

ДП "ДержавтрансНДІпроект"
ДП "ДерждорНДІ"
НТУ

Науково-виробничий журнал
"Автошляховик України"
Періодичність 4 рази на рік
№ 2 (266)'2021
(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:

Горицький В. М.
Безуглій А. О.
Новікова А. М.
Каськів В. І.

Редакційна колегія:
Агеев В. Б.
Белятинський А. О.
Богомолов В. О.
Бондар Н. М.
Бондаренко С. В.
Бородіна Н. А.
Вирожемський В. К.
Гутаревич Ю. Ф.
Дмитрієв М. М.
Золотарьов В. О.
Каськів В. І.
Клименко О. А.
Колесник Ю. Р.
Криворучко О. М.
Luty Witold

Мержиський В. В.
Мозговий В. В.
Нагайчук В. М.
Поліщук В. П.
Редзюк А. М.
Сахно В. П.
Sterenharz Arnold
Шинкаренко В. Г.

Випусковий редактор:
Копаниця І. В.

ISSN: 0365-8392

DOI: 10.33868/0365-8392-2021-1-265

Передплатний індекс – 74 000

Індексується:
Ulrichsweb
CrossRef
Google Scholar

АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

Горицький В. М., Ковалев С. О., Закревський О. І. Перспективи використання водню як моторного палива для транспортних засобів	2
Сахно В. П., Поляков В. М., Ященко Д. М., Корпач О. А., Попелиш Д. М. До питання щодо гальмування шарнірно-зчленованих автобусів	10
Гладченко В. С. Експериментальне дослідження колісного транспортного засобу, переобладнаного в електромобіль	18
Агарков О. В., Шевчук К. Я., Іваніна Ю. І. Застосування розширювача пробігу на твердооксидних паливних елементах (ТОПЕ) для електричних автобусів: досвід компаній Ceres Power (Велика Британія) та Weichai Power (Китай)	22
Федоров В. В., Філіпова Г. А., Яновський В. В., Терновий О. В. Зниження зовнішнього шуму САУ "Богдана" на базі шасі КРаЗ-63221 удосконаленим двокамерним реактивним глушником шуму	29

АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

Нагребельна Л. П., Кононенко А. О. Створення єдиної системи маршрутного орієнтування в Україні з урахуванням найкращого світового досвіду для підвищення безпеки дорожнього руху	36
Бондар Т. В., Беленчук О. В., Теплюк Є. Ф., Пина О. Г. Аналіз аварійності – шлях до ефективного управління безпекою руху на автомобільних дорогах	46
Онищенко А. М., Федоренко О. В., Зеленовський В. А., Цеханський О. Е. Досвід застосування армувальних матеріалів Adfors Glasgrid у будівництві та для ремонту асфальтобетонного покриття на автомобільних дорогах і мостах	53
Редченко В. П. Аналіз причин аварійного руйнування мосту через р. Чортомлик	62
Анонс: міжнародні виставки КомунТех-2021 та ДорTexЕкспо-2021	70

Мови видання: українська, російська та англійська.

Макетування: Шеканова Т. В.

Усі статті проходять одностроннє спіле рецензування

або відкрите рецензування та схвалються до друку

рішенням редколегії.

За достовірність фактів, цифр, точність імен і прізвищ відповідають автори статей, за зміст рекламних матеріалів – рекламидації.

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 25.03.2021

Формат 60x84/8. Друк офсетний. Папір крейдований.

Ум. друк. арк. 7,9. Зам. 372.

Видавець і виготовник 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 662.767:621.43:621.352

© В. М. Горицький, докт. техн. наук, професор,
директор, e-mail: vgorytskyi@insat.org.ua,
ORCID: 0000-0002-5903-1368;
© С. О. Ковалев, канд. техн. наук, ст. наук. спів.,
e-mail: skovalev@insat.org.ua,
ORCID: 0000-0002-3107-530X;
© О. І. Закревський, старший наук. співробітник,
e-mail: ozakrevsky@insat.org.ua,
ORCID: 0000-0002-6810-5146
(ДП "ДержавтрансНДПроект")

DOI: 10.33868/0365-8392-2021-2-266-2-10

© Volodymyr Goritsky, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.),
Professor, Direktor, e-mail: vgorytskyi@insat.org.ua,
ORCID: 0000-0002-5903-1368;
© Serhii Kovalov, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.),
Senior Research Officer, e-mail: skovalev@insat.org.ua;
ORCID: 0000-0002-3107-530X;
© Oleksandr Zakrevsky, Senior Research Fellow;
e-mail: ozakrevsky@insat.org.ua;
ORCID: 0000-0002-6810-5146;
(SE "State Road Transport Research Institute")

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ ЯК МОТОРНОГО ПАЛИВА ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

PROSPECTS OF HYDROGEN USE AS MOTOR FUEL FOR TRANSPORT VEHICLES

Анотація. Досліджено перспективи використання водню як моторного палива для транспортних засобів. Розглянуто інституційні та науково-технологічні передумови для розширеного застосування водню як палива на автомобільному та інших видах транспорту. Списко описані основні напрями науково-теоретичних досліджень та експериментальних робіт у зазначеній сфері.

Ключові слова: водень як моторне паливо, відновлюваний або "зелений" водень, двигун внутрішнього згоряння, паливні комірки, воднева стратегія.

Аннотация. Исследованы перспективы использования водорода в качестве моторного топлива для транспортных средств. Рассмотрены институциональные и научно-технологические предпосылки для расширенного применения водорода как моторного топлива на автомобильном и других видах транспорта. Кратко описаны основные направления научно-теоретических исследований и экспериментальных работ в указанной сфере.

Ключевые слова: водород в качестве моторного топлива, возобновляемый или "зеленый" водород, двигатель внутреннего сгорания, топливные элементы; водородная стратегия.

Abstract. It is considered some prospects on the use of hydrogen as fuel for motor vehicles. Institutional, scientific and technological preconditions which facilitate enlarged application of hydrogen fuel are argued. It is briefly described the principal directions of theoretical investigation and also experimental works in this area.

Keywords: hydrogen as vehicle fuel, renewable or green hydrogen, internal combustion engine, fuel cell, hydrogen strategy.

Вступ

Останніми роками у світі значно посилився інтерес до водневої енергетики як альтернативи до традиційної енергетики, що базується переважно на викопних (невідновлюваних) видах вуглеводневих палив. Так, у 2020 році в ЄС розроблено та

прийнято "A Hydrogen Strategy for a climate-neutral Europe" [1] ("Воднева стратегія для кліматично нейтральної Європи", далі – Воднева стратегія Європи).

Цього ж року Міністерством енергетики США розроблено та прийнято "Department of Energy

Hydrogen Program Plan" [2] ("Водневий програмний план"). Слід додати, що Міністерство енергетики США ще з 2002 року почало приділяти увагу "водневій економіці", яка, на погляд міністерства, дозволить США вирішити проблеми забруднення довкілля, а також забезпечити потреби у великій кількості доступної енергії без побоювання з приводу виснаження викопних ресурсів [3].

У свою чергу у 2019 році в Японії прийнято "The Strategic Road Map for Hydrogen and Fuel Cells. Industry-academia-government action plan to realize a "Hydrogen Society". Hydrogen and Fuel Cell Strategy Council" [4] ("Стратегічна дорожня карта для водню та паливних комірок. План дій галузевих, науково-дослідних та урядових структур щодо реалізації "Водневого суспільства". Рада зі Стратегії з питань водню та паливних комірок").

Розглядаючи зазначені документи детальніше, доходимо висновку, що "Воднева стратегія Європи" визначає перспективи поступового здійснення до 2050 року декарбонізації різних секторів економіки і пропонує відповідні політичні та технологічні рішення, а також механізми їхньої практичної реалізації. До того ж, "Воднева стратегія Європи" конкретизує завдання щодо виробництва і використання водню згідно з прийнятим у 2019 році Європейською комісією "The European Green Deal" [5] ("Європейський зелений курс"). Зокрема, "Воднева стратегія Європи" передбачає встановлення у країнах ЄС до 2030 року водневих електролізерів, що працюють на відновлюваній електроенергії загальною потужністю принаймні 40 ГВт для виробництва до 10 млн т відновлюваного ("зеленого") водню. Впродовж 2030–2050 рр. технології відновлюваного водню для декарбонізації мають охопити всі складові тих галузей економіки, де інші альтернативи не можуть бути реалізовані або ж потребуватимуть більших витрат.

Для транспортних засобів водень розглядається як перспективний варіант особливо в разі, коли електрифікація транспортних засобів є складнішою чи більш вартісною. На першому етапі реалізації стратегії пропонується застосо-

вувати водневе паливо для міських автобусів та комерційних автомобілів (зокрема таксі), для поїздів на окремих дільницях залізничної мережі, де електрифікація є занадто складною з технічної чи (або) економічної точки зору, а також для суден внутрішнього водного транспорту. І надалі передбачається стимулювати застосування водневих паливних комірок насамперед для важких вантажівок, міжміських автобусів і спеціальних транспортних засобів.

Зауважимо, що, крім прийнятої загальноєвропейської Стратегії, провідні європейські країни розробили і прийняли власні національні стратегії або програми. Так, у червні 2020 року Німеччина прийняла "Die Nationale Wasserstoffstrategie" ("Національна воднева стратегія"), а Франція затвердила "La nouvelle feuille de route énergétique de la France ou Programmation pluriannuelle de l'énergie" ("Нова дорожня карта Франції або багаторічна енергетична програма Франції"). Крім того, Польща, Нідерланди, Португалія та інші європейські країни в минулому році також прийняли свої національні водневі стратегії чи програми.

Повертаючись до "Водневого програмного плану" США, слід звернути увагу на те, що формально він є політичним документом Міністерства енергетики; проте фактично це національна стратегія, в якій узагальнюються та посилюються пріоритети в галузі водневої енергетики, що реалізуються в цій країні впродовж останніх 20 років. Водневий програмний план спрямований на прискорення наукових досліджень, розроблення та розширене впровадження технологій виробництва і використання водню в енергетиці, на транспорті та в інших галузях економіки. Річне споживання водню з теперішнього рівня близько 10 млн т може у 2050 році зрости до 20...40 млн т, а за оптимістичним сценарієм – до 60 млн т. Загалом планується, що водень може задовільнити від 1% до 14% від усієї потреби в енергії у США.

У транспортній галузі пріоритет віддається застосуванню паливних комірок передусім у великовантажних колісних транспортних засобах (далі – КТЗ) для перевезень на великі відстані.

Наступні за пріоритетністю – середньовантажні КТЗ для транспортування на середні відстані. Крім того, пропонується застосування різного складу газових сумішей, які утворюються на основі водню, що може сприяти продовженню широкого використання двигунів внутрішнього згоряння (далі – ДВЗ) не тільки на автомобільному, але й водному, залізничному та авіаційному транспорти.

Особливою ретельністю у стратегічному плануванні водневої енергетики вирізняється Японія, де разом зі схваленням основоположної водневої стратегії протягом короткого часу прийнято три редакції "Стратегічної дорожньої карти для водню і паливних комірок" (2014, 2016 і 2019 рр.) [6, 7]. Усі ці документи, спрямовані на забезпечення формування "водневого суспільства" і визначають практичні заходи в різних сферах виробництва, постачання, зберігання та використання водню. Причому встановлюються чіткі конкретні показники виробництва тієї чи іншої техніки тощо. А досить часте оновлення планів показує цілеспрямованість уряду в досягненні поставленої мети. Зокрема у сфері транспорту, у стратегічних документах поставлене завдання як виробництва до 2030 року 800 тис. легкових автомобілів, 1,2 тис. автобусів і 10 тис. автонавантажувачів на паливних комірках (вважаючи, що один автонавантажувач споживає стільки ж водню, як три легкові автомобілі), так і створення відповідної інфраструктури водневих заправних станцій.

В Україні над розробленням водневої стратегії та планів працюють Міністерство енергетики, Міністерство інфраструктури та Національна академія наук. На шляху європейської інтеграції України у цій сфері особливо важливим є залучення нашої країни до "Європейського зеленого курсу" [5]. Так, у Спільній заяві за результатами 7-го засідання Ради асоціації між Україною та ЄС вітається прагнення України наблизити свою політику та законодавство до "Європейського зеленого курсу", а також наголошується на важливості посилення спільних дій для розв'язання викликів щодо зміни клімату, включаючи проблематику енергоефективності та використання водню [8].

Основна частина

Варто нагадати, що в Україні проблематикою застосування водню як моторного палива для транспортних засобів на досить високому теоретичному та експериментальному рівнях почали займатися ще в 70-ті роки минулого століття. Так, в Інституті проблем машинобудування НАН України ім. А. М. Підгорного впродовж багатьох десятирічий виконувались науково-дослідні та дослі-

дно-конструкторські роботи (далі – НДДКР) щодо застосування водню як основного палива, а також добавок до бензинів для автомобільних ДВЗ з примусовим запалюванням, а пізніше – для ДВЗ із запалюванням від стиснення. Крім того, інститутом проводились роботи з питань зберігання водню на борту КТЗ [9].

Наукові дослідження із застосуванням водню як моторного палива або добавки до традиційних рідких моторних палив для КТЗ здійснювалися також і в ряді наукових інститутів НАН України та українських вищих навчальних закладах [9 – 16]. Проте ці НДДКР виконувались як розрізнені роботи, без єдиного централізованого плану та фінансування.

Сучасний огляд світової науково-технічної літератури підтверджує, що особливо впродовж останніх десяти – п'ятнадцяти років провідні виробники ДВЗ та КТЗ досить широко займаються НДДКР у сфері використання водню як моторного палива для КТЗ за такими основними напрямами:

- водень як добавка до традиційних рідких моторних палив (зокрема бензинів) для ДВЗ з іскровим запалюванням;
- повне заміщення автомобільних бензинів воднем для ДВЗ з іскровим запалюванням;
- суміші водню з природним газом для газових двигунів з іскровим запалюванням, конвертованих на базі дизелів;
- добавка водню до дизельного палива для дизельних двигунів;
- добавка водню до біодизельного палива для адаптованих для цього виду палива дизельних двигунів;
- добавка водню до суміші "нафтового" дизельного палива з біодизельним паливом та іншими видами біопалива;
- водневі паливні комірки для транспортних засобів;
- технології зберігання водню на борту транспортних засобів.

Водночас, упродовж особливо останніх років, використання водню як моторного палива для КТЗ з науково-дослідного рівня почало втілюватись у практику реальної експлуатації.

Так, на сьогодні ряд провідних світових компаній виробників автомобілів – таких, як Toyota Motor Corporation, Honda Motor Co., Ltd. і Hyundai Motor Company – вже невеликими партіями серійно випускають КТЗ, що працюють на водневому паливі. Розробкою автомобілів на водневому паливі займаються також Daimler AG, Audi AG, BMW AG, Ford, Nissan Motor Co., Ltd. та інші.

Крім того, за статистичними даними Міжнародного енергетичного агентства, світовий парк КТЗ на водневих паливних комірках на кінець 2018 року перевищив 12,9 тис. одиниць (з них 46% – у США, 23% – в Японії, 14% – в Китаї). А кількість водневих автомобільних заправних станцій (далі – АЗС) у світі у зазначеній час досягла 376 штук (з них: 172 – у країнах Європи, 100 – в Японії, 63 – у США). Причому в Японії всі такі АЗС були відкритими для загального (публічного) користування; у США публічними було 44 АЗС, у ФРН – 60 АЗС. До того ж, на кінець 2019 року у світі вже експлуатувалось 432 водневі АЗС, серед них 330 – відкриті для загального (публічного) користування. У Європі – 177 станцій (із них 87 – у ФРН) [17, 18].

Коротко зупиняючись на результатах аналізування вищезазначених науково-технічних напрямів, можна визнати, що ще до недавнього часу найбільш розповсюдженою технологією використання водню як моторного палива була конвертація бензинових ДВЗ з іскровим запалюванням для роботи на водні.

Про це свідчать і матеріали університетських підручників у США [19], і навіть експериментальні зразки автомобілів компаній Ford (2000, 2003 і 2005 рр.), BMW AG (2004 р.), Volkswagen AG (2009 р.) і Mazda Motor Corporation, яка застосовує роторні ДВЗ для роботи на водні.

На рис. 1 показано автомобіль Ford Model U (модель 2003 р.) із ДВЗ робочим об'ємом 2,3 л. На борту автомобіля у водневих балонах із тиском 700 кгс/см² зберігається до 7 кг водню.

На рис. 2 показано водневу АЗС, розташовану в Каліфорнії (США), а на рис. 3 – зовнішній вигляд заправного пристрою для заправки КТЗ стисненим воднем.

Слід зауважити, що близько 90% світових АЗС призначені для заправки КТЗ стисненим воднем, а решта – зрідженим.

Загалом водневі ДВЗ з іскровим запалюванням залишаються актуальними й нині. Про це свідчать багато розробок, зокрема здійснені у 2020 році китайськими виробниками двигуна з розподіленням безпосереднім впорскуванням водню.

