\ & 2\mu P_2 = \left(\sum_{i=1}^{L} \lambda_j\right) P_1 + \left(\sum_{i=2}^{L} \lambda_j\right) P_0 \\ & 3\mu P_3 = \left(\sum_{i=1}^{L} \lambda_j\right) P_2 + \left(\sum_{i=2}^{L} \lambda_j\right) P_1 + \left(\sum_{i=3}^{L} \lambda_j\right) P_0 \\ & \ldots \\ & k\mu P_k = \left(\sum_{i=1}^{L} \lambda_j\right) P_{k-1} + \left(\sum_{i=2}^{L} \lambda_j\right) P_{k-2} + \left(\sum_{i=3}^{L} \lambda_j\right) P_{k-3} + \left(\sum_{i=k}^{L} \lambda_j\right) P_0 \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

Отримані рівняння дають змогу встановити закономірність їхнього формування:

у правій частині кількість доданків збігається з індексом k фінальної ймовірності, розташованої в лівій частині рівності;

індекс фінальної ймовірності в кожному доданку в правій частині рівності зменшується відносно

індексу k на величину (α) номера доданка (у першому доданку – на $\alpha=1$, у другому – на $\alpha=12$ тощо).

Ця ж величина α є нижньою межею суми параметрів парціальних потоків груп вимог ($\Sigma\lambda_i$) для кожної зі згаданих імовірностей. Надалі будемо оперувати цим рівнянням. Розділимо ліву і праву частини *k-го* рівняння системи рівнянь (4) на величину продуктивності μ та приведемо до такого:

$$kP_k = \rho_0 P_{k-1} + \rho_1 P_{k-2} + \rho_2 P_{k-3} + \rho_{k-1} P_0 \quad (5)$$

Нагадаємо, що права частина рівняння (5) «зростає» або навпаки «скорочується» автоматично залежно від значень індексу k.

Здійснивши підстановку виразу (2) у вираз (5) отримаємо:

$$k\frac{P_0^k}{k!}P_0 f_k = \rho_0 \frac{P_0^{k-1}}{(k-1)!}P_0 f_{k-1} + \rho_1 \frac{P_0^{k-2}}{(k-2)!}P_0 f_{k-2} + \ldots + \rho_{k-1} P_0 f_0 \quad (6)$$

Отриманий вираз (6) приведемо до такого:

$$f_k - f_{k-1} + \sum_{i=2}^{k}\left[f_{k-i} \frac{\rho_{i-1}}{\rho_0^i} \prod_{i=1}^{i-1}(k-j) \right] \qquad k=2, \ldots, n$$

Із метою перевірки коректності отриманих виразів визначимо значення функції неординарності вхідного потоку запитів у двох перших станах системи за $k=0$ та $k=1$. Для чого у вираз (2) підставимо початкове значення змінної k, яке відповідає 0, тобто у момент, коли у системі відсутні запити на обслуговування та застосувавши умову нормування розв'яжемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} \sum_{k=0}^{n} P_k = 1 \\ P_k = \frac{P_0^k}{k!} P_0 f_k \quad 0 \le k \le n \end{cases}$$

де $k=0$, тоді:

$$\begin{cases} P_0 - 1 \\ P_0 = \frac{P_0^0}{k!} P_0 f_0 \end{cases} \quad \begin{cases} P_0 = 1 \\ P_0 = P_0 f_0 \end{cases} \quad \begin{cases} P_0 = 1 \\ f_0 = 1 \end{cases}$$

Значення функції f_1 отримаємо за виразом (7) при $k=1$:

$$f_1 = f_{1-1} + \sum_{i=2}^{1}\left[f_{1-i} \frac{\rho_{i-1}}{\rho_0^i} \prod_{i=1}^{i-1}(1-j) \right] = f_0 = 1$$

Отже, обраний метод опису функцій неординарності вхідного потоку запитів у систему можна вважати коректним.

Відповідно вирази фінальних ймовірностей і функцій неординарності вхідного потоку перших n станів системи масового обслуговування ($M_L/M/n/m$) мають такий вигляд:

$$P_k = \frac{P_0^k}{k!} \cdot P_0 \cdot f_0 \quad k=1, \ldots, n \quad f_0 = f_1 = 1 \quad (8)$$

$$f_k = f_{k-1} + \sum_{i=2}^{k}\left[f_{k-i} \frac{\rho_{i-1}}{\rho_0^i} \cdot \prod_{i=1}^{i-1}(k-j) \right] \quad k=2, \ldots, n \quad (9)$$

Розглянемо стани системи, за яких усі n каналів обслуговування зайняті та у черзі на обслуговування перебуває γ запитів. У роботі [9] фінальні ймовірності $P_{n+\gamma}$ станів системи масового обслуговування $S_{n+\gamma}$ $(\gamma>0)$ з найпростішим потоком та очікуванням мають такий вигляд:

$$P_{n+\gamma} = \frac{\rho^n}{n!}\left(\frac{\rho}{n}\right)^{\gamma} P_0 \quad \gamma=1, 2, \ldots, m \quad (10)$$

Із врахуванням неординарності вхідного потоку вираз (10) матиме такий вигляд:

$$P_{n+\gamma} = \frac{\rho_0^n}{n!}\left(\frac{\rho_0}{n}\right)^{\gamma} \cdot P_0 \cdot f_{n+\gamma} \quad \gamma=\overline{1, m} \quad \rho_0 = \frac{1}{\mu}\sum_{j=i+1}^{L}\lambda_j \quad (11)$$

Аналогічно здійснимо пошук значень функцій неординарності вхідного потоку запитів у систему для станів системи, за яких зайняті усі канали обслуговувань. Складемо рівняння балансів переходів для випадків, коли у черзі перебуває 1, 2 та γ запитів відповідно та застосуємо отриманий вираз (3):

$$n\mu P_{n+1} = \left(\sum_{i=1}^{L}\lambda_j\right)P_n + \left(\sum_{i=2}^{L}\lambda_j\right)P_{n-1} + \left(\sum_{i=3}^{L}\lambda_j\right)P_{n-2} + \ldots + \left(\sum_{i=n+1}^{L}\lambda_j\right)P_0 \quad (12)$$

$$n\mu P_{n+2} = \left(\sum_{i=1}^{L}\lambda_j\right)P_{n+1} + \left(\sum_{i=2}^{L}\lambda_j\right)P_n + \left(\sum_{i=3}^{L}\lambda_j\right)P_{n-1} + \ldots + \left(\sum_{i=n+2}^{L}\lambda_j\right)P_0 \quad (13)$$

$$n\mu P_{n+\gamma} = \left(\sum_{i=1}^{L}\lambda_i\right)P_{(n+\gamma)-1} + \left(\sum_{i=2}^{L}\lambda_i\right)P_{(n+\gamma)-2} + \ldots + \left(\sum_{i=\gamma-1}^{L}\lambda_i\right)P_{(n+1)} + \left(\sum_{i=\gamma}^{L}\lambda_i\right)P_{(n+\gamma)-(\gamma-0)} + \left(\sum_{i=\gamma+1}^{L}\lambda_i\right)P_{(n+\gamma)-(\gamma+1)} + \ldots + \left(\sum_{i=\gamma-1}^{L}\lambda_i\right)P_{(n+\gamma)-(n+\gamma)} \quad (14)$$

Аналіз рівнянь (12) – (14) показав, що права частина рівняння (12) відповідає правій частині останньої рівності у системі рівнянь (4). Загальна кількість доданків у рівнянні балансу для кінцевого стану системи Sn+ γ збігається із значенням індексу ймовірності стану, що аналізується $(n+\gamma)$ та відповідає нижній межі суми множника($\sum_{i=n+1}^{L}\lambda_i$) останнього доданку рівняння (14), яка свідчить про покрокове зменшення індексів імовірності на одиницю для кожного з наступних доданків.

Проведемо перетворення рівняння (14) та підставимо у кожен із доданків правої частини отриманий вираз (3). Після чого матимемо:

$$nP_{n+\gamma} = \sum_{j=0}^{\gamma-2}\rho_j P_{(n+\gamma)-1-j} + \sum_{k=0}^{n}\rho_{(\gamma-1)+k} P_{n-k} \qquad 0<\gamma<m$$

Другий доданок у правій частині рівності (15) відповідає отриманому вище виразу для визначення ймовірності станів системи, для яких відсутня черга . У рівняння балансу потоків переходів для стану системи, у якому γ запитів перебуває у черзі, підставимо отримані раніше вирази (11) та (8):

$$n\frac{\rho_0^n}{n!}\left(\frac{\rho_0}{n}\right)\cdot P_0 \cdot f_{n+\gamma} = \sum_{j=0}^{\gamma-2}\rho_j \frac{\rho_0^n}{n!}\left(\frac{\rho_0}{n}\right)^{\gamma-1-j} \cdot P_0 \cdot f_{(n+\gamma)-1-j} + \sum_{k=0}^{n}\rho_{(\gamma-1)+k}\frac{\rho_0^{n-k}}{n-k} \cdot P_0 \cdot f_{n-k} \qquad 0<\gamma\le m$$

Отриманий вираз перетворимо та приведемо до вигляду:

$$\frac{\rho_0^n}{n!}\cdot\frac{\rho_0^\gamma}{n^{\gamma-1}}\cdot f_{n+\gamma}=\sum_{j=0}^{\gamma-2} f_{(n+\gamma)-1-j}\cdot\rho_j\cdot\frac{\rho_0^n}{n!}\cdot\left(\frac{\rho_0}{n}\right)^{\gamma-1-j}+$$

$$+\sum_{j=0}^{\gamma-2} f_{n-k}\cdot\rho_{(\gamma-1)+k}\cdot\frac{\rho_0^{n-k}}{(n-k)!}\qquad 0<\gamma\le m$$

Звідки визначимо $f_{n+\gamma}$:

$$f_{n+\gamma}=\left(\frac{n!}{\rho_0^n}\cdot\frac{n^{\gamma-1}}{\rho_0^\gamma}\right)\left[\cdot f_{n+\gamma}=\sum_{j=0}^{\gamma-2} f_{(n+\gamma)-1-j}\cdot\rho_j\cdot\frac{\rho_0^n}{n!}\cdot\left(\frac{\rho_0}{n}\right)^{\gamma-1-j}+\right.$$

$$\left.+\sum_{j=0}^{\gamma-2} f_{n-k}\cdot\rho_{(\gamma-1)+k}\cdot\frac{\rho_0^{n-k}}{(n-k)!}\right]\qquad 0<\gamma\le m$$

Далі скоротимо подібні співмножники і знайдемо остаточний вираз для функції неординарності $f_{n+\gamma}$:

$$f_{n+\gamma}=f_{(n+\gamma)-1}+\sum_{j=1}^{\gamma-2}\left[f_{(n+\gamma)-1-j}\cdot\frac{\rho_j}{\rho_0^{j+1}}\cdot n^j\right]+\frac{n!}{\rho_0^\gamma}\cdot n^{\gamma-1}\cdot$$

$$\cdot\sum_{k=0}^{n}\left[f_{n-k}\cdot\frac{\rho_{(\gamma-1)+k}}{\rho_0^k\cdot(n-k)!}\cdot n^j\right]\qquad 0<\gamma\le m \qquad (16)$$

Оскільки у випадку, коли кінцеве значення індексу суми менше його початкового значення, то сума цих членів дорівнює нулю, тому що така сума містить рівно нуль доданків. Аналогічне множення дорівнює одиниці. Зазначимо, що в правій частині виразу (16) другий доданок належить до перших n станів системи масового обслуговування, в яких черги немає.

При $\gamma=1$ у правій частині виразу (16) перша сума дорівнює нулю, а у другому доданку результатом множення є одиниця. При $\gamma=2$ в правій частині виразу у першій сумі залишається один доданок (для $j=0$), результат множення у цьому доданку дорівнює одиниці, отримаємо:

$$f_{n+1}=f_n+\frac{n!}{\rho_0^1}\cdot(1)\cdot\sum_{k=0}^{n}\left[f_{n-k}\cdot\frac{\rho_k}{\rho_0^k\cdot(n-k)!}\right]\qquad \gamma=1$$

$$f_{n+2}=f_{n+1}+\frac{n!}{\rho_0^2}\cdot n\cdot\sum_{k=0}^{n}\left[f_{n-k}\cdot\frac{\rho_{k+1}}{\rho_0^k\cdot(n-k)!}\right]\qquad \gamma=2$$

Для пошуку ймовірності P_0 нульового стану скористаємось умовою нормування ймовірностей:

$$\Sigma P_k=1\ \rightarrow\ \sum_{k=0}^{n}\frac{\rho_0^k}{k!}\cdot P_0\cdot f_k+\sum_{\gamma=1}^{m}\frac{\rho_0^n}{n!}\left(\frac{\rho_0}{n}\right)^\gamma\cdot P_0\cdot f_{n+\gamma}=1 \qquad (17)$$

Звідки визначимо P_0:

$$P_0=\left(\Sigma\frac{\rho_0^k}{k!}f_k+\frac{\rho_0^n}{n!}\sum_{\gamma=1}^{m}\left(\frac{\rho_0}{n}\right)^\gamma f_{n+\gamma}\right)^{-1}\qquad (18)$$

Оскільки вхідний потік запитів у систему масового обслуговування, яка досліджується, є неординарним та характеризується одночасним надходженням у систему груп запитів у вигляді заявок, то відмова у обслуговуванні відбуватиметься у випадку, коли заявка, яка надходить до системи, матиме рівно L вимог та у системі уже перебуватимуть на обслуговуванні k запитів. У такому випадку частина запитів у складі однієї заявки гарантовано отримають відмову в обслуговуванні та полишають систему. Відповідно, для подальшого аналізу системи необхідно визначити математичне очікування кількості зайнятих каналів обслуговування системи та її абсолютну пропускну спроможність, які є випадковими величинами для даної системи.

Скориставшись виразом (1) та умовою нормування, вираз (17) визначимо математичне сподівання кількості зайнятих каналів обслуговування у системі:

$$M_{зк}=\sum_{k=0}^{n+\gamma}kP_k=\sum_{k=0}^{m}kP_k+n\sum_{\gamma=1}^{n}P_{n+\gamma}=n\left(1-\sum_{k=0}^{n}P_k\right)$$

Здійснивши перетворення отримаємо:

$$M_{зк}=n-\sum_{k=0}^{n}(n-k)P_k$$

Абсолютну пропускну спроможність системи масового обслуговування, знайдемо припустивши, що кожен із зайнятих каналів обслуговує у середньому однакову кількість запитів за одиницю часу:

$$A=M_{зк}\cdot\mu=\mu\left(n-\sum_{k=0}^{n}(n-k)P_k\right)$$

Ймовірність обслуговування (відносну пропускну спроможність q) визначимо як відношення середньої кількості запитів, які перебувають в обслуговуванні до середньої кількості запитів, що надійшли до системи за одиницю часу:

$$P_{обс}=q=\frac{A}{I}=\frac{1}{\rho}\left(n-\sum_{k=0}^{n}(n-k)P_k\right)$$

Ймовірність відмови знайдемо як ймовірність протилежної події:

$$P_{відм}=1-P_{обс}$$

Визначення ймовірності обслуговування та ймовірності відмови дасть змогу оцінити прогнозовану кількість заявок (груп запитів), які полишатимуть систему масового обслуговування та повертатимуться до підсистеми інформаційного забезпечення технічної підтримки.

Середню довжину черги знайдемо як математичне очікування кількості запитів у черзі:

$$r=\sum_{\gamma=1}^{m}\gamma\cdot P_{n+\gamma}=\frac{\rho_0^n}{n!}\cdot P_0\cdot\sum_{\gamma=1}^{m}\gamma\left(\frac{\rho_0}{n}\right)^\gamma f_{n+\gamma}$$

Середню кількість запитів у системі знайдемо як суму середньої кількості запитів, що обслуговуються, та середньої кількості запитів, що перебувають у черзі:

$$U=M_{зк}=r$$

Середній час очікування у черзі визначимо як:

$$t_{оч}=\sum_{k=0}^{m-1}P_{n+k}\frac{k=1}{n\mu}$$

Середній час обслуговування запиту визначимо як відношення відносної пропускної спроможності системи до середньої продуктивності каналів обслуговування:

$$t_{обс}=\frac{q}{\mu}$$

У такому разі загальний час перебування запиту у системі масового обслуговування:

$$t_{сист}=\frac{1}{}\cdot\left[\sum_{k=0}^{m-1}P_{n+k}9k+1)+nq\right]$$

Висновки

Отже, представлення процесу функціювання органу технічної підтримки парку автомобільної та бронетанкової техніки як системи масового обслуговування із неординарним вхідним потоком запитів та обмеженою чергою на обслуговування надало можливість здійснити оцінку низки параметрів та властивостей процесу функціювання органу. Отримані залежності дають змогу прогнозувати можливості окремих органів технічної підтримки задля задоволення потреб у технічних впливах на зразки, які перебувають на озброєнні органів Державної прикордонної служби України та відповідно здійснювати якісне і своєчасне інформаційне забезпечення системи технічної підтримки парків автомобільної та бронетанкової техніки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Башинський, А. Л., Осташевський, С. А., Букоємський, С. Л. Оцінка стану функціонування системи технічної підтримки парку автобронетанкової техніки // Вісник Хмельницького національного університету. – Серія : Технічні науки. – № 2 (271). – 2019. – С. 49–56.
2. Інструкція з автомобільного та бронетанкового забезпечення в Державній прикордонній службі України : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 09.07.2018 р. № 577. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ ru/z0886-18.
3. Положення про укомплектування автомобільної та бронетанкової техніки індивідуальними комплектами запасних частин, інструменту і приладдя, основними агрегатами оборотного фонду, автомобільними шинами і акумуляторними батареями та забезпечення органів Державної прикордонної служби України парковим устаткуванням : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 10.11.2016 р. № 1092. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1462-16.
4. Madu, C. A. closed Quencintry Maintenance Network with two repair Centers // Journal of the Operational Research Sosiety (OR). – Vol. 39. – № 10. 1998. – P. 959–967.
5. Власов, В. М. Оценка и проектирование организационно-технологического обеспечения производства ТО и ремонта автомобилей : дисс. ... докт. техн. наук. – Москва, 1996. – 363 с.
6. Никульшин, С. В. Совершенствование структуры и организационных форм технологических процессов автосервисных предприятий: дис. … канд.техн. наук: 05.22.10 / УТУ. – Киев. – 1999. – 211 с.
7. Хабибуллин, Р. Г. Основы формирования фирменной системы технического обслуживания и ремонта автомобилей (на примере автомобилей КамАЗ) : автореф. дис. … канд. техн. наук : 05.22.10. – Москва: МАДИ (ТУ), 2000. – 21 с.
8. Тахтамышев, Х. М. Теоретические основы формирования и использования внутрипроизводственной мощности автотранспортных предприятий : дис. … докт. техн. наук. – Киев, 1989. – 429 с.
9. Шахбазов, А. А. Об обслуживании неординарного потока / А. А. Шахбазов, Э. Г. Самандаров / Сб. Кибернетику на службе коммунизму Т. II. М. – Ленинград: Энергия, 1964. – С. 193–212.
10. Литвинов, А. Л. Теорія систем масового обслуговування : навч. посібник / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 141 с.

REFERENCES

1. Bashynskyj, A. L., Ostashevskyj, S. A., Bukoyemskyj, S. L. (2019). Otsinka stanu funktsionuvannya systemy tekhnichnoyi pidtrymky parku avtobronetankovoyi tekhniky. [Assessment of the functioning of the technical assistance system by road]. Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu, Tekhnichni nauky, 2, 271, 49–56.
2. Ministerstvo vnutrishnikh sprav Ukrayiny. (2018). Instruktsiya z avtomobil'noho ta bronetankovoho zabezpechennya v Derzhavniy prykordonniy sluzhbi Ukrayiny : nakaz Ministerstva vnutrishnikh sprav Ukrayiny vid 09.07.2018 r. # 577. [Instruction on automobile and armored support in the State Border Guard Service of Ukraine: Order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine dated 07.09.2018 # 577]. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ ru/z0886-18.
3. Ministerstvo vnutrishnikh sprav Ukrayiny. (2016). Polozhennya pro ukomplektuvannya avtomobil'noyi ta bronetankovoyi tekhniky indyvidual'nymy komplektamy zapasnykh chastyn, instrumentu i pryladdya, osnovnymy ahrehatamy oborotnoho fondu, avtomobil'nymy shynamy i akumulyatornymy batareyamy ta zabezpechennya orhaniv Derzhavnoyi prykordonnoyi sluzhby Ukrayiny parkovym ustatkuvannyam : nakaz Ministerstva vnutrishnikh sprav Ukrayiny vid 10.11.2016 r. # 1092. [Provisions on the provision of automotive and armored vehicles by individual sets of spare parts, tools and accessories, the main aggregates of the working capital, automobile tires and battery and provision of bodies of the State Border Guard Service of Ukraine by park equipment: the order of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine dated 10.11.2016, # 1092.]. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1462-16.
4. Madu, C. (1998). A closed Quencintry Maintenance Network with two repair Centers. Journal of the Operational Research Sosiety (OR), 39, 10, 959–967
5. Vlasov, V. M. (1996). Otsenka i proyektirovaniye organizatsionno-tekhnologicheskogo obespecheniya proizvodstva TO i remonta avtomobiley: PhD. [Evaluation and design of organizational and technological support for the production of maintenance and car repairs : PhD]. Moscow, 363.
6. Nykul'shyn, S. V. (1999). Sovershenstvovaniye struktury i organizatsionnykh form tekhnologicheskikh protsessov avtoservisnykh predpriyatiy: PhD: 05.22.10. [Improving the structure and organizational forms of technological processes of auto service enterprises]. – Kyiv, UTU, 211.
7. Khabybullyn, R. H. (2000). Osnovy formirovaniya firmennoy sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta avtomobiley (na primere avtomobiley KamAZ): Avtoreferat PhD: 05.22.10. [Fundamentals of the formation of a proprietary system of car maintenance and repair (for example, KAMAZ vehicles): abstract PhD]. Moscow, MADY (TU), 21.
8. Takhtamishev, Kh. M. (1989). Teoreticheskiye osnovy formirovaniya i ispol'zovaniya vnutriproizvodstvennoy moshchnosti avtotransportnykh predpriyatiy dissertatsiya PhD. [Theoretical foundations of the formation and use of internal production capacity of motor transport enterprises: thesis Phd]. Kyiv, 429.
9. Shakhbazov, A. A., Samandarov E. H. (1964). Ob obsluzhyvanyy neordynarnoho potoka. [About servicing an extraordinary stream]. Leningrad, Enerhyya, Sb. Kybernetyku na sluzhbe kommunyzmu T. II. M., 193–212.
10. Lytvynov, A. L. (2018). Teoriya system masovoho obsluhovuvannya. [The theory of mass service systems: teach. manual]. Kharkiv, O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Development, 141.

УДК 629.06,544.6

DOI: 10.33868/0365-8392-2019-2-258-31-35

© О. В. Агарков, заступник завідувача відділу сертифікації колісних транспортних засобів;
© К. Я. Шевчук , завідувач відділу сертифікації колісних транспортних засобів;
© Ю. І. Іванина, провідний інженер (ДП «ДержавтотрансНДІпроект»)

© Agarkov Olexander, Deputy Head of Wheeled Vehicle Certification Department;
© Shevchuk Kostyantyn, Head of Wheeled Vehicle Certification Department;
© Ivanyna Yurii, Leading Engineer of Wheeled Vehicle Certification Department (the State Enterprise "The State Road Transport Research Institute")

ДОСВІД КОМПАНІЙ «AVL» ТА «NISSAN» ІЗ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК НА ТОПЕ ЯК РОЗШИРЮВАЧІВ ПРОБІГУ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ

EXPERIENCE OF AVL AND NISSAN COMPANIES IN APPLICATION OF SOFC POWER PLANTS AS RANGE EXTENDERS FOR ELECTRIC LIGHT VEHICLES

Анотація. *Раніше ми розглядали перспективність використання енергетичних систем на базі твердооксидних паливних елементів (ТОПЕ) як допоміжних силових установок для вантажного автомобільного транспорту: були розглянуті американський та європейський досвіди. Високий рівень очікувань від даної технології був показаний з описом економічних та технічних даних. У цій роботі розглядається перший світовий досвід з використання енергетичних установок на ТОПЕ в якості розширювача пробігу для електричних легкових автомобілів. Відповідна робота була проведена колективом виконавців австрійської компанії «AVL» та компанії «Nissan». Описаний легковий транспортний засіб був розроблений та створений для демонстрації під час літніх Олімпійських ігор в 2016 році в Ріо-де-Жанейро (Бразилія). Біо-етанол, вироблений із природніх джерел, був використаний як паливо для енергетичної установки на ТОПЕ. Створений транспортний засіб мав літій-іонний акумулятор, який використовувався як основне джерело енергії, а енергоустановка на ТОПЕ з потужністю 5 кВт використовувалась для збільшення пробігу транспортного засобу завдяки заряду батареї під час руху для компенсації її розряду під час руху автомобіля дорогою. Цей легковий транспортний засіб пройшов випробування в дорожніх умовах. Пробіг при використанні тільки літій-іонного акумулятора був зафіксований на рівні 120 км, а додаткове використання енергетичної установки на ТОПЕ дало змогу збільшити це значення до 600 км – приблизно в 5 разів. Було показано, що час запуску енергоустановки на ТОПЕ становить біля 40 хвилин, що підходить для даного використання, оскільки енергоустановки на ТОПЕ не є основним джерелом енергії, транспортний засіб може починати рух до запуску системи на ТОПЕ за рахунок енергії акумуляторів. Ці дані вочевидь обґрунтовують значні переваги застосування системи з акумулятором та розширювачем пробігу на ТОПЕ для легкового транспорту.*
Ключові слова: *автомобільний транспорт; легковий автомобіль; твердооксидні паливні елементи; ТОПЕ; енергетична установка; розширювач пробігу; електричний автомобіль.*

Аннотация. *Ранее мы рассматривали перспективность использования энергетических систем на твердооксидных топливных элементах (ТОТЭ) в качестве вспомогательных силовых установок для грузового автомобильного транспорта: были рассмотрены американский и европейский опыт. Высокий уровень ожиданий от данной технологии был показан с описанием экономических и технических данных. В этой работе рассматривается первый мировой опыт использования энергетических установок на ТОТЭ в качестве расширителя пробега для электрических легковых автомобилей. Соответствующая работа была проведена коллективом исполнителей австрийской компании «AVL» и компании «Nissan». Описанное легковое транспортное средство было разработано и создано для демонстрации во время летних Олимпийских игр в 2016 году в Рио-де-Жанейро (Бразилия). Био-этанол, произведенный из природных источников, был использован в качестве топлива для энергоустановки на ТОТЭ. Созданное транспортное средство было оборудовано литий-ионным аккумулятором, используемом в качестве основного источника энергии, а энергоустановка на ТОТЭ с мощностью 5 кВт применялась в качестве расширителя пробега для увеличения пробега транспортного средства методом подзарядки батареи во время движения для компенсации ее разряда по причине движения автомобиля по дороге. Это легковое транспортное средство было испытано в дорожных условиях. Пробег при использовании только литий-ионного аккумулятора был измерен на уровне 120 км, в то время как использование энергоустановки на ТОТЭ позволило увеличить это значение до 600 км – примерно в 5 раз. Было показано, что время запуска энергоустановки на ТОТЭ составляет около 40 минут, что подходит для данного применения, поскольку энергоустановка на ТОТЭ не является основным источником энергии, транспортное средство может начинать движение до запуска системы на ТОТЭ за счет энергии аккумуляторов. Эти данные очевидно обосновывают сильные преимущества введения системы с аккумулятором и расширителем пробега на ТОТЭ для легкового транспорта.*
Ключевые слова: *автомобильный транспорт; легковой автомобиль; твердооксидные топливные элементы; ТОТЭ; энергетическая установка; расширитель пробега; электрический автомобиль.*

Abstract. *In previous manuscripts we considered perspective of application of power plants based on solid oxide fuel cells (SOFC) as auxiliary power units for heavy truck automobile transport: we considered USA and European experience. High level of this technology promises was shown with description of economical and technical data. In current paper we consider the first world experience of SOFC power plant application as a range extender for electrical*

cars. This project was implemented by consortium of Austrian company «AVL» and «Nissan». Described light vehicle was developed and constructed to be demonstrated during summer Olympic games in 2016 in Rio (Brazil). Bio-ethanol manufactured from natural sources was used as a fuel for solid oxide fuel cell power plant. Constructed vehicle was equipped with lithium-ion battery pack as primary power source, solid oxide fuel cell power plant with power output of 5 kW was used as range extender to enlarge the range of vehicle in a way of battery recharge during operation and discharge due to road motion. This light vehicle was tested in road conditions. Range of trip using only lithium-ion battery pack was measured on a level of 120 km, introduction of solid oxide fuel cell power plant gave opportunity to extend this value up to about 600 km – in 5 times. Startup time of SOFC power plant described in this work was showed on level of about 40 min which is good enough for this application as solid oxide fuel cell power plant is not a primary power source and vehicle can start motion before start of SOFC system using batteries energy. These data obviously show high advantages of introduction of such system of battery pack with solid oxide fuel cell range extender in light vehicles.
***Keywords**: automobile transport; car; solid oxide fuel cells; SOFC; power plant; range extender; electrical car.*

Вступ

У попередніх роботах [1, 2] було докладно розглянуто переваги та недоліки технології твердооксидних паливних елементів [3–5]. Твердооксидні паливні елементи (далі – ТОПЕ) – це одна з найбільш перспективних технологій виробітку електричної та теплової енергії з хімічної енергії окислення палива. Основні її переваги:

- високий коефіцієнт корисної дії (ККД), що становить до 60 % під час використання електричної енергії, до 90 % – електричної та теплової енергії разом і до 70 % – електричної енергії для гібридних систем із газовими турбінами;
- низький рівень шкідливих викидів, бо реальні показники NOx та CO в 100–150 разів менші за допустимі значення, що вказані в екологічних стандартах Євро-5 та Tier-4 (застосовується для дизельних двигунів транспортних засобів, які використовуються поза автомобільними дорогами);
- модульність конструкції, тобто можливості створювати системи довільної потужності з однотипних елементів;
- безшумності робочого процесу за відсутності рухомих частин. Крім того, відсутність рухомих частин в системах дає змогу значно підвищити показники щодо ресурсу роботи та міжсервісного інтервалу (наприклад, дизельний генератор потребує регулярної заміни моторного масла раз на 300–500 годин роботи).

Незважаючи на всі зазначені вище переваги цієї технології, ТОПЕ до сьогодні не вийшли на широкий ринок. Основна причина – висока вартість технологічних рішень, потрібних спеціальних матеріалів і комплектуючих. Це пов'язано з високою робочою температурою процесу, необхідною для забезпечення високої аніонної провідності твердого електроліту та високої електрохімічної активності електродів. Основний спосіб зниження вартості технологічних рішень для застосування нових технологій – польові тестування систем з отриманням необхідної інформації та досвіду для подальшого вдосконалення технології.

У цій статті розглядається досить цікавий напрям використання систем генерації електричної енергії на базі технології ТОПЕ – розширювачі пробігу для електричних легкових автомобілів. Дану роботу виконав консорціум з австрійської інжинірингової компанії «AVL» та японської автомобільної компанії «Nissan».

Основана частина

Використання енергетичної системи на ТОПЕ як розширювача пробігу для легкових автомобілів марки «Nissan»

Австрійська компанія «AVL» у 2017 році відкрила новий випробувальний центр із тестування паливних енергетичних елементів (базових елементів і готових систем), оснащений необхідною інфраструктурою для розробки, створення та тестування як одиничних паливних елементів, так і збірок паливних елементів, інших компонентів енергетичних установок, а також закінчених рішень – енергетичних систем на паливних елементах для розширення пробігу електричних автомобілів [6], включаючи кліматичну камеру, віртуальну електронну систему для тестування автомобілів та інші системи для тестування.

Компанія розробляє енергетичні системи для автомобілів на базі двох головних технологій виробітку електричної енергії – системи на ТОПЕ та паливних елементах із протонно-обмінною мембраною (далі – ПЕПОМ). Порівняння основних переваг та недоліків енергетичних систем, побудованих із використанням цих типів паливних елементів, наведено в *табл. 1*.

Автомобільна компанія «Nissan» [7] проводить роботи в галузі створення інноваційних електричних автомобілів, наприклад LEAF, e-NV200 та e-Power.

У 2016 році консорціум цих двох компаній розробив і випустив перший у світі легковий автомобіль із розширювачем пробігу на базі ТОПЕ [8, 9]. Зона відповідальності розробників команди «Nissan» – автомобіль загалом, розробники «AVL» займалися розробкою розширювача пробігу на базі технології ТОПЕ, а також інтеграцією цієї

системи в електричний автомобіль. Як прототип автомобіля був використаний добре протестований Nissan e-NV200. Зображення автомобіля показано на *рис. 1.*

Рис. 1. Автомобіль Nissan з розширювачем пробігу потужністю 5 кВт на ТОПЕ

Автомобіль з розширювачем пробігу на ТОПЕ був протестований у Бразилії. Основна причина такого вибору країни для тестування – основне паливо системи, а саме біо-етанол, який в достатньо великій кількості виробляється в цій країні з кукурудзи та цукрового очерету. Розширювач пробігу на ТОПЕ потужністю 5 кВт працює повністю на біо-етанолі. Ця потужність використовується для того, щоб заряджати літій-іонну батарею ємністю 24 кВт*год. Ця батарея використовується для того, щоб виробляти струм для електричного двигуна автомобіля, бо система на ТОПЕ має достатньо великі значення постійного часу, тому не підходить для маневрування потужністю, ідеальним режимом для такої енергетичної установки є вироблення електричної енергії з постійною потужністю.

У матеріалах компанії «AVL» зазначено, що ККД системи на ТОПЕ становить 40 % для роботи на дизельному паливі та 55 % для роботи на етанолі. Використання рідких паливних сумішей, а не водню, який можна використовувати тільки у вигляді стисненого до 300–700 атмосфер газу, дає змогу суттєво збільшити щільність енергії у перерахунку на літр баку з паливом. Зображення автомобіля під час тестування потужності за різних робочих умов показані на *рис. 2.*

Рис. 2. Автомобіль із розширювачем пробігу під час тестування за різних робочих умов

Під час проведення тестування та випробувань енергетична система на ТОПЕ була змонтована в задньому багажному відділенні транспортного засобу. Однак відсутність рухомих частин та модульність самої конструкції дає змогу інших рішень, що не призведуть до зменшення корисного об'єму автомобіля загалом під час проектування. Інтеграція енергетичної системи на ТОПЕ до конструкції серійного автомобіля показано на *рис. 3.*

Таблиця 1

Порівняння основних переваг та недоліків енергетичних систем, побудованих з використанням ТОПЕ та ПЕПОМ

	Твердооксидні паливні елементи (ТОПЕ)	**Паливні елементи з протонно-обмінною мембраною (ПЕПОМ)**
Використання	Розширювач пробігу / зарядна система для батареї	Основна енергетична система
Паливо	Різноманітне вуглеводневе паливо, водень	Чистий водень
Запуск	Повільний	Швидкий
Динаміка маневрування потужності	Повільна	Швидка
Енергетична ємність (Вт*год / кг, Вт*год / л)	Висока, але нижча, ніж для ПЕПОМ	Висока
Щільність палива	Висока	Низька

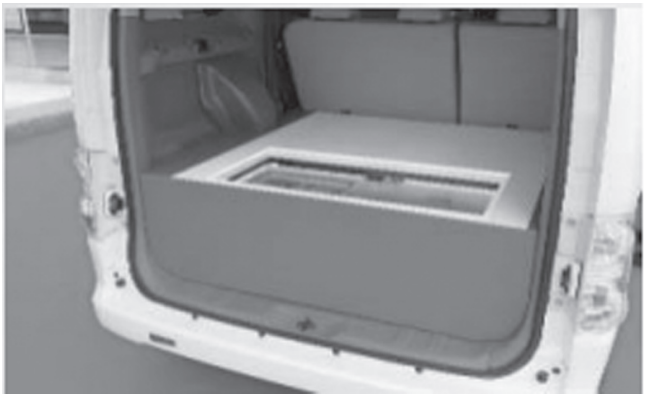


Рис. 3. Інтеграція системи на ТОПЕ до конструкції автомобіля Nissan e-NV200

Реальний пробіг автомобіля з використанням розширювача пробігу на повній заправці біо-етанолом або суміші біо-етанолу та води складає майже 600 км, при цьому пробіг без використання розширювача пробігу тільки за рахунок повністю зарядженої літій-іонної батареї становить лише 120 км. Варто зазначити, що значення відстані пробігу на рівні 600 км є більш доречним для традиційних бензинових або дизельних автомобілів, а не для електричних. Так, компанія «Tesla Motors» анонсує саме таке значення для свого продукту Model 3 [10]. Однак це значення не є типовим для ринку електроавтомобілів. Адже використання розширювача пробігу на ТОПЕ дає змогу нівелювати головний недолік електричних автомобілів – малий запас ходу. Також використання такої перспективної схеми вироблення енергії на борту автомобіля дає змогу зняти повну залежність автомобіля від електричної мережі – інфраструктура заправок біо-етанолом на сьогодні більш розвинена у Бразилії. Для інших країн такий досвід також є більш ніж доречним, оскільки ТОПЕ дають змогу працювати з різними видами палива залежно від їх доступності. Буде доречним зазначити, що об'єм баку з біо-етанолом становить тільки 30 л. Навіть такої малої ємності достатньо для того, щоб запас ходу автомобіля був 600 км саме завдяки високому значенню ККД систем на ТОПЕ.

Основні вузли енергетичної установки на ТОПЕ розробки австрійської компанії «AVL» показані на *рис. 4.*

Основний вузол системи – збірка паливних елементів (stack module). Вузол підготовки палива (gas processing unit) дає змогу отримувати сингаз (суміш водню H2 та монооксиду вуглецю CO) із стартового палива – етанолу чи дизельного палива. Отриманий сингаз після цього використовується як безпосереднє паливних елементів. Стартова горілка (start burner) потрібна для стартового розігріву системи – у ній паливо просто згоряє з виділенням теплової енергії. Повітряний насос (air blower) застосовується для подачі в збірку паливних елементів повітря, яке використовується як окисник. Спеціальний допоміжний насос (recycle blower) слугує для того, щоб повернути залишки неспрацьованого палива, що не прореагувало в збірці, на повторне окислення – такий прийом дає змогу додатково збільшити ККД системи. Теплообмінна система (heat exchanger) дає змогу використовувати теплову енергію вихідних газів для попереднього підігріву вхідних газових сумішей.

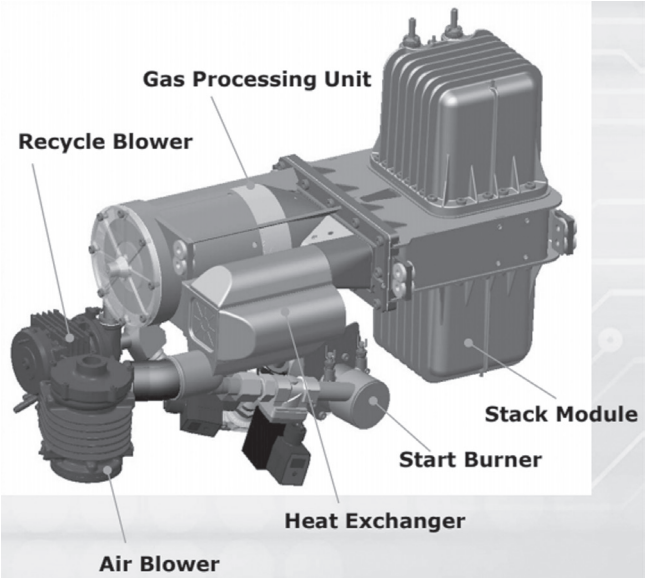


Рис. 4. Основні вузли енергетичної установки на ТОПЕ розробки компанії «AVL»

Висновки

Розглянутий досвід є, безумовно, надзвичайно доречним і для України. Використання розширювачів пробігу дає змогу зберегти головну перевагу електричних автомобілів – екологічність і незалежність від вуглеводневих видів палива, а також частково або повністю зняти головний недолік електричних автомобілів – недостатній запас ходу під час руху за допомогою енергії, що попередньо накопичена в тяговій акумуляторній батареї.

Розширювач пробігу на ТОПЕ суттєво збільшує запас ходу (від 120 км до 600 км, на прикладі розглянутого автомобіля Nissan e-NV200), а також зберігає екологічність розробки завдяки відповідній особливості технології ТОПЕ – єдиними викидами є вода та діоксид вуглецю, неповні оксиди вуглецю та азоту не створюються підчас роботи енергетичного пристрою.

ЛІТЕРАТУРА

1. Агарков, О. В., Шевчук, К. Я. Перспективи використання твердооксидних паливних елементів в автомобільному транспорті // Автошляховик України. – 2015. – № 4 (246). – С. 23.
2. Агарков, О. В., Шевчук, К. Я., Іванина, Ю. І. Європейська програма розробки допоміжних силових установок для автомобільного транспорту на базі твердооксидних паливних елементів // Автошляховик України. – 2017. – № 3 (251). – С. 2, 2017
3. Burmistrov, I. N., Agarkov, D. A., Korovkin, E. V. and other. Fabrication of membrane-electrode assemblies for solid-oxide fuel cells by joint sintering of electrodes at high temperature // Russian Journal of Electrochemistry. – 2017. – Vol. 53, No. 8. – P. 873–879.
4. Burmistrov, I. N., Agarkov, D. A., Tsybrov, F. M. and other. Preparation of membrane-electrode assemblies of solid oxide fuel cells by co-sintering of electrodes // Russian Journal of Electrochemistry. – 2016. – Vol. 52, No. 7. – P. 669–677.
5. Burmistrov, I. N., Agarkov, D. A., Bredikhin, S. I. and other. Multilayered Electrolyte-Supported SOFC Based on NEVZ-Ceramics Membrane // ECS Transactions. – 2013. – Vol. 57, No 1. – P. 917–923.
6. Large Engines. [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: https://www.avl.com/engineering-solutions-for-large-engines/-/asset_publisher/ gYjUpY19vEA8/content/avl-solid-oxide-fuel-cell-combined-heat-and-power-avl-sofc-chp-?inheritRedirect=false
7. Nissan Motor Corporation. [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: https://www.nissan-global.com/EN/COMPANY/PROFILE/
8. Nissan unveils world's first Solid-Oxide Fuel Cell vehicle. (August 4, 2016). Retrieved from https://nissannews.com/en-US/nissan/usa/releases/nissan-unveils-world-s-first-solid-oxide-fuel-cell-vehicle
9. "Nissan SOFC powered vehicle system runs on bioethanol" // Fuel Cell Bulletin. – 2016, Vol. 7, P. 2–3
10. Tesla Model 3: review. [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: https://www.tesla.com/model3

REFERENCES

1. Aharkov, O. V., Shevchuk, K. Ya. (2015). Perspektyvy vykorystannya tverdooksydnykh palyvnykh elementiv v avtomobil'nomu transporti. [Prospects for the use of solid oxide fuel cells in road transport]. Avtoshlyakhovyk Ukrayiny, 4, 246, 23.
2. Aharkov, O. V., Shevchuk, K. Ya., Ivanyna, Yu. I. (2017). Yevropeys'ka prohrama rozrobky dopomizhnykh sylovykh ustanovok dlya avtomobil'noho transportu na bazi tverdooksydnykh palyvnykh elementiv. [European program of development of auxiliary power plants for road transport on the basis of solid oxide fuel cells]. Avtoshlyakhovyk Ukrayiny, 3, 251, 2.
3. Burmistrov, I. N., Agarkov, D. A., Korovkin, E. V., Yalovenko, D. V. & Bredikhin S. I. (2017). Fabrication of membrane-electrode assemblies for solid-oxide fuel cells by joint sintering of electrodes at high temperature. Russian Journal of Electrochemistry, 53, 8, 873–879.
4. Burmistrov, I. N., Agarkov, D. A., Tsybrov, F. M. & Bredikhin S. I. (2016). Preparation of membrane-electrode assemblies of solid oxide fuel cells by co-sintering of electrodes. Russian Journal of Electrochemistry, 52, 7, 669–677.
5. Burmistrov, I. N., Agarkov, D. A., Bredikhin, S. I., Nepochatov, Yu. K., Tiunova, O. V. & Zadorozhnaya O. Yu. (2013). Multilayered Electrolyte-Supported SOFC Based on NEVZ-Ceramics Membrane. ECS Transactions, 57, 1, 917–923.
6. Large Engines. (2019). Retrieved from https://www.avl.com/engineering-solutions-for-large-engines/-/asset_publisher/gYjUpY19vEA8/content/avl-solid-oxide-fuel-cell-combined-heat-and-power-avl-sofc-chp-?inheritRedirect=false
7 Nissan Motor Corporation. (2019). Retrieved from https://www.nissan-global.com/EN/COMPANY/PROFILE/
8. Nissan unveils world's first Solid-Oxide Fuel Cell vehicle. (August 4, 2016). Retrieved from https://nissannews.com/en-US/nissan/usa/releases/nissan-unveils-world-s-first-solid-oxide-fuel-cell-vehicle
9. Fuel Cell Bulletin. (2016). Nissan SOFC powered vehicle system runs on bioethanol. 7, 2–3.
10. Tesla Model 3: review. (2019). Retrieved from https://www.tesla.com/model3

УДК 621.43.019(035)

DOI: 10.33868/0365-8392-2019-2-258-35-36

© В. В. Мержиєвський, ст. наук. співробітник;
© Ю. О. Пономарьова, перекладач І категорії
(ДП "ДержавтотрансНДІпроект")

© Valentyn Merzhyievskyi, Senior Research Officer;
© Yuliya Ponomarova, Ist Category Translator (the State Enterprise «State Road Transport Research Institute»)

НАВАНТАЖУВАННЯ, НАВАНТАЖЕННЯ, НАВАНТАГА

LOADING, LOAD

In order to improve the national terminology in the industry and simultaneously to coordinate it with international terms, we propose to the Ukrainian motor transport community to take part in compilation of specialized translation dictionary. The magazine «Avtoshlyakhovyk Ukrayiny», as indicated in the No 1 (253) 2018, have opened a new section, «Automotive Industry Dictionary», intended to publish our draft definitions of the most controversial terms in Ukrainian, with comments on their formation and scope and corresponding terms in other languages.
Please, send your remarks and ideas by email indicating «Automotive Industry Dictionary» in the subject line to: ikopanytsya@insat.org.ua.

В українській мові існує можливість (необхідність) розрізняти віддієслівні іменники, що позначають дію (незавершений процес), подію (завершений процес) та результат (наслідок процесу). Засади розрізнення викладено в пункті Г.5 «Деякі особливості утворення термінів в українській мові» додатка Г [1]. Російській мові, під впливом якої довго перебувала українська наукова сфера, не властиве таке розрізнення, через що у фахівців часто виникають проблеми із застосуванням «навколопроцесових» термінів. Розглянемо питання на прикладі термінів «навантажування», «навантаження», «навантага».

Словник української мови подає визначення навантаги як синонім до «навантаження» [2]: «Навантаження… 1. Дія за значенням навантажити, навантажувати… 2. Те, чим хто-, що-небудь навантажується… 5. *спец*. Сукупність сил, що діють на яке-небудь тіло (споруду, механізм, деталь машини і т. ін.)» [3]. За сучасними поглядами [1,

4, 5], значення 1 з наведеного визначення, «дія за значенням навантажувати», має віддієслівний іменник –відповідник недоконаного виду «навантажування», значенню 1, «дія за значенням навантажити» відповідає віддієслівний іменник-відповідник доконаного виду «навантаження», значенням 2 і 5 – віддієслівний іменник для позначення результату – «навантага».