У бельгійському Universiteit Gent (Університет Гента) дещо раніше реалізували схожу ідею переобладнання бензинового ДВЗ з іскровим запалюванням моделі GM/Crusader V8 для роботи на водні. На цьому ДВЗ встановлена система багатоточкового послідовного впорскування водню, а сам двигун призначений для міського автобуса.

Також продовжуються численні випробування ДВЗ з іскровим запалюванням, що працюють або



Рис. 1. Автомобіль Ford Model U (модель 2003 р.) з ДВЗ 2,3 л



Рис. 2. АЗС для заправки КТЗ стисненим воднем, Каліфорнія (США)



Рис. 3. Зовнішній вигляд пристрою для заправки КТЗ стисненим воднем

тільки на водні, або на суміші водню з природним газом. До них відносяться експериментальні дослідження ДВЗ з іскровим запалюванням (зокрема з турбонаддувом) на різних за співвідношенням сумішах водень – природний газ. Такі ж дослідження здійснюються і для потужних газових ДВЗ. На практиці така ідея, для прикладу, була реалізована Collier Technologies Inc. через свою дочірню компанію City Engines Inc., яка на замовлення компанії Daewoo Heavy Industries Ltd. створила 11-літровий водневий газовий двигун, що працює на суміші з 30% водню і 70% природного газу [20].

Досить традиційним є і напрямок добавок водню в дизельне паливо для ДВЗ із запалюванням

від стиснення. Технологічно простішим і більш розповсюдженим методом є забагачення дизельного палива невеликою кількістю водню; проте більш ефективним, очевидно, є безпосереднє впорскування водню в камеру згоряння дизеля. Як і для бензинових ДВЗ, добавка водню до дизельного палива сприяє поліпшенню техніко-економічних та екологічних показників двигунів.

Ще одна альтернатива – це переобладнання дизелів у газодизелі для роботи за газодизельним циклом на суміші водню та природного газу або біогазу. В такому разі суміш водню та природний газ або біогаз впорскуються у впускний колектор, а дизельне паливо використовується як "запальна доза".

Окрім КТЗ, дослідження добавок водню здійснюються для судових дизельних енергетичних установок, які працюють на важких сортах палива.

Останніми роками проводяться досить широкі дослідження результативності добавок водню у двигуни, що працюють на суміші дизельного палива з біодизельним паливом. Досліджуються способи як подачі або впорскування водню до впускного трубопроводу, так і його безпосереднього впорскування в камеру згоряння за допомогою акумулятивної системи багатоточкового впорскування типу Common Rail.

На рис. 4 показано сідельний тягач, переобладнаний компанією Hydra Energy (Канада) для роботи за газодизельним циклом на стисненому "біоводні". Газові балони зі стисненим "біоводнем" розташовані за кабіною водія.

Найбільш перспективною альтернативою автомобілям із ДВЗ з іскровим запалюванням або із запалюванням від стиснення є транспортні засоби на паливних комірках (fuel cell vehicle – FCV) або, як їх іще називають, електричні транспортні засоби на паливних комірках (fuel cell electric



Рис. 4. Сідельний тягач, переобладнаний компанією Hydra Energy для роботи за газодизельним циклом на стисненому "біоводні" (Канада, 2021 р.).

vehicle – FCEV). Фактично це електричні транспортні засоби, які використовують паливні елементи, іноді в поєданні з невеликою батареєю або суперконденсатором, для живлення свого бортового електродвигуна. Паливний елемент (електрохімічна комірка) забезпечує перетворення хімічної енергії палива (водню) та окиснювача (кисень із повітря) в електроенергію. Отже, електрохімічна комірка в результаті високоекспективного "холодного" горіння водню безпосередньо виробляє електроенергію. У транспортних засобах на паливних комірках водень у стисненому стані зберігається в спеціальних автомобільних водневих балонах (див. рис. 6 та 7).

Відомо, що такі компанії, як Honda Motor Co., Ltd. (Honda FCX Clarity), Toyota Motor Corporation (Toyota Highlander FCHV та Toyota Mirai), Ford Motor Company (Focus FCV), BMW AG (Hydrogen 7), Hyundai Motor Company (Tucson FCEV), Daimler AG (Mercedes-Benz A-Class) та інші, виробляють і випробовують легкові автомобілі з силовими установками на водневих паливних комірках. Крім того, Daimler AG, Cummins Inc., Toyota Motor Corporation та інші виробляють та випробовують важкі вантажівки та автобуси на водневих паливних комірках. На рис. 5 показано легковий гібридний автомобіль Toyota Mirai (Японія) на водневих паливних комірках моделі FCA110. Автомобіль має запас ходу до 402 миль (або 647 км).

Крім паливних комірок Toyota Mirai оснащено нікель-метал-гідридним акумулятором. Як силовий агрегат на автомобіль встановлено синхронний електродвигун змінного струму, який під час гальмування автомобіля регенерує електроенергію в акумулятор. Максимальна потужність електродвигуна становить 113 кВт (154 к. с.). Електричний струм, що виробляється в паливних комірках, проходить через підвищувальний перетворювач, у якому постійний струм перетворюється на змінний, а напруга збільшується до 650 В.

Прикладом експериментального застосування водню на залізниці є запуск компанією Alstom поїздів Coradia iLint на паливних комірках у Німеччині та Нідерландах. Поїзд розвиває швидкість до 140 км/год і має запас ходу 600...800 км.

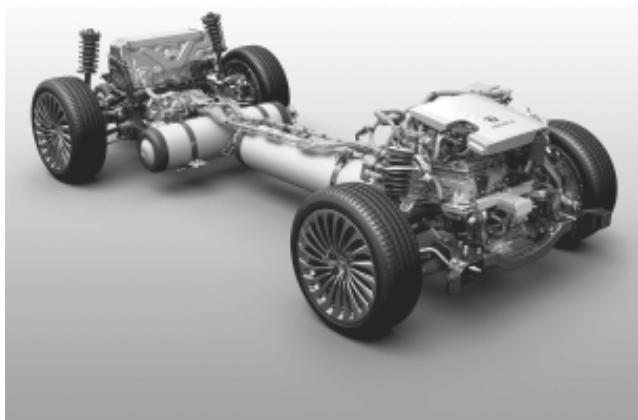
Слід додати, що одним зі складних технічних рішень залишається технологія зберігання водню на борту транспортних засобів. Відомо, що водень може зберігатися не тільки у стисненому стані (за різних величин надлишкового тиску), а і у зрідженному стані (за температури – 252,87 °C та атмосферного тиску) чи в металгідридних водневих балонах.



a



b



c



d

Рис. 5. Легковий гібридний автомобіль Toyota Mirai (Японія): *a* – легковий гібридний автомобіль Toyota Mirai; *b* – блок водневих паливних комірок автомобіля Toyota Mirai; *c* – шасі автомобіля з трьома водневими балонами; *d* – зовнішній вигляд заправного пристрою

На рис. 6 показано зовнішній вигляд автомобільного водневого балона виробництва компанії Worthington Industries, Inc. (США).

Ця компанія ще в 70-х роках минулого століття розробила і виготовила один із перших композитних автомобільних балонів типу CNG-3 для водню ["metal liner reinforced with resin impregnated continuous filament (fully wrapped)" – металевий корпус, армований просоченою смолою джгутовою ниткою (суцільне намотування)]. На сьогодні компанія виробляє тринадцять моделей балонів для стисненого водню, які можуть бути застосовані для КТЗ з силовими установками на водневих паливних комірках або з ДВЗ, чи для інших видів транспортних засобів.



Рис. 6. Автомобільний водневий балон типу CNG-3 виробництва компанії Worthington Industries, Inc.

У табл. 1 наведені основні характеристики деяких моделей автомобільних водневих балонів виробництва Worthington Industries, Inc. (США) [21].

Балони для водню типу CNG-3 виробництва Worthington Industries, Inc. мають діапазон робочого тиску від 245 до 690 кгс/см². Як свідчать дані Worthington Industries, Inc., для зберігання на борту КТЗ запасу водню можуть бути використані автомобільні балони, у яких з однаковим зовнішнім діаметром завдяки збільшенню довжини балона або робочого тиску може бути заправлена різна маса водню [21].

Ще однією компанією, яка серійно виробляє автомобільні водневі балони, є Toyoda Gosei Co., Ltd. (Японія). Водневий балон типу CNG-4 з автоматичним клапаном виробництва цієї компанії показано на рис. 7. Балони типу CNG-4 виробництва Toyoda Gosei Co. є балонами, виготовленими повністю з композитних матеріалів, включаючи високоміцний полімерний лайнер. Такі балони встановлені на автомобілі Toyota Mirai (див. рис. 5).

Таблиця 1

**Характеристики деяких автомобільних паливних балонів для водню виробництва
Worthington Industries, Inc. (США)**

№ з/п	Параметри	Модель балона				
		ALT881DK	ALT909	ALT962	ALT1015LP	ALT1015
1	Місткість, л	277,5	312,9	304,1	312,9	312,9
2	Маса водню, кг	4,9	7,3	8,4	9,2	10,0
3	Робочий тиск, кгс/см ²	245	340	425	460	510
4	Габаритні розміри балона, мм – зовнішній діаметр – довжина	410 2743	419 3048	439 2976	445 3048	452 3048
5	Маса порожнього балона, кг	110	130	190	217	224

Відомо, що на двопаливних легкових автомобілях BMW Hydrogen 7 і Mazda RX-8 Hydrogen RE, які працюють на бензині або водні, останній у зрідженному стані зберігається на борту в крігенних паливних баках.

Також нещодавно у Тайвані почали застосовувати металгідридні водневі баки для двоколісних транспортних засобів, хоч ця технологія вже давно успішно застосована на експериментальних мікроавтобусах та автонавантажувачах.

Металгідридна ємність моделі HB-SS-16500-L виробництва компанії HBank Technologies Inc. (Тайвань) показана на рис. 8 [22].

Ємність призначена для малого гібридного або водневого автомобіля, що працює на паливних комірках. Вона має масу 190 кг і габаритні розміри 380 мм х 550 мм х 550 мм. Її продуктивність (за нормальних умов) становить до 12,5 л водню за хвилину. В ємності (за нормальних умов) зберігається 16 500 л водню.

Отже, для широкомасштабного застосування водню як моторного палива для вітчизняних

транспортних засобів, що експлуатуються в Україні, необхідно розпочинати новітні наукові дослідження з розроблення і впровадження інноваційних технологічних рішень для підвищення ефективності його використання.

Висновки

Для застосування на транспорті перспективних видів моторного палива, зокрема водню або його суміші з іншими газовими чи рідкими традиційними моторними паливами, зменшення шкідливих викидів транспортними засобами, забезпечення транзиту транспортних засобів, що відповідає тенденціям провідних європейських та світових держав, на наш погляд, необхідно:

1. Провести системні дослідження ефективності використання водню як моторного палива для наземного транспорту на території України. Дослідити джерела одержання водню як моторного палива в Україні на базі власного виробництва. Прискорити наукові дослідження для забезпечення розроблення, а також розповсюдження та



Рис. 7. Автомобільний водневий балон типу CNG-4 з автоматичним клапаном балона виробництва компанії Toyoda Gosei Co., Ltd



Рис. 8. Металгідридна ємність моделі HB-SS-16500-L (компанія HBank Technologies Inc., Тайвань)

впровадження технологій виробництва і використання водню на транспорті.

2. Здійснити наукові дослідження щодо застосування різного складу газових сумішей, які утворюються на основі водню, що може сприяти продовженню використання ДВЗ на автомобільному транспорті.

3. Розробити стимули для виробництва та застосування водневих паливних комірок насамперед для міських та міжміських автобусів, комерційних автомобілів (зокрема таксі), важких вантажівок і спеціальних транспортних засобів.

4. Дослідити можливість та ефективність використання водню як моторного палива на залізничному транспорті (для роботи маневрових та магістральних тепловозів за газодизельним циклом), а також для позашляхових великовантажних транспортних засобів (таких, як кар'єрні автомобілі-самоскиди).

5. Провести наукові дослідження стосовно інноваційних технологій зберігання водню на борту транспортних засобів.

Література

1. Communication from the Commission to the European Parliament, the council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. European Commission. Brussels, 08.07.2020. – P 23.
2. The U. S. Department of Energy. Hydrogen Program Plan, Washington, November 2020. – P 51.
3. United States Department of Energy. Based on the results of the National Hydrogen Energy Roadmap Workshop, Washington, DC April 2-3, 2002. – P 58.
4. The Strategic Road Map for Hydrogen and Fuel Cells. Industry-academia-government action plan to realize a "Hydrogen Society". Hydrogen and Fuel Cell Strategy Council. Tokyo, March 12, 2019. – P 59.
5. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The European Green Deal. Brussels, 11.12.2019. – P 24.
6. Summary of the Strategic Road Map for Hydrogen and Fuel Cells. Agency for Natural Resources and Energy. Tokyo, June 23, 2014. – P 6.
7. Summary of the Strategic Road Map for Hydrogen and Fuel Cells. Agency for Natural Resources and Energy. Tokyo, March 22, 2016.
8. Спільна заява за результатами 7-го засідання Ради асоціації між Україною та ЄС [Електронний ресурс] // Урядовий портал. Департамент комунікацій Секретаріату Кабінету Міністрів України, опубліковано 12 лютого 2021 року. – Режим доступу журн.: <https://www.kmu.gov.ua/news/spilna-zayava-za-rezultatami-7-go-zasidannya-radi-asociaciyi-mizh-ukrayinoyu-ta-yes>. – Назва з екрану.
9. Применение водорода для автомобильных двигателей / Мищенко А.И. // К.: Наукова думка, 1984. 141 с.
10. Ковтун Г. О. // Перспективи водневої енергетики / Ковтун Г.О., Полункін Є.В. // Вісник НАН України. – 2007. – № 4 – С. 12 – 18.
11. Левтеров А. М. // Экспериментальный образец водородного автомобиля на базе модели ГАЗ-2705. / Левтеров А. М., Савицкий В. Д. // Автомобільний транспорт. 2008. – № 22. – С. 17 – 23.

12. Соловей В. В. // Вплив енергоекологічних факторів на конкурентоздатність водню як моторного палива (в транспортних енергоустановках) / Соловей В. В., Внукова Н. В., Гриценко А. В., Каніло П. М. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – 5/8 (71) – С. 41–46.
13. Экологический аспект конкурентоспособности использования водорода в качестве топлива / Пилипенко С. О. // Проблемы машиностроения. – 2014. – Т. 17, № 2. – С. 54–57.
14. Гуцаленко О. В. Перспективи застосування водню як альтернативного джерела енергії / Гуцаленко О. В., Василенко Т. С. // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – 2014. – Вип. 1. – С. 193 – 200.
15. Кудря С. О. // Концепція дорожньої карти розвитку водневої енергетики України на період до 2035 року. / Кудря С. О., Репкін О. О., Яценко Л. В., Шинкаренко Л. Я., Ткаленко М. А. // Відновлювана енергетика. – 2019. – № 4 (59). – С. 22–28.
16. Водень в електро- та транспортній енергетиці. / Карп I. M. // Технічна електродинаміка. – 2020. – № 1. – С. 64–70.
17. International Energy Agency. [Електронний ресурс] // AFC TCP 2019 Survey on the Number of Fuel Cell Vehicles, Hydrogen Refueling Stations and Targets. Fuel Cell Vehicles as of End 2018. / Режим доступу до журн.: <https://www.ieafuelcell.com/fileadmin/publications/2019-04 AFC TCP survey status FCEV 2018. Pdf.> – Назва з екрану.
18. FuelCellsWorks. [Електронний ресурс] // In 2019: 83 New Hydrogen Refueling Stations Worldwide / Режим доступу до журн.: <https://fuelcellsworldwide.com/news/in-2019-83-new-hydrogen-refuelling-stations-worldwide/>. – Назва з екрану.
19. Lazari, Andreas. "Section IV: Physics, mathematics, computer science, engineering and technology." Georgia Journal of Science, vol. 68, No. 1, 2010, p. 45+.
20. Heavy-duty engine will burn hydrogen-CNG fuel. Machine Design. No. 39, June 16, 2005. (www.machinedesign.com).
21. Hydrogen Fuel Tanks. [Електронний ресурс] // Worthington Industries / Режим доступу до журн.: <https://worthingtonindustries.com/>. – Назва з екрану.
22. Fuel Cell Application. [Електронний ресурс] // HBank Technologies/ Режим доступу до журн.: <https://hbank.com.tw/fc/16500.html>. – Назва з екрану.