Виходячи з викладеного, пропонуємо такі визначення:

Навантажування – дія (процес) за значенням навантажувати	en fr ru	loading chargement нагружение, нагрузка
Навантаження – дія (завершена) за значенням навантажити	en fr ru	loading chargement нагрузка
Навантага – 1. Те, чим кого-, що-небудь навантажено (може бути навантажено). 2. Сукупність сил, що діють на яке-небудь тіло (споруду, механізм, деталь машини тощо)	en fr ru	load charge нагрузка

Всі три іменники можна зустріти у складі застандартизованих терміносполук. Наприклад, «закон навантажування» [6], «вимикач навантаження» [7], «найбільша допустима навантага» [8]. В новій редакції [10] від 2015 року було враховано зауваги щодо терміну «індекс навантаження» [9] шин і замінено його на «індекс навантаги», тому що в даному випадку йдеться про результат навантаження, а не про процес.

Якщо у сфері стандартизації після набрання чинності [1] спостерігаємо поступ із розрізненням процесових понять, в законодавстві продовжують користуватися за моделлю російської мови одним терміном «навантаження» в усіх випадках, див., наприклад, «часткове навантаження» (п. 23.2 б), 23.9 та ін. – правильне вживання, бо йдеться про завершену дію), «навантаження на… вісь» (п. 22.5 – неправильне вживання, треба «навантага на… вісь», бо йдеться про сукупність сил, що діють на деталь) [11].

Пропонуємо фахівцям ширше користуватися можливістю розрізнення процесових понять для більшої точності та однозначності використовуваних термінів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Термінологічна робота. Засади і правила розроблення стандартів на терміни та визначення понять: ДСТУ 3966:2009. — [Чинний від 2010-07-01]. — Київ: Держспоживстандарт України, 2009. — IV, 30 с. — (Національний стандарт України).
2. Словник української мови: в 11 томах. / За ред. кол. І. К. Білодід та ін. – Т. 5, 1974. – С. 24. – Режим доступу: http://sum.in.ua/s/navantagha.
3. Словник української мови: в 11 томах. / За ред. кол. І. К. Білодід та ін. – Т. 5, 1974. – С. 25. – Режим доступу: http://sum.in.ua/s/navantazhennja.
4. Гінзбург, М. Д. Видове протиставлення віддієслівних іменників на позначення опредметнених процесів у слов'янських мовах // Українська мова. –2011. – № 2. – С. 30. – Режим доступу: http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/42844/03-Ginzburg.pdf?sequence=1.
5. Ребезнюк, І. Пишемо за національними, а не радянськими правилами. – Режим доступу: https://derevoobrobnyk.com/a/20e293e9c008/pyshemo-za-natsionalnymy-a-ne-radjanskymy-pravylamy.
6. Розрахунки та випробування на міцність. Опір втомі. Терміни та визначення : Расчеты и испытания на прочность : ДСТУ 2444-94. – [Чинний від 1995-01-07]. – Київ: Держстандарт України, 1994. – 71 с.
7. Апарати електричні комутаційні. Основні поняття. Терміни та визначення : ДСТУ 2848-94. – [Чинний від 1996-01-01]. – Київ: Держстандарт України, 1994. – 59 с.
8. Ваги та дозатори вагові. Терміни та визначення : ДСТУ 3647-97. – [Чинний від 1999-01-01]. – Київ: Держстандарт України, 1997. – 60 с.
9. Шини пневматичні. Конструкція. Терміни та визначення : ДСТУ 2219-93. – [Чинний від 1994-07-01]. – Київ: Держстандарт України, 1993. – 76 с.
10. Шини пневматичні. Конструкція. Терміни та визначення понять : ДСТУ 2219-2015. – [Чинний від 2016-08-01]. – Київ: Держстандарт України, 2015. – 57 с.
11. Правила дорожнього руху, затверджені постановою Кабінету міністрів України від 10 жовтня 2001 р. № 1306. – Режим доступу: zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-п.

REFERENCES

1. Derzhstandart Ukrayiny. (2009). Terminolohichna robota. Zasady i pravyla rozroblennya standartiv na terminy ta vyznachennya ponyat: DSTU 3966:2009. [Terminology. Principles and working out procedure of standards for terms and definitions: DSTU 3966:2009]. Kyiv, 30.
2. Naukova Dumka (1974). Slovnyk ukrayins'koyi movy [Ukrainian language dictionary]. Kyiv, 5, 24. Retrieved from http://sum.in.ua/s/navantagha.
3. Naukova Dumka (1974). Slovnyk ukrayins'koyi movy [Ukrainian language dictionary]. Kyiv, 5, 25. Retrieved from http://sum.in.ua/s/navantazhennja.
4. Hinzburh, M. D. (2011). Vydove protystavlennya viddiyeslivnykh imennykiv na poznachennya opredmetnenykh protsesiv u slov'yans'kykh movakh [Opposition by verb aspect of verbal nouns designating of the subjectified processes in Slavic languages]. Ukrainian language, 2, 30. Retrieved from http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/42844/03-Ginzburg.pdf?sequence=1.
5. Rebeznyuk, I. (2017). Pyshemo za natsional'nymy, a ne radyans'kymy pravylamy [Let us write with national, not Soviet rules]. Retrieved from https://derevoobrobnyk.com/a/20e293e9c008/pyshemo-za-natsionalnymy-a-ne-radjanskymy-pravylamy.
6. Derzhstandart Ukrayiny. (1994). Rozrakhunky ta vyprobuvannya na mitsnist'. Opir vtomi. Terminy ta vyznachennya: DSTU 2444-94. [Calculations and strength tests. Resistance to fatigue. Terms and definitions: DSTU 2444-94]. Kyiv, 71.
7. Derzhstandart Ukrayiny. (1994). Aparaty elektrychni komutatsiyni. Osnovni ponyattya. Terminy ta vyznachennya: DSTU 2848-94. [Electric switching devices. Basic concepts. Terms and definitions: DSTU 2848-94]. Kyiv, 59.
8. Derzhstandart Ukrayiny. (1997). Vahy ta dozatory vahovi. Terminy ta vyznachennya: DSTU 3647-97. [Weighing scales and dispensers. Terms and definitions: DSTU 3647-97]. Kyiv, 60.
9. Derzhstandart Ukrayiny. (1994). Shyny pnevmatychni. Konstruktsiya. Terminy ta vyznachennya: DSTU 2219-93. [Pneumatic Tires. Construction. Terms and definitions: DSTU 2219-93]. Kyiv, 76.
10. Derzhstandart Ukrayiny. (2015). Shyny pnevmatychni. Konstruktsiya. Terminy ta vyznachennya: DSTU 2219-2015. [Pneumatic Tires. Construction. Terms and definitions of concepts]. Kyiv, 57.
11. Pravyla dorozhnyoho rukhu [Traffic rules], approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers from October 10, 2001 No 1306. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-п.

АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

УДК 656.11, 625.712

DOI: 10.33868/0365-8392-2019-2-258-37-45

© І. А. Могила, канд. техн. наук (ЛКП «Львівавтодор»);
© А. О. Безуглий, канд. екон. наук, в. о. директора (ДП «ДерждорНДІ імені М. П. Шульгіна»)

© Mohyla Ihor, Candidate of Technical Sciences (PhD), (Lviv Municipal Enterprise "Lvivavtodor");
© Bezuhlyy Artem, Candidate of Econimy Sciences (PhD) (the State Enterprise "M. P. Shulgin State Road Research Institute)"

СТАНДАРТИЗАЦІЯ ВИМОГ ДО ПЛАНУВАННЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ВЕЛОСИПЕДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

STANDARDIZATION OF REQUIREMENTS FOR PLANNING AND DESIGNING OF CYCLING INFRASTRUCTURE

Анотація. *Показано основні тенденції та проблеми розвитку велосипедної інфраструктури у містах України, проаналізовано базові принципи її планування та проектування, а також вимоги чинних державних будівельних норм. Наведено передумови розроблення, зміст та основні вимоги проекту ДСТУ xxxx:20xx «Планування та проектування велосипедної інфраструктури».*
Ключові слова: *велосипедний рух, велосипедна інфраструктура, будівельні норми і стандарти.*

Аннотация. *Показаны основные тенденции и проблемы развития велосипедной инфраструктуры в городах Украины, проанализированы базовые принципы ее планирования и проектирования, а также требования действующих государственных строительных норм. Приведены предпосылки разработки, содержание и основные требования проекта ДСТУ xxxx:20xx «Планирование и проектирование велосипедной инфраструктуры».*
Ключевые слова: *велосипедное движение, велосипедная инфраструктура, строительные нормы и стандарты.*

Abstract. *Cycle movement and cycle infrastructure as inherent part of modern city are growing intensively in Ukraine. There are adopted National Transport Strategy on the state level to promote and develop cycle movement. On local level for the same reason more than 15 Ukrainian cities have their own programs or strategies. But based on research results, there is considerable latent demand on cycle movement, which cannot be expressed because of lack of cycling infrastructure, its fragmentation or low design quality.*
In this article basic requirements and principles of planning and design of cycle infrastructure, particularly for cities with progressing cycle movement, are analyzed. There is also shown that requirements of valid state documents and updated building norms provide presence of cycling infrastructure, but these requirements are not enough for high level of its quality.
All outlined is a reason for developing and implementation of new state standard DSTU xxxx:20xx "Planning and designing of cycling infrastructure", project of which has been developed based on better practices of countries with well-grown cycle movement. It has requirements for planning of cycle network, designing of cycle infrastructure on urban streets and roads (included different street types, narrowed sites, public transport stops, yield, signalized and roundabout intersections), highways and rural roads, requirements for fencing poles, restraining bicycle fences, bicycle racks and parking and constructive requirement for pavement. Project of standard contains also more than 40 schemes to help designers and other stakeholders to work with this standard by visualization of its requirements.
Usage of DSTU xxxx:20xx "Planning and designing of cycling infrastructure" during designing of urban streets, highways, rural roadsand spatial development in general will promote development of cycle movement, rising of road safety level, decreasing of traffic volume and negative influence of motorized transport (especially in cities) on environment.
Keywords: *cycling movement, cycling infrastructure, state building guidelines.*

Вступ

Велосипедна інфраструктура є невід'ємним елементом сучасного міста, оскільки вона, забезпечуючи до 20 % пересувань (а в деяких випадках і більше), дає змогу знизити частку поїздок на приватному транспорті і, в результаті, раціональніше перерозподілити обмежений вуличний простір [1]. Виділяють такі переваги велосипедного руху:

- велосипеди не забруднюють довкілля;
- велосипед не потребує багато простору для руху та зберігання;
- велосипед доступний для більшості мешканців;
- їзда на велосипеді підвищує фізичну рухливість населення.

Відповідно до Правил дорожнього руху України, велосипедисти є учасниками дорожнього руху, які керують велосипедом – транспортним

засобом (крім крісел колісних), що приводиться в рух мускульною силою людини, яка знаходиться на ньому [2]. Правила регламентують також основні вимоги до велосипедистів, однак ці вимоги не регламентують усіх аспектів поведінки велосипедистів. Зокрема, у [3] наведено результати аналізу правил дорожнього руху низки країн та запропоновано зміни до чинних в Україні Правил за такими напрямами:

- визначення основних термінів та понять;
- рух велосипедистів смугами для маршрутних транспортних засобів;
- рух велосипедистів проїзною частиною за наявності поруч велосипедної інфраструктури;
- рух велосипедистів тротуарами;
- поворот велосипедистів ліворуч;
- дорожні знаки, розмітка та світлофори, які регулюють рух велосипедистів.

За результатами дослідження [4], на прикладі Харкова, встановлено, що 78 % респондентів хотіли б пересуватись містом велосипедами, однак в понад 45 % випадків не роблять цього через відсутність велосипедних доріжок, а 35 % – через відсутність місць для зберігання велосипедів. Схожі значення латентного попиту на пересування велосипедом на прикладі Харкова подано і в роботі [5] – понад 80 % опитаних користувачів велосипеда хотіли б частіше, ніж в поточній ситуації, використовувати його за наявності велосипедної інфраструктури.

Впродовж останніх десяти років в Україні здійснюються активні заходи, спрямовані на розвиток велосипедної інфраструктури. Зокрема, на місцевому рівні, починаючи з 2009 року низка міст прийняла програми чи інші стратегічні документи з розвитку велосипедної мережі (Біла Церква, Вінниця, Донецьк, Запоріжжя, Івано-Франківськ, Київ, Кривий Ріг, Луцьк, Львів, Миргород, Одеса, Полтава, Рівне, Тернопіль, Харків, Чернівці, Чернігів, Черкаси та інші). Реалізація таких програм стимулює розвиток велосипедного руху. Наприклад, за результатами дослідження велосипедного руху у Львові, у 2009 році за відсутності велосипедної інфраструктури частка поїздок на велосипедах становила 0,3 % від загальної кількості переміщень у місті, а у 2017 році за наявності близько 80 км велосипедних смуг та доріжок – вже 1,3 % [6]. За результатами дослідження 2018 року, порівняно з 2017 роком кількість велосипедистів у Львові зросла на 11,89 % [7].

Окремі ділянки наявної велосипедної інфраструктури є зручними та комфортними для велосипедистів [8], однак часто практичні заходи з планування цієї мережі здійснюються інтуїтивно без належного обґрунтування та методологічної бази. Зокрема, у роботі [9] наведено результати дослідження (опитування) поведінки пішоходів на тротуарах, поруч з якими прокладено велосипедні доріжки. Основною причиною руху пішоходів по велосипедній доріжці є неуважність (46 % порушень). Відсутність велосипедистів як причину зазначили лише 6 % пішоходів, що може свідчити про те, що в переважній більшості пішоходи свідомо не виходять на велосипедну доріжку навіть за низьких значень інтенсивності руху велосипедистів. Проте неуважність, відсутність місця на тротуарі та незадовільний стан покриття тротуару (разом – 70 % порушень) свідчать саме про те, що велосипедна інфраструктура не сприймається пішоходами на підсвідомому рівні або допущено помилки в проектуванні елементів вулиці.

На національному рівні у 2018 році Кабінетом Міністрів України було схвалено Національну транспортну стратегію України на період до 2030 року [10], відповідно до якої в частині, присвяченій велосипедному руху, виділено проблеми відсутності велосипедних доріжок, дієвої підтримки та популяризації велосипедного руху. Серед завдань цієї стратегії є, зокрема, розвиток інфраструктури для руху велосипедів, впровадження економічних та інших заходів стимулювання використання в містах екологічно більш чистих видів транспорту, забезпечення інституціональної підтримки розвитку велосипедного руху, прийняття відповідних нормативно-правових актів щодо його участі у дорожньому русі, розробку стратегії розвитку велосипедного руху, підвищення велосипедної безпеки, яка б ґрунтувалася на прогресивному іноземному досвіді, забезпечення оптимальної взаємодії велосипедного руху з іншими видами транспорту. Окрім цього, на національному рівні у 2018 році надано чинності оновленим редакціям Державних будівельних норм з містопланування та проектування вулиць населених пунктів, якими зокрема передбачено необхідність проектування велосипедної інфраструктури із зазначенням мінімальних нормативних вимог до її елементів.

Отже, можна стверджувати, що велосипедний рух є видом пересування, який активно розвивається в Україні, проте однією з важливих причин, які стримують його розвиток, є відсутність якісної та безпечної велосипедної інфраструктури.

Тому актуальною проблемою є стандартизація вимог до планування та проектування велосипедної інфраструктури, особливо для міст та регіонів із низьким рівнем велосипедного руху та нерозвиненою велосипедною мережею.

Аналіз досліджень та публікацій

Характерними особливостями велосипедного руху є [1, 11]:

1. Велосипед є індивідуальним транспортним засобом, який приводиться в рух за рахунок м'язів людини (в останні роки почали розвиватись інші індивідуальні засоби переміщення, які приводяться в рух малопотужним електродвигуном, однак багато дослідників відносять їх до велосипедів);

2. Рух на велосипеді вимагає від велосипедиста балансування (велосипедист під час руху постійно тримає рівновагу, а завихрення від автомобільних потоків або низька швидкість руху порушують стабільність та вимагають більше простору для руху);

3. Велосипед не має зони деформації (велосипедисти є вразливими, і небезпека травмування внаслідок аварій є очевидною; тому велосипедисти потребують додаткового простору для маневрування в небезпечних ситуаціях);

4. Велосипеди, зазвичай, не мають підвіски, тому велосипедисти потребують рівної поверхні для руху;

5. Велосипеди не мають даху, тому під час негоди ця перевага велосипедного руху стає його недоліком;

6. Велосипедисти є членами суспільства, тому навіть під час руху на велосипедах вони прагнуть їздити парами чи групами, особливо в парі батьки-діти;

7. Велосипедист не є машиною (під час вибору маршруту та під час руху велосипедист прагне мінімізувати фізичне та розумове навантаження).

Зазначені особливості велосипедного руху є основою для базових вимог до велосипедної інфраструктури [1]:

- безпека (велосипедна інфраструктура повинна мінімізувати ризики під час взаємодії велосипедистів з іншими учасниками дорожнього руху, передусім через різницю швидкостей);
- можливість вибору оптимального шляху, прямолінійність (велосипедна інфраструктура повинна забезпечувати можливість велосипедисту обрати найшвидший і найкоротший маршрут);
- цілісність або зв'язність велосипедної мережі (можливість здійснити поїздку велосипедом від початкового до кінцевого пункту маршруту);
- привабливість велосипедного шляху (велосипедна інфраструктури повинна добре інтегруватись в оточення);
- зручність (мінімізація кількості зупинок під час руху на велосипеді, влаштування якісного покриття, мінімізація фізичних зусиль велосипедиста тощо).

На практиці виконання однієї із зазначених вимог потребує заходів, які суперечать іншій (наприклад, найкоротший маршрут часто проходить вздовж магістральних вулиць, що часто знижує його безпеку та привабливість; зупинки велосипедистів на світлофорах підвищують безпеку руху, знижуючи при цьому комфорт тощо). Тому під час планування велосипедної мережі варто враховувати і функційне призначення велосипедних маршрутів (*табл. 1*).

У проектуванні велосипедної інфраструктури виділяють два протилежні підходи:

- відокремлення велосипедної мережі (велосипедна інфраструктура розглядається як окрема мережа з окремими правилами поведінки, нормами і стандартами проектування; базовим в цьому підході є припущення, що відокремлення мережі є необхідним для безпеки та зручності усіх учасників дорожнього руху);
- змішане використання вуличного простору (базовим у цьому підході є припущення, що мережа вулиць і доріг повинні передбачати спільне її використання велосипедами та моторизованим

Таблиця 1

Пріоритети під час проектування велосипедної інфраструктури різного функційного призначення

Пріоритет	Велосипедна мережа для щоденних поїздок	Рекреаційна велосипедна мережа
1	Безпека	Безпека
2	Прямолінійність	Привабливість
3	Зв'язність	Зв'язність
4	Зручність	Зручність
5	Привабливість	Прямолінійність

транспортом; при цьому повинні застосовуватись засоби заспокоєння дорожнього руху).

Однак досвід проектування велосипедної інфраструктури показує, що використання одного з цих підходів не забезпечує створення якісної велосипедної мережі. З одного боку, відокремлення велосипедних доріжок є нереалістичним на всіх вулицях, оскільки це потребує значних інвестицій та достатньо вуличного простору. З другого – змішане використання вуличного простору є невиправданим через інтенсивний та швидкий рух моторизованого транспорту.

Європейська федерація велосипедистів виділяє три групи міст за рівнем розвитку велосипедної мережі та часткою велосипедного транспорту в загальній структурі пересувань. За цією класифікацією міста поділяються на: міста-початківців, міста з велосипедним рухом, що активно розвивається, та міста з розвиненим велосипедним рухом [12]. Для кожної з цих груп передбачаються різні заходи та стратегії. При цьому більшість українських міст належать до міст-початківців з часткою велосипедного руху менше 5 %.

Закономірності використання велосипедного транспорту є унікальними в кожному конкретному місті, однак велосипедний рух, як і будь-який інший процес, може бути формалізованим у вигляді аналітичних чи імітаційних моделей. Однак традиційні методи транспортного планування, які базуються на натурних дослідженнях, можуть бути неприйнятними, оскільки рівень використання велосипедного транспорту в українських містах є досить низьким. Тому на першому етапі розвитку велосипедної мережі необхідно орієнтуватись на потенційний, а не наявний попит на пересування, оскільки відсутність безпечної велосипедної інфраструктури відштовхує потенційних користувачів від вибору такого виду пересування.

Такий підхід пропонується у роботі [5], яка присвячена розробці моделі прогнозування попиту на переміщення велосипедним транспортом у містах з низьким рівнем його використання. Тут показано, що сукупність таких чинників функції корисності поїздки велосипедом як відстань, фізична робота, кількість поворотів та категорія вулиць забезпечує найбільшу кореляцію з фактичним значеннями обсягів велосипедного руху. Окрім цього, у роботі [5] запропоновано методику оцінювання прогнозованої кількості поїздок за результатами натурних досліджень з використанням мобільних та стаціонарних пристроїв. Зважаючи на значний рівень корелювання фактичних та теоретичних значень, ця методика є вкрай ефективною під час удосконалення транспортних моделей міст з низьким рівнем використання велосипедного транспорту, коли традиційні методи фіксування наявних вподобань не працюють.

Отже, для міст та регіонів з низькою часткою велосипедного транспорту в загальній структурі пересувань найбільшої уваги варто приділяти створенню велосипедної інфраструктури з орієнтацією передовсім на безпеку та прямоту. Та в умовах відсутності досвіду проектування велосипедної інфраструктури базовими вимогами стають насамперед вимоги норм і стандартів проектування, дотримання яких, відповідно до Закону України «Про дорожній рух», є обов'язковим під час усіх робіт з нового будівництва, реконструкції і ремонту вулиць та доріг.

Основна частина

Аналіз вимог чинних нормативних документів

Базовим документом, який встановлює вимоги до принципових рішень в документації з просторового планування, є ДБН Б.2.2-12:2018, який набув чинності 01.09.2018 і в якому викладено основні вимоги до проектування мережі вулиць і доріг населених пунктів, мережі громадського транспорту, руху пішоходів та велосипедистів [13]. Зокрема, визначено, що система велосипедного руху доповнює мережу рейкового та нерейкового маршрутного транспорту, а велосипед варто розглядати як індивідуальний транспортних засіб для регулярних транспортних поїздок від місць проживання до місць призначення. Цим же документом визначено, що вздовж вулиць населених пунктів обов'язково необхідно передбачати велосипедні смуги або доріжки, змішаний пішохідно-велосипедний або автомобільно-велосипедний рух.

Розширює та доповнює вимоги зазначеного документа ДБН В.2.3-5:2018 [14]. Він фактично є основним документом, що встановлює вимоги до архітектурно-планувальних рішень під час проектування вулиць і доріг населених пунктів. Оновлена редакція цього документа також набрала чинності з 01.09.2018, і в ній, зокрема, розширено вимоги до проектування різних форм велосипедної інфраструктури:

- визначено основні форми велосипедного руху – велосипедна смуга, велосипедна доріжка, спільна велосипедно-пішохідна доріжка, змішаний рух на проїзній частині, а також встановлено

допустимі випадки їх застосування на вулицях і дорогах різних категорій;

- скасовано вимогу про мінімальну інтенсивність руху (50 велосипедистів на годину) для влаштування велосипедної інфраструктури;

- подано визначення велосипедної смуги та доріжки (велосипедна смуга – смуга, призначена для руху велосипедистів у межах проїзної частини вулиці та/або дороги, яка виділена за допомогою дорожньої розмітки або конструктивно; велосипедна доріжка – доріжка з покриттям поза межами проїзної частини вулиці та/або дороги, розташована окремо чи суміжно з тротуаром або пішохідною доріжкою, що призначена для руху на велосипедах, інвалідних колясках, немоторизованих засобах пересування і позначена дорожнім знаком та горизонтальною розміткою);

- встановлено, що велосипедні смуги призначені лише для одностороннього руху, велосипедні доріжки – для одно- та двостороннього руху;

- встановлено мінімальні вимоги до ширини велосипедних смуг та доріжок за нового будівництва та в умовах реконструкції;

- подано рекомендації щодо проектування велосипедної інфраструктури на спусках та підйомах.

В оновлених редакціях ДБН Б.2.2-12:2018 [13] та ДБН В.2.3-5:2018 [14] суттєво розширено таконкретизовано вимоги до влаштування велосипедної інфраструктури (визначено необхідність влаштування велосипедної інфраструктури на вулицях як альтернативи поїздкам на приватному транспорті, чітко визначено поняття велосипедної смуги та доріжки, викладено вимоги до вибору форми велосипедного руху, особливостей трасування тощо). Однак відкритими залишаються питання планування велосипедної інфраструктури, деяких проектних параметрів, які не відображені в ДБН В.2.3-5:2018 [14], вимог до велосипедних переїздів та способів трасування велосипедних шляхів інфраструктури на перехрестях тощо.

Формування структури національного стандарту

Із метою формування чітких вимог до планування велосипедної інфраструктури, стандартизації параметрів її елементів, а також для підвищення безпеки велосипедистів ДП «ДерждорНДІ» розробило окремий документ – проект ДСТУ хххх:20хх «Планування та проектування велосипедної інфраструктури», завданням якого є допомога проектувальникам під час створення велосипедної інфраструктури на автомобільних дорогах загального користування, вулицях і дорогах населених пунктів та незалежно прокладених велосипедних доріжок.

Проект ДСТУ хххх:20хх «Планування та проектування велосипедної інфраструктури» базується на кращих світових практиках, зокрема німецьких рекомендаціях з організації руху велосипедного транспорту [15]. Ці рекомендації з 2010 року доступні проектувальникам українською мовою і часто використовувались під час проектування і будівництва наявної в українських містах велосипедної інфраструктури. Також було проаналізовано нормативи та рекомендації таких країн: Чехії [16], Латвії [17], Швейцарії [18], США [19, 20] та Данії [21].

Найважливішим аспектом під час проектування велосипедної інфрастурктури є забезпечення безпеки дорожнього руху. Тому усі вимоги стандарту базуються на таких принципах:

- мінімізація конфліктів з транспортним потоком;

- мінімізація різниці в швидкості між різними учасниками дорожнього руху;

- відокремлення різних користувачів вулиць і доріг;

- впровадження уніфікованих транспортно-планувальних рішень для стимулювання передбачуваної поведінки різних учасників дорожнього руху.

Проектом ДСТУ хххх:20хх «Планування та проектування велосипедної інфраструктури» визначено, що під час проектування необхідно забезпечувати об'єктивну та суб'єктивну безпеку руху велосипедистів та інших учасників дорожнього руху, вимоги до зручності руху велосипедистів (врахування швидкості руху, мінімізація зусиль, що прикладаються велосипедистом, мінімізація затрат часу тощо), а також відповідність властивостей елементів велосипедної інфраструктури вимогам нормативних документів протягом міжремонтних строків експлуатації.

Основними підходами під час створення елементів велосипедної інфраструктури є:

- однозначне і зрозуміле для всіх учасників руху функційне зонування простору дорожнього руху;

- перетин форм велосипедного руху з проїзною частиною в одному рівні (шляхом пониження бортового каменя чи влаштування підвищених велосипедних переїздів чи перехресть);

- перевага в русі для велосипедистів перед автотранспортними засобами, що повертають праворуч;

- забезпечення видимості для усіх учасників дорожнього руху, зокрема освітлення велосипедних шляхів;

- відведення дощової води шляхом влаштування поперечного похилу та влаштування за необхідності водовідвідних споруд;

- забезпечення можливості очищення від снігу та бруду.

Проект ДСТУ хххх:20хх «Планування та проектування велосипедної інфраструктури» складається з дев'яти розділів, у яких викладено всі вимоги, та додатків із схемами для полегшення проектування та візуалізації вимог стандарту (*табл. 2*).

У проекті ДСТУ хххх:20хх «Планування та проектування велосипедної інфраструктури» запропоновано введення низки нових термінів (*табл. 3*) та подано понад 40 схем, які візуалізують вимоги до проектування для полегшення роботи із цим стандартом для проектувальників, замовників та інших зацікавлених осіб.

Варто відзначити, що деякі аспекти планування та проектування велосипедної інфраструктури залишаються невирішеними або неврегульованими. Це, зокрема, стосується:

- влаштування повороту велосипедистів ліворуч на вулицях з двома і більше смугами в одному напрямку (поширена в багатьох країнах практика є неможливою в Україні, оскільки суперечить Правилам дорожнього руху, за якими велосипедистам поворот ліворуч та розворот дозволяється на дорогах з однією смугою для руху в кожному напрямку і без трамвайної колії посередині);

Таблиця 2

Структура та короткий зміст проекту ДСТУ хххх:20хх «Планування та проектування велосипедної інфраструктури»

№ розділу	Назва розділу або підрозділу		Короткий зміст
1	Сфера застосування		визначено об'єкт стандартизації, сферу застосування проекту ДСТУ
2	Нормативні посилання		наведено чинні національні стандарти, на які в тексті проекту ДСТУ є посилання
3	Терміни та визначення понять		наведені науково-технічні терміни, вжиті в проекті стандарту і не встановлені іншими стандартами, а також встановлені іншими з посиланням на них
4	**Загальні вимоги до планування та проектування велосипедної інфраструктури**		
	4.1	Загальні вимоги до планування велосипедної інфраструктури	визначено основні вимоги до планування велосипедної інфраструктури, вимоги до концепції велосипедного транспорту, вимоги до врахування інтересів велосипедного руху під час будівництва чи реконструкції лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, а також підходи до контролю якості велосипедної інфраструктури
	4.2	Загальні вимоги до проектування велосипедної інфраструктури	визначено рекомендації та основні підходи під час створення елементів велосипедної інфрастрктури, зокрема на перехрестях вулиць і доріг з велосипедним рухом, а також вимоги до освітлення велосипедних шляхів
5	**Проектування велосипедної інфраструктури на вулицях і дорогах населених пунктів**		
	5.1	Вибір форми велосипедного руху та основних проектних параметрів	деталізовано вимоги ДБН В.2.3-5:2018 [14] до вибору форми велосипедного руху в конктерних умовах проектування та проектні параметри елементів інфраструктури на різних категоріях вулиць і доріг населених пунктів, зокрема вулицях з одностороннім рухом
	5.2	Зміна форми велосипедного руху	викладено вимоги до планувальних рішень та їх геометричних параметрів у місцях зміни форми велосипедного руху (перехід велосипедної доріжки у смугу, перехід велосипедної смуги у рекомендований велосипедний коридор тощо), а також вимоги до забезпечення безпеки руху велосипедстів у звужених місцях
	5.3	Велосипедна інфраструктура поблизу зупинок маршрутних транспортних засобів	викладено вимоги до планувальних рішень і геометричних параметрів велосипедної інфраструктури поблизу зупинок рейкових та нерейкових маршрутних транспортних засобів, зокрема допустимі звуження або зміни форми велосипедного руху
	5.4	Велосипедні переїзди поза перехрестями	визначено місця обов'язкового влаштування велосипедних переїздів поза перехрестями із зазначенням мінімально необхідних геометричних параметрів простору для очікування велосипедистів
6	**Проектування велосипедної інфраструктури на перехрестях вулиць і доріг населених пунктів та місць перетину проїзної частини поза перехрестями**		
	6.1	Рух велосипедистів на нерегульованих перехрестях	викладено базові вимоги до планувальних рішень нерегульованих перехресть для організації руху велосипедистів, які наближаються по головній та другорядній дорогах, зокрема вимоги до влаштування повороту ліворуч в один або два прийоми

Продовження табл. 2

№ розділу	Назва розділу або підрозділу		Короткий зміст
6	6.2	Рух велосипедистів на регульованих перехрестях	викладено базові вимоги до планувальних рішень регульованих перехресть для організації руху велосипедистів, зокрема вимоги до влаштування стоп-ліній на велосипедних смугах, влаштувнаня місць очікування для велосипедистів, вимоги до застосування світлофорів різних типів.
	6.3	Рух велосипедистів на кільцевих розв'язках	викладено вимоги до допустимих форм велосипедного руху на кільцевих розв'язках (велосипедні доріжки та змішаний рух на проїзній частині) за різного радіуса центрального острівця
7	**Проектування велосипедної інфраструктури на автомобільних дорогах загального користування та велосипедних доріжок, прокладених за межами автомобільних доріг**		
	7.1	Загальні вимоги до проектування велосипедної інфраструктури на автомобільних дорогах загального користування	визначено базові вимоги до вибору форм велосипедного руху на автомобільних дорогах загального користування різних категорій поза населеними пунктами, місця розташування велосипедних доріжок, їх довжини на підходах до населених пунктів
	7.2	Основні проектні параметри велосипедних доріжок на автомобільних дорогах загального користування	викладено вимоги до ширини, геометричних параметрів плану і профілю велосипедних доріжок, а також простору для руху велосипедистів
	7.3	Перетин велосипедних доріжок з автомобільними дорогами загального користування	викладено вимоги щодо проектування велосипедної інфраструктури на перехрестях автомобільних доріг поза населеними пунктами та в місцях перетину велосипедних доріжок з автомобільними дорогами загального користування
	7.4	Вимоги до велосипедних доріжок, прокладених поза межами автомобільних доріг	викладено вимоги до велосипедних доріжок, прокладених вздовж водойм та колій, на озеленених, лісопаркових та рекреаційних територіях, у житлових масивах тощо
8	**Інженерне облаштування велосипедної інфраструктури**		
	8.1	Огородження велосипедної інфраструктури	визначено місця, в яких необхідно передбачати заходи захисту велосипедистів від падіння та з'їзду з велосипедного шляху, та вимоги до огороджень, які встановлюються паралельно та перпендикулярно до напрямку руху велосипедста (обмежувальні стовпці та стримувальне велосипедне огородження)
	8.2	Велосипедні парковки	викладено вимоги до стійки велосипедної парковки та їх розташування на велосипедних парковках
	8.3	Підземні та надземні перетини з рухом велосипедистів	викладено вимоги до підземних та надземних перетинів, по яких допускається влаштування велосипедного руху
9	Конструктивні вимоги до влаштування велосипедної інфраструктури		викладено вимоги до матеріалів та констурктції дорожнього одягу, споруд водовідведення та озеленення вздовж велосипедних шляхів
10	Додатки		наведено основні принципові схеми влаштування велосипедної інфраструктури на вулицях, дорогах та перехрестях

- встановленню геометрично-планувальних вимог до ділянок велосипедної мережі з різним функційним призначенням;
- інформаційного забезпечення велосипедистів щодо маршрутів руху, а також застосування відсутніх у чинних стандартах технічних засобів організації дорожнього руху;
- мінімальної (чи максимальної) місткості велосипедних парковок біля об'єктів різного функційного призначення;
- організації велосипедного руху в місцях проведення дорожніх робіт;
- числової оцінки якості велосипедної інфраструктури.

Одночасно з впровадженням (наданням чинності) ДСТУ хххх:20хх «Планування та проектування велосипедної інфраструктури» необхідно також внести зміни до чинних нормативних документів, які встановлюють вимоги технічних засобів організації дорожнього руху (дорожніх знаків, розмітки, світлофорів, огородження тощо) з метою врахування нових вимог до проектування велосипедної інфраструктури та стандартизації її елементів.

Таблиця 3

Нові терміни та визначення понять

Термін	Визначення
велосипедна інфраструктура	мережа велосипедних маршрутів, об'єктів велосипедного сервісу, засобів організації руху, необхідних для безпечного та комфортного пересування велосипедистів
велосипедна мережа	взаємопов'язаний набір безпечних велосипедних маршрутів на автомобільних дорогах загального користування, вулицях та дорогах населених пунктів та прокладених поза межами автомобільних доріг
велосипедний маршрут	цілісне поєднання велосипедних доріжок, смуг та інших ділянок, призначених для руху велосипедистів, зокрема велосипедних переїздів на транспортних розв'язках, які зв'язують основні об'єкти міста, його райони або заміські території
форми велосипедного руху	спосіб забезпечення руху велосипедистів у конкретних умовах шляхом влаштування велосипедних доріжок, велосипедних смуг, спільних велосипедно-пішохідних доріжок, змішаного руху з автомобілями на проїзній частині тощо
велосипедно-пішохідна доріжка	доріжка з покриттям поза межами проїзної частини вулиці та/або дороги, яка призначена для спільного руху пішоходів та велосипедистів (зокрема на інших немоторизованих засобах пересування) по всій її ширині без розділення простору для різних видів пересування і яка позначена дорожнім знаком та горизонтальною розміткою; велосипедно-пішохідна доріжка може бути влаштована як елемент вулиці населеного пункту чи автомобільної дороги загального користування або бути прокладеною незалежно від них
рекомендований велосипедний коридор	частина смуги руху, яка позначена дорожньою розміткою або виділена покриттям для інформування водіїв про інтенсивний змішаний рух велосипедистів на проїзній частині спільно з автомобілями в попутному напрямку; рекомендований велосипедний коридор за формою велосипедного руху є змішаним рухом на проїзній частині
стримувальне велосипедне огородження	напрямний пристрій, призначений для сповільнення руху велосипедистів на велосипедних та велосипедно-пішохідних доріжках перед небезпечними ділянками (перетинами з автомобільною дорогою, залізницею, на спусках, які закінчуються кривою малого радіуса тощо) та мінімізації наслідків можливих ДТП

Висновки

ДСТУ xxxx:20xx «Планування та проектування велосипедної інфраструктури» спрямований для створення єдиної методологічної основи під час планування та стандартизації основних параметрів під час проектування велосипедної інфраструктури в умовах стрімкого розвитку велосипедного руху в Україні.

Використання ДСТУ xxxx:20xx «Планування та проектування велосипедної інфраструктури» під час проектування вулиць і доріг населених пунктів, автомобільних доріг загального користування та планування території загалом сприятиме зменшенню рівня завантаження автомобільних доріг транспортом, підвищенню рівня безпеки дорожнього руху та зниженню негативного впливу автомобільного транспорту (особливо у міських умовах) на довкілля.

ЛІТЕРАТРУРА

1. Dufour, D. Cycling Policy Guide PRESTO. Cycling infrastructure / D. Dufour. EU's Intelligent Energy, 2010. – 45 p.
2. Про Правила дорожнього руху : Постанова Кабінету Міністрів України від 10.10.2001 № 1306 // База даних Законодавство України / Кабінет Міністрів України. – Режим доступу: https://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-%D0%BF.
3. Сирватка, П., Денисенко, В. Пропозиції з оновлення українських Правил дорожнього руху та технічних стандартів в частині велотранспорту. – Київ: ГО «Асоціація велосипедистів Києва», 2018. – 36 с.
4. Жидкова, Т. В., Колодязний, А. В. Аналіз причин стагнації й пропозиції щодо розвитку велосипедного руху в м. Харкові // Scientific Journal "ScienceRise". – № 11 (52). – 2018. – С. 6–10.
5. Чернишова, О. С. Формування мережі велосипедного транспорту в містах з низьким рівнем його використання : дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : [спец.] 05.22.01 «Транспортні системи» / Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – Харків, 2019. – 206 с.
6. У Львові 90 % велосипедистів – чоловіки: підрахунок велосипедистів у місті [Електронний ресурс]. – 13.10.2017. – Режим доступу: https://city-adm.lviv.ua/news/city/transport/243055-u-lvovi-90protsent-velosypedystiv-choloviky-pidrakhunok-velosypedystiv-u-misti.
7. У Львові порахували кількість велосипедистів [Електронний ресурс]. – 27.09.2018. – Режим доступу: https://zaxid.net/u_lvovi_porahuvali_kilkist_velosipedistiv_n1466511.
8. Бойків, М., Житенко, О., Діхтяр, О. До питання якості велосипедного руху в м. Львові // Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання : Тези доповідей III-ї Всеукраїнської науково-теоретичної конференції (м. Львів, 28-30.03.2019). – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2019. – С. 89–92.
9. Сотнікова, А. Аналіз причин пересування пішоходами велодоріжкою // Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання : Тези доповідей III-ї Всеукраїнської науково-теоретичної конференції (м. Львів, 28-30.03.2019). – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2019. – С. 88–89.
10. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 № 430-р // База даних Законодавство України / Кабінет Міністрів України. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80.
11. Postaw na rower. Podręcznik projektowania przyjaznej dla rowerów infrastruktury / Th. Michelis ta inne. – Kraków: CROW and ZO PKE, 1999. – 304 s.
12. National Cycling Plan 2020 Joining forces to evolve cycling / [Federal Ministry of Transport]. – Berlin, 2012. – 82 p.

13. Планування і забудова територій : ДБН Б.2.2. – [Чинний від 2018-09-01]. – Київ: Міністерство 12:2018 регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. – 179 с.
14. Вулиці та дороги населених пунктів : ДБН В.2.3-5:2018. – [Чинний від 2018-09-01]. – Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2018. – 55 с.
15. Рекомендації з організації руху велосипедного транспорту / Маркус Лернер, Данкмар Альтрутц, Райнголь Байєр, Петер Гвязда, Міхаель Гаазе та інш. – 2010. – 103 с.
16. Technické podmínky Ministerstva dopravy CR TP 179. Navrhování komunikací pro cyklisty, 98/2017-120-TN s účinností od 1. června 2017. EDIP s.r.o, 2017. – 138 p.
17. LVS 190-9:2015 Ceļu projektēšanas noteikumi. 9.daļa: Velosatiksme. Spēkā no 19.11.2015. – 66 p.
18. Velostandards Stadt Zürich. Grundsätze und Details zur Infrastrukturplanung. Zürich, 17.11.2015 – 37 p.
19. Guide for the Development of Bicycle Facilities / [4th ed. / American Association of State Highway and Transportation Officials]. – Washington: AASHTO, 2012. – 17 p.
20. NACTO Urban Bikeway Design Guide / National Association of City Transportation Officials. – New York, 2012. – 244 p.
21. Focus on Cycling: Copenhagen Guidelines for the Design of Road Projects. / City of Copenhagen, technical and environmental administration, traffic department. – Copenhagen, 2011. – 24 p.

REFERENCES

1. Dufour, D. (2010). Cycling Policy Guide PRESTO. Cycling infrastructure. EU's Intelligent Energy, 45.
2. Ukrainian Law. (2001). Pro Pravyla dorozhnyoho rukhu [About Traffic Rules]: Decree of Government of Ukraine #1306 from 10.10.2001. Retrieved from https://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-%D0%BF.
3. Syrvatka, P., Denysenko, V. (2018). Propozytsii z onovlennya ukrainskykh Pravyl dorozhnyoho rukhu ta tekhnichnykh standartiv v chastyni velotransportu [Proposals for updating of Ukrainian traffic rules and technical standards for cycling]. Kyiv, NGO "Kyiv cycle association", 36.
4. Zhydkova, T., Kolodyaznyy, A. (2018). Analiz prychyn stagnatsii i propozytsii schodo rozvytku velosypaednoho rukhu v m. Kharkovi [Analysis of causes of stagnation and proposals for development of cycle movement in Kharkiv]. ScienceRise Scientific Journal, 11, 52, 6–10.
5. Chernyshova, O. (2019). Formuvannya merezhi velosypednoho transport v mistakh z nyzkym rivnem yoho vykorystannya [Development of cycling network in cities with low level of cycling]. Thesis for a candidate degree (PhD) in specialty 05.22.01 "Transport Systems" (275 – Transportation technology (for automobile transport)). Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, 206.
6. Lviv city council. (2017). U Lvovi 90 % velosypedystiv – choloviky: pidrakhunok velosypedystiv u misti [90% of cyclists in Lviv are men: counting of cyclists in the city]. Retrieved from https://city-adm.lviv.ua/news/city/transport/243055-u-lvovi-90protsent-velosypedystiv-choloviky-pidrakhunok-velosypedystiv-u-misti.
7. Lazurkevych, S. (2018). U Lvovi porakhuvaly kilkist velosyprdystiv [Amount of cyclists was counted in Lviv]. Retrieved from https://zaxid.net/u_lvovi_porahuvali_kilkist_velosipedistiv_n1466511.
8. Boykiv, M., Zhytenko, O., Dikhtyar, O. (2019). Do pytannya yakosti velosypednoho rukhu u m. Lvovi [To the question of quality of cycle movement in Lviv]. Problems with traffic flows and directions to their solving : Proceeding of 3-rd Ukrainian scientific conference. Lviv, Lviv Polytechnic National University, 89–92.
9. Sotnikova, A. (2019). Analiz prychyn peresyvannya pisokhodamy velodorizhkoyu [Analysis of causes of usage cycle path by pedestrians]. Problems with traffic flows and directions to their solving : Proceeding of 3-rd Ukrainian scientific conference. Lviv, Lviv Polytechnic National University, 88–89.
10. Ukrainian Law. (2018). Pro Skhavennya Natsionalnoi Transportnoi Stratekhii [About approval of National Transport Strategy] : Decree of Government of Ukraine #430-p from 30.05.2018. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80.
11. CROW and ZOPKE. (1999). Postaw na rower. Podręcznik projektowania przyjaznej dla rowerów infrastruktury / Th. Michelis ta inne. – Kraków, 304.
12. Federal Ministry of Transport. (2012). National Cycling Plan 2020 Joining forces to evolve cycling . Berlin, 82.
13. Ministry of Regional Development, Building and Housing and Communal Services of Ukraine. (2018). Planuvannya i zabudova terytoriy: DBN B.2.2-12:2018 [State construction norms DBN B.2.2-12:2018 Spatial planning and development]. Kyiv, 179.
14. Ministry of Regional Development, Building and Housing and Communal Services of Ukraine. (2018). Vylytsi I dorohy naselenykh punktiv: DBN V.2.3-5:2018 [State construction norms DBN V.2.3-5:2018 Urban streets and road]. Kyiv, 55.
15. Lerner, M. and others. (2010). Rekomendatsii z orhanizatsii rukhu velosypednoho transportu [Recommendations for cycling facilities]. Translated into Ukrainian by publication: Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA). Koln, FGSV Verlag GmbH, 103.
16. Ministerstvo dopravy. (2017). Technické podmínky Ministerstva dopravy CR TP 179. Navrhování komunikací pro cyklisty, 98/2017-120-TN. EDIP s.r.o, 138.
17. Latviešu valoda. (2015). LVS 190-9:2015 Ceļu projektēšanas noteikumi. 9.daļa: Velosatiksme. Spēkā no 19.11.2015. The Latvia Road Technical Committee of Standartization, 66.
18. Velostandards Stadt Zürich. (2015). Grundsätze und Details zur Infrastrukturplanung. Zürich, 17.11.2015. Zürich, 37.
19. American Association of State Highway and Transportation Officials. (2012). Guide for the Development of Bicycle Facilities. Washington: AASHTO, 17.
20. National Association of City Transportation Officials. (2012). NACTO Urban Bikeway Design Guide. New York, 244.
21. City of Copenhagen, technical and environmental administration, traffic department. (2011). Focus on Cycling: Copenhagen Guidelines for the Design of Road Projects. Copenhagen, 24.