References

1. Communication from the Commission to the European Parliament, the council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. European Commission. Brussels, 08.07.2020. – P 23.
2. The U. S. Department of Energy. Hydrogen Program Plan, Washington, November 2020. – P 51.
3. United States Department of Energy. Based on the results of the National Hydrogen Energy Roadmap Workshop, Washington, DC April 2-3, 2002. – P 58.
4. The Strategic Road Map for Hydrogen and Fuel Cells. Industry-academia-government action plan to realize a "Hydrogen Society". Hydrogen and Fuel Cell Strategy Council. Tokyo, March 12, 2019. – P 59.
5. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The European Green Deal. Brussels, 11.12.2019. – P 24.
6. Summary of the Strategic Road Map for Hydrogen and Fuel Cells. Agency for Natural Resources and Energy. Tokyo, June 23, 2014. – P 6.
7. Summary of the Strategic Road Map for Hydrogen and Fuel Cells. Agency for Natural Resources and Energy. Tokyo, March 22, 2016.
8. Spil'na zayava za rezul'tatamy 7-ho zasidannya Rady asotsiatsiyi mizh Ukrayinoyu ta EU. Uryadovyy portal. Departament komunikatsiy Sekretariatu Kabinetu Ministriv Ukrayiny, opublikовано 12 lyutoho 2021 roku, available at: <http://www.https://www.kmu.gov.ua/news/spilna-zayava-za-rezultatami-7-go-zasidannya-radi-asotsiatsiyi-mizh-ukrayinoyu-ta-yes>.

9. Myshchenko A. Y. (1984) Prymenenye vodoroda dlya avtomobyl'nyikh dyvhatelye. K.: Naukova dumka, 1984. 141 p.
10. Kovtun H. O., Polunkin Ye. V. (2007) Perspektyvy vodnevoyi enerhetyky. Visnyk NAN Ukrayiny. – 2007. – No. 4 – P. 12 – 18.
11. Levterov A. M., Savitskyy V. D. (2008) Эксперимент'nyiy obrazets vodorodnoho avtomobilya na baze modely HAZ-2705. / Levterov A. M., Savitskyy V. D. // Avtomobil'nyiy transport. 2008. – No. 22. – P. 17 – 23.
12. Solovey V. V., Vnukova N. V., Hrytsenko A. V., Kanilo P. M. (2014) Vplyv enerhoekolohichnykh faktoriv na konkurentozdatnist' vodnyu yak motornoho palyva (v transportnykh enerhoustanovkakh). Vostochno-Evropeyskyy zhurnal peredovykh tekhnologiy. – 2014. – 5/8 (71) – P. 41 – 46.
13. Pylypenko S.O. (2014) Эколохический аспект konkurentosposobnosti yspol'zovannya vodoroda v kachestve topliva. Problemy mashynostroenyia. – 2014. – T. 17, No. 2. – P. 54 – 57.
14. Hutsalenko O. V., Vasylenco T. S. (2014) Perspektyvy zastosuvannya vodnyu yak al'ternatyvnoho dzherela enerhiyi. Zbirnyk naukovykh prats' Vinnyts'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky. – 2014. – No. 1. – P. 193 – 200.
15. Kudrya S. O., Ryepkin O. O., Yatsenko L. V., Shynkarenko L. Ya., Tkachenko M. A. (2019) Kontseptsiya dorozhn'oyi karty rozvitiyu vodnevoyi enerhetyky Ukrayiny na period do 2035 roku. / Kudrya S.O., // Vidnovlyuvana enerhetyka. – 2019. – No. 4 (59). – P. 22 – 28.
16. Karp I. M. (2020) Voden' v elektro- ta transportniy enerhetytsi. Tekhnichna elektrodynamika. – 2020. – No. 1. – S. 64 – 70.
17. International Energy Agency. AFC TCP 2019 Survey on the Number of Fuel Cell Vehicles, Hydrogen Refueling Stations and Targets. Fuel Cell Vehicles as of End 2018, available at: <https://www.ieafuelcell.com/fileadmin/publications/2019-04 AFC TCP survey status FCEV 2018. Pdf>.
18. FuelCellsWorks. In 2019: 83 New Hydrogen Refueling Stations Worldwide, available at: <https://fuelcellsworks.com/news/in-2019-83-new-hydrogen-refuelling-stations-worldwide/>.
19. Lazar, Andreas. "Section IV: Physics, mathematics, computer science, engineering and technology." Georgia Journal of Science, vol. 68, No. 1, 2010, p. 45+.
20. Heavy-duty engine will burn hydrogen-CNG fuel. Machine Design. No. 39, June 16, 2005. (www.machinedesign.com).
21. Hydrogen Fuel Tanks. Worthington Industries, available at: <https://worthingtonindustries.com/>.
22. Fuel Cell Application. HBANK Technologies, available at: <https://http://hbank.com.tw/fc/16500.html/>.

УДК 629.113

© В. П. Сахно, докт. техн. наук, професор, зав. кафедри автомобілів, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-5144-7131
 © В. М. Поляков, канд. техн. наук, доцент, професор кафедри автомобілів, e-mail: poljakov_2006@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7042-3066
 © Д. М. Ященко, канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів, e-mail: y_d2@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3674-0089
 © О. А. Корпач, канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів, e-mail: korpach1988@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2496-4395
 (Національний транспортний університет);
 © Д. М. Попелиш, аспірант, зав. відділу оцінки відповідності переобладнання транспортних засобів та їхніх складових частин, e-mail: popelish@ukr.net, ORCID: 0000-0001-9506-6421
 (ДП "ДержавтотрансНДІпроект")

DOI: 10.33868/0365-8392-2021-2-10-18

© Volodymyr Sakhno, Doctor of Science in Engineering (D.Sc.), Professor, Head of Automobiles Department, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua, ORCID: 0000-0002-5144-7131
 © Volodymyr Poliakov, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), e-mail: poljakov_2006@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7042-3066
 © Dmytro Yaschenko, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), e-mail: y_d2@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3674-0089
 © Oleksii Korpach, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), e-mail: korpach1988@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2496-4395 (National Transport University);
 © Denis Popelysh, Postgraduate Student, Head of Department of Approval of Converted Vehicles and their Components, e-mail: popelish@ukr.net, ORCID: 0000-0001-9506-6421 (SE "State Road Transport Research Institute")

ДО ПИТАННЯ ЩОДО ГАЛЬМУВАННЯ ШАРНІРНО-ЗЧЛЕНОВАНИХ АВТОБУСІВ

ON THE QUESTION OF BRAKING ARTICULATED BUSES

Анотація. Безпечний рух автомобіля й автопоїзда багато в чому визначається їхніми гальмівними властивостями. Характер руху автопоїзда принципово відрізняється від руху одиночного автомобіля. Відмінність можна пояснити наявністю додаткових зусиль, що виникають у шарнірному з'єднанні ланок транспортного засобу, а також сил і моментів, які діють на його окремі ланки та рух транспортного засобу в цілому. Особливо помітним є їхній вплив під час гальмування автопоїзда, яке може супроводжуватися складанням ланок та втратою стійкості транспортного засобу. В результаті проведеного дослідження встановлено оптимальні значення коефіцієнтів розподілу гальмівних зусиль для повністю навантаженого зчленованого автобуса, за яких забезпечується як висока ефективність гальмування, так і стійкість шарнірно-зчленованого автобуса (ШЗА) під час гальмування. Визначені значення коефіцієнтів, що враховують конструктивні особливості гальмівних механізмів та їхні геометричні розміри, за яких забезпечується необхідна ефективність гальмування. За вибраних значень коефіцієнтів розподілу гальмівних зусиль по осіах ШЗА та коефіцієнтів, що враховують конструктивні особливості гальмівних механізмів і їхні геометричні розміри, значення гальмівного шляху як під час гальмування основного або робочою гальмівною системою, так і запасною відповідають вимогам нормативних документів. За обраної асинхронності спрацьування гальмівних приводів автобуса і причепа стало сповільнення ШЗА дещо менше за нормативне.

Ключові слова: автобус, причіп, шарнірно-зчленований автобус, гальмування, навантаження, гальмівний шлях, сповільнення, зчеплення.

Аннотация. Безпоснє движение автомобіля і автопоїзда во многом определяется их тормозными свойствами. Характер движения автопоїзда принципиально отличается от движения единичного автомобиля. Отличие можно объяснить наличием дополнительных усилий, возникающих в шарнирном соединении звеньев транспортного средства, а также сил и моментов, действующих на его отдельные звенья и движение транспортного средства в целом. Особенно заметно их влияние при торможении автопоїзда, которое может сопровождаться складыванием звеньев и потерей устойчивости транспортного средства. В результате проведенного исследования получены оптимальные значения коэффициентов распределения тормозных усилий для полностью груженного сочлененного автобуса, обеспечивающие как высокую эффективность торможения, так и устойчивость шарнирно-сочлененного автобуса (ШСА) при торможении. Определены значения коэффициентов, учитывающих конструктивные особенности тормозных механизмов и их геометрические размеры, обеспечивающие требуемую эффективность торможения. Для выбранных значений коэффициентов распределения тормозных усилий по осям ШСА и коэффициентов, учитывающих конструктивные особенности тормозных механизмов и их геометрические размеры, значения тормозного пути как при торможении основной или рабочей тормозной системой, так и запасной удовлетворяют требования нормативных документов. При выбранной асинхронности срабатывания тормозных приводов автобуса и прицепа устойчивое замедление ШСА несколько меньше нормативного.

Ключевые слова: автобус, прицеп, шарнирно-сочлененный автобус, торможение, нагрузка, тормозной путь, замедление, сцепления.

Abstract. The safe movement of a car and a road train is largely determined by its braking properties. The nature of the movement of the road train is fundamentally different from the movement of a single car. The difference can be explained by the presence of additional forces arising in the articulation of the links of the vehicle, as well as forces and moments acting on its individual links and the movement of the vehicle as a whole. Their effect is especially noticeable when braking a road train, which may be accompanied by folding links and loss of stability of the vehicle. As a result of the study, the optimal values of the brake force distribution coefficients for a fully loaded articulated bus are obtained, which provide both high braking efficiency and the stability of the articulated bus (AB) during braking. The coefficients are determined taking into account the design features of the brake mechanisms and their geometric dimensions, providing the required braking performance. For the selected values of the braking force distribution coefficients along the axes of the AB and the coefficients that take into account the design features of the braking mechanisms and their geometric dimensions, the braking distance during braking by the main or working braking system and the spare one satisfy the requirements of regulatory documents. With the selected asynchronous response of the brake drives of the bus and trailer, the steady deceleration of the AB is slightly less than the standard

Keywords: bus, trailer, articulated bus, braking, load, braking distance, deceleration, clutch.

Вступ

Безпечний рух автомобіля й автопоїзда багато в чому визначається їхніми динамічними властивостями і значною мірою гальмівними властивостями, маневреністю, стійкістю та керованістю. Для будь-якого транспортного засобу, зокрема для автобуса, основними параметрами призначення (показниками його здатності виконувати свої функції) є габаритні розміри, масові параметри, швидкісні та динамічні характеристики виконуваної транспортної роботи тощо. Залежно від умов експлуатації (транспортних і дорожніх) на перший план виходять різні параметри. Для всіх міських автобусів це пасажиромісткість, темп пасажирообміну, динаміка розганяння і гальмування, стійкість, керованість, а для міських, особливо великих, крім того, маневреність.

Автобуси особливо великого класу з метою забезпечення необхідної маневреності можуть бути виконані шарнірно-зчленованими (ШЗА), що складаються саме з автобуса і причіпної секції (причепа). Досягнення нормованих показників маневреності автобусів особливо великого класу загальною довжиною до 18 м можливе тільки з керованими передніми колесами тягової секції. За умови збільшення загальної довжини ШЗА понад 18 м необхідне керування колесами причіпної секції. Проте автобуси з керованою задньою віссю схильні до поперечних відхилень причепа, що слід враховувати в їхній експлуатації.

Для досягнення високих показників продуктивності використання автопоїздів під час здійснен-

ня перевезень необхідно створити умови для їхньої експлуатації з максимальною ефективністю, тобто із максимальним завантаженням та за умови руху на максимальних швидкостях. Для цього передусім потрібно забезпечити дотримання даними транспортними засобами основних експлуатаційних властивостей, що визначають безпеку руху. Серед найбільш важливих техніко-експлуатаційних властивостей автопоїздів, що гарантують безпеку їхнього руху, варто виокремити гальмівну динаміку транспортного засобу, зокрема шарнірно-зчленованих автобусів (ШЗА), чим і пояснюється актуальність даного дослідження.

Аналіз літературних джерел. Характер руху автопоїзда принципово відрізняється від руху одиничного автомобіля. Відмінність можна пояснити наявністю додаткових зусиль, що виникають у шарнірному з'єднанні ланок транспортного засобу, а також сил і моментів, які діють на його окремі ланки та рух транспортного засобу в цілому. Особливо помітним є їхній вплив під час гальмування автопоїзда, яке може супроводжуватися складанням ланок та втратою стійкості транспортного засобу. Це пояснюється тим, що у процесі гальмування на автопоїзд діють сили та моменти в різних площинах та напрямах. Під їхнім впливом змінюється навантаження окремих коліс. Вплив бічних сил призводить до перевантаження коліс одного борту транспортного засобу, а також може спричинити відведення або ковзання його коліс.

Численні дослідження доводять, що динаміка гальмування автопоїзда набагато складніша,

ніж в одиничного автомобіля, що спричинено наявністю шарнірного зв'язку між ланками транспортного засобу, а також додаткових сил і моментів, які діють окремо на тягач та причіпні ланки. Ще одним фактором, який ускладнює динаміку гальмування автомобільного поїзда, можна назвати неодночасність спрацювання гальмівних механізмів різних осей, спричинену великою протяжністю гальмівних магістралей. Сюди ж віднесемо можливість складання ланок автопоїзда, запобігти якому набагато важче, ніж уникнути заносу одиничного автомобіля. Чимало дослідників [1-5 та ін.] однією з основних причин складання ланок автомобільного поїзда вважають набігання причіпної ланки на автомобіль-тягач, яке виникає в результаті створення зусиль стиску в опорно-зчіпному пристрой. Тому значення сили в зчіпному пристрой, яка виникає під час гальмування автомобільного поїзда, можна розглядати як один із критеріїв для оцінки стійкості транспортного засобу.

На основі дослідження стійкості автопоїзда у процесі гальмування у роботі [6] зроблений висновок про те, що кут складання ланок автомобільного поїзда напряму залежить від початкової швидкості гальмування, бази причіпної ланки та координат точки зчеплення причіпної ланки й тягача. Також дослідники вказують на обернену залежність кута складання автопоїзда від ступеня його завантаження, коефіцієнта зчеплення шин з опорною поверхнею та часу випередження гальмування причіпної ланки відносно тягача.

Як відомо, максимальна ефективність гальмування транспортного засобу забезпечується за умови повного використання зчіпної маси на кожній осі, коли під дією гальмівних моментів, що створюються гальмівними механізмами та гальмівним приводом, усі колеса одночасно перебувають на межі блокування [2, 6-9]. Тому метою роботи є визначення параметрів гальмівної системи ШЗА та аналіз факторів, що впливають на ефективність його гальмування.

Результати дослідження

Порівняно з одиночними автомобілями гальмівна динаміка автопоїздів має суттєві особливості: 1) складніший характер взаємозалежності гальмівних сил на осіах автопоїзда; 2) виникнення явищ складання ланок автопоїзда, запобігання яких вважається більш важким, ніж запобігання заносів одиночних автомобілів; 3) вплив на гальмівний шлях S_{an} автопоїзда більшого числа факторів, різноманіття комбінацій яких ускладнює однозначне визначення S_{an} . Розглянемо динаміку гальмування шарнірно-зчленованого автобуса (ШЗА), рис. 1.

Вихідними даними для розрахунку є:

- масові параметри: маса, що розподіляється на передню вісь автобуса, – 6500 кг, провідну вісь – 11500 кг, вісь причепа – 10000 кг;

- компонувальні параметри провідної ланки: координати центру мас автобуса: $a=3,747$ мм, $b=2,118$ мм, $h_{ga}=1,53$ м, $h_{kp}=0,86$ м; відстань від задньої осі автобуса до точки зчіпки з причепом $l_c=1,992$ мм;

- компонувальні параметри веденої ланки: координати центру мас причепа: $l_n=4,624$ м, $d=0,391$ м, $h_{gn}=1,53$ м.