УДК 691.168

DOI: 10.33868/0365-8392-2019-2-258-46-50

© В. К. Вирожемський, канд. техн. наук, нач. центру нормоконтролю, оцінки відповідності та міжнародного співробітництва;
© І. В. Копинець, зав. відділу бітумних в'яжучих та асфальтобетонів;
© О. В. Соколов, зав. лабораторії бітумних в'яжучих та асфальтобетонів
(ДП "ДерждорНДІ імені М. П. Шульгіна")

© Vyrozhemskyi Valerii, Candidate of Technical Sciences (PhD), Head of the Center of Normal Inspection, Conformance Evaluation and International Cooperation;
© Kopynets Ivan, Head of Bituminous Binder and Asphalt Department;
© Sokolov Oleksii, Head of Bituminous Binder Laboratory
(the State Enterprise "M. P. Shulgin State Road Research Institute")

ПОЛІПШЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ЕПОКСИДНИХ СКЛАДОВИХ

INCREASING THE PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETES BY USING THE EPOXID FORMATION

Анотація. *Представлено результати дослідження епоксиасфальтобетонів, отриманих з використанням розрідженого бітуму. Розрідження бітуму дає змогу знизити технологічні температури виробництва епоксиасфальтобетонних сумішей, що забезпечує збільшення часу на їх транспортування та ущільнення. У результаті тверднення епоксидної смоли з часом відбувається значний приріст міцності епоксиасфальтобетону за всіх температур.*
Ключові слова: *епоксив'яжуче, епоксиасфальтобетон, епоксидна смола, модифікація, розріджений бітум.*

Аннотация. *Представлены результаты исследования эпоксиасфальтобетонов, полученных с использованием разжиженного битума. Разжижение битума позволяет снизить технологические температуры производства эпоксиасфальтобетонных смесей, обеспечивает увеличение времени на их транспортировку и уплотнения. В результате отверждения эпоксидной смолы со временем происходит значительный прирост прочности эпоксиасфальтобетона при всех температурах.*
Ключевые слова: *эпоксивяжущее, эпоксиасфальтобетон, эпоксидная смола, модификация, разжиженный битум.*

Abstract. *One of the main reasons of low durability of asphalt concrete are the properties of bitumen which is the most sensitive of all its components to the action of external factors. As thermoplastic material, bitumen becomes soft at high summer temperatures leading to rutting, shear and sags formation. At low winter time temperatures it becomes fragile and rigid that due to low-temperature compression of asphalt pavement causes the occurrence of transverse cracks.*
The most effective direction for increasing the durability and roughness of asphalt pavement is changing the bitumen behavior by various types of additives modification. Among the issues related to all known modifiers, the least studied is the issue of using thermosetting polymers, namely, epoxy components.
The main problem with the use of epoxy resins for modification is that under the influence of high process temperatures a rapid hardening of the epoxy resin after combining with the hardener occurs. Such behavior of epoxy components limits the temperature modes and the duration of process operations for the production, transportation and placement of epoxy asphalt mixtures.
In this paper, the results of the study of epoxy-asphalt concrete obtained using the cut-back bitumen are presented. The dilution of bitumen allows reducing the process temperatures of the production of epoxy asphalt concrete mixtures which increases the time for their transportation and compaction. As a result of hardening of the epoxy resin, over time, a significant increase in the strength of the epoxy asphalt concrete occurs at all temperatures. The rate of hardening of epoxy asphalt depends on the temperature of the environment. As the temperature rises, the reaction rate between the epoxy resin and the hardener increases, which is reflected in the growth of the strength of the epoxy asphalt concrete at all test temperatures, the more intense evaporation of the solvent and, consequently, the growth of water saturation and the decrease in average density.
Keywords: *epoxy binder, epoxy asphalt concrete, epoxy resin, modification, cut-back bitumen.*

Вступ

Асфальтобетонні покриття під дією високих транспортних навантаг та несприятливих погодних умов досить швидко втрачають тримальну здатність, на них виникають різні види деформацій і руйнувань.

Однією з основних причин низької довговічності асфальтобетону є властивості бітуму, який з усіх його складових є найчутливішим до дії зовнішніх факторів (транспорту, температури повітря, води тощо).

Як термопластичний матеріал бітум за високих літніх температур розм'якшується, що призводить до утворення колій, зсувів, напливів. За низьких зимових температур він стає крихким та жорстким, що за низькотемпературного стискання асфальтобетонного покриття зумовлює появу поперечних тріщин. Низька міцність бітуму є причиною того, що внаслідок тривалої дії транспорту та постійних розтягуючих напружень на покриттях виникають хаотичні «втомні» тріщини. Недостатнє прилипання (адгезія) бітуму

до поверхні кам'яного матеріалу призводить до утворення вибоїн та ям на покритті.

Найефективнішим напрямом підвищення довговічності асфальтобетонного покриття є зміна поведінки бітуму шляхом модифікації різними видами добавок: полімерними, адгезійними (катіонними ПАР), синтетичними восками, гумовою крихтою тощо.

Серед усіх відомих модифікаторів найменш дослідженим є питання використання термореактивних полімерів, зокрема епоксикомпонентів (епоксидних смол та затверджувачів до них). Водночас проведені на сьогодні дослідження вказують на те, що епоксискладові можуть докорінно змінювати властивості бітумів та асфальтобетонів і ефект від їх застосування може бути значно вищим, ніж у інших модифікаторів [1–3].

Під впливом високих технологічних температур відбувається швидке тверднення епоксидної смоли після суміщення із затверджувачем. Це призводить до зростання жорсткості епоксиасфальтобетонних сумішей та погіршення їх зручноукладальності. Повторне перемішування передчасно затверділої суміші призводить до втрати клеючої та підсилюючої здатності епоксискладових. Така поведінка епоксискладових обмежує температурні режими та тривалість виконання технологічних операцій із виробництва, транспортування та укладання епоксиасфальтобетонних сумішей.

Із метою зниження технологічних температур виробництва епоксиасфальтобетонних сумішей запропоновано використовувати розріджений бітум.

Основна частина

Підбір в'яжучого для модифікації епоксискладовими

Відомо, що максимальна в'язкість, за якої буде забезпечено якісне перемішування в'яжучого з мінеральним матеріалом, становить 0,5 Па · с. Саме температуру досягнення в'яжучим в'язкості 0,5 Па · с в Україні прийнято як мінімальну температуру в'яжучого при перемішуванні з мінеральними матеріалами під час виробництва асфальтобетонних сумішей. Температура досягнення в'язкості 0,5 Па · с бітумами нафтовими дорожніми в'язкими становить 130 °С і більше. Використання епоксискладових за такої температури призведе до дуже швидкого їх тверднення. Тому виникає потреба зниження в'язкості бітуму. Було досліджено в'яжучі, що вміщували 10 %, 20 % та 30 % розріджувача (дизельного палива (далі – ДП). Результати визначення впливу ДП на в'язкість бітуму наведено на *рис. 1*.

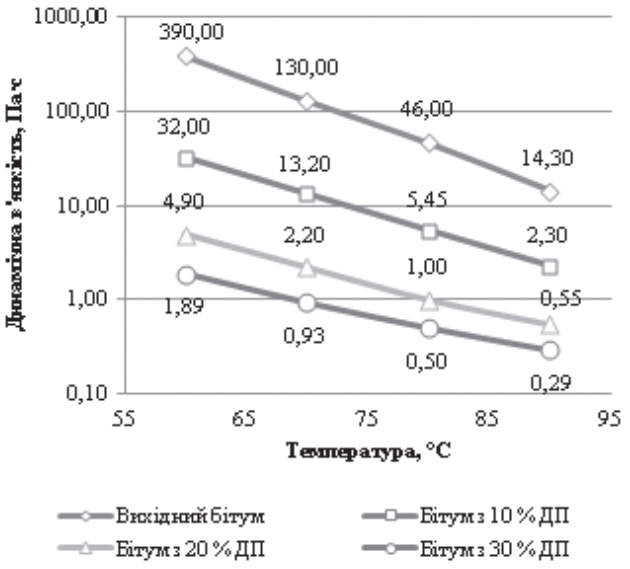


Рис. 1. Вплив ДП на в'язкість бітуму

Під час введення в бітум 10 % ДП відбувається зниження динамічної в'язкості за всіх температур випробування. Так, в'язкість за температури 60 °С знижується в 12,2 рази, за температури 70 °С – у 10 разів, за температури 80 °С – в 8,4 рази, за температури 90 °С – в 6,2 рази. Тобто, із підвищенням температури вплив ДП на в'язкість бітуму зменшується.

Під час введення 20 % ДП в'язкість знижується в 80, 59, 46 та 26 разів, відповідно. Водночас під час введення 30 % ДП зниження в'язкості відбувається в 206, 140, 92 та 49 разів. Тобто із збільшенням вмісту ДП в'язкість отриманого в'яжучого знижується. При вмісті ДП в кількості 30 % вдалося досягти в'язкості в'яжучого 0,5 Па · с за температури 80 °С, саме це в'яжуче було прийнято для подальших досліджень. Цілком логічно, що під час наступного збільшення вмісту ДП до 40 % або 50 % можна було б досягнути в'язкості 0,5 Па · с навіть за температури 70 °С, а можливо і за температури 60 °С.

Життєздатність епоксиасфальтобетонних сумішей

Життєздатність суміші визначається її рухливістю та ущільнюваністю. Показником, що характеризує ущільнення асфальтобетонної суміші, є густина отриманих з неї асфальтобетонів. Зі зростом ущільнення збільшується густина асфальтобетону. За рівних умов ущільнюваність суміші та густина асфальтобетону залежать від в'язкості в'яжучого.

Середня густина епоксиасфальтобетонів, отриманих за першою технологією, вже після 60 хв витримування епоксиасфальтобетонних сумішей за температури ущільнення знижується з 2,391 г/см^3

до 2,352 г/см^3 (*рис. 2*). Збільшення тривалості витримування епоксиасфальтобетонних сумішей призводить до утворення в суміші грудок та неможливості її якісного ущільнення. Водночас епоксиасфальтобетони, отримані за другою технологією, аналогічну середню густину мають через 130 хв від їх приготування, а за третьою технологією – більше ніж через 180 хв. Отже, найефективнішою технологією приготування епоксиасфальтобетонних сумішей є третя технологія. Надалі приготування епоксиасфальтобетонів здійснювалося саме за цією технологією.

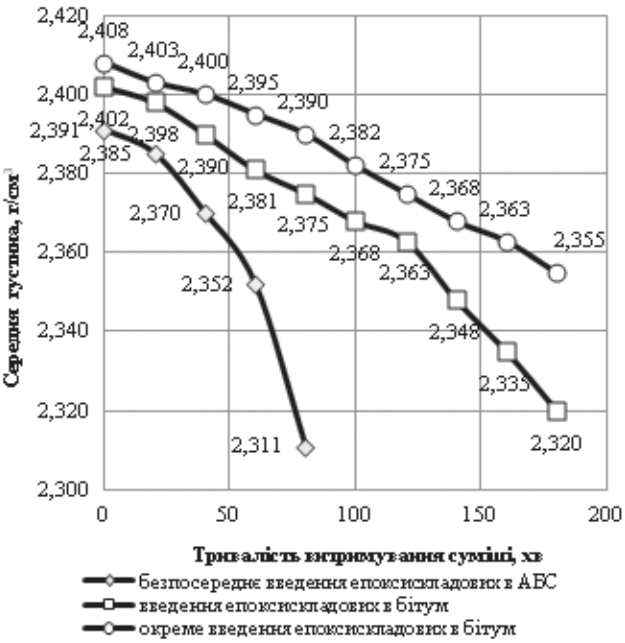


Рис. 2. Середня густина епоксиасфальтобетонів, отриманих за різними технологіями

Життєздатність епоксиасфальтобетонних сумішей зменшується зі збільшенням в них епоксискладових (*рис. 3*). За практично однакових початкових значень середньої густини епоксиасфальтобетонів із різним вмістом епоксискладових, середня густина епоксиасфальтобетонів, отриманих після 180 хв витримування сумішей суттєво відрізняється. Так, епоксиасфальтобетон з 5,0 % епоксискладових має середню густину 2,372 г/см^3, з 10,0 % епоксискладових – 2,355 г/см^3, а з 20,0 % епоксискладових – 2,320 г/см^3. Надалі приготування епоксиасфальтобетонних зразків виконували впродовж часу, що не перевищував 30 хв після приготування епоксиасфальтобетонних сумішей.

Вплив тривалості тверднення епоксискладових на властивості епоксиасфальтобетонів

Збільшення тривалості тверднення призводить до зниження середньої густини епоксиасфальтобетонів, зростання водонасичення та підвищення міцності (*табл. 1*).

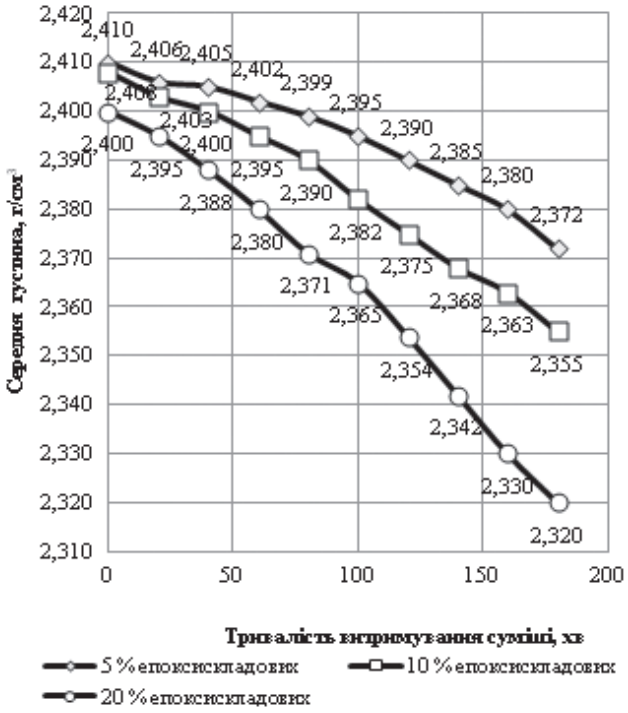


Рис. 3. Середня густина епоксиасфальтобетонів із різним вмістом епоксискладових

Таблиця 1

Результати досліджень впливу тривалості тверднення епоксискладових на властивості епоксиасфальтобетонів

Найменування показників	Результати випробувань асфальтобетонів після тверднення впродовж, діб			
	1	7	14	28
Середня густина, г/см^3	2,406	2,395	2,390	2,386
Водонасичення, %	1,2	1,4	1,5	1,5
Міцність на стиск, МПа:				
- за температури 0 °С	5,0	6,4	7,2	7,5
- за температури 20 °С	2,1	3,5	4,6	4,9
- за температури 50 °С	0,8	1,8	2,5	2,7
Коефіцієнт водостійкості	0,98	0,95	0,94	0,95

Після перших 7 днів тверднення середня густина епоксиасфальтобетонів знижується з 2,406 г см^3 до 2,395 г см^3, в наступні 7 днів середня густина знижується менш інтенсивно і становить 2,390 г см^3 та далі виходить практично на плато. Водночас зі зниженням середньої густини відбувається зріст водонасичення епоксиасфаль-

тобетонів. Після перших семи днів тверднення водонасичення епоксиасфальтобетонів зростає з 1,2 % до 1,4 %, в наступні 7 днів водонасичення зростає до 1,5 % і надалі не змінюється.

Більш інтенсивний зріст міцності епоксиасфальтобетонів має місце за температури 20 °С та 50 °С, ніж за температури 0 °С, що свідчить про інтенсивніше підвищення міцності та зсувостійкості епоксиасфальтобетонів за помірних та високих температур експлуатації, ніж зріст їх жорсткості за низьких температур. Коефіцієнт водостійкості епоксиасфальтобетонів за перші 7 днів знижується з 0,98 до 0,95 та надалі не змінюється.

Значний вплив на швидкість тверднення епоксискладових та властивості епоксиасфальтобетонів має температура (*табл. 2*).

Таблиця 2

Результати досліджень впливу температури тверднення епоксискладових на властивості епоксиасфальтобетонів

Найменування показників	Результати випробувань епоксиасфальтобетонів після тверднення епоксискладових впродовж 7 діб за температури, °С		
	25	40	60
Середня густина, г/см^3	2,395	2,390	2,380
Водонасичення, %	1,4	1,5	1,7
Міцність на стиск, МПа, за температури:			
0 °С	6,4	6,8	7,3
20 °С	3,5	4,1	4,8
50 °С	1,8	2,1	2,5
Коефіцієнт водостійкості	0,95	0,95	0,94

Примітка. Під твердненням за температури 40 °С та 60 °С варто розуміти почергове витримування епоксиасфальтобетонних зразків 8 годин за температури 40 °С або 60 °С та 16 годин за температури 25 °С.

Із підвищенням температури тверднення епоксискладових знижується середня густина епоксиасфальтобетонів. Під час тверднення за температури 25 °С середня густина епоксиасфальтобетону становить 2,395 г/см^3. Витримування зразків епоксиасфальтобетону за температури 40 °С та 60 °С призводить до зниження середньої густини відповідно до 2,390 г/см^3 та 2,380 г/см^3. Водночас зі зниженням середньої густини епоксиасфальтобетонів під час підвищення температури тверднення, відбувається зріст його водонасичення.

Міцність епоксиасфальтобетонів за температури 0 °С, 20 °С та 50 °С з підвищенням температури тверднення зростає. При цьому зріст міцності за температури 20 °С та 50 °С є більшим ніж за температури 0 °С. Так, міцність за температури 0 °С з підвищенням температури тверднення до 40 °С та 60 °С зростає в 1,06 та 1,14 рази, а за температури 20 °С та 50 °С – в 1,17 та 1,37 і 1,17 та 1,39, відповідно. Коефіцієнт водостійкості епоксиасфальтобетонів не залежить від температури їх витримування.

Вплив вмісту епоксискладових на властивості асфальтобетонів

У результаті зросту в'язкості епоксив'яжучого із збільшенням вмісту епоксискладових відбувається зниження середньої густини епоксиасфальтобетону, зріст його водонасичення та підвищення міцності (*табл. 3*).

Таблиця 3

Результати випробувань епоксиасфальтобетонів із різним вмістом епоксискладових

Найменування показників	Результати випробувань епоксиасфальтобетонів з вмістом епоксискладових, %		
	5	10	20
Середня густина, г/см^3	2,392	2,386	2,378
Водонасичення, %	1,3	1,5	1,7
Міцність на стиск, МПа, за температури:			
0 °С	6,3	7,5	8,9
20 °С	4,0	4,9	6,1
50 °С	2,2	2,7	3,5
Коефіцієнт водостійкості	0,96	0,95	0,95

Зі збільшенням вмісту епоксискладових підвищується міцність епоксиасфальтобетону. За температури 0 °С епоксиасфальтобетон з 5,0 % епоксискладових має міцність 6,3 МПа. За умови збільшення вмісту епоксискладових до 10 % міцність зростає в 1,19 рази, а до 20 % епоксискладових – в 1,41 рази.

Зі збільшенням вмісту епоксискладових також спостерігається зріст міцності епоксиасфальтобетону за температури 20 °С та 50 °С.

За умови збільшення вмісту епоксискладових з 5 % до 10 % та 20 % міцність за температури 20 °С зростає в 1,23 рази та 1,53 рази, а за температури 50 ^{0}С – в 1,23 рази та 1,59 рази.

Вміст епоксискладових в епоксиасфальтобетоні практично не впливає на його водостійкість.

Висновки

Швидкість тверднення епоксиасфальтобетону залежить від температури довкілля. Зі збільшенням температури швидкість реакції між епоксидною смолою та затверджувачем зростає, що відображається в зрості міцності епоксиасфальтобетону за всіх температур випробування, більш інтенсивному випаровуванню розчинника і, як наслідок, зріст водонасичення та зниження середньої густини.

Витримування епоксиасфальтобетону за температури 60 °С впродовж 7 днів призводить практично до такої ж зміни його властивостей як витримування за температури 25 °С впродовж 14 діб.

За умови збільшення вмісту епоксискладових від 5,0 % до 20,0 % відбувається зріст міцності епоксиасфальтобетону за всіх температур. Середня густина епоксиасфальтобетону знижується за умови одночасного зросту його водонасичення коефіцієнт водостійкості не залежить від вмісту в епоксискладових.

Впровадження епоксиасфальтобетонів дасть змогу підвищити якість та довговічність дорожнього покриття, а також значно скоротити витрати на ремонтні роботи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Vyrozhemskyi, Valerii, Kopynets, Ivan, Kischynskyi Sergii and Bidnenko, Nataliia. Epoxy asphalt concrete is a perspective material for the construction of roads // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – № 236. – 2017. – 012022.
2. Herrington, P., Alabaster, D. Epoxy Modified Open-graded Porous Asphalt // Road Materials and Pavement Design. – № 9 (3). – 2008. – P. 481–498.
3. Apostolidis, P., Liu, X., Zhang, M., M.F.C. van de Ven, Erkens, S., Scarpas, A. Chemical and Oxidative Age Hardening of Epoxy-modified Bitumen // In Transportation Research Board Annual Meeting. – National Research Council, Washington, D.C, 2018.

REFERENCES

1. Vyrozhemskyi, Valerii, Kopynets, Ivan, Kischynskyi Sergii and Bidnenko, Nataliia. (2017). Epoxy asphalt concrete is a perspective material for the construction of roads. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 236, 012022.
2. Herrington, P., Alabaster, D. (2008). Epoxy Modified Open-graded Porous Asphalt. Road Materials and Pavement Design 9(3), 481–498.
3. Apostolidis, P., Liu, X., Zhang, M., M.F.C. van de Ven, Erkens, S., Scarpas, A. (2019). Chemical and Oxidative Age Hardening of Epoxy-modified Bitumen. In Transportation Research Board Annual Meeting, National Research Council, Washington, D.C.

УДК 625.7

DOI: 10.33868/0365-8392-2019-2-258-50-56

© Л. П. Нагребельна, молод. наук. співробітник
(ДП «ДерждорНДІімен М. П. Шульгіна»)

© Nagrebelna Liydmila, Research Assistant,
(the State Enterprise "M. P. Shulgin State Road Research Institute")

ЛІНІЙНИЙ АНАЛІЗ – НАЙКРАЩИЙ МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ДІЛЯНОК ДОРІГ

Linear analysis as the best method of detectiondangerous road sections

***Анотація**. Окреслено основні чинники, що впливають на безпеку дорожнього руху. Представлено методи аналізу дорожньо-транспортних пригод, які дають змогу чітко визначити ділянки підвищеної небезпеки. За допомогою розподілу дорожньо-транспортних пригод по довжині дороги з'являється можливість визначати такі ділянки, та ділянки, на яких дорожні умови мають домінуючий вплив на виникнення аварійності, що важливо при плануванні заходів з підвищення безпеки руху. Доведено, що ефективність результату, залежить від того, настільки чітко визначені ділянки, на яких насамперед необхідно впроваджувати заходи з підвищення безпеки дорожнього руху.*
***Ключові слова**: безпека дорожнього руху, лінійний аналіз, методи аналізу.*

***Аннотация**. Определены основные факторы, влияющие на безопасность дорожного движения. Представлены основные методы анализа дорожно-транспортных происшествий, которые позволят точно определить участки повышенной опасности. С помощью распределения дорожно-транспортных происшествий по длине дороги появляется возможность определять такие участки, и участки, на которых дорожные условия имеют доминирующее влияние на возникновение аварийности, что важно при планировании мероприятий по повышению безопасности движения. Доказано, что эффективность результата, зависит от того, насколько точно определены участки на которых в первую очередь необходимо внедрять мероприятия по повышению безопасности дорожного движения.*
***Ключевые слова**: безопасность дорожного движения, линейный анализ, методы анализа.*

***Abstract**. The main factors affecting road safety are outlined. The main methods of road accident analysis are presented, which will allow accurate determination of areas of high danger. By distributing road traffic accidents along the length of the road, it is possible to identify such areas and areas where road conditions have a dominant influence on the emergence of accidents, which is important in planning measures to improve traffic safety. It is proved that the effectiveness of the result depends on the precisely defined areas where first of all it is necessary to implement measures to improve road safety.*

It is completely impossible to predict the occurrence of traffic accidents because many different factors influence them. These factors relate both to traffic conditions on the motorway and to the impact of the traffic flow itself, a separate vehicle, a human factor, weather conditions etc. Therefore, there is a need for a comprehensive approach in solving a complex problem is increasing road safety.

The purpose of this article is to: reduce the number of accidents and their victims on the highways of Ukraine by means of the priority implementation of measures to improve road conditions and improve the organization of traffic on highway sections of high danger identified by the results of linear analysis of accidents.

Linear accident analysis provides an opportunity not only to effectively and reasonably plan events, but also to evaluate the outcome of their implementation.

Reducing the number of traffic accidents and their victims in highway sections of high danger identified by the results of linear accident analysis is the best method for creating safe traffic conditions.

Purposeful financing of measures aimed primarily at eliminating the most dangerous in terms of accident rate of road sections and the main risk factors of an accident will allow to reduce the number of accidents and the severity of their consequences.