Нехтуючи опором повітря та кочення і вважаючи зв'язок автобуса з причепом жорстким, у роботі [4] отримані вирази для опорних реакцій на осіах автопоїзда:

- на вісь причепа

$$Z_n = Z_{no} - \frac{G_n}{g} J_{an} D - \frac{G_a + G_n}{g} \gamma J_{an} E \quad (1)$$

де J_{an} – сповільнення автопоїзда;

$$Z_{no} = G_n \frac{l_n}{l_n + d}, \quad D = \frac{h_{gn} - h_{kp}}{l_n + d}, \quad (2)$$

$$E = \frac{h_{kp}}{l_n + d}$$

- на передню вісь автобуса

$$Z_{1a} = Z_{1ao} + \frac{G_n}{g} J_{an} F - \frac{G_a + G_n}{g} \gamma J_{an} G + \\ G_{na} \frac{(h_g - h_{kr})}{l_c + L_0}; \quad (3)$$

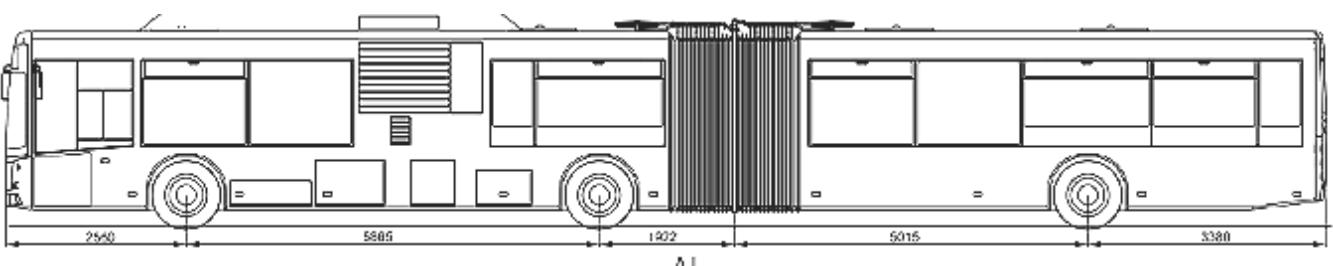


Рис. 1. Шарнірно-зчленований автобус

$$\text{де } Z_{1ao} = G_a \frac{b}{L_o} + G_n \frac{l_c d}{L_o(l_n + d)},$$

$$F = \frac{G_a}{G_n} \frac{h_{gT}}{L_o} + \frac{h_{kp}}{L_o} + \frac{l_c(h_{gn} - h_{kp})}{L_o(l_n + d)},$$

$$G = \frac{h_{kp}}{L_o} - \frac{l_c h_{kp}}{L_o(l_n + d)}$$

$$Z_{2a} = Z_{2ao} - \frac{G_n}{g} J_{an} A + \frac{G_a + G_n}{g} \lambda J_{an} B - G_{na} \frac{(h_g - h_{kr})}{l_c + L_0}; \quad (4)$$

$$\text{де } Z_{2ao} = G_a \frac{a}{L_o} + (1 - \frac{l_c}{L_o}) G_n \times \frac{d}{d + l_n},$$

$$A = \frac{G_a}{G_n} \times \frac{h_{gT}}{L_o} + \frac{h_{kp}}{L_o} - \left(1 - \frac{l_c}{L_o}\right) \times \frac{h_{gn} - h_{kp}}{l_n + d},$$

$$B = \frac{h_{kp}}{L_o} + 1 \left(\frac{l_c}{L_o} \right) \times \frac{h_{kp}}{l_n + d}.$$

– поздовжня реакція у зчіпному пристрої

$$P_{kp} = \frac{J_{an}}{g} G_n \left(1 - \frac{\gamma}{m}\right), \quad (5)$$

де: $m = \frac{G_n}{G_a + G_n}$ – коефіцієнт масової характеристики ШЗА; $m=10/28=0,357$; γ – коефіцієнт, що показує, яку частину загальної гальмівної сили ШЗА створює причіп, $\gamma=0,56$

У рівняннях (1-5) позначено: Z_{no} , Z_{1ao} , Z_{2ao} – статичні опорні реакції на колеса причепа, передньої і задньої осі автобуса.

У табл. 1 наведені результати розрахунку опорних реакцій на колеса ШЗА за різного сповільнення автопоїзда.

Для наявних гальмівних систем розподіл сумарної гальмівної сили по окремих осіях ШЗА до моменту початку ковзання коліс завжди постійний. За умови рівноваги сил на площину дороги маємо [4]

$$P_{1a} + P_{2a} + P_n = J_{an} \times \frac{G_a + G_n}{g} \quad (6)$$

де

P_{1a} , P_{2a} , P_n – дійсні сили на передній, задній осіах автобуса і на осі причепа.

При цьому

$$\begin{cases} P_{1a} = \alpha \times J_{an} \frac{G_a + G_n}{g}; \\ P_{2a} = \beta \times J_{an} \frac{G_a + G_n}{g}; \\ P_n = \gamma \times J_{an} \frac{G_a + G_n}{g}, \end{cases} \quad (7)$$

α і β – коефіцієнти розподілу загальної гальмівної сили по осіах автобуса, аналогічні γ .

Гальмівні сили на осіах ШЗА пропорційні тиску робочого середовища у виконавчих апаратах (гальмівних циліндрах або гальмівних камерах) [6]:

$$\begin{cases} P_{1a} = p C_\alpha; \\ P_{2a} = p C_\beta; \\ P_n = p C_\gamma, \end{cases} \quad (8)$$

де:

p – тиск робочого середовища; C_α , C_β , C_γ – коефіцієнти, що враховують особливості конструкції гальмівних механізмів та їхні геометричні розміри. Співставляючи формули (8) і (6), можна показати, що

$$p = J_{an} \frac{G_a + G_n}{g} \frac{1}{C_\alpha + C_\beta + C_\gamma}. \quad (9)$$

Таблиця 1

Результати розрахунку опорних реакцій на колеса ШЗА за умови різного сповільнення

$J, \text{м/с}^2$	0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Z_{a1}	6698	7306	7914	8522	9130	9738	10346
Z_{a2}	12082	11833	11684	11485	11286	11087	10888
Z_n	9220	8811	8402	7993	7584	7175	6766

Співставляючи формули (8) і (6) з урахуванням (9), отримаємо:

$$\alpha = \frac{C_\alpha}{C_\alpha + C_\beta + C_\gamma}; \quad \beta = \frac{C_\beta}{C_\alpha + C_\beta + C_\gamma}; \\ \gamma = \frac{C_\gamma}{C_\alpha + C_\beta + C_\gamma} \quad (10)$$

Як видно,

$$\alpha + \beta + \gamma = 1. \quad (11)$$

Ефективність використання зчіпної маси, що розподіляється на кожну вісь ШЗА під час гальмування, характеризується гранично можливими гальмівними силами:

$$P_{1a\phi} = \varphi Z_{1a}; \quad P_{2a\phi} = \varphi Z_{2a}; \quad P_{n\phi} = \varphi Z_n. \quad (12)$$

За умови 100 % використання зчіпної маси гальмівна сила, що створюється ШЗА, становить

$$P_{tan} = \varphi (G_a - G_n) = \varphi G_{an} \quad (13)$$

Тоді необхідні коефіцієнти розподілу гальмівних сил (з огляду на те, що $j_{an} = \varphi g$) становитимуть:

$$\alpha_* = \frac{Z_{1ao}}{G_{an}} + m\varphi F - \varphi \gamma_* G; \\ \beta_* = \frac{Z_{2ao}}{G_{an}} - m\varphi A - \varphi \gamma_* G; \\ \gamma_* = \frac{1}{1+\varphi F} (\frac{Z_{no}}{G_{an}} - m\varphi D);$$

$$F = A + D;$$

$$B = G + E.$$

У табл. 2 наведені результати розрахунку коефіцієнтів α , β , γ за різних значень коефіцієнта зчеплення φ .

Таблиця 2

Коефіцієнти розподілу гальмівних зусиль на осіах ШЗА

φ	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
α_*	0,4671	0,4262	0,3852	0,3494	0,3009
β_*	0,2389	0,2698	0,3008	0,3266	0,3651
γ_*	0,2940	0,3040	0,3140	0,3240	0,3340

Як і раніше, для будь-якого моменту часу має бути справедливою рівність

$$\alpha_* + \beta_* + \gamma_* = 1. \quad (15)$$

У табл. 3 наведені результати розрахунку гранично можливих гальмівних сил до реалізації на

колесах осей ШЗА за різних значень коефіцієнта зчеплення φ .

Для визначення гальмівних сил на колесах осей ШЗА, що створюються гальмівним приводом, необхідно визначити коефіцієнти C_α , C_β і C_γ . Сумісне рішення рівнянь (8-10) дає можливість визначити ці коефіцієнти.

Результати розрахунку коефіцієнтів, що характеризують конструктивні параметри гальмівної системи ШЗА C_α , C_β і C_γ представлені у табл. 4.

Коефіцієнти C_α , C_β і C_γ визначають собою гальмівні сили, що створюються гальмівним приводом. Результати розрахунків гальмівних сил представлені у табл. 5.

Таблиця 3

Гранично можливі гальмівні сили до реалізації на колесах осей ШЗА

Коефіцієнт зчеплення	Гальмівні сили, можливі до реалізації на колесах осей ШЗА, Н		
φ	передня вісь, P_{1a}	задня вісь, P_{2a}	вісь причепа, P_n
0,2	15830	23730	16800
0,4	38955	44630	28700
0,6	62080	65330	40600

Таблиця 4

Коефіцієнти, що характеризують конструктивні параметри гальмівної системи ШЗА

Питома гальмівна сила, мПа	Коефіцієнти, що характеризують конструктивні параметри гальмівної системи ШЗА		
p	C_α	C_β	C_γ
0,2	825	1207	918
0,4	1118	1221	929
0,6	1207	1271	967

Таблиця 5

Гальмівні сили, що створюються гальмівним приводом ШЗА

Питома гальмівна сила, мПа	Гальмівні сили, що створюються гальмівним приводом на колесах ШЗА, Н		
p	передня вісь, P_{a1}	задня вісь, P_{a2}	вісь причепа, P_n
0,2	16170	23657	17992
0,4	43827	47863	36415
0,6	70972	74735	56860

На рис. 2-4 наведені графіки зміни гальмівних сил, що створюються гальмівним приводом, і сил, можливих до реалізації за умови зчеплення коліс осей ШЗА з опорною поверхнею.

Аналіз наведених графіків показує, що за умови коефіцієнта зчеплення в межах $\phi=0,2$ першими блокуються колеса передньої осі автобуса, що дуже небезпечно з точки зору керованості та стійкості ШЗА. Okрім того, сумарна гальмівна сила на передній і задній осях автобуса більша за гальмівну силу на осі причепа, що може призвести до складання ШЗА.

Зі збільшенням коефіцієнта зчеплення до 0,6 першими блокуються колеса причепа, потім колеса передньої осі автобуса, а потім і колеса задньої осі автобуса. З цього можна зробити висновок, що найбільш вдало підібрані конструктивні параметри гальмівних механізмів задніх коліс автобуса, що визначені коефіцієнтом C_β . Під час блокування коліс зменшується коефіцієнт зчеплення в межах 10%. За такої умови недовикористання гальмівної сили на всіх осіях ШЗА становить 16800Н, що може погіршити гальмівні властивості ШЗА.

Із формули (6) випливає, що зі 100% використання зчіпних можливостей ШЗА максимальне сповільнення становить $5,88 \text{ м/с}^2$. Недовикорис-

тання загальної гальмівної сили на 10% призводить до того, що максимальне сповільнення зменшується з $5,88 \text{ м/с}^2$ до $5,29 \text{ м/с}^2$.

Стовідсоткове використання зчіпної маси ШЗА може бути досягнуте за умови обладнання коліс усіх осей антиблокувальними системами. Завдяки їхньому використанню поліпшується і бічна стійкість ШЗА внаслідок того, що гальмівні сили на колесах осей не доводяться до граничних значень за умови зчеплення.

Однією з основних відмінностей гальмівної динаміки автомобільних поїздів, зокрема ШЗА, є змінність навантажень на колеса осей, а відповідно і гальмівних сил, можливих до реалізації. Це дозволяє зробити такі висновки:

1) за постійних значень коефіцієнтів α , β і γ неможливо без юзу коліс досягнути під час гальмування повного використання зчіпної маси ШЗА у всьому діапазоні зміни навантажень на його осі;

2) довикористання (до 100%) зчіпної маси призводить до юзу коліс, послідовність блокування яких залежить від масових і компонувальних параметрів ланок ШЗА, розташування пасажирів у салоні, дорожніх умов і конструктивних параметрів гальмівних механізмів (C_α , C_β , C_γ);

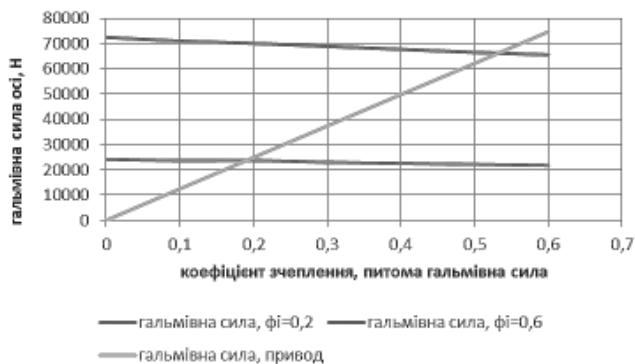
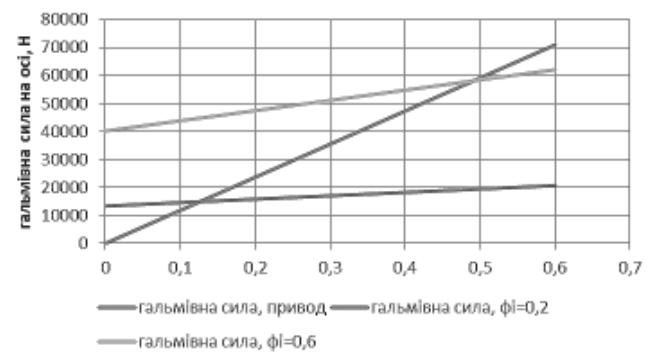


Рис. 2. Зміна гальмівних сил на задній (а) і передній (б) осіх автобуса



б)

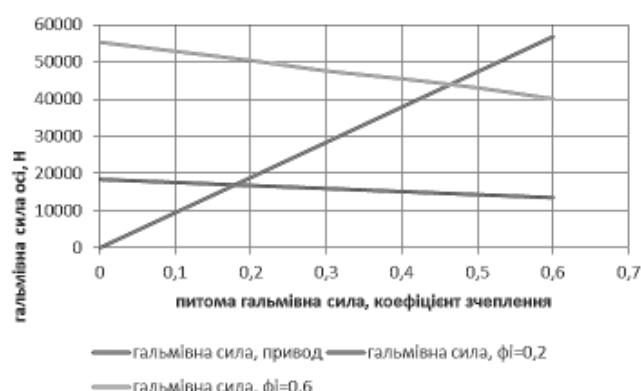


Рис. 3. Зміна гальмівних сил на осі причепа

3) гальмування ШЗА за наявності юзу коліс, неспроможних сприймати бічні зусилля, дуже небезпечно, бо може призвести до складання ланок ШЗА, що особливо небезпечно за умови випереджального блокування осі причепа (занесення осі причепа підсилюється дією відцентрової сили);

4) з метою виключення юзу коліс і підвищення бічної стійкості ШЗА необхідним є обладнання усіх коліс антиблокувальними системами.

Ці висновки досить повно узгоджуються з висновками щодо гальмівної динамічності вантажних автопоїздів [4, 6].

Повне (стовідсоткове) використання зчіпної маси під час гальмування з одночасним забезпе-

ченням стійкості руху ШЗА можна отримати за умови змінного співвідношення гальмівних сил на осіах автопоїзда. У такому разі можлива реалізація максимальних сповільнень ШЗА і мінімально-го шляху гальмування з економними витратами енергії на привід гальмівних механізмів. Якщо забезпечується стовідсоткове використання зчіпної маси, то для будь-якого випадку гальмівна сила ШЗА становитиме

$$P_{\tan} = \varphi (G_a + G_n) = \varphi G_{an}. \quad (16)$$

Визначимо зусилля у зчіпному пристрої під час гальмування ШЗА з максимальною ефективністю, тобто за $J_{an} = 5,88 \text{ м/с}^2$.

$$P_{kp} = \varphi G_n \frac{d + \varphi h_{gn}}{l_n + d + \varphi h_{kp}} = 13670 \text{ Н}$$

Отримане значення гальмівного зусилля показує, що у зчіпному пристрої ШЗА за такого розподілу гальмівних сил встановлюється постійне за знаком зусилля стиску, величина якого пропорційна сповільненню, зважаючи на те, що $J_{cn} = g\varphi$. З точки зору бокової стійкості таке зусилля не є бажаним.

Отримання необхідних коефіцієнтів розподілу гальмівних зусиль α_* , β_* , γ_* , а також величини і напрямку зусилля у зчіпному пристрої може бути забезпечене за умови використання динамічного регулювання, що може бути здійснене трьома способами:

1) зміною активної площини робочих апаратів гальмівних механізмів за однакового для всіх гальмівних осей тиску робочого середовища;

2) диференційованим тиском у магістралях за умови незмінних площин робочих апаратів;

3) диференційованим тиском у магістралях до гальмівних осей і змінними площинами робочих апаратів гальмівних механізмів.

З технічної точки зору, найбільш прийнятним і реально здійсненим є другий спосіб регулювання. Наявні зразки гальмівних систем із динамічним регулюванням засновані на використанні саме цього способу. Конструкції гальмівних приводів із динамічним регулюванням на сьогодні знайшли широке застосування.