***Keywords**: road safety, linear analysis, methods of analysis.*

Вступ

Протягом останніх років в Україні спостерігається зріст автомобільного парку, підвищення інтенсивності дорожнього руху, що призводить до збільшення дорожньо-транспортних пригод (далі – ДТП) та тяжкості їх наслідків [1].

Проведені дослідження щодо рівня аварійності на автомобільних дорогах України показують що, в порівнянні з Європейськими країнами, стан безпеки дорожнього руху в Україні є вкрай незадовільним через високий рівень смертності та дорожньо-транспортного травматизму. Відносна кількість загиблих в Україні у 7-10 разів більша, ніж у економічно-розвинених країнах Європейського союзу [2, 3].

Передбачити виникнення ДТП цілком неможливо, оскільки на це впливає багато різних чинників. Такі чинники стосуються як умов руху на автомобільній дорозі, так і впливу транспортного потоку, окремого автомобіля, людського фактору, погодних умов тощо.

Навіть ідеальний експлуатаційний стан автомобільної дороги сам по собі не усуває загрози виникнення ДТП, якщо нею рухатимуться автомобілі в незадовільному технічному стані або водії не дотримуватимуться правил дорожнього руху. Аналогічно, навіть найдосконаліший автомобіль в умовах надто поганої дороги, або під час невмілого керування також має високу ймовірність потрапити в ДТП. Тому виникає потреба створення всебічного комплексного підходу у вирішенні складної проблеми – підвищення безпеки дорожнього руху.

Основне – забезпечити зниження аварійності та зменшення тяжкості наслідків від ДТП, а особливо звести до мінімуму смертельні випадки. Досягти цього можна завдяки детальному вивченню причин виникнення ДТП на автомобільних дорогах та вживши відповідні заходи для їх запобігання.

Ефективність результату залежить від того, настільки точно визначені ділянки, на яких насамперед необхідно впроваджувати заходи з підвищення безпеки дорожнього руху. Саме тому, аби чітко визначити ці ділянки необхідно провести лінійний аналіз аварійності на автомобільних дорогах.

Способи зниження ДТП описані у роботах багатьох науковців. У [1] було проведено глибокий аналіз обставин скоєння ДТП на автомобільних дорогах загального користування в Україні. Представлений аналіз показав, що багато ДТП сталися через недоліки в дорожніх умовах. Це зокрема призвело до помилок водіїв та ускладнення керування автомобілями.

У роботі [4] автор стверджує, що для досягнення зниження рівня аварійності доцільним є розробка програм розвитку автомобільних доріг загального користування на основі методики управління безпекою дорожнього руху в регіоні України.

У зазначених роботах описані фактори, які впливають на виникнення ДТП та методи досягнення зниження рівня аварійності, а про визначення ділянок, на яких варто першочергово впроваджувати заходи, нічого сказано. Однак, у роботі [5] стверджується, що для отримання позитивного результату зі зменшення кількості ДТП та їх наслідків необхідно вивчати причини виникнення аварійності, визначати ділянки її локалізації і вже потім обґрунтовано планувати заходи із ліквідації факторів, які збільшують вірогідність виникнення ДТП.

Отже, є вкрай важливим використання лінійного аналізу аварійності. Він дає змогу не лише ефективно і обґрунтовано спланувати заходи з підвищення безпеки руху, а оцінити результат їх впровадження на зниження аварійності. Статистичний аналіз розподілу ДТП по довжині

дороги дає можливість визначати ділянки, на яких дорожні умови мають домінуючий вплив на виникнення аварійності, що важливо під час планування заходів із підвищення безпеки руху, оскільки дорожні підприємства в системі «водій – автомобіль – дорога – середовище (ВАДС)», можуть впливати на безпеку руху лише через удосконалення дорожніх умов.

Метою цієї статті є зниження кількості ДТП та їх жертв на автомобільних дорогах України, шляхом пріоритетного впровадження заходів із покращення дорожніх умов та удосконалення організації дорожнього руху на ділянках автомобільних доріг підвищеної небезпеки, виявлених за результатами лінійного аналізу аварійності.

Основна частина

Створена Галузева База даних обліку й аналізу ДТП на автомобільних дорогах України (Road Safety Management (RSM)). Вона дає змогу накопичити статистичні дані розподілу аварійності та визначати найбільш небезпечні регіони, дороги та їх окремі ділянки з високим рівнем ризику виникнення ДТП з метою пріоритетного планування і впровадження обґрунтованих заходів із підвищення безпеки руху на основі ранжування ділянок доріг за ступенем ризику виникнення аварійності та тяжкості наслідків ДТП.

Найперспективнішим методом виявлення причин скоєння ДТП, оцінки рівня аварійності та визначення ефективності заходів з підвищення безпеки дорожнього руху є аналіз статистичних даних про ДТП. Саме стан аварійності на тій чи тій ділянці дороги характеризує рівень безпеки, а вивчення причин її виникнення дає змогу встановити необхідні заходи для зменшення кількості аварій і жертв.

Відповідно до цілей і завдань аналізу розрізняють три його основні методи [1]:

– кількісний аналіз ДТП;

– якісний аналіз ДТП;

– топографічний аналіз ДТП.

Кількісний аналіз – характеризує рівень аварійності на місці (перехрестя, магістраль, місто, регіон, країна) і за терміном, протягом якого відбуваються пригоди (година, день, тиждень, місяць, рік).

Якісний аналіз – слугує для встановлення причин і факторів їх виникнення, а також ступеня впливу останніх на ДТП. Цей аналіз дає змогу виявити причини і фактори виникнення ДТП за кожною зі складових системи “водій – автомобіль – дорога – середовище”.

Топографічний аналіз – показує, на яких саме ділянках доріг з точною прив’язкою виникають ДТП, з позначенням місць їх скоєння на карті чи схемі. Такий аналіз наглядно визначає виникнення місць скупчення ДТП.

Усі згадані вище види аналізу аварійності можна об’єднати під одним терміном – лінійний аналіз. Лінійний аналіз аварійності – аналіз розподілу ДТП по довжині ділянки дороги з урахуванням дорожніх умов, дорожньої ситуації в місцях їх скоєння та показників аварійності на дорозі або її ділянці.

Лінійний аналіз аварійності на конкретній дорозі чи її ділянці, можна виконати у табличному або графічно-схематичному вигляді. Інформація про кожну ДТП подається у вигляді шифрів або умовних позначень, за місцем їх скоєння на кожному кілометрі з конкретною прив’язкою до кілометрового знака або вказується тільки загальна кількість ДТП, наприклад, за три роки на всьому кілометровому відрізку дороги.

Для прикладу взято автомобільні дороги державного значення Вінницької області. За середньозваженим коефіцієнтом аварійності та тяжкості наслідків від ДТП визначено найбільш аварійну автомобільну дорогу (*табл. 1*).

За середньозваженим коефіцієнтом аварійності та тяжкості наслідків від ДТП визначено, що найбільш аварійною є автомобільна дорога М-12 Стрий – Тернопіль – Кіровоград – Знам’янка.

Отже, лінійний аналіз далі проведемо саме на цій дорозі.

За допомогою щокілометрового розподілу ДТП визначено найбільш аварійні ділянки дороги (*рис. 1*). Для описаного розподілу використано кількість ДТП з постраждалими за три роки.

Примітка: не враховано ті кілометри, де кількість ДТП за три роки менша 4 випадків.

Зі щокілометрового розподілу видно найбільш аварійні ділянки дороги, до яких належить км 377 та 402. Тому далі проводиться якісний та комплексний аналізи аварійності на цих ділянках дороги (*табл. 2*).

Ця таблична форма лінійного аналізу аварійності відображає:

- адресу ДТП (кілометр плюс метри);
- дата та час скоєння;
- вид пригоди;
- кількість людей, що загинули та були поранені;
- причини та обставини виникнення ДТП (порушення ПДР);

- недоліки в експлуатаційному утриманні ділянки дороги, зафіксовані в місці скоєння ДТП.

Такий метод лінійного аналізу аварійності містить більше інформації і відображає чітку прив'язку місць скоєння ДТП (км+м) за довжиною дороги. Це дає змогу визначити точні межі ділянок концентрації ДТП. Додаткова інформація про ДТП допомагає попередньо встановити причини виникнення ДТП та розробити пропозиції з підвищення безпеки дорожнього руху.

На автомобільній дорозі державного значення М-12 Стрий – Тернопіль – Кіровоград – Знам'янка, яка пролягає у Вінницькій області, найбільша кількість ДТП з постраждалими сталася на км 377. Найчастішим видом пригод на цьому кілометрі є зіткнення та наїзд на пішохода. ДТП траплялися переважно у вечірній та нічний час. Найчастішим порушенням правил дорожнього руху є недодержання дистанції та порушення правил проїзду пішохідних переходів.

Отже, використання лінійного аналізу аварійності дало змогу чітко визначити аварійно-небезпечні ділянки, на яких насамперед необхідно вжити заходів із безпеки дорожнього руху. Це допоможе знизити кількість ДТП та їх жертв на автомобільних дорогах України.

Таблиця 1

Показники небезпеки дорожнього руху на мережі доріг державного значення Вінницької області

Дорога	Середня кількість ДТП на 1 км	Коефіцієнти рівня аварійності	Середня кількість ДТП на 1 км з постраждалими	Коефіцієнти рівня аварійності з постраждалими	Кількість загиблих на 100 ДТП	Коефіцієнти тяжкості наслідків від ДТП	Середньозважений коефіцієнт аварійності та тяжкості наслідків від ДТП
М-12 Стрий – Тернопіль – Кіровоград – Знам'янка	3,6883	8,1672	1,4071	7,2794	29,2969	0,956	5,4675
М-12-03 Під'їзди до м. Вінниці	0,7143	1,5817	0,7143	3,6953	100	3,2626	2,8465
М-21 Житомир – Могилів-Подільський (через м. Вінницю)	2,0465	4,5317	0,7917	4,0957	36,7347	1,1984	3,2753
Р-08 Немирів – Ямпіль	0,7421	1,6433	0,3373	1,745	25	0,8157	1,4013
Р-17 Біла Церква – Тетіїв – Липовець – Гуменне (М-12)	0,2773	0,614	0,1173	0,6068	18,1818	0,5931	0,6046
Р-31 Бердичів – Хмільник – Літин /М-12/	0,9707	2,1495	0,3576	1,85	33,3333	1,0874	1,6956
Р-32 Кременець – Біла Церква – Ржищів	0,3995	0,8846	0,1554	0,8039	85,7143	2,7964	1,495
Р-33 Вінниця – Турбів – Гайсин – Балта – Велика Михайлівка /М-16/	0,2011	0,4453	0,1005	0,5199	38,0952	1,2431	0,7361
Р-36 Немирів – Могилів – Подільський	0,2709	0,5999	0,1121	0,5799	0	0	0,3933
Т-02-01 Вінниця – Турбів – Гайсин – В.Михайлівка	0,0096	0,0213	0,0096	0,0497	0	0	0,0237
Т-02-02 Могилів-Подільський – Ямпіль – Бершадь – Умань	0,1688	0,3738	0,0397	0,2054	50	1,6313	0,7368
Т-02-03 Турбів – Погребище – Сквира	0,2435	0,5392	0,1674	0,866	36,3636	1,1863	0,8638
Т-02-04 Південний обхід м. Вінниці	0,3109	0,6884	0,1036	0,536	0	0	0,4081

Т-02-05 (М-12) Куна – Кунка (Р-33)	0,2382	0,5275	0,1191	0,6161	0	0	0,3812
Т-02-09 Краснопілька – Теплик – Бершадь – Саврань	0,0093	0,0206	0,0093	0,0481	0	0	0,0229
Т-02-11 Вербовець – Новодністровськ /Р-63/	0,5143	1,1388	0,1714	0,8867	0	0	0,6752
Т-02-12 Вінниця – Шпиків – Комаргород	0,7211	1,5968	0,2141	1,1076	15,7895	0,5152	1,0732
Т-02-14 М-12 Біликівці	0,1623	0,3594	0,0649	0,3357	100	3,2626	1,3192
Т-02-15 Ямпіль – Велика Кісниця	0,0935	0,207	0	0	0	0	0,069
Т-02-16 Вінниця – Гнівань – Тиврів	0,5064	1,1213	0,3575	1,8495	16,6667	0,5439	1,1716
Т-02-17 Муровані Курилівці – Горай	0,2966	0,6568	0	0	0	0	0,2189
Т-02-18 Лука Барська – Біликівці – Жмеринка – Ямпіль	0,2257	0,4998	0,1019	0,5272	21,4286	0,6992	0,5754
Т-02-19 Стара Гута – Калинівка – Турбів	0,1611	0,3567	0,0732	0,3787	20	0,6525	0,4626
Т-02-20 Вендичани – Чернівці – Томашпіль	0,0489	0,1083	0,0326	0,1686	50	1,6313	0,6361
Т-02-22 Шпиків – Тульчин – Тростянець – Бершадь	0,3696	0,8184	0,163	0,8432	53,3333	1,74	1,1339
Т-02-25 КПП “Болган” – Піщанка – Чечельник	0,0586	0,1298	0,0391	0,2023	150	4,894	1,742
Т-02-26 Гайсин – Теплик	0,1645	0,3643	0,0987	0,5106	0	0	0,2916
Т-02-29 Бар – Шаргород – Чапаєве	0,2782	0,616	0,1146	0,5929	28,5714	0,9321	0,7137
Т-02-30 Тиврів – Шаргород	0,1233	0,273	0,0411	0,2126	33,3333	1,0874	0,5243
Т-02-33 Вапнярка – Крижопіль – Піщанка – КПП “Загнитків”	0,1644	0,364	0,0411	0,2126	50	1,6313	0,736
Т-06-06 Бердичів – Погребище – Іллінці	0,1383	0,3062	0,0415	0,2147	0	0	0,1736
Т-06-10 Любар – Хмельник – Лука Барська – Нова Ушиця	0,3437	0,7611	0,1519	0,7858	21,0526	0,6868	0,7446
Т-23-08 Гуків – Дунаївці – Могилів-Подільський	0,2426	0,5372	0,1306	0,6756	0	0	0,4043
Всього	0,4516	1	0,1933	1	30,6525	1	1

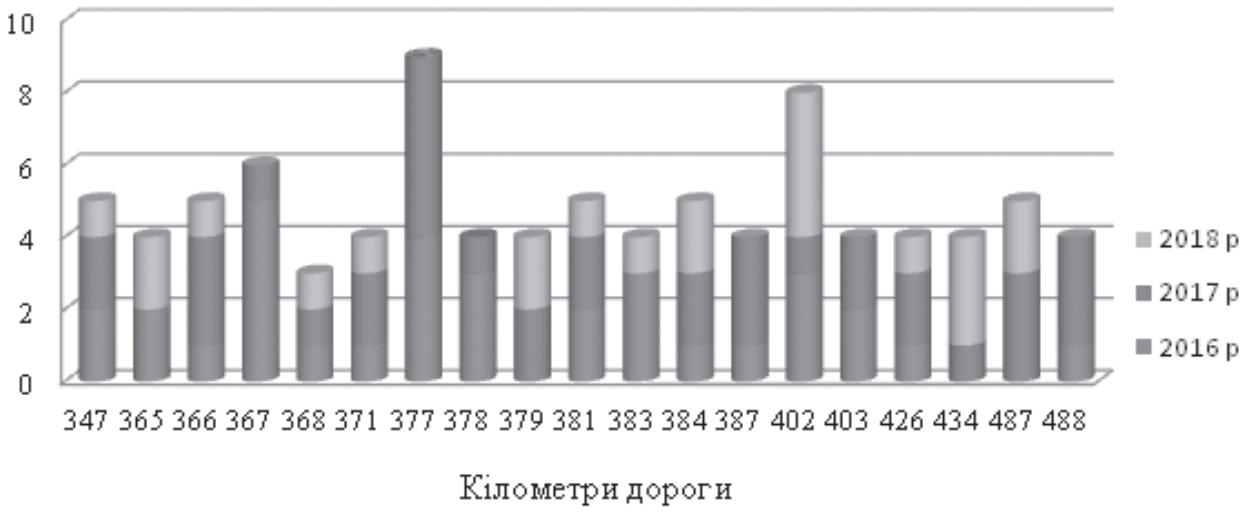


Рис. 1. Щокілометровий розподіл ДТП з постраждалими на ділянці автомобільної дороги М-12 Стрий – Тернопіль – Кіровоград – Знам'янка, яка пролягає у Вінницькій області

Таблиця 2

Лінійний аналіз аварійності на км 377 автомобільної дороги М-12, яка пролягає у Вінницькій області

№ з/п	Номер картки	км	м	Дата та час скоєння	Загинуло	Поранено	Вид пригоди	Порушення ПДР	Недоліки
1	3,22E+11	376	0	16.11.2018 18:56	0	0	Зіткнення	Недодержання дистанції	
2	4,34E+10	376	55	11.02.2018 0:01	0	0	Зіткнення	Недодержання дистанції	
3	97643183	376	100	18.10.2016 18:10	0	1	Наїзд на пішохода	Порушення правил проїзду пішохідних переходів	
4	97662374	376	130	08.11.2017 17:56	0	1	Наїзд на пішохода		
5	97661528	376	136	23.10.2017 11:10	0	3	Зіткнення		
6	97658116	376	136	16.08.2017 10:10	0	1	Наїзд на пішохода		
7	96373713	376	140	21.07.2016 20:15	0	1	Зіткнення	Порушення правил маневрування	
8	97640066	376	152	12.08.2016 19:15	0	0	Зіткнення	Перевищення безпечної швидкості	Слизьке покриття
9	97643760	376	200	30.10.2016 19:20	0	0	Наїзд на перешкоду	Перевищення безпечної швидкості	
10	97658952	376	200	01.09.2017 16:05	0	0	Зіткнення	Недодержання дистанції	
11	97658101	376	400	16.08.2017 10:05	0	0	Зіткнення	Недодержання дистанції	

12	94672987	376	500	23.06.2016 15:20	0	0	Зіткнення		
13	97659231	376	600	07.09.2017 8:01	0	4	Зіткнення		
14	84056962	376	740	18.01.2016 23:00	0	1	Наїзд на пішохода	Перехід у невстановленому місці	
15	97662270	376	800	06.11.2017 21:59	0	2	Наїзд на пішохода		
16	89067444	376	850	05.04.2016 18:20	0	1	Наїзд на пішохода	Порушення правил проїзду пішохідних переходів	

Висновки

Найперспективнішим методом вияву причин скоєння ДТП, оцінки рівня аварійності та визначення ефективності заходів із підвищення безпеки дорожнього руху є аналіз статистичних даних про ДТП.

Лінійний аналіз аварійності дає змогу не лише ефективно і обґрунтовано планувати заходи, а й оцінити результат їх впровадження.

Отже, зниження кількості ДТП та їх жертв на автомобільних дорогах України, шляхом пріоритетного впровадження заходів із покращення дорожніх умов та удосконалення організації дорожнього руху на ділянках автомобільних доріг підвищеної небезпеки, виявлених за результатами лінійного аналізу аварійності, на думку автора, є найкращим методом для створення безпечних умов дорожнього руху.

Цілеспрямоване фінансування заходів, направлених передусім на ліквідацію найбільш небезпечних за рівнем аварійності ділянок доріг та основних факторів ризику виникнення ДТП, дасть змогу вплинути на зменшення кількості ДТП та тяжкості їх наслідків.

ЛІТЕРАТУРА

1.Поліщук, В. П., Нагребельна, Л. П. Аналіз факторів, що спричиняють ДТП на автомобільних дорогах загального користування та пропозиції по їх ліквідації // Дороги і мости. – Вип. 16. – Київ, 2016. – С. 82–85.
2. Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН 58/289 від 14.04.2004 “Повышение безопасности дорожного движения во всем мире” // База даних ООН. – Режим доступу: https://undocs.org/ru/A/RES/58/289
3. Кужель, В. П. Оцінка дальності видимості дорожніх об’єктів у темну пору доби при експертизі ДТП за допомогою нечіткої логіки // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Вип. 41. – Харків, 2008. – С. 91–95.
4.Поліщук, В. П., Кутузов, А .Є. До питання управління безпекою руху на автомобільних дорогах загального користування регіону // Вісник НТУ. – Вип. 28. – Київ, 2013. – С. 380–385.
5. Бондар, Т. В. Аналіз причин виникнення аварійності – шлях до обґрунтованого планування заходів із підвищення безпеки руху // Автошляховик України. – № 4 (216). – Київ, 2010. – С. 45–46.

REFERENCES

1. Polishchuk, V. P., Nahrebelna, L. P. (2016). Analiz faktoriv, shcho sprychyniaiut DTP na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia ta propozytsii po yikh likvidatsii. [Analysis of the factors causing accidents on public roads and proposals for their elimination]. Kyiv, Dorohy i mosty, 16, 82–85.
2. UN General Assembly. (2004). Rezolyutsiya General’noy Assamblei OON 58/289 víd 14.04.2004 “Povysheniye bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya vo vsem mire”. [UN General Assembly resolution 58/289 of April 14, 2004 «Improving global road safety»]. Retrieved from https://undocs.org/ru/A/RES/58/289.
3. Kuzhel, V. P. (2008). Otsinka dal’nosti vydymosti dorozhnikh ob»yektiv u temnu poru doby pry ekspertyzi DTP za dopomohoyu nechitkoyi lohiky. [Estimation of the range of visibility of road objects in the dark time of day in the examination of an accident with the help of fuzzy logic]. Kharkiv, Vestnik Khar’kovskogo natsional’nogo avtomobil’no-dorozhnogo universiteta, 41, 91–95.
4. Polishchuk, V. P., Kutuzov, A.Ye. (2013). Do pytannia upravlinnia bezpekoiu rukhu na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia rehionu/ [On the issue of management of traffic safety on the highways of the general use of the region]. Bulletin of the NTU, Kyiv, 380 – 385.
5. Bondar, T. V. (2010). Analiz prychyn vynyknennya avariynosti – shlyakh do obgruntovanoho planuvannya zakhodiv iz pidvyshchennya bezpeky rukhu. [The analysis of the causes of accidents is a way to reasonably plan the measures to improve traffic safety]. Avtošljachovyk Ukraïny, 4, 216, 45–46.

УДК 624.21:625.745.1

DOI: 10.33868/0365-8392-2019-2-258-57-68

© Л. П. Боднар, зав. відділу управління станом мостів;
© П. М. Коваль, канд. техн. наук, провід. наук. співробітник;
© С. М. Степанов, провід. інженер;
© Л. Г. Панібратець, наук. співробітник (ДП «ДерждорНДІ імені М. П. Шульгіна»)

© Larysa Bodnar, Head of Bridge Management State Department;
© Petro Koval, PhD, Lead Researcher;
© Sergii Stepanov, Lead Engineer;
© Panibratets Ludmyla, Researcher
(the State Enterprise "M. P. Shulgin State Road Research Institute")

ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ СТАН МОСТІВ УКРАЇНИ

OPERATIONAL STATE OF BRIDGES OF UKRAINE

Анотація. *Запропоновано процедуру визначення прогнозованого експлуатаційного стану елементів та моста загалом, яка має наукову новизну. В програмному комплексі "Аналітична експертна система управління мостами" (АЕСУМ) є функція, яка дозволяє відстежувати зміни експлуатаційного стану мостів як по Україні, так і по кожній області окремо. Приведено алгоритм процедури визначення прогнозованого стану моста з використанням моделі деградації, який описано з використанням діаграми Нассі–Шнейдермана.*
Представлено модель деградації моста, яка прийнята в Україні як нормативна та алгоритм адаптації її в програмний комплекс АЕСУМ з функцією визначати ймовірнісний прогнозований експлуатаційний стан мостів в автоматичному режимі.
Ключові слова: *системи управління мостами, експлуатаційний стан, прогнозований експлуатаційний стан, модель деградації, план обстежень мостів, автодорожній міст.*

Аннотация. *Предложена процедура определения прогнозируемого эксплуатационного состояния элементов и моста в целом, которая имеет научную новизну. В программном комплексе "Аналитическая экспертная система управления мостами" (АЕСУМ) есть функция, которая позволяет отслеживать изменения эксплуатационного состояния мостов как по Украине, так и по каждой области отдельно. Приведены алгоритм процедуры определения прогнозируемого состояния моста с использованием модели деградации, который описан с использованием диаграммы Насси–Шнейдермана.*
Представлена модель деградации моста, которая принята в Украине как нормативная и алгоритм адаптации ее в программный комплекс АЕСУМ с функцией определять вероятностный прогнозируемый эксплуатационное состояние мостов в автоматическом режиме.
Ключевые слова: *системы управления мостами, эксплуатационное состояние, прогнозируемое эксплуатационное состояние, модель деградации, план обследования мостов, автодорожный мост.*

Abstract. *A significant part of Ukrainian bridges on public roads is operated for more than 30 years (94 %). At the same time, the traffic volume and the weight of vehicles has increased significantly. Insufficient level of bridges maintenance funding leads to the deterioration of their technical state. The ways to ensure reliable and safe operation of bridges are considered.*
The procedure for determining the predicted operational status of the elements and the bridge in general, which has a scientific novelty, is proposed. In the software complex, Analytical Expert Bridges Management System (AESUM), is a function that allows tracking the changes in the operational status of bridges both in Ukraine and in each region separately. The given algorithm of the procedure for determining the predicted state of the bridge using a degradation model is described using the Nassie-Schneidermann diagram.
The model of the degradation of the bridge performance which is adopted in Ukraine as a normative one, and the algorithm for its adaptation to the AESUM program complex with the function to ensure the probabilistic predicted operating condition of the bridges in the automatic mode is presented. This makes it possible, even in case of unsatisfactory performance of surveys, to have the predicted lifetime of bridges at the required time. For each bridge element it is possible to determine the residual time of operation that will allow predict the state of the elements of the structure for a certain period of time in the future.
Significant interest for specialists calls for the approaches to the development of orientated perspective plans for bridge inspection and monitoring of changes in the operational status of bridges for 2009-2018 in Ukraine. For the analysis of the state of the bridge economy, the information is available on the distribution of bridges by operating state related to the administrative significance of roads, by road categories and by materials of the structures.
Determining the operating state of the bridge is an important condition for making the qualified decisions as regards its maintenance. The Analytical Expert Bridges Management System (AESUM) which is implemented in Ukraine, stores the data on the monitoring the status of bridges and performs the necessary procedures to maintain them in a reliable and safe operating condition.
An important result of the work is the ability to determine the distribution of bridges on the public roads of Ukraine, according to operating conditions established in the program complex of AESUM, which is presented in accordance with the data of the current year. In conditions of limited funding and in case of unsatisfactory performance of surveys, it is possible to make the reasonable management decisions regarding the repair and the reconstruction of bridges.
Keywords: *bridge management system, operating condition, predicted operating condition, model of degradation, bridge survey plan, highway bridge.*

Вступ

Останніми роками на автомобільних дорогах України суттєво зросли інтенсивність руху та вага транспортних засобів. Водночас зростає вік мостів, які в умовах обмеженого фінансування не мають належного утримання та відновлення їх експлуатаційних якостей. Гостро постає проблема забезпечення безаварійної роботи мостів. Тому дуже важливим завданням є отримання достовірної інформації щодо фактичного поточного стану мостів, виявлення серед них тих, які вимагають проведення невідкладних відновлювальних заходів та виконання цих робіт. Науково обґрунтоване визначення та прогнозування зміни в часі експлуатаційного стану мостів є актуальним.

Згідно з чинними нормами України [1] строк служби мостів має бути 70-100 років залежно від типу конструкції. Середній вік мостів на дорогах загального користування зараз складає 53 роки. Враховуючи низький рівень утримання, це свід-

чить про те, що значна кількість мостів у процесі експлуатації мають дефекти. Мостів, вік яких більше 80 років, близько 12 %, ресурс конструкцій цих споруд близький до вичерпання.

Варто звернути увагу, що 94 % мостів на автомобільних дорогах загального користування збудовано до 1989 року, тобто 30 років тому. Тож значна частина з них, 63,5 %, не відповідає вимогам чинних норм (*табл. 1*).

У 2004 році Державне підприємство "ДерждорНДІ імені М. П. Шульгіна" [2] разом із Національним транспортним університетом розробив Аналітичну експертну систему управління мостами (далі – АЕСУМ). Цей програмний комплекс є головним інструментом системи експлуатації мостів України на автомобільних дорогах загального користування. В ньому зберігаються інформаційні відомості (база даних) з обстежень стану мостів. Основне завдання програмного комплексу – це підтримка мостів у безпечному для експлуатації стані [3, 4, 5, 6, 7, 8]. Тому водночас зі створенням бази поточного стану мостів вкрай важливо передбачити прогнозування експлуатаційного стану елементів та моста загалом.

Основним показником для кожного моста є його експлуатаційний стан. Згідно з державним стандартом [9] встановлено 5 експлуатаційних станів мостів залежно від рейтингу та надійності за першою групою граничних станів [9] (*табл. 2*).

Кількісним показником інтегральної оцінки технічного стану моста загалом є формалізована експертна оцінка – рейтинг, яка дає змогу зарахувати споруду до певного експлуатаційного стану та вжити відповідних заходів [9]. Він визначається за шкалою у 100 балів та є узагальненою характеристикою експлуатаційної придатності за станом всіх його елементів. Обчислюється за формулою (1) [9, п. 7.8].

Таблиця 1

Розподіл мостів на автомобільних дорогах загального користування України, які не відповідають сучасним нормам

Показники державного		Значення доріг		Разом
		місцевого		
ВСЬОГО МОСТІВ		5888	10263	16151
Не відповідають нормам	за габаритом	1003	2736	3739
	за вантажопідйомністю	1515	1368	2883
	за габаритом та вантажопідйомністю	1714	1920	3634
	ВСЬОГО	4232	6024	10256

Таблиця 2

Класифікація експлуатаційного стану споруди та експлуатаційних заходів залежно від рейтингу [9]

Експлуатаційний стан	**Рейтинг, від-до**	**Експлуатаційні заходи**	**Надійність за першою групою граничних станів, Рі,в ≤ Р <Рі,н**
Стан 1 Справний	100-95	Ведуться планові обстеження та догляд	0,999844 ≤ Р < 0,998363
Стан 2 Обмежено справний	94-80	Ведуться планові обстеження, догляд та поточні ремонти без обмеження руху	0,998363 ≤ Р < 0,992461
Стан 3 Працездатний	79-60	Ведуться планові обстеження, скорочуються терміни між періодичними оглядами, виконуються поточні ремонти. За необхідності обмежується швидкість руху	0,992461 ≤ Р < 0,979771
Стан 4 Обмежено працездатний	59-40	Ведуться обстеження за спеціальним графіком, виконується капітальний ремонт. Відповідно до дефектів конструкцій обмежується рух транспортних засобів за вагою, швидкістю та габаритними параметрами. За необхідності розробляються спеціальні заходи із забезпечення безаварійної експлуатації моста	0,979771 ≤ Р < 0,958351
Стан 5 Непрацездатний	≤ 39	Ведеться постійний нагляд та контроль за виконанням обмежень руху з залученням спеціалізованої організації. Терміново вирішується питання про реконструкцію споруди або про її закриття. Вживаються тимчасові заходи до запобігання аварії	0,958351 ≤ Р

Саме рейтинг є визначальним параметром для оцінки мостів за пріоритетом ремонтів. На основі рейтингу мости оцінюються за п'ятьма експлуатаційними станами (*табл. 2*). Визначений стан споруди дає змогу вжити необхідних заходів.

Елементи моста поєднуються у сім груп: мостове полотно, прогонові будови, опори, фундаменти, регуляційні споруди, підходи до моста, русла. Стан і вага елементів кожної групи різна і це враховано у формулі за допомогою вагових коефіцієнтів αi:

$$E = \frac{80(5-\sum_{i=1}^{i=7}\alpha_i D_i)}{4}+20=20(5-\sum_{i=1}^{i=7}\alpha_i D_i)+20 \quad (1)$$

де D_i – номер експлуатаційного стану групи конструктивних елементів споруди згідно з методологією [9];

α_i – коефіцієнти впливу стану і-го елемента на загальний стан споруди (нормалізовані коефіцієнти ваги), і = 1,2,…,7 [*9, табл. 7.1*].

У *табл. 3* надано інформацію щодо експлуатаційного стану мостів на дорогах державного значення, які обстежено й інформацію про які внесено в базу даних АЕСУМ. Викликає занепокоєння кількість мостів, які перебувають у найгірших станах (у 4 та 5).

Для отримання актуальної інформації щодо експлуатаційного стану моста в необхідний проміжок часу поряд зі створенням бази поточного стану мостів необхідно передбачити прогноз експлуатаційного стану елементів моста загалом.

Із цією метою були проаналізовані існуючі системи управління мостами в інших країнах (*табл. 4*).

Таблиця 3

Розподіл мостів щодо експлуатаційного стану за результатами обстежень

Стан	Кількість мостів, шт.	%
стан 1 (справний)	109	2
стан 2 (обмежено справний)	620	11
стан 3 (працездатний)	3314	59
стан 4 (обмежено працездатний)	1484	26
стан 5 (непрацездатний)	93	2
Разом:	5620	100

Таблиця 4

Стисла характеристика закордонних систем управління мостами [10]

Параметри систем управління мостами	Країни – системи								
	США		Фінляндія – SINA	Канада – OBMS	Великобританія – NATS	Франція – OA-MeGA	Данія – Danbro	Швеція – Safebrow	Німеччина – SIB-Bauerwerke
	Pontis	Bridgit							
Зберігання даних паспорту мостів	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Вихідна інформація про стан споруд:									
– дані обстежень	+	+	-	+	+	-	-	-	+
– дані розрахункові	+	-	+	+	+	+	-	+	+
Оцінка стану мостів:									
– експертна	-	+	+	+	+	+	-	-	-
– розрахункова	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Прогнозування стану:									
– за експертними оцінками	-	-	-	-	-	+	+	+	+
– за ймовірнісною оцінкою	+	+	+	+	-	-	-	-	-
Розгляд різних стратегій обслуговування	+	-	+	-	+	-	+	+	-
Оцінка втрат на транспорті	+	+	-	-	-	-	-	+	-
Визначення пріоритетності обслуговування	+	-	-	-	-	+	+	-	+
Планування:									
– поточне	+	+	+	+	+	+	+	+	+
– короткострокове	+	+	+	+	-	-	-	+	+
– довгострокове	+	-	-	-	-	-	+	-	-

Виконаний аналіз показав, що для прогнозу ймовірностей відмов найчастіше використовують марковську стохастичну теорію [11, 12, 13, 14]. Наприклад, сучасні BMS, зокрема PONTIS.

Враховуючи наведене вище, було визначено, що для прогнозу експлуатаційного стану елементів та моста загалом в програмному комплексі АЕСУМ необхідно удосконалити стратегію ремонтів, яка включала б процедуру визначення прогнозованого експлуатаційного стану, базувалася на достовірній методиці визначення експлуатаційного стану та враховувала життєвий цикл моста.

Мета дослідження – розробити процедуру визначення прогнозованого експлуатаційного стану елементів та моста загалом.

Основна частина

Для визначення технічного стану мостів, необхідно виконувати обстеження, під час яких виявляються дефекти, фіксуються їх обсяги, оцінюється їх вплив на експлуатаційні якості споруди. За результатами обстежень приймаються рішення про виконання ремонтних робіт.

В Україні станом на початок 2019 року налічується 16 152 моста на дорогах загального користування, з них обстежено близько 35 % (5 620 мостів).

Стосовно необстежених мостів у базі даних АЕСУМ внесено обмежену інформацію, таку як: кілометр розташування, рік побудови, довжина, ширина, схема моста. Детальна інформація про основні елементи та дефекти відсутня, відповідно не визначено експлуатаційний стан моста.

Ретроспективний аналіз проведення обстежень мостів (*рис. 1*) та аналіз плану обстежень, який згенеровано в АЕСУМ на основі термінів із нормативів (*табл. 5*), показали, що кількість фактичних обстежень значно менша кількості обстежень, передбачених нормами [15].

Необхідно зауважити, що в перспективному плані обстежень (*рис. 2*), прийнято дообстежити ті мости, які не було обстежено вчасно, саме тому в перший рік програми передбачається найбільша кількість мостів (15 432). Окрім довгострокового плану обстежень на 10 років, щорічно генерується план обстежень мостів для кожної області України з урахуванням пріоритетності (важливості) кожного моста [16], а вже Служби автомобільних доріг області та Обласні державні адміністрації на місцях формують остаточне замовлення спеціалізованим організаціям, виходячи з фінансових ресурсів.

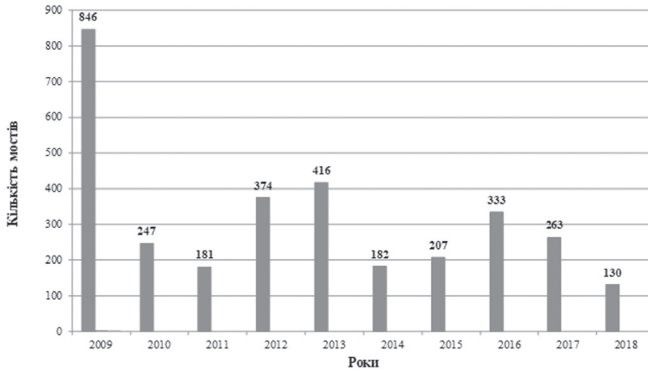


Рис. 1. Ретроспективний аналіз фактичних обстежень мостів

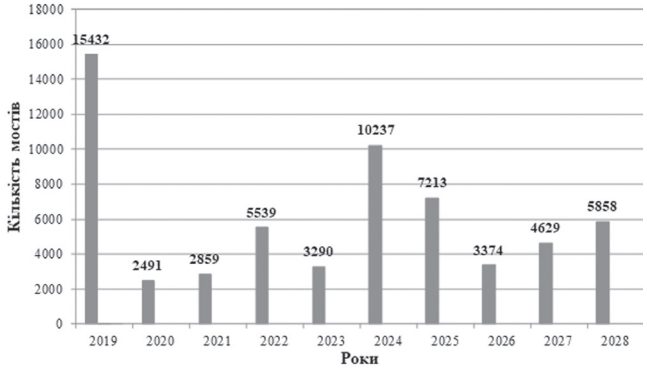


Рис. 2. Орієнтовний перспективний план обстежень мостів

Програмний комплекс АЕСУМ перебуває у стані постійного розвитку та вдосконалення. На сьогодні функціонал програми співрозмірний з основними закордонними аналогами. База даних АЕСУМ містить близько 150 технічних параметрів стосовно кожного моста,в ній також зберігається детальна інформація про окремі елементи мостів, таких як прогонові будови, опори, фундаменти.

Таблиця 5

Періодичність обстеження мостів згідно з нормативами

Міст	Вік моста, роки				
	1-20	21-40	41-60	61-80	80, більше
	Періодичність обстеження, в роках				
Металевий, сталезалізобетонний	5	4	3	2	1
Залізобетонний	7	6	5	3	1

Паспорт кожного моста містить фотографії загального його вигляду, проїзної частини, основних елементів і дефектів. У паспорті наводяться креслення (або схеми) загального вигляду і поперечних розрізів споруди з основними розмірами [7].

Із результатів обстежень у відомість дефектів вносяться дефекти стосовно кожної групи елементів з детальним описом, обсягом розповсюдження та фотографіями. В результаті внесеної інформації робиться оцінка впливу дефектів на стан елемента та визначається експлуатаційний стан стосовно кожної групи елементів на основі найгіршого стану елемента цієї групи.

Для визначення стану за елементами передбачена можливість втручання експерта, який може скоригувати оцінку експлуатаційного стану на основі додаткових обчислень вантажопідйомності, на основі розрахунків характеристики безпеки та власного досвіду [8]. Після чого в автоматичному режимі розраховується експлуатаційний стан споруди загалом.

Аналіз результатів обстежень за станами (за матеріалом, адміністративним значенням доріг, категоріями доріг) виконується як по всій Україні, так і по кожній області окремо.

Для відстеження зміни експлуатаційного стану мостів за певний період в АЕСУМ автоматизована спеціальна відомість (*табл. 6*), яка дає змогу оцінити зміни за кожним експлуатаційним станом по області або по всій Україні.

Для більш детального аналізу розподілу мостів за станами автоматизовано спеціальні відомості (*табл. 7, 8, 9*) які дають змогу аналізувати стан мостів з урахуванням таких параметрів, як адміністративне значення дороги, матеріал моста, категорія дороги тощо.

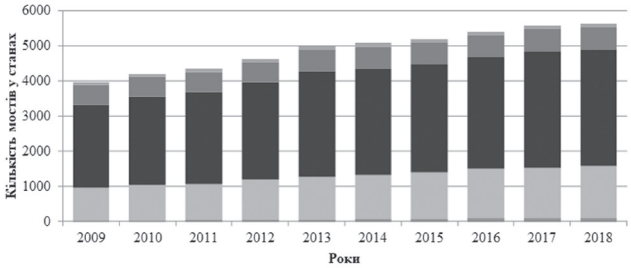


Рис. 3. Зміна експлуатаційних станів мостів за 2009–2018 роки по всій Україні

Таблиця 6

Відстеження зміни експлуатаційного стану мостів за 2009–2018 роки по всій Україні

Стан	2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018	
	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.
1	86	7120,91	87	7184,31	89	7307,28	89	6999,48	108	8057,07	110	8181,11	108	8043,51	109	8189,73	107	8117,58	113	8051,59
2	560	27626,76	571	27910,46	573	27979,68	582	28668,68	614	28932,38	614	28570,85	607	28087,47	606	28472,77	623	29616,48	624	29381,38
3	2362	78906,56	2507	82169,79	2610	84476,03	2762	90253,88	2983	98936,26	3028	100540,28	3083	102143,03	3194	105200,22	3304	108582,44	3309	107955,86
4	934	24562,20	1013	25950,63	1035	26606,40	1145	29957,82	1233	32523,67	1266	33032,19	1325	34970,38	1414	37478,60	1454	39029,34	1487	40306,58
5	25	1039,35	28	1161,25	35	1344,85	48	2218,38	52	2462,10	63	3497,92	76	3954,73	83	4518,89	86	4505,91	96	5529,82
не визн.	12169	242916,36	11949	238781,62	11864	238007,70	11562	226953,09	11194	214192,17	11102	211235,90	10982	207821,53	10784	201560,46	10624	196007,67	10574	195183,18
разом	16136	382172,14	16155	383158,06	16206	385721,94	16188	385051,33	16184	385103,65	16183	385058,25	16181	385020,65	16190	385420,67	16198	385859,42	16203	386408,41

Таблиця 7

Розподіл мостів і шляхопроводів за експлуатаційним станом та адміністративним значенням на дорогах загального користування по всій Україні (2019 р.)

Адміністративне значення дорог	Всього	зокрема експлуатаційний стан												
		1		2		3		4		5		не внесено в АЕСУМ		
	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.
ДЕРЖАВНОГО ЗНАЧЕННЯ	5838	191584,31	98	7279,07	470	24952,45	2392	84052,37	1002	30314,11	90	5353,82	1786	39632,49
у тому числі:														
міжнародні	1290	64137,52	74	5789,90	195	10415,78	528	27835,59	192	8389,87	18	1236,49	283	10469,89
національні	1054	34859,84	9	503,95	91	4427,25	606	18493,10	209	7026,68	19	1437,36	120	2971,50
регіональні	1030	32673,58	6	450,11	85	4947,48	538	18169,45	200	5416,11	22	1077,63	179	2612,80
територіальні	2464	59913,37	9	535,11	99	5161,94	720	19554,23	401	9481,45	31	1602,34	1204	23578,30
МІСЦЕВОГО ЗНАЧЕННЯ	10314	192998,48	10	451,31	145	4026,94	874	22249,81	484	10100,87	20	747,45	8781	155422,10
у тому числі:														
обласні	4760	93513,45	8	374,44	111	3358,41	608	16397,09	348	7144,43	13	465,55	3672	65773,53
районні	5554	99485,03	2	76,87	34	668,53	266	5852,72	136	2956,44	7	281,90	5109	89648,57
ВСЬОГО:	16152	384582,79	108	7730,38	615	28979,39	3266	106302,18	1486	40414,98	110	6101,27	10567	195054,59

Таблиця 8

Розподіл мостів та шляхопроводів на дорогах загального користування по всій Україні за експлуатаційним станом по категоріях доріг (2019 р.)

Категорія дороги	Всього	зокрема експлуатаційний стан												
		1		2		3		4		5		не внесено в АЕСУМ		
	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.
Іа категорія	98	8316,12	3	154,36	23	1311,43	65	6337,78	6	445,55			1	67,00
Іб категорія	265	15692,78	24	1913,47	64	3379,68	124	7339,50	16	1288,25	1	118,10	36	1653,78

Продовження табл. 8

II категорія	1722	69087,28	44	3267,71	179	9368,65	758	30669,99	348	11469,73	30	1834,13	363	12477,07
III категорія	2852	81811,69	22	1530,62	169	9744,23	1132	33329,24	490	14055,08	47	3207,05	992	19945,47
IV категорія	9490	185093,39	13	737,12	170	4961,40	1148	27700,81	595	12321,96	29	873,79	7535	138498,31
V категорія	1725	24581,53	2	127,10	10	214,00	39	924,86	31	834,41	3	68,20	1640	22412,96
ВСЬОГО:	16152	384582,79	108	7730,38	615	28979,39	3266	106302,18	1486	40414,98	110	6101,27	10567	195054,59

Таблиця 9

Розподіл мостів та шляхопроводів за експлуатаційним станом за матеріалом на дорогах загального користування по Україні (2019 р.)

Тип споруди (матеріал)	Всього	зокрема експлуатаційний стан												
		1		2		3		4		5		не внесено в АЕСУМ		
	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.	шт	п.м.
залізобетон	15174	350448,23	102	7348,63	591	27711,91	3085	96438,34	1309	33389,21	84	3808,18	10003	181751,96
сталезалізобетон	307	12198,77	3	271,64	12	728,37	89	3944,57	110	4061,92	17	1083,36	76	2108,91
метал	347	18153,18	3	110,11	7	493,96	39	5053,31	24	2519,57	5	1108,33	269	8867,90
кам'яна кладка	270	3105,91			5	45,15	51	764,86	43	444,28	1	12,00	170	1839,62
деревина	54	676,70					2	101,10			3	89,40	49	486,20
ВСЬОГО:	16152	384582,79	108	7730,38	615	28979,39	3266	106302,18	1486	40414,98	110	6101,27	10567	195054,59

У зв'язку з наведеним збільшується потреба у використанні моделі деградації з метою прогнозу зміни стану мостів із часом.

Адаптація моделі деградації в програмний комплекс АЕСУМ здійснена за допомогою програмних засобів, написаних на мові програмування ObjectPascal. Алгоритм процедури визначення прогнозованого стану елемента моста для зручності було описано (*табл.10*) з використанням діаграми Нассі–Шнейдермана [17].