Ефективність гальмування залежить не тільки від повноти використання зчіпної маси ШЗА і правильності розподілу гальмівних сил по його осіах, але й від характеру зміни цих гальмівних сил у часі. У першому наближенні зміна сумарних гальмівних сил на осіах ланок ШЗА може бути представлена так [4]:

$$\begin{aligned} P_a &= K_a t; \\ P_n &= K_n t, \end{aligned}$$

де:

$K_a = (C_\alpha + C_\beta) V_a$ – швидкість зростання сумарної гальмівної сили автобуса,

$K_n = (C_\alpha + C_\beta) V_n = 247800 \text{ Н};$

$K_n = C \dot{V}_a$ – швидкість зростання сумарної гальмівної сили причепа, $K_n = C \dot{V}_n = 96700 \text{ Н}.$

V_a , V_n – швидкість зростання тиску робочого середовища в гальмівних апаратах автобуса і причепа.

Величина V змінюється в широких межах і залежить від типу й особливостей конструкції гальмівного приводу, зокрема для пневматичного приводу $V = 8 - 15 \text{ Н/см}^2$ [6]. Приймаємо $V = 10 \text{ Н/см}^2$.

З метою спрощення подальших розрахунків приймемо $K_n = \varepsilon K_a$, де ε – відношення швидкостей зростання гальмівних сил ланок ШЗА, $\varepsilon = 0,390$.

У зв'язку з недосконалістю гальмівного приводу початок гальмування причепа не збігається з початком гальмування автобуса, тобто має місце асинхронність гальмування в розмірі Δt_1 . Асинхронність може бути як додатною (випереджальне гальмування автобуса), так і від'ємною (випереджальне гальмування причепа). Для ШЗА, що розглядається, асинхронність додатна (зусилля стиску у зчіпному пристрої).

Приймемо $\Delta t_1 = 0,1 \text{ с}$. При цьому гальмівні сили на осіях ШЗА досягають максимальних значень не миттєво, а впродовж деякого часу t_a і t_n . Неузгодженість у досягненні гальмівними силами максимальних значень характеризується часом Δt_2 .

Уесь процес гальмування ШЗА можна розділити на чотири фази [4], для яких гальмівні сили визначаються як:

$$\text{I. } 0 < t_* < T_1, T_1 = \Delta t_1 = 0,1 \text{ с}, P_{\tan} = K_a t = 11151 \text{ Н.}$$

де:

t – поточний час фази, що розглядається;

t_* – загальний час, що відраховується від початку гальмування ШЗА;

$$\text{II. } T_1 < t_* < T_1 + T_2; T_1 + T_2 = t_a = 0,5 \text{ с.}$$

$$P_{\tan} = K_a [(T_1 + t) + \varepsilon t] = 115301 \text{ Н}$$

$$\text{III. } T_1 + T_2 < t_* < T_1 + T_2 + T_3; T_2 + T_3 = t_n = 0,5 \text{ с;} \\ T_3 = \Delta t_2 = 0,1 \text{ с.}$$

$$P_{\tan} = K_a [(T_1 + t) + \varepsilon (T_2 + t)] = 132697 \text{ Н}$$

$$\text{IV. } T_1 + T_2 + T_3 = 0,6 < t_* < t_o$$

де:

t_o – час, що відраховується від початку гальмування до моменту зупинки ШЗА;

$$P_{tan} = K_a [(T_1 + T_2) + \epsilon(T_2 + T_3)] < \phi \sigma (G_a + G_n) = \\ 155000 < 159600,$$

де $\phi=0,95$ – коефіцієнт запасу на бокову стійкість.

Сповільнення ШЗА під час гальмування (нештучною силами опору кочення і повітря) визначається як

$$J_{an} = -\frac{P_{tan}}{M_{an}} = 5,125 \text{ м/с}^2$$

Одним із основних оціночних параметрів ефективності дії гальмівної системи є шлях гальмування, який визначаємо після розв'язання диференціального рівняння руху ШЗА:

$$S_{tan} = v_{oan} T_{\Sigma} - \frac{K_a}{2M_{an}} \{ T_{\Sigma} T_{1+2} T_3 + \epsilon T_2 T_3 T_{2+3} + \\ \frac{1}{3} [T_{1+2}^3 + \epsilon (T_2^3 + T_3^3)] \} + \frac{v_{11an}^2}{2g\phi} = 30,76 < [33,9 \text{ м}]$$

де:

v_{oan} – швидкість ШЗА перед гальмуванням;
 v_{11an} – швидкість ШЗА до кінця третьої фази;
 $T_{\Sigma} = T_1 + T_2 + T_3$ – тривалість перших трьох фаз,
 $T_{\Sigma} = 0,6 \text{ с}$;
 $T_{1+2} = T_1 + T_2$ – тривалість першої та другої фаз,
 $T_{1+2} = 0,5 \text{ с}$;
 $T_{2+3} = T_2 + T_3$ – тривалість другої і третьої фаз,
 $T_{2+3} = 0,5 \text{ с}$, $T_3 = 0,1 \text{ с}$.

Швидкість ШЗА до кінця третьої фази гальмування знаходиться як

$$v_{11an} = v_{oan} - \frac{K_a}{2M_{an}} [T_{1+2}^2 + 2T_{1+2}T_3 + \\ \epsilon (T_{2+3} + T_3) + \epsilon T_3^2] = 15,33 \text{ м/с.}$$

На рис. 4 представлена гальмівна діаграма для ШЗА, що розглядається.

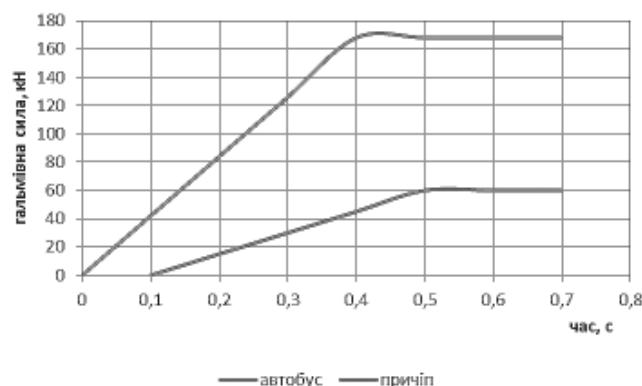


Рис. 4. Зміна гальмівних сил на осіх провідної і причіпної ланки за часом гальмування

Якщо з будь-якої причини гальмування ШЗА здійснюється тільки колесами автобуса, то шлях гальмування визначиться як [6]

$$S_{tan} = \frac{1}{2} \left[v_{oan} T_1 + \frac{v_{oan}^2}{(1-m)g\phi} - \frac{1}{12} g\sigma\phi(1-m)T_1^2 \right] = \\ 54,58 < [64,4] \text{ м},$$

що менше за гальмівний шлях для запасної гальмівної системи [11].

Висновки

1. Встановлені оптимальні значення коефіцієнтів розподілу гальмівних зусиль для повністю навантаженого зчленованого автобуса, за яких забезпечується як висока ефективність гальмування, так і стійкість ШЗА під час гальмування.

2. Визначені значення коефіцієнтів, що враховують конструктивні особливості гальмівних механізмів та їхні геометричні розміри, за яких забезпечується необхідна ефективність гальмування.

3. За вибраних значень коефіцієнтів розподілу гальмівних зусиль по осіях ШЗА та коефіцієнтів, що враховують конструктивні особливості гальмівних механізмів і їхні геометричні розміри, значення гальмівного шляху як під час гальмування основною або робочою гальмівною системою, так і запасною задовільняють вимоги нормативних документів.

4. За обраної асинхронності спрацьовування гальмівних приводів автобуса і причепа стало сповільнення ШЗА дещо менше за нормативне.

5. З метою виключення юзу гальмівних коліс і підвищення бокової стійкості ШЗА в усьому діапазоні зміни вагових навантажень на колесах кожної осі необхідна установка антиблокувальних систем, а також спеціальних пристрій проти складання ланок ШЗА.

References

1. Maneuverability and braking properties of wheeled machines / [M. A. Podrigalo, V.P. Volkov, V.I. Kirchaty, A.A. Boboshko]; Under. ed. M.A. Podrigalo.– Kharkiv: KhNADU Publishing House, 2003. – 403.
2. Increasing the stability and controllability of wheeled vehicles in braking modes: Monograph / [E. E. Alexandrov, V.P. Volkov, D.O. Volontsevich, etc.]; Ed. D.O. Volontsevich. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2007. – 320.
3. Zakin Ya. H. Applied theory of road train movement / Ya. H. Zakin. – M.: Transport, 1967. – 252.
4. Constructions and calculation of automobile trains / [Ya. H. Zakin, M.M. Shchukin, S.Ya. Margolis, etc.]; under. ed. J. H. Zakin. – L.: Mashinostroenie, 1968. – 332.
5. Podrigalo M.A. New in the theory of operational properties of cars and tractors: Monograph / M.A. Podrigalo. – Kharkiv, 2013. – 220.

6. Three-link road trains / J.E. Farobin, A.M. Yakobashvili, A.M. Ivanov, etc. Under LS. ed. Ya.E. Farobina – Mechanical Engineering, 1993. – 224.
7. Progniy P.B. To the analysis of the process of braking a truck without blocking the wheels / P.B. Progniy // Project management, systems analysis and logistics: Scientific journal. – Vip. 13. – K.: NTU, 2014. – 138-146.
8. Kravchuk, P.M. Mathematical model of road train movement in braking mode / P.M. Kravchuk, O.K. Grishchuk // Motorway of Ukraine. – 2008. – №2. – P. 22-23.
9. Kravchuk PM Stability of road train movement in braking mode [Text] / P.M. Kravchuk, O.K. Grishchuk, Yu.V.Babin//Motorway of Ukraine. – 2008. – №6. – P. 10-11.
10. Kravchuk PM Standardization of braking properties of wheeled vehicles in Ukraine / PM Kravchuk, R. Yu. Nilov, Yu. V. Babin // Scientific and production journal Road transport: In the realities of international law. – 2014. – № 2 (238). – P. 8-10.
11. DSTU UN / ECE R 13-09: 2002. Uniform technical prescriptions concerning the official type-approval of vehicles of categories M, N and O with regard to braking: UNECE Regulation № 13. – [Effective 14.01.2008]. – Geneva: United Nations Economic Commission for Europe, 2008. – 276.

УДК 629.113

© В. С. Гладченко, провідний інженер, e-mail:
vgladchenko@insat.org.ua,
ORCID: 0000-0001-5783-4880
(ДП "ДержавтотрансНДІпроект")

DOI: 10.33868/0365-8392-2021-2-266-18-21

© Volodymyr Hladchenko, Senior Engineer of the Department of Scientific and Technical Expertise,
e-mail: vgladchenko@insat.org.ua,
ORCID: 0000-0001-5783-4880
(SE "State Road Transport Research Institute")

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛІСНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ, ПЕРЕОБЛАДНАНОГО В ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ

EXPERIMENTAL RESEARCH OF RE-EQUIPMENT A WHEELED VEHICLE INTO A ELECTROMOBILE

Анотація. У статті представлені результати проведених дорожніх досліджень колісного транспортного засобу (далі – КТЗ) категорії М1, переобладнаного в електромобіль. Електромобіль оснащений тяговим електродвигуном (далі – ТЕД) "Балканкар ДС 3,6/7,5/14", силовою акумуляторною батареєю (далі – САКБ) на літієвих елементах із максимальною напругою 100,8 В та ємністю 6,45 кВт?год. Система керування тяговим електродвигуном імпульсна з електронними силовими перемикачами. В результаті дорожніх досліджень визначено максимальну швидкість руху, час розгону на заданому шляху, час розгону до заданої швидкості, швидкісна характеристика "розгін – вибіг" та проведено розганяння на передачі, що забезпечує максимальну швидкість. Порівняння результатів теоретичних та експериментальних досліджень свідчить про адекватність розробленої математичної моделі та вихідних положень, покладених в основу розрахунку показників переобладнаних електрических КТЗ.

Ключові слова: автомобіль, переобладнання, електромобіль, експеримент, математична модель, дорожні випробування.

Аннотация. В статье представлены результаты проведенных дорожных испытаний колесного транспортного средства (далее – КТС) категории М1, который был переоборудован в электромобиль. Электромобиль оборудован тяговым электродвигателем (далее – ТЭД) "Балканкар ДС 3,6/7,5/14", силовой аккумуляторной батареей на литиевых элементах с максимальным напряжением 100,8 В и емкостью 6,45 кВт·ч. Система управления тяговым электродвигателем импульсная с электронными силовыми переключателями. В результате проведенных дорожных испытаний была определена максимальная скорость движения, время разгона на заданном пути, время разгона до заданной скорости, скоростная характеристика "разгон – выбег" и проведен разгон на передаче, которая обеспечивает максимальную скорость. Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований свидетельствует об адекватности разработанной математической модели и исходных данных, положенных в основу расчета показателей переоборудованных КТС в электромобили.

Ключевые слова: автомобиль, переоборудование, электромобиль, эксперимент, математическая модель, дорожные испытания.

Abstract. The article presents the results of the carried out road tests of a wheeled vehicle of category M1, which was re-equipped into a electromobile. The electromobile is equipped with a traction electric motor Balkankar DS 3.6/7.5/14, a power storage battery on lithium cells with a maximum voltage of 100.8 V and a capacity of 6.45 kW·h. The traction motor control system is impulse with electronic power switches. As a result of the road tests carried out, the maximum speed of movement, the acceleration time on a given path, the acceleration time to the given speed, the "acceleration – coasting" speed characteristic were determined and acceleration was carried out in gears that ensure the maximum speed. Comparison of the results of theoretical and experimental studies testifies to the adequacy of the developed mathematical model and the initial data that form the basis for calculating the indicators of re-equipped wheeled vehicle into electromobile.

Keywords: vehicle, re-equipment, electromobile, experiment, mathematical model, road test.

Вступ

За статистичними даними Міністерства інфраструктури України [1] від 2019 року, автомобільна транспортна система країни налічує більш ніж 9,2 млн КТЗ, зокрема: 6,9 млн легкових автомобілів; ≈ 250 тис. автобусів; $\approx 1,3$ млн вантажних автомобілів; понад 840 тис. од. мототранспорту. Частка електричних та гібридних колісних транспортних засобів (далі – ЕКТЗ) становить близько 5%. За умов неминучого подорожчання нафтопродуктів у майбутньому та поступового переходу автомобільних заводів на виготовлення автомобілів винятково з електродвигуном всі ці КТЗ з двигуном внутрішнього згорання (далі – ДВЗ) треба утилізувати. Альтернативою є переобладнання їхніх силових установок (далі – СУ) на інші види енергоносіїв з метою подальшого використання ресурсу кузова та трансмісії, щоб дозволити їм виробити свій ресурс. Одним із таких напрямків є переобладнання СУ КТЗ на електричну або гібридну [2].

Експериментальні дослідження належать до основних способів одержання нових наукових знань, особливо в технічних науках. В їхню основу закладено експеримент, що є науковим дослідом або спостереженням у точно контролюваних умовах. Вони дозволяють простежити послідовно за його перебігом, керувати експериментом, проводити його, повторюючи в адекватних умовах. Від звичайного пасивного спостереження явищ експеримент відрізняється активним впливом дослідника на процес або об'єкт, які треба вивчити.

Тому **метою досліджень** є проведення та аналіз результатів експериментального дослідження швидкісних властивостей переобладнаного в електромобіль КТЗ категорії M1.

Основна частина

Зміна СУ КТЗ впливає на зміну показників тягово-швидкісних властивостей та показників витрати енергії переобладнаних ЕКТЗ. Питання доцільноти переобладнання автомобілів із ДВЗ в ЕКТЗ розглянуто в роботах П. М. Киркина, В. Х. Далека, Н. О. Грищенка, О. М. Тімкова, О. С. Іванова, С. А. Серікова [3...6] та багатьох інших.

Забезпечення необхідних показників тягово-швидкісних властивостей ЕКТЗ є складним завданням та потребує більш детальної оцінки внаслідок великих труднощів у знаходженні вихідних даних та внутрішніх параметрів системи.

У процесі переобладнання серійного КТЗ в ЕКТЗ постає низка питань, що потребують вирішення. Враховуючи вимоги нормативних доку-

ментів, не можна збільшувати повну масу ЕКТЗ, треба зберегти розподіл маси по осіах автомобіля для збереження показників стійкості та керованості. Для автомобіля категорії M1 середнього класу приблизна вага елементів КТЗ, що демонтуються, становить близько 300 кг, відповідно, додаткове електричне обладнання повинне мати приблизно таку ж вагу.

Експериментальні дослідження проведені в два етапи. На першому етапі в умовах лабораторії ДП "ДержавтотрансНДІпроект" проводилися стендові дослідження. На тяговому стенді визначалися характеристики ТЕД за різного ступеня його навантаження із стандартною трансмісією та встановлення на ньому випробуваного ТЕД та САКБ. Другий етап полягав у дорожніх експериментальних дослідженнях. Шляхом випробувань було визначено максимальну швидкість руху, час розгону на заданому шляху, час розгону до заданої швидкості, швидкісна характеристика "розгін – вибіг" та проведено розганяння на передачі, що забезпечує максимальну швидкість відповідно до Правил ООН №68 [7].