Таблиця 10

Діаграма процедури визначення прогнозованого стану елементу моста

Крок	Оператори алгоритму
1	Задати верхні та нижні значення надійності за експлуатаційними станами: P[1] = 0.999844; P[2] = 0.998363; P[3] = 0.992461; P[4] = 0.979771; P[5] = 0.958351 P_{low}[1] = 0.998364; P_{low} [2] = 0.992462; P_{low} [3] = 0.979772; P_{low} [4] = 0.958352; P_{low} [5] = 0.950000
2	Задати верхні та нижні значення рейтингу за експлуатаційними станами: E[1] = 100; E[2] = 94; E [3] = 79; E [4] = 59; E [5] = 39 E_{low} [1] = 95; E_{low} [2] = 80; E_{low} [3] = 60; E_{low} [4] = 40; E_{low} [5] = 0
3	Знайти запис останнього експертного визначення стану моста за матеріалами проведених обстежень
4	Визначити рік останнього обстеження моста T_o
5	Визначити рік будівництва (реконструкції) моста Тб для розрахунку віку на час обстеження та період визначення прогнозованого стану була реконструкція? так: $T_б$ = рік реконструкції ні: $T_б$ = рік будівництва
6	Визначити розрахунковий вік моста на час обстеження: $t_o = T_o - T_б$
7	Вибрати дані з рейтингу моста R_o – розрахований та затверджений експертами за даними останнього обстеження.
8	За рейтингом моста на момент обстеження розрахувати надійність елемента P_o Визначити стан моста st_o на час обстеження. якщо рейтинг R_o ≥ 95: $st_o = 1$ ≥ 80: $st_o = 2$ ≥ 60: $st_o = 3$ ≥ 40: $st_o = 4$ Інакше: $st_o = 5$ Розраховувати надійність за формулою: $P_o = \frac{P(st_o)-P_{low}(st_o)}{E(st_o)-E_{low}(st_o)} \cdot [E_o - E_{low}(st_o)] + P_{low}(st_o)$
9	Визначити інтенсивність відмов λ $t_o \geq 10$ так: Задати робочу змінну X ($X = \lambda * t_o$) Задати значення $X = 0.0$ $X = X + 0.0001$ Розрахувати розрахункову надійність $P_{calc} = 0.008333 \cdot X^{5} \cdot e^{-X}$ Повторити поки $P_{calc} > P_o$ $\lambda = X / t_o$ ні: Для нових мостів задати термін служби 100 років $\lambda = 0.022$
10	Задати рік прогнозування стану моста $T_п$
11	Розрахувати вік моста на рік прогнозування: $t_п = T_п - T_б$
12	Розрахувати прогнозовану надійність: $P_П = 0.008333 \cdot (\lambda t)^5 \cdot e^{-\lambda t}$
13	За надійністю визначити прогнозований стан елемента моста $st_п$ якщо надійність $P_п$ > P[2]: $st_п = 1$ > P[3]: $st_п = 1$ > P[4]: $st_п = 1$ > P[5]: $st_п = 1$ Інакше: $st_п = 1$
14	Розраховувати прогнозований рейтинг елемента моста за формулою: $E_п = \frac{E(st_п)-E_{low}(st_п)}{P(st_п)-P_{low}(st_п)} \cdot [P_п - P_{low}(st_п)] + E_{low}(st_п)$

Обстеження – важлива складова системи експлуатації автодорожніх мостів.

Відомо, що витрати на обстеження окупаються за рахунок оптимізації витрат на проведення експлуатаційних заходів та вчасного їх виконання.

Однак, під час проведеного аналізу з'ясовано, що в Україні не витримується періодичність обстежень мостів, передбачена нормами, через недостатнє фінансування на цей вид робіт.

Для того, щоб не допустити аварійних ситуацій на мостах, а також для того, щоб приймати ефективні управлінські рішення щодо стратегій експлуатації мостів на мережі автомобільних доріг, необхідно мати дієві, максимально наближені до достовірних, моделі прогнозу поточного стану мостів.

Представлено модель деградації моста, яка прийнята в Україні як нормативна та алгоритм адаптації її в програмний комплекс АЕСУМ з функцією визначати ймовірнісний прогнозований експлуатаційний стан мостів в автоматичному режимі. Це дає змогу навіть за умови невчасного виконання обстежень мати прогнозований стан мостів у необхідний момент часу.

Для кожного елемента моста є можливість визначати залишковий ресурс з побудовою кривої деградації, що дає змогу спрогнозувати стан елементів споруди на певний період часу в майбутньому (*рис. 4*).

На цьому прикладі для елемента "прогін 7-8" наведено оцінку його експлуатаційного стану (стан 4) при цьому експлуатаційний стан моста загалом – 3. Залишковий ресурс цієї прогонової будови на момент обстеження – 4 роки, станом на 2018 рік – 1 рік. Розрахований загальний ресурс прогонової будови складає 46 років. Згідно з розрахунком дійсний стан прогонової будови відповідає 5 стану.

Це дало змогу отримати розподіл експлуатаційного стану за ймовірнісними оцінками. На *рис. 5* наведено розподіл за експлуатаційним станами на момент обстеження мостів. Обстеження деяких мостів могли бути проведені навіть більше 10 років тому. На *рис. 6* представлено розподіл за експлуатаційним станом за ймовірнісними оцінками приведений до поточного 2019 року. Як видно, зміни відбулися суттєві, загрозливим є кількість мостів у 5 непрацездатному експлуатаційному стані. Отримані дані дають змогу обґрунтовано розробляти плани ремонтів та реконструкції мостів.

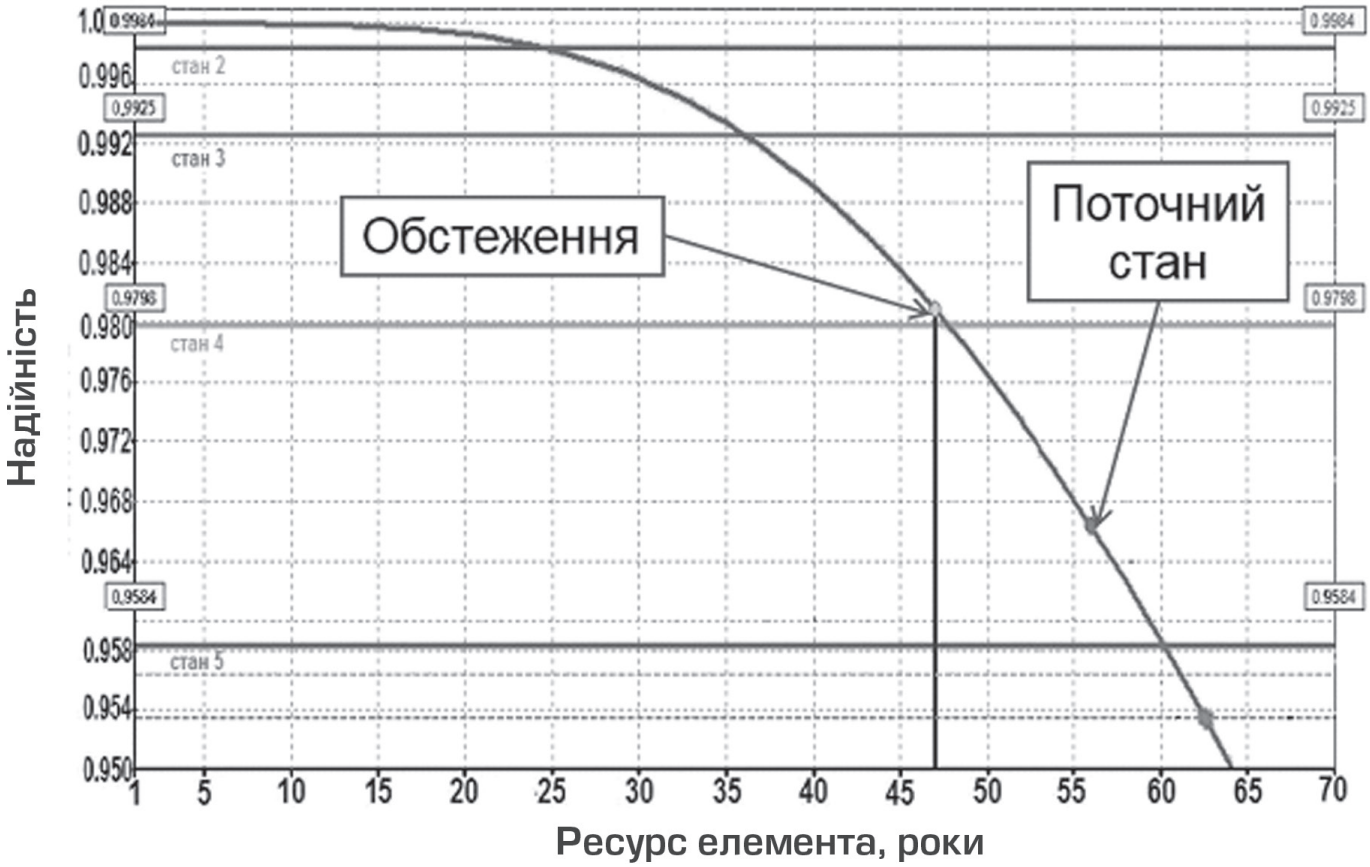


Рис. 4. Крива деградації елемента моста

№ стану	Кількість	%
стан 1	109	2
стан 2	620	11
стан 3	3311	59
стан 4	1484	26
стан 5	96	2
∑	**5620**	**100**

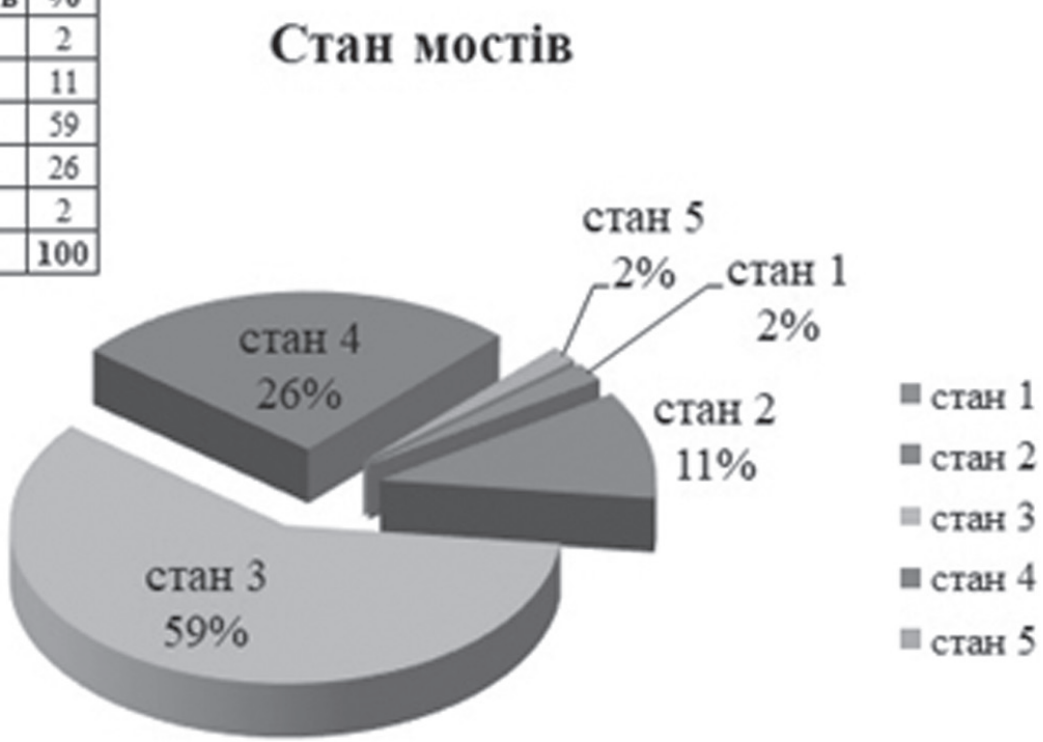


Рис. 5. Розподіл мостів на автомобільних дорогах загального користування України за експлуатаційними станами на момент обстеження мостів

№ стану	Кількість	%
стан 1	95	2
стан 2	60	1
стан 3	794	14
стан 4	2703	48
стан 5	1968	35
∑	**5620**	**100**

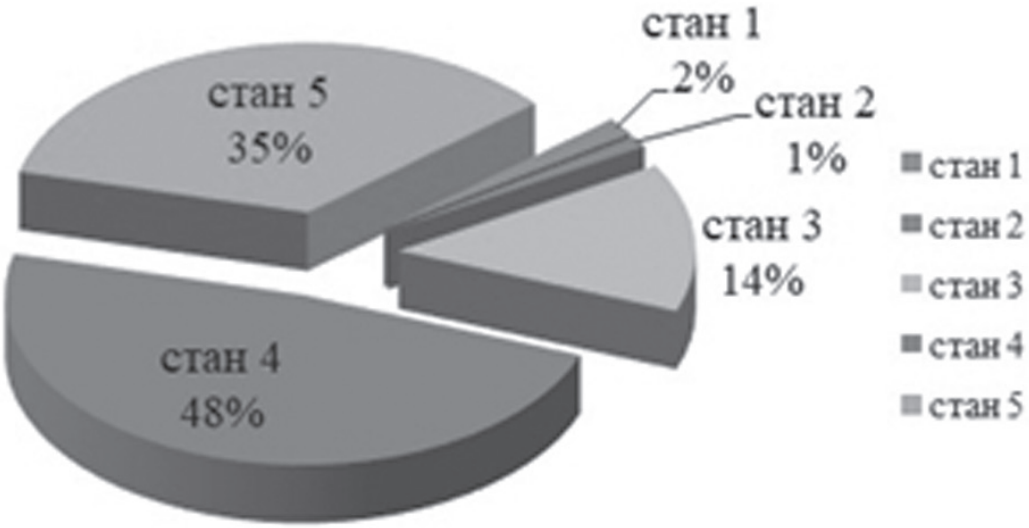


Рис. 6. Розподіл мостів на автомобільних дорогах загального користування України за експлуатаційними станами за ймовірнісними оцінками приведений до поточного 2019 року

Висновки

Визначення експлуатаційного стану моста є важливою умовою для прийняття кваліфікованих рішень під час його утримання. Впроваджена в Україні Аналітична експертна система управління мостами (АЕСУМ) зберігає дані моніторингу стану мостів, в ній виконуються необхідні процедури для підтримки їх в надійному і безпечному експлуатаційному станах.

Прийнята в Україні нормативна модель деградації мостів та розроблений алгоритм адаптації її в програмний комплекс АЕСУМ дають змогу визначити прогнозований експлуатаційний стан мостів. В умовах обмеженого фінансування і невчасного виконання обстежень у необхідний момент часу є змога отримати прогнозований експлуатаційний стан моста.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мости і труби. Основні вимоги проектування : ДБН В.1.3-22-2009. – [Чинний з 2009-11-11]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009.
2. Аналітично-експертна система України. – Електронний ресурс. – Режим доступу: http://dorndi.org.ua/ua/analitichno-ekspertna-sistema-upravlinnya-mostami
3. Боднар, Л. П. Аналітично-експертна система управління мостами. Досвід впровадження / Л. П. Боднар, А. І. Лантух-Лященко, О. П. Канін, П. М. Коваль, А. Є. Фаль // Дорожня галузь України. – №7. – 2011.– С. 42–47.
4. Боднар, Л. П. Програмний комплекс АЕСУМ. Досвід впровадження, сучасний стан та напрями подальшого розвитку / Л. П. Боднар, О. П. Канін // Материалы международной научно-практической конференции с участием студентов и молодых ученых «Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов». – Х.: ХНАДУ, 2012. – С. 30–35.
5. Боднар, Л. П. Сучасний інструмент управління мостами / Л. П. Боднар, Л. Г. Панібратець, С. С. Завгородній, О. П. Чурсін // Дорожня галузь України. – №4. – 2016. – С. 46–51.
6. Боднар, Л. П. Аналитическая экспертная система управления мостами. Опыт внедрения. Современное положение. Перспективы развития / Л. П. Боднар // Сборник статей 16-й конференции молодых учених «Наука – будущее Литвы» ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК. – Вильнюс: Техника, 2013. – с. 263–268.
7. Боднар, Л. П. Задача обоснования стратегий эксплуатации мостов на автомобильных дорогах» /Л. П. Боднар, А. П. Канин // Международная научно-техническая конференция «Автомобильные дороги: безопасность и надежность» : Сборник докладов. – Минск, 2016. – С.179–183.
8. Боднар, Л. П. Аналітична експертна система управління мостами. Досвід впровадження та перспективи розвитку : Збірник тез Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми ремонтів та утримання мостів». – Ужгород, 2018.
9. Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів : ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2012. – [Чинний з 2013-12-01]. – К.: ДП «ДерждорНДІ імені М. П. Шульгіна», 2009.
10. Шестериков, В. И. и др. Управление состоянием мостовых сооружений на федеральной сети автомобильных дорог России: Обзор. информ. / В. И. Шестериков, Л. И. Горобец, И. К. Матвеев / ФГУПИнформавтодор. – № 2. – М., 2007. – 96 с. – Режим доступу: http://internet-law.ru/stroyka/text/56251/
11. Sarja, Asko & Vesikari, Erkki (Editors). Durability design of concrete structures. RILEM Report of TC 130-CSL. RILEM Report Series 14. E&FN Spon, Chapman & Hall. – 1996. 165 p.
12. Shneiderman, Ben. A short history of structured flowcharts (Nassi-Shneiderman Diagrams) // Draft. – 2003.
13. Thompson, P., Small, E. P., Johnson, M., Marshall, A. R. The Pontis Bridge Management System // Structural engineering international. – № 4. – Vol. 8. – 1998. – P. 303– 308.
14. Yanev, B. The Management of Bridges in New York City. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/circ498/v1_C05.pdf
15. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування : ДБН В.2.3-6:2009. – [Чинний з 2009-11-11]. – К.: ДП «ДерждорНДІ імені М. П. Шульгіна», 2009.
16. Боднар, Л. П. Критерії формування планів обстежень мостів / Л. П. Боднар, П. М. Коваль, С. М. Степанов // Автошляховик України. – № 2 (254), 2018. – С. 34–42.

REFERENCES

1. Minrehionbud Ukrayiny. (2009). Mosty i truby. Osnovni vymohy proektuvannya: DBN V.1.3-22-2009. [Bridges and pipes. Main design requirements: DBN V.1.3-22-2009]. Kyiv, National Standart of Ukraine.
2. SE "M. P. Shulgin State Road Research Institute". (2019). Analitychno-ekspertna systema Ukrayiny. [Analytical and expert system of Ukraine]. Retrieved from http://dorndi.org.ua/ua/analitichno-ekspertna-sistema-upravlinnya-mostami.
3. Bodnar, L. P., Lantukh-Lyashchenko, A. I., Kanin, O. P., Koval', P. M. & Fal', A. Ye. (2011). Analitychno-ekspertna systema upravlinnya mostamy. Dosvid vprovadzhennya. [Analytical and expert system of bridge management. Experience of introduction]. Dorozhnya haluz' Ukrayiny, 7, 42–47.
4. Bodnar, L. P., Kanín, O. P. Programniy kompleks AYESUM. Dosvíd vprovadzhennya, suchasniy stan ta napryami podal'shogo rozvitku. (2012). [Program complex AESUM. The experience of implementation, the current state and directions of further development.]. Kharkiv, Proceedings of the international scientific-practical conference with the participation of students and young scientists «Modern computer-innovative technology design, construction, maintenance of roads and airfields», 30-35.
5. Bodnar, L. P., Panibratets', L. H., Zavhorodniy, S. S. & Chursin, O. P. (2016). Suchasnyy instrument upravlinnya mostamy. [The modern bridge management tool]. Kyiv, Dorozhnya haluz' Ukrayiny Journal, 4, 46–51.
6. Bodnar, L. P. (2013). Analiticheskaya ekspertnaya sistema upravleniya mostami. Opyt vnedreniya. Sovremennoye polozheniye. Perspektivy razvitiya. [Analytical expert control system for bridges. Experience of implementation. The current situation. Prospects of development]. Vilnius: Engineering, Sbornik statey 16-y konferentsii molodykh uchenikh «Nauka – budushcheye Litvy» INZHENERIYA TRANSPORTA I ORGANIZATSIYA PEREVOZOK. Vil'nyus: Tekhnika, 263–268.
7. Bodnar, L. P., Kanin, A. P. (2016). Zadacha obosnovaniya strategiy ekspluatatsii mostov na avtomobil'nykh dorogakh». [The task of substantiating strategies for the operation of bridges on highways «]. Minsk, Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Avtomobil'nyye dorogi: bezopasnost' i nadezhnost'»: Sbornik dokladov, 179–183.
8. Bodnar, L. P. (2018). Analitychna ekspertna systema upravlinnya mostamy. Dosvid vprovadzhennya ta perspektyvy rozvytku. [Analytical expert system of bridge management. Implementation experience and development perspectives]. Uzhhorod, Zbirnyk tez Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Aktual'ni problemy remontiv ta utrymannya mostiv».
9. SE "M. P. Shulgin State Road Research Institute". (2013). Nastanova z otsinyuvannya i prohnozuvannya tekhnichnoho stanu

avtodorozhnikh mostiv : DSTU-N B.V.2.3-23:2012. [The direction for estimating and forecasting the technical condition of road bridges: DSTU-N B.V.2.3-23:2012]. Kyiv, National Standart of Ukraine.
10. Shesterikov, V. I., Gorobets, L. I., Matveyev, I. K. Upravleniye sostoyaniyem mostovikh sooruzheniy na federal'noy seti avtomobil'nykh dorog Rossii: Obzor. inform. Moscow, FGUPInformavtodor, 2, 96. Retrieved from http://internet-law.ru/stroyka/text/56251/
11. Sarja, Asko & Vesikari, Erkki (Ed.). (1996). Durability design of concrete structures. RILEM Report of TC 130-CSL. RILEM Report Series 14. E&FN Spon, Chapman & Hall. 165.
12. Shneiderman, Ben. (2003). A short history of structured flowcharts (Nassi-Shneiderman Diagrams). Draft.
13. Thompson, P., Small, E. P., Johnson, M., Marshall, A. R. (1998). The Pontis Bridge Management System. Structural engineering international, 4, 8, 303–308.
14. Yanev, B., Rene B., Testa. The Management of Bridges in New York City. Retreieved from http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/circ498/v1_C05.pdf
15. SE "M. P. Shulgin State Road Research Institute". (2009). Sporudy transportu. Mosty ta truby. Obstezhennya i vyprobuvannya: DBN V.2.3-6:2009. [Construction facilities. Bridges and pipes. Inspection and testing: DBN V.2.3-6: 2009]. Kyiv, National Standart of Ukraine.
16. Bodnar, L. P., Koval', P. M. & Stepanov, S. M. (2018). Kryteriyi formuvannya planiv obstezhen' mostiv. [Criteria of formation of plans for survey of bridges]. Kyiv, Avtoshlyakhovyk Ukrayiny Journal, 2, 254, 34–42.

ДОРТЕХЕКСПО – 2019 ЄДНАЄ ГРОМАДИ

Вже другий рік поспіль НВЖ «Автошляховик України» виступає інформаційним партнером спеціалізованої виставки ДорТехЕкспо.

Із 5 до 7 листопада ДорТехЕкспо – 2019 відкриє двері для своїх відвідувачів. Традиційно захід пройде в єдиному форматі з Міжнародною спеціалізованою виставкою КомунТех – важливою частиною цієї комплексної виставкової події, присвяченої актуальним потребам муніципального господарства нашої країни.

Минулого року експозиція ДорТехЕкспо продемонструвала кращі зразки технологій, матеріалів, обладнання та техніки від українських та зарубіжних виробників, використання яких зробить українські громади комфортними та прогресивними.

На стендах можна було ознайомитися з послугами та продукцією від підприємств: UAB «Baltimark» (Литва) – виробник машин для дорожньої розмітки, бітумної мастики для ремонту та будівництва автодоріг тощо; West-East Group – створення дорожнього покриття нового покоління; Багатопрофільна приватна фірма «Астра» – поставки полімерів для модифікації бітумів; ТОВ «Атіс-Сервіс Україна» – продаж інструменту для дорожньо-будівельних робіт; ТОВ «Дормаш Груп Україна» – установки для виробництва модифікованого бітуму, ТОВ «Трініті-Груп» – офіційний представник низки світових лідерів асфальтобетонних технологій, виробників покриттів для мостів тощо.

Серед відвідувачів виставкового заходу ДорТехЕкспо та КомунТех відповідальні працівники урядових установ, голови обласних та районних державних адміністрацій, мери міст та населених пунктів України, керівний склад дорожніх служб, шляхо-експлуатаційних управлінь, комунальних підприємств, зокрема фахівці, які мають повноваження щодо закупівель продукції, зацікавлені спеціалісти суміжних галузей, представники державних і комерційних підприємств.

Цьогоріч організатори обіцяють докласти ще більше зусиль, аби виставковий захід став об'єднавчим майданчиком для успішних переговорів і втілення якісних проектів задля добробуду українських громад.

За матеріалами www.iec-expo.com.ua