Об'єктом експериментального дослідження обраний автомобіль ЗАЗ 965 "Запорожець" категорії M1. Штатний бензиновий двигун демонтований, замість нього через виготовлену перехідну плиту встановлений ТЕД постійного струму марки "Балканкар DC 3,6/7,5/14". Автомобіль устаткований необхідним електронним та електричним обладнанням. На **рис. 1** показане розміщення ТЕД та електронного обладнання в моторному відсіку переобладнаного ЕКТЗ. Система керування ТЕД імпульсна з електронним силовим перемикачем марки "Романтик-1".

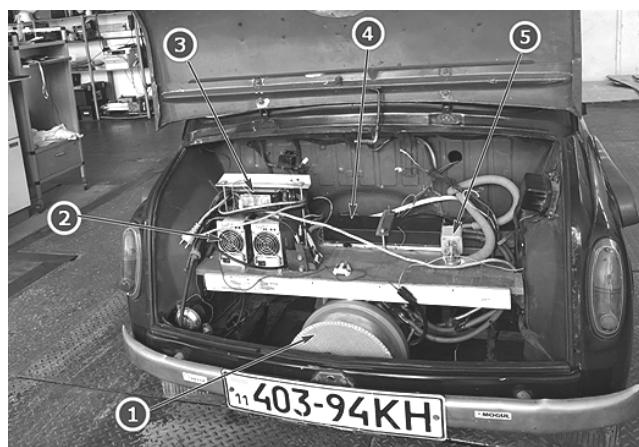


Рис. 1. Розміщення елементів у моторному відсіку переобладнаного електромобіля: 1) ТЕД, 2) бортовий зарядний пристрій, 3) перетворювач постійного струму, 4) блок силової електроніки (контроллер), 5) головний запобіжник/вимикач

Контролер для керування ТЕД має робочий діапазон живлення від 24 В до 150 В. Максимальний струм – 700 А. Керування потужністю – широтно-імпульсне. Тягова батарея складається з 12-ти літієвих модулів марки 295B93NA9A. Максимальна напруга САКБ, що відповідає рівню заряду 100%, становить 100,8 В, середня – 91,2 В, мінімальна напруга, після якої різко падає потужність батареї, – 78 В, це значення вважається нульовим рівнем заряду, сумарна ємність батареї – 6,45 кВт·год.

Під час стендових випробувань електромобіля визначали параметри швидкісної зовнішньої характеристики ТЕД у його роботі на різних завантаженнях. Отримана зовнішня швидкісна характеристика його роботи.

На рис. 2 наведена зовнішня швидкісна характеристика тягового електродвигуна "Балканкар ДС 3,6/7,5/14" у процесі його роботи за умов напруги 108 В та постійного струму 250 А.

У результаті дорожніх випробувань переобладнаного електромобіля отримані показники тягово-швидкісних властивостей переобладнаного КТЗ з електричною силовою установкою відповідно до [7]. Згідно з ними визначені такі показники і характеристики швидкісних властивостей:

- 1) максимальна швидкість руху;
- 2) час розгону на заданому шляху;
- 3) час розгону до заданої швидкості;
- 4) швидкісна характеристика "розгин – вибіг";
- 5) розганяння на передачі, що забезпечує максимальну швидкість.

У загальних вимогах [7] до об'єкту випробувань визначені технічний стан КТЗ та його агрега-

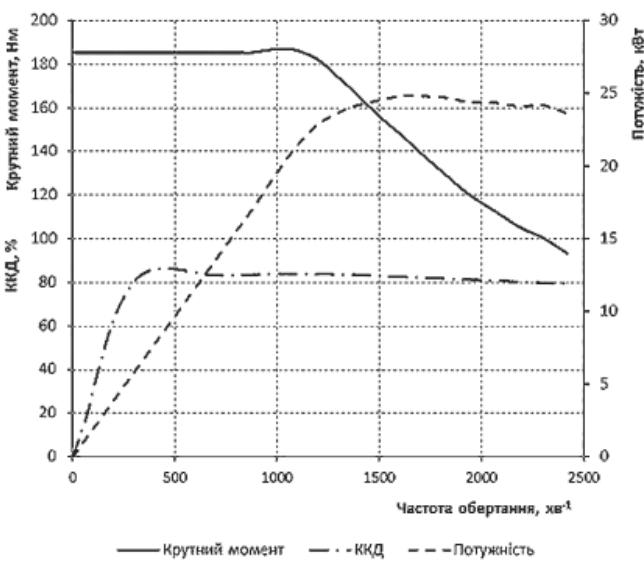


Рис. 2. Зовнішня швидкісна характеристика ТЕД

гатів, а також маса КТЗ. Завантаження КТЗ до повної маси (з урахуванням маси електронного обладнання та САКБ) здійснювалося мішками з піском. Зважування переобладнаного ЕКТЗ після його завантаження проводилося за методикою СОУ МПП 43.020-215:2007.

Розгин переобладнаного ЕКТЗ виконувався на прямій ділянці дороги, що має ухил не більше ніж 0,5%.

Швидкість вітру під час розгону транспортного засобу не перевищувала 0,5 м/с², температура довкілля коливалася в діапазоні від 5 °C до 30 °C.

Під час дорожніх випробувань було експериментально визначено час проходження мірної ділянки довжиною 600 м та максимальну швидкість переобладнаного ЕКТЗ. У табл. 1 наведені результати експерименту.

Таблиця 1

Максимальна швидкість переобладнаного ЕКТЗ

№ вимірювання (заїзду)	Максимальна швидкість ЕКТЗ (експеримент), км/год	Час проходження мірної ділянки (експеримент), с
1	55,9	32,2
2	53,4	31,1
3	54	37,6
4	55,4	44,2
5	56,1	45,3
6	55,9	42,7
Середнє значення	55,12	38,85
Розрахунок	59,09	42,52
Відхилення, %	-6,72	-8,64

Час розгону на заданому шляху 400 м і 1000 м визначався безпосередньо його вимірюванням. Заміри проводилися в обох напрямках руху, з подвійною повторністю, безпосередньо один за іншим. Розгин виконувався з повним натисканням на педаль акселератора. У табл. 2 наведені результати вимірювань.

Час розгону переобладнаного ЕКТЗ в електромобіль до швидкості 40, 45, 50 та 55 км/год визначали як середнє арифметичне за результатами заїздів. Результати опрацювання результатів експерименту наведені у табл. 3.

Визначення швидкісної характеристики "розгин – вибіг" виконувалося розгоном з місця до найбільшої швидкості, що досягалася на шляху 2000 м, з подальшим вибігом на нейтральній пе-

Таблиця 2

**Час розгону переобладнаного ЕКТЗ
на заданому шляху**

№ вимірювання (зайду)	Час проходження ділянки 400 м (експеримент), с	Час проходження ділянки 1000 м (експеримент), с
1	34,5	73,8
2	32,3	74,2
3	32,6	74,8
4	33,8	75,2
5	34,1	76,4
6	32,7	74,3
Середнє значення	33,33	74,78
Розрахунок	30,50	69,61
Відхилення, %	9,28	7,43

редачі в коробці передач до зупинки. Розгін виконувався з повним натисканням на педаль акселератора без перемикання передач на четвертій передачі. Результати дослідження переобладнаного КТЗ наведені у табл. 4.

Висновки

Визначені швидкісні показники переобладнаного КТЗ в електромобіль мають однакові тенденції зміни величин і незначні величини розглянутих відхилень. Розбіжність швидкісних показників становить: максимальна швидкість ЕКТЗ – 6,72%; час проходження мірної ділянки довжиною 600 м – 8,64%; час проходження ділянки 400 м – 9,28%; час проходження ділянки 1000 м – 7,43%; час розгону переобладнаного електромобіля – 8,54...11,23%; швидкісної характеристики "розгін – вибіг" – 7,65...14,87%.

Порівнюючи результати, отримані експериментальним та розрахунковим методами, можна зазначити, що спостерігається якісний та кількісний збіг значень. Розбіжність теоретичних та експериментальних результатів становить 6,72...14,87 %. Розбіжність пояснюється тим, що під час проведення експериментальних досліджень САКБ поступово розряджалася й неможливо врахувати всі особливості роботи СУ. Однак отримані дані та розроблену методику можна використовувати для аналізу, а розбіжність результатів – вважати задовільною.

Таблиця 3

Час розгону переобладнаного ЕКТЗ

Швидкість, до якої відбувається розгін, км/год	Час розгону, с				Середнє значення	Розрахунок	Відхилення, %			
	експеримент									
	1	2	3	4						
40	7,5	8,2	7,3	7,9	7,73	6,87	11,23			
45	11,7	12,4	12,1	11,1	11,83	10,63	9,47			
50	17,3	18,2	19,1	18,6	18,30	16,72	12,4			
55	34,3	35,7	33,8	33,9	34,43	31,72	8,54			

Таблиця 4

Визначення швидкісної характеристики "розгін – вибіг" переобладнаного ЕКТЗ

Інтервал швидкості, км/год	Час вибігу, с (експеримент)				Середнє значення	Розрахунок	Відхилення, %			
	Шлях вибігу, м (експеримент)									
	1	2	3	4						
50 – 0	92,6	110,3	128,1	114,2	111,3	103,4	7,65			
	548,2	628,4	774,0	651,4	650,5	598,8	8,64			
40 – 10	51,2	65,4	74,0	58,7	62,3	56,6	10,21			
	329,4	408	487,9	395,1	405,1	368,6	9,89			
30 – 10	38,5	44,7	55,2	48,3	46,7	41,1	13,45			
	204,8	241,7	294,8	256,0	249,3	217,0	14,87			

References

1. Statistics on road transport [Electronic resource] // Ministry of Infrastructure of Ukraine. [Statystichni dani po haluzi avtomobilnoho transportu] Retrieved form: <http://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html> (accessed: 03.02.2020). [In Ukraine].
2. Gryshchuk O. K. Regarding the conversion of the car into an electric car / O. K. Gryshchuk, V. S. Hladchenko, Yu. M. Overchenko // Avtoshlyakhovyk Ukrayiny. №4, 2019. Road transport, P.29-35. ISSN 0365-8392.
DOI: 10.33868/0365-8392-2019-4-260-29-35. [In Ukraine].
3. Daleka V. Kh. Traction drive of vehicles with a hybrid power plant. [Tiahovyi pryvid transportnykh zasobiv z hibrydnoiu sylovoiu ustanovkoiu] 2010. № 97. P. 226-331. [In Ukraine].
4. Hryshchenko N. O. Vehicles for urban passenger transport with a hybrid power plant/ Hryshchenko N. O., Kyrykyn P. M. // Electromechanical systems and complexes of vehicles – 2011. – № 122. Retrieved form: http://elm-dstuedu.org.ua/konkurs/docs/pdf/ID_122-.pdf 7. [In Ukraine].
5. Timkov O. M. Determining the power of the unit for the recovery of kinetic energy and the minimum speed from which it is advisable to start the regenerative braking for a hybrid car depending on the driving cycle [Vyznachennia potuzhnosti ahrehatu dla rekuperatsii kinetychnoi enerhii ta minimalnoi shvydkosti z yakoi dotsilno pochynaty rekuperatsiine halmuvannia dla hibrydnoho avtomobilia v zalezhnosti vid yizdovoho tsyklu] / Timkov O. M., Ivanov O. S. // Project Management System Analysis And Logistics Technical Series. National Transport University, 2012. № 9. P. 197–201. [In Ukraine].
6. Serikov S. A. The power plant of a hybrid vehicle as a control object [Sylovaia ustanovka hybrydnoho avtomobilia kak obekt upravleniya]. 2009. № 3. P. 45–50. [In Russian].
7. Regulation No. 68 Uniform provisions concerning the approval of power driven vehicles with regard to the measurement of the maximum speed [Electronic resource]. Retrieved form: <https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/r068r.pdf> (accessed: 21.04.2021).

УДК 629.06, 544.6

© О. В. Агарков, заступник завідувача відділу сертифікації колісних транспортних засобів, e-mail: agarkov@insat.org.ua, ORCID: 0000-0002-2565-1737;
© К. Я. Шевчук, завідувач відділу сертифікації колісних транспортних засобів, e-mail: kshevchuk@insat.org.ua, ORCID: 0000-0002-9730-3977;
© Ю. І. Іваніна, провідний інженер, e-mail: yivanina@insat.org.ua, ORCID: 0000-0002-2417-0819;
(ДП "ДержавтрансНДПроект")

DOI: 10.33868/0365-8392-2021-2-266-22-28

© Olexander Agarkov, Deputy Head of Wheeled Vehicle Certification Department, e-mail: oagarkov@insat.org.ua, ORCID: 0000-0002-2565-1737;
© Kostyantyn Shevchuk, Head of Wheeled Vehicle Certification Department, e-mail: kshevchuk@insat.org.ua, ORCID: 0000-0002-9730-3977;
© Yurii Ivanyna, Leading Engineer of Wheeled Vehicle Certification Department, e-mail: yivanyna@insat.org.ua, ORCID: 0000-0002-2417-0819
(SE "The State Road Transport Research Institute")

ЗАСТОСУВАННЯ РОЗШИРЮВАЧА ПРОБІГУ НА ТВЕРДООКСИДНИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТАХ (ТОПЕ) ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ АВТОБУСІВ: ДОСВІД КОМПАНІЙ CERES POWER (ВЕЛИКА БРИТАНІЯ) ТА WEICHAI POWER (КИТАЙ)

APPLICATION OF RANGE EXTENDER BASED ON SOLID OXIDE FUEL CELLS (SOFCS) FOR ELECTRICAL BUSES: EXPERIENCE OF CERES POWER (UNITED KINGDOM) AND WEICHAI POWER (CHINA) COMPANIES

Анотація. В попередніх статтях з цієї теми [1-3] ми розглядали перспективність використання енергетичних систем на базі твердооксидних паливних елементів (ТОПЕ) як допоміжних силових установок і розширювачів пробігу для вантажного [1,2] та легкового [3] автомобільного транспорту: аналізували американський [1], європейський [2] та японський [3] досвід. Було показано, що такі системи дозволяють із рекордним коефіцієнтом корисної дії (значно вищим, ніж у конкурентних рішень) отримувати з хімічної енергії

окислення вуглеводневого палива електричну енергію для живлення бортових систем автомобілів під час стоянки основного двигуна, а також значно розширувати пробіг електричних автомобілів завдяки постійному підзаряджанню акумуляторів безпосередньо під час руху автомобіля та його розрядження основним електричним двигуном. У цій статті розглядається перший світовий досвід із використанням енергетичних установок на ТОПЕ як розширювача пробігу для електричних автобусів. Відповідна робота проведена консорціумом компаній Ceres Power (Велика Британія) та Weichai Power (Китай). У результаті виконання проекту розроблений та виготовлений прототип системи потужністю 30 кВт, її тестування на автобусних лініях планується найближчим часом. Ця система є найбільш потужною серед розглянутих у циклі матеріалів: 30 кВт проти 1,5 і 9 кВт [1], 3 кВт [2] та 5 кВт [3] для систем, розібраних у попередніх роботах. Як паливо в розглянутій системі використовується стиснений природний газ (СПГ), який є дуже зручним завдяки широкій розподільній мережі, екологічності порівняно з більш складними та важкими вуглеводневими сумішами. Використання в автомобільному транспорті простіших у виготовленні низькотемпературних паливних елементів (із протон-обмінною мембрanoю) приводить до необхідності створювати нерозчинну наразі мережу заправок воднем.

Ключові слова: автомобільний транспорт, автобус, твердооксидні паливні елементи, ТОПЕ, енергетична установка, розширювач пробігу, електричний автобус.

Аннотация. В предыдущих статьях по данной теме [1-3] мы рассматривали перспективность использования энергетических систем на базе твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) в качестве вспомогательных силовых установок и расширителей пробега для грузового [1,2] и легкового [3] автомобильного транспорта: были рассмотрены американский [1], европейский [2] и японский [3] опыт. Было показано, что такие системы позволяют с рекордным коэффициентом полезного действия (значительно выше, чем у конкурирующих решений) получать из химической энергии окисления углеводородного топлива электрическую энергию для питания бортовых систем автомобилей во время стоянки двигателя, а также существенно расширять пробег электрических автомобилей за счет постоянной подзарядки аккумуляторов непосредственно во время движения автомобиля и их разрядки за счет работы электрического двигателя. В данной статье рассматривается первый мировой опыт использования энергетических установок на ТОТЭ в качестве расширителя пробега для электрических автобусов. Соответствующая работа была проведена консорциумом компаний Ceres Power (Великобритания) и Weichai Power (Китай). В результате выполнения проекта был разработан и изготовлен прототип системы мощностью 30 кВт, тестирование системы на автобусных линиях планируется в ближайшее время. Рассмотренная в данной статье система является наиболее мощной среди рассмотренных в цикле статей: 30 кВт против 1,5 и 9 кВт [1], 3 кВт [2] та 5 кВт [3] для систем, которые были рассмотрены в предыдущих статьях. В качестве топлива в рассмотренной системе используется сжатый природный газ (СПГ), который является крайне удобным по причине широкой распределительной сети, экологичности по сравнению с более сложными и тяжелыми углеводородными смесями. Использование в автомобильном транспорте более простых в изготовлении низкотемпературных топливных элементов (с протон-обменной мембраной) приводит к необходимости создавать неразвитую в настоящий момент сеть водородных заправок.

Ключевые слова: автомобильный транспорт, автобус, твердооксидные топливные элементы, ТОТЭ, энергетическая установка, расширитель пробега, электрический автобус.

Abstract. In previous articles on this topic [1-3] we examined the perspectives of application of power plants based on solid oxide fuel cells (SOFCs) as auxiliary power plants as well as range extenders for heavy freight transport [1,2] and cars [3]: we considered experience of USA [1], Europe [2] and Japan [3]. We showed, that such kind of systems give opportunity to obtain electrical power from chemical energy of hydrocarbon fuel oxidation with record-high efficiency (much higher than competitive solutions) in order to supply on-board vehicle systems during stops of main engine, as well as to significantly extend the range of electrical vehicles by means of constant charge of batteries directly during motional and their discharge due to operation of electrical engine. In current manuscript, we examine the world first experience of SOFC power plant application as range extender for electrical buses. Group of Ceres Power (UK) and Weichai Power (China) companies executed a corresponding project. As a result of project execution system prototype with power output of 30 kW was developed and manufactured, tests on bus lines are planned to be executed in nearest future. The system examined in current manuscript is the most powerful in comparison to other systems studied in this set of manuscripts: 30 kW against 1.5 and 9 kW [1], 3 kW [2] as well as 5 kW [3] for systems examined in previous works. Examined system uses compressed natural gas (CNG) as a fuel, this hydrocarbon is very convenient one due to well-developed distribution network, ecological cleanliness in comparison with more complex and heavy hydrocarbon mixtures. Application of low-temperature fuel cells (with proton-exchange membrane), which are more simple in manufacture, in automobile transport leads to the demand in development of hydrogen supply networks, which is not developed nowadays at all.

Keywords: automobile transport, bus, solid oxide fuel cells, SOFCs, power plant, range extender, electrical bus.

Вступ

У попередніх роботах [1-3] нами були розглянуті перспективи використання твердооксидних паливних елементів (ТОПЕ) як допоміжних силових установок [1-2], а також розширювачів пробігу [3] для вантажних [1-2] і легкових [3] автомобілів.

ТОПЕ – це на сьогодні найбільш ефективний спосіб перетворення хімічної енергії окислення вуглеводневих видів палива в електричну та високопотенціальну теплову енергію [4-7]. Експериментально показано, що коефіцієнт корисної дії (ККД) перетворення хімічної енергії в електричну становить до 60%, використання гібрид-

них систем, де вихідні гази допрацьовуються в газових та парових турбінах, дозволяє підвищити цей показник до більш ніж 70%. Основна причина високих значень ККД – практична відсутність рухомих частин, що дозволяє відчутно знизити втрати на тертя. Важливим буде відмітити можливість роботи енергетичних установок на ТОПЕ на досить різноманітних видах вуглеводневого палива: водень, метан [8], метанол [9], диметиловий ефір, пропан-бутан, а також дизельне паливо [10] тощо. Ця перевага є надзвичайно важливою з точки зору застосування в автомобільній промисловості, оскільки використання низькотемпературних паливних елементів сут-

тєво обмежене через нерозвинену інфраструктуру заправки воднем.

Окрім електричної енергії енергетичні установки на ТОПЕ генерують високопотенціальну теплову енергію у вигляді водяної пари та діоксиду вуглецю із температурою 300-400 °C. ККД у розрахунку на сумарну електричну та теплову енергію становить до 90-95%. Також слід зазначити таку важливу для автотранспортного застосування особливість енергетичних установок на ТОПЕ, як дуже висока екологічність технології – викиди CO та NOx у сотні разів нижчі, аніж значення, приведені в екологічних стандартах Euro-6 та Tier-IV для дизельних генераторів, які застосовуються поміж межами автомобільних доріг. Доречним також буде акцентувати увагу на високих значеннях міжсервісного інтервалу – на рівні року чи більше, сервісне обслуговування є досить простим і швидким.

Суттєві переваги технології ТОПЕ перед іншими технологіями генерування електричної енергії роблять її використання в автомобільному транспорту напрочуд перспективним, що викликає зростання публікативної активності з цієї теми [11-14]. У попередніх статтях нашого колективу докладно розглянуті найбільш успішні приклади застосування енергетичних установок (ЕУ) на ТОПЕ в автомобільному транспорти. В статті [1] наведений приклад застосування ЕУ на ТОПЕ як допоміжної силової установки для забезпечення електричною енергією бортових систем вантажівки. Показано, що використання технології ТОПЕ дозволяє отримати суттєвий позитивний ефект.

У статті [2] докладно розглянутий досвід виконання та тестування результатів європейського проекту DESTA. Останній також спрямований на розробку допоміжної силової установки ЕУ на ТОПЕ, що здатна працювати безпосередньо на дизельному паливі. Окрім технічних аспектів у роботі наведені економічні оцінки, які підводять до висновків про можливість суттєвого зниження витрат дизельного палива під час стоянок, зменшення викидів діоксиду вуглецю, продуктів неповного згоряння палива, а також шумності вантажівки під час стоянки.

У роботі [3] розглянутий реальний досвід із використання ЕУ на ТОПЕ як розширювача пробігу для електричних легкових автомобілів. Показано, що розширювач пробігу на ТОПЕ суттєво збільшує запас ходу (від 120 км до 600 км) та зберігає екологічність розробки завдяки відповідній особливості технології ТОПЕ – єдиними викидами є вода та діоксид вуглецю. Неповні оксиди ву-

глецю та азоту не створюються під час роботи енергетичного пристрою. Також зазначено, що розглянутий досвід є, безумовно, надзвичайно доречним і для України. Використання розширювачів пробігу дає змогу зберегти головні переваги електричних автомобілів – екологічність і незалежність від вуглеводневих видів палива, а також частково або повністю зняти головний недолік електромобілів – недостатній запас ходу під час руху за допомогою енергії, що попередньо накопичена в тяговій акумуляторній батареї.

У цій статті ми розглянемо експериментальні роботи щодо застосування розширювача пробігу на ТОПЕ для електричних автобусів. Цей проект виконується консорціумом компаній Ceres Power (Велика Британія) [15] та Weichai Power (Китай) [16].

Опис інноваційного стека ТОПЕ потужністю 5 кВт, розробленого компанією Ceres Power

Компанія Ceres Power (Велика Британія) здійснює роботи з проєктування та виготовлення ТОПЕ з підтримувальною пористою металевою підкладкою. Порівняння різноманітної геометрії ТОПЕ показано на рис. 1 [17].

Такий тип ТОПЕ дає змогу перекласти всі функції механічної підтримки на металеву підкладку, а керамічні шари (анод, електроліт та катод) – виготовити тонкоплівковими, що дозволяє суттєво знизити їхній електричний опір. Це зниження позитивно впливає на отримувану електричну потужність, а також коефіцієнт корисної

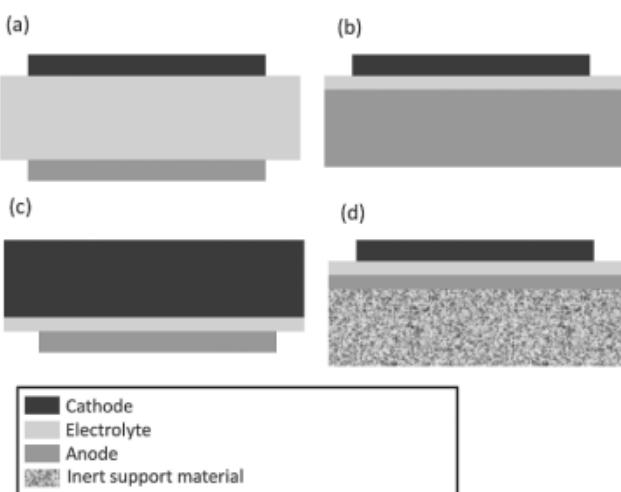


Рис. 1. Різні види геометрії виготовлення ТОПЕ:
a – підтримувальний електроліт;
b – підтримувальний анод;
c – катодна підтримка;
d – підтримка металевої пористої підкладки

дії. ТОПЕ з металевою підтримкою є найбільш складним у процесі виготовлення (через складність організації стабільного контакту метал – кераміка), але водночас і найпрогресивнішим з точки зору експлуатаційних характеристик типом ТОПЕ.

Компанія Ceres Power веде активні розробки систем ТОПЕ з металевою підкладкою на рівнях потужності 1 кВт, 5 кВт, 10 кВт, а також десятків кіловат [18]. Для підтримки застосувань із більшою потужністю Ceres розробила інноваційний дизайн стека (збірка, батарея ТОПЕ) класу 5 кВт, який може використовуватися в масиві для досягнення більш високої потужності як для стаціонарного електроживлення, так і для комерційного транспорту. У конструкції нового стека використовуються знання, отримані в результаті кількох циклів розвитку і десятків тисяч годин тестування стека потужністю 1 кВт (технологія SteelCell®), з кількома значними вдосконаленнями дизайну. Цей стек успішно включений у декілька різних систем клієнтів з видатною електричною ефективністю та продемонстрував механічну стійкість, що полегшує використання стека ТОПЕ для застосування у транспортних засобах.

Для поліпшення об'ємної та гравіметричної потужності стеків і зменшення вартості Ceres Power розробила стек у SteelCell® потужністю 5 кВт, що охоплює низку нових конструктивних особливостей щодо розподілу газу та герметизації. Вища вихідна потужність досягається комбінацією більшого числа шарів на стек, а також подвоєнням активної площини на шар. Для підтвердження концепції продемонстровано виготовлення однієї комірки з понад ніж удвічі більшою активною площею, а конструкція стека розроблена так, щоб бути сумісною з будь-яким типом комірок. Зображення комірок стандартної та великої площини показані на рис. 2.

На рис. 3 показано відсічний CAD-рендер стека з потужністю 5 кВт. Електричні з'єднання роз-



Рис. 2. Стандартні комірки (the SteelCell® original) для стеків із потужністю 1 кВт, а також прототип комірки зі збільшеною площею (SteelCell® plus), активна площа понад ніж удвічі більша

міщені у верхній частині стека, а газові з'єднання – в нижній. Особливістю дизайну, спільною для конструкції стека з потужністю 1 кВт, є те, що стек вварений у корпус, який забезпечує постачання повітря. Герметизація паливних колекторів та електрична ізоляція між шарами забезпечується компресійними прокладками та за допомогою корпусу стека, оскільки повітряний колектор значно зменшує необхідну площину прокладки і завдяки цьому силу стиснення, необхідну для підтримки герметичності газу. Цей ущільнювальний пристрій використовується у всіх стеках SteelCell®, було показано, що він є надзвичайно надійним для швидкого теплового циклу та ймовірності механічних ударів.

Конструкція та параметри стека детально описані в роботі [19]. Стеки потужністю 5 кВт випробувались на надійність на спеціалізованому стенді за умови роботи на природному газі, перетворенному на сингаз через процес парової конверсії. Стек перевірявся струмовим навантаженням близько 127 mA/cm^2 , що призводило до вихідної потужності на рівні $> 5,1 \text{ кВт}$ (за умови постійної напруги). Випробування показали, що деградація напруги склала менше за 0,2 %/тис. год.

Найбільш довготривалі випробування продовжуються, вже показана стабільність характеристик упродовж 17,6 тисяч годин (випробування почалися в березні 2017 року). Утилізація палива (частка палива, яка в стеці перетворюється на водяну пару та діоксид вуглецю) становить 85%, показано, що ККД у розрахунку на електроенергію для стека дорівнює 72,4%.

Варто зазначити, що з прицілом на автомобільне або інше застосування на транспорті була



Рис. 3. CAD-рендер стека потужністю 5 кВт

протестована стабільність стеків у швидких термічних циклах: показано, що стек досить добре переніс 200 циклів нагрів-охолодження від 200 до 600 °C з 15-хвилинними прогрівами до повної потужності (8 хвилин до першого струмового навантаження).

Застосування стеків із потужністю 5 кВт

Стек 5 кВт SteelCell® розроблений як гнучка багатоцільова платформа, котра може бути легко адаптована до декількох застосувань з незначними модифікаціями, а також може експлуатуватися як окремо, так і в масиві з кількох стеків, щоб масштабувати вихідну потужність системи за потреби. У табл. 1 показані програми, в яких партнери Ceres Power зараз використовують дані стеки потужністю 5 кВт. Кілька партнерів мають плахи щодо додаткових застосувань систем вищої енергії в майбутньому.

Щодо технічних характеристик систем на базі стеків Ceres Power, вони відомі для стаціонарної системи (яка розробляється спільно з Cummins). Система потужністю 10 кВт має габарити 0.60x1.25x1.90 м (ШxДxВ) – під розмір серверної стійки. Тестування було затримане через пошкодження під час транспортування між Великою Британією та США, проте система все одно продемонструвала електричний ККД на рівні 59% за умови неповної потужності 4,2 кВт. Очікувалось, що система матиме ККД на рівні понад 60% за умови повної потужності.

Варто зазначити, що хоча допоміжні системи енергетичної системи були досить суттєво пошкоджені під час транспортування, встановлені стеки все ще працювали згодом, що є свідченням виключної механічної стійкості конструкції SteelCell® порівняно практично з усіма іншими типами ТОПЕ.

У червні 2018 року заявлено [20], що британський Ceres Power оголосив про стратегічну співпрацю з Weichai Power (Китай), виробником транспортних засобів, їхніх частин та обладнання. Угода передбачає потенційну двоступеневу інвестицію у власний капітал Weichai у Ceres Power.

Використання системи на ТОПЕ розробки Ceres Power як розширювача пробігу для електричних автобусів Weichai Power

Спочатку Ceres Power та Weichai Power планували розробити та запустити систему розширення пробігу на ТОПЕ для ринку електричних автобусів у Китаї, що стрімко розвивається. Компанія Weichai має широку мережу клієнтів у Китаї, обсяг продажів – приблизно 30 000 автобусів щороку. Ця угода потенційно забезпечує значні доходи компанії Ceres Power завдяки інженерним послугам та передачі технологій, ліцензійних платежів і платежів із виплатою роялті та більш довгострокової частки у прибутках від запропонованого спільнотого підприємства для виробництва комірок SteelCell® та стеків із низькою вартістю.

Угода охоплювала потенційні початкові інвестиції у власний капітал у розмірі 17 мільйонів фунтів стерлінгів (22,8 мільйонів доларів США), здійснені Weichai у Ceres, та потенційне подальше вкладення в капітал у розмірі 23,2 мільйоні фунтів стерлінгів (31,1 мільйонів доларів США), розпочате після підписання подальших комерційних угод до 30 листопада 2018 року. Інвестиції – що дали б Weichai 20% акцій Ceres – підлягають затвердженню урядовими провінційними органами Китаю та акціонерами Ceres Power.

Відповідно до початкової угоди про спільну розробку, на початку 2019 року сторони розробляли систему розширювача пробігу потужністю

Таблиця 1

Програми із застосування стеків потужністю 5 кВт

Партнер	Країна	Застосування	Потужність системи, кВт	Паливо
Robert Bosch GmbH	Німеччина	Різноманітне	10	Природний газ, водень
Weichai Power	Китай	Розширювач пробігу для автобусу	30	Стиснений природний газ (СПГ)
Cummins, Міністерство енергетики США	США	Дата-центри, а також промислова розподілена генерація	10	Природний газ

30 кВт для демонстрації в гібридному електричному міському автобусі для китайського ринку, використовуючи стиснений природний газ (СПГ, CNG). Сюди входить передача та ліцензування технологій на рівні системи в Weichai. Передбачається, що додаткові майданчики JDA надалі розвиватимуть систему розширення діапазону потужності 30 кВт для автобусів та інших застосувань. Рамкова угода партнерів містить комерційну ліцензійну угоду на поетапну передачу технології та суміш ексклюзивних та невиключних прав на виробництво систем для комерційних транспортних засобів, автобусів та деяких стаціонарних ринків електроенергії в Китаї.

Угода також передбачає приріст капіталу Ceres Power в міру збільшення його операцій у Великій Британії та генерування короткострокового попиту на його стек потужністю 5 кВт [21]. Це шосте партнерство, підписане Ceres Power на додаток до його стратегічних партнерств із Honda [22], Nissan [23], Cummins [24], та двома додатковими неназваними світовими виробниками OEM [25, 26].

На рис. 4 представлена концептуальна модель гарячої зони енергетичної установки потужністю 30 кВт, яка працює на стисненому природному газі, розробленої фірмою Ceres Power для Weichai для використання як розширювача пробігу для електричних автобусів.

Ця система використовує 6 стеків потужністю по 5 кВт кожний. Вважається, що це перше в історії застосування технології ТОПЕ як основного двигуна дорожнього транспорту. Воно стало можливим через механічну стійкість конструкцій комірок SteelCell®, тобто стеки можуть переносити вібрацію від транспортного засобу, що рухається, і швидкий термічний цикл, що означає можливість швидкого запуску системи від холодно-

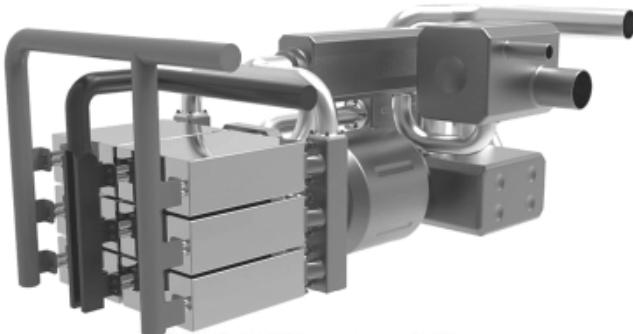


Рис. 4. CAD-рендер гарячої зони енергетичної установки потужністю 30 кВт, що працює на стисненому природному газі, розробленої фірмою Ceres Power для Weichai з метою використання як розширювача пробігу для електричних автобусів

го положення. Ceres також постачає систему управління.

У жовтні 2019 року було заявлено [27], що після успішної передачі технології і ліцензування технологій на рівні системи від Ceres Power до Weichai Power [28] об'єднана команда підготувала перший прототип на ТОПЕ SteelCell® потужністю 30 кВт – систему розширення пробігу. Випробування на автобусних маршрутах плануються провести у 2020 році.

Висновки

У цій статті розглянутий досвід використання розширювача пробігу на твердооксидних паливних елементах (ТОПЕ) для електричного автобуса. Варто зазначити, що система спільноРозробки Ceres Power та Weichai Power, описана в цій роботі, є найбільшою за потужністю: 30 кВт проти 1,5 і 9 кВт [1], 3 кВт [2] та 5 кВт [3] для систем, розібраних у попередніх роботах.

Досвід використання розширювача пробігу для електричних автобусів на ТОПЕ є надзвичайно актуальним та важливим для багатьох країн з кількох причин:

- 1) на сьогодні людству не є відомою більш ефективна технологія перетворення хімічної енергії палива в електричну енергію;
- 2) використання розширювача пробігу дозволяє ліквідувати головний недолік електричного транспорту – низький запас пробігу;
- 3) висока екологічна чистота технології для повного циклу – від виготовлення системи до її утилізації.

References

1. Agarkov, O. V., Shevchuk, K. Ya. (2015). Perspectives of application of solid oxide fuel cells in automotive transport, [Perspektivи vyukorystannya tverdoooksydnih palyvnikh elementiv v avtomobil'nomu transporti]. Avtoshljahovik Ukraini, 4(246), 23-25 [in Ukrainian].
2. Agarkov, O. V., Shevchuk, K. Ya., Ivanyna, Yu.I. (2017). European program of the development of auxiliary power plants for automotive transport based on solid oxide fuel cells, [Evropeys'ka programma rozrobky dopimizhnykh sylovikh ustanonok dlya avtomobil'nogo transport na bazi tverdoooksydnih palyvnikh elementiv]. Avtoshljahovik Ukraini, 3(251), 2-7 [in Ukrainian].
3. Agarkov, O. V., Shevchuk, K. Ya., Ivanyna, Yu. I. (2019). Experience of "AVL" and "NISSAN" companies in application of SOFC as range extenders for electrical vehicles [Dosvid kompaniy "AVL" ta "Nissan" yak rozshiryyachiv probigu elektrichnikh legkovykh avtomobiliv]. Avtoshljahovik Ukraini, 2, 5.
4. Gao, Z. Mogni, L. V., Miller, E. C., Railsback, J. G., Barnett, S. A. (2016) A perspective on low-temperature solid oxide fuel cells. Energy & Environmental Science, 9(5), 1602-1644. <https://doi.org/10.1039/c5ee03858h>
5. 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. <https://doi.org/10.1134/S1023193517080043>

6. Fan, L., Zhu, B. Su, P.-C., He, C. (2018) Nanomaterials and technologies for low temperature solid oxide fuel cells: Recent advances, challenges and opportunities. *Nano Energy*, 45, 148-176. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2017.12.044>
7. Erilin, I. S., Agarkov, D. A., Burmistrov, I. N., Pukha, V. E., Yalovenko, D. V., Lyskov, ... Bredikhin, S. I. (2020) Aerosol deposition of thin-film solid electrolyte membranes for anode-supported solid oxide fuel cells. *Materials Letters*, 266, 127439. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2020.127439>
8. Hecht, E. S., Gupta, G. K., Zhu, H., Dean, A. M., Kee, R. J., Maier, L., Deutschmann, O. (2005) Methane reforming kinetics within a Ni-YSZ SOFC anode support. *Applied Catalysis A: General*, 295(1), 40-51. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2005.08.003>
9. Samoilov, A. V., Agarkov, D. A., Bredikhin, S. I. (2019) A Multifuel Processor for SOFC Power Plants Created to Operate in the Arctic Region. *ECS Transactions*, 91, 1641-1649. <https://doi.org/10.1149/09101.1641ecst>
10. Lindermeir, A., Kah, S., Kavurucu, S., Mihlner, M. (2007) On-board diesel fuel processing for an SOFC-APU-Technical challenges for catalysis and reactor design. *Applied Catalysis B: Environmental*, 70(1-4), 488-497. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2006.02.025>
11. Lin, P.-H., Hing, C.-W. (2008) Cold start dynamics and temperature sliding observer design of an automotive SOFC APU. *Journal of Power Sources*, 187(2), 517-526. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2008.11.043>
12. Dimitrova, Z., Marechal, F. (2017) Environomic design for electric vehicles with an integrated solid oxide fuel cell (SOFC) unit as a range extender. *Renewable Energy*, 112, 124-142. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.031>
13. Lawlor, V., Reissig, M., Makinson, J., Rechberger, J. (2017) SOFC System for Battery Electric Vehicle Range Extension: Results of the First Half of the Mestrex Project. *ECS Transactions*, 78(1), 192. <https://doi.org/10.1149/07801.0191ecst>
14. Bessekow, Y., Zielke, P., Wulff, A. C., Hagen, A. (2018) Simulation of a SOFC/Battery powered vehicle. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(3), 1905-1918. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.11.126>
15. <https://www.ceres.tech/>
16. <https://en.weichaipower.com/>
17. Irshad, M., Siraj, K., Raza, R., Ali, A., Tiwari, P., Zhu, B., ... Usman, A. (2016) A Brief Description of High Temperature Solid Oxide Fuel Cell's Operation, Materials, Design, Fabrication Technologies and Performance. *Applied Science*, 6(3), 75. <https://doi.org/10.3390/app6030075>
18. Ballard, A., Domanski, T., Rees, L., Nobbs, C., Lawrence, N., Heffer, K., ... Selby, M.A. (2019) Development of the 5kWe SteelCell® Technology Platform for Stationary Power and Transport Applications. *ECS Transactions*, 91(1), 117-122. <https://doi.org/10.1149/09101.0117ecst>
19. Leah, R.T., Bone, P. A., Selcuk, A., Rahman, M., Clare, A., Lankin, M., ... Selby, M.A. (2019) Latest Results and Commercialization of the Ceres Power SteelCell® Technology Platform. *ECS Transactions*, 91(1), 51-61. <https://doi.org/10.1149/09101.0051ecst>
20. (2019) Ceres, Weichai plan SOFC range-extender for China bus market. *Fuel Cell Bulletin*, 2018(6), 10. [https://doi.org/10.1016/S1464-2859\(18\)30212-8](https://doi.org/10.1016/S1464-2859(18)30212-8)
21. (2017) Ceres Power reports successful SteelCell trials for home CHP. *Fuel Cell Bulletin*, 2017(10), 4. [https://doi.org/10.1016/S1464-2859\(17\)30316-4](https://doi.org/10.1016/S1464-2859(17)30316-4)
22. (2016) Ceres Power, Honda for new joint development. *Fuel Cell Bulletin*, 2016(1), 1. [https://doi.org/10.1016/S1464-2859\(16\)30002-5](https://doi.org/10.1016/S1464-2859(16)30002-5)
23. (2016) Ceres to demo SOFC stack tech for Nissan in EV range-extender. *Fuel Cell Bulletin*, 2016(7), 4. [https://doi.org/10.1016/S1464-2859\(16\)30169-9](https://doi.org/10.1016/S1464-2859(16)30169-9)
24. (2014) Ceres collaborating with Cummins Power Generation on SOFCs. *Fuel Cell Bulletin*, 2014(4), 10. [https://doi.org/10.1016/S1464-2859\(14\)70116-6](https://doi.org/10.1016/S1464-2859(14)70116-6)
25. (2017) Ceres partners with global OEM to develop SOFC home power. *Fuel Cell Bulletin*, 2017(6), 5-6. [https://doi.org/10.1016/S1464-2859\(17\)30216-X](https://doi.org/10.1016/S1464-2859(17)30216-X)
26. (2018) Ceres Power signs fifth major partner for joint development activities. *Fuel Cell Bulletin*, 2018(2), 12. [https://doi.org/10.1016/S1464-2859\(18\)30060-9](https://doi.org/10.1016/S1464-2859(18)30060-9)
27. (2019) Ceres, Weichai Power develop first range extender bus prototype. *Fuel Cell Bulletin*, 2019(10), 4. [https://doi.org/10.1016/S1464-2859\(19\)30406-7](https://doi.org/10.1016/S1464-2859(19)30406-7)
28. (2019) Ceres Power, Weichai finalise strategic collaboration, JV deal. *Fuel Cell Bulletin*, 2019(1), 11. [https://doi.org/10.1016/S1464-2859\(19\)30026-4](https://doi.org/10.1016/S1464-2859(19)30026-4)



ДО УВАГИ!

За останні місяці до фонду ДП "ДержавтрансНДІпроект" надійшли такі нормативні документи:

- ДСТУ ISO 37100:2019 (ISO 37100:2016, IDT) Сталий розвиток міст та громад. Словник
- ДСТУ ISO 37101:2019 (ISO 37101:2016, IDT) Сталий розвиток у громадах. Система управління сталим розвитком. Вимоги та настанови щодо використання
- ДСТУ ISO 37106:2019 (ISO 37106:2018, IDT) Сталі міста та громади. Керівництво зі створення інтелектуальних операційних моделей міст для сталих громад
- ДСТУ ISO 37120:2019 (ISO 37120:2018, IDT) Сталі міста та громади. Показники міських послуг і якості життя

Для замовлення офіційних копій указаних стандартів звертайтеся до відділу дослідження безпеки на транспорті, питань нормування стандартизації та метрології ДП "ДержавтрансНДІпроект" за телефоном: +38(044) 201-08-39 або пишіть на e-mail: vsm@insat.org.ua.

© В. В. Федоров, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів,
e-mail: fedorov.volodymyr@gmail.com,
ORCID: 0000-0002-1085-5112

© Г. А. Філіпова, канд. техн. наук, доцент, професор кафедри автомобілів,
e-mail: galina_gaj@ukr.net
ORCID: 0000-0003-3427-7633

© В. В. Яновський, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів, e-mail: Yanovskyi_v@ukr.net,
ORCID: 0000-0001-9437-4537

© О. В. Терновий, магістр,
e-mail: alexandr140398@gmail.com
(Національний транспортний університет);

© Volodymyr Fedorov, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor of the Department of Motor Vehicles, e-mail: fedorov.volodymyr@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1085-5112

© Galina Filipova, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Docent, Professor at the Department of Motor Vehicles, e-mail: galina_gaj@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3427-7633

© Vasyl Yanovsky, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor of the Department of Motor Vehicles, e-mail: Yanovskyi_v@ukr.net, ORCID: 0000-0001-9437-4537

© Oleksandr Ternovyy, Master Degree,
e-mail: alexandr140398@gmail.com
(National Transport University)

ЗНИЖЕННЯ ЗОВНІШньОГО ШУМУ САУ "БОГДАНА" НА БАЗІ ШАСІ КРАЗ-63221 УДОСКОНАЛЕНИМ ДВОКАМЕРНИМ РЕАКТИВНИМ ГЛУШНИКОМ ШУМУ

REDUCTION OF EXTERNAL NOISE VEHICLE OF SPAI "BOHDANA" ON THE BASIS OF THE KRAZ-63221 IMPROVED TWO-CHAMBER REACTIVE NOISE SILENCER

Анотація. Якісна військова техніка – життєво важлива необхідність для України як незалежної держави, особливо в умовах загострення ситуації на фронті. Одним із параметрів, що визначає якість військових автомобілів, є рівень зовнішнього шуму. Зовнішній шум такого виду автомобілів, окрім негативного впливу на здоров'я людей (зокрема екіпажу), також є демаскувальним фактором. З метою зниження рівня зовнішнього шуму САУ "Богдана" на базі шасі КраЗ-63221 запропоновано використання вдосконаленого двокамерного реактивного глушника шуму відпрацьованих газів двигуна внутрішнього згорання. Відомий двокамерний реактивний глушник шуму відпрацьованих газів має нерухому внутрішню перегородку. Його акустична ефективність описується відомою формулою. Пропонується внутрішню перегородку глушника зробити рухомою. Така необхідність випливає з факту постійної зміни частоти обертання колінчастого вала двигуна у процесі руху автомобіля. Зміна положення внутрішньої перегородки відбувається узгоджено зі зміною частоти обертання колінчастого вала, оскільки ці два процеси синхронізовані. Для аналізу відомої формулі ефективності двокамерного реактивного глушника шуму відпрацьованих газів двигуна з рухомою внутрішньою перегородкою було застосовано математичний пакет IDL. З огляду на необхідність показати залежність ефективності глушника одночасно від обох параметрів – частоти обертання колінчастого вала та положення рухомої внутрішньої перегородки глушника – вибрано метод кольорового кодування. Наведено конструкцію розробленого для САУ "Богдана" двокамерного реактивного глушника шуму. У результаті впровадження розробленого глушника шуму прогнозується зменшення рівня зовнішнього шуму САУ "Богдана" на шасі КраЗ-63221 на 2-3,5 дБА в діапазоні швидостей руху 45-85 км/год.

Ключові слова: автомобіль, САУ, КраЗ, маскування, двигун внутрішнього згорання, реактивний глушник шуму, акустична ефективність, частота, метод кольорового кодування, швидкість руху.

Аннотация. Качественная военная техника – жизненно важная необходимость для Украины как независимого государства, особенно в условиях обострения ситуации на фронте. Одним из параметров, который определяет качество военных автомобилей, является уровень внешнего шума. Внешний шум такого вида автомобилей, кроме негативного влияния на здоровье людей (в частности экипажа), также является демаскирующим фактором. С целью снижения уровня внешнего шума САУ "Богдана" на базе шасси КраЗ-63221 предложено использование усовершенствованного двухкамерного реактивного глушителя шума отработанных газов двигателя внутреннего сгорания. Известный двухкамерный реактивный глушитель шума отработанных газов имеет неподвижную внутреннюю перегородку. Его акустическая эффективность описывается известной формулой. Предлагается внутреннюю перегородку глушителя сделать подвижной. Такая необходимость вытекает из факта постоянного изменения частоты вращения коленчатого вала двигателя в процессе движения автомобиля. Изменение положения внутренней перегородки происходит согласованно с изменением частоты вращения коленчатого вала, поскольку эти два процесса синхронизированы. Для анализа известной формулы эффективности дву-

хкамерного реактивного глушителя шума отработанных газов двигателя с подвижной внутренней перегородкой был применен математический пакет IDL. С учетом необходимости показать зависимость эффективности глушителя одновременно от двух параметров – частоты вращения коленчатого вала и положения подвижной внутренней перегородки глушителя – выбран метод цветного кодирования. Приведено конструкцию разработанного для САУ "Богдана" двухкамерного реактивного глушителя шума. В результате внедрения разработанного глушителя шума прогнозируется снижение уровня внешнего шума САУ "Богдана" на шасси КраЗ-63221 на 2-3,5 дБА в диапазоне скоростей движения 45-85 км/ч.

Ключевые слова: автомобиль, САУ, КраЗ, маскировка, двигатель внутреннего сгорания, реактивный глушитель шума, акустическая эффективность, частота, метод цветного кодирования, скорость движения.

Abstract. High-quality military equipment is a vital necessity for the independent state of Ukraine, especially in the conditions of aggravation of the situation at the front. One of the parameters that determines the quality of military vehicles is the level of external noise. The external noise of this type of car, in addition to the negative impact on human health (including the crew), is also an unmasking factor. In order to reduce the level of external noise of SPAI "Bogdan" on the basis of the chassis KrAZ-63221, the use of an advanced two-chamber jet muffler of the exhaust gases of the internal combustion engine is proposed. The known two-chamber jet muffler of exhaust gases has a fixed internal partition. Its acoustic efficiency is described by a known formula. It is proposed to make the inner partition of the muffler movable. This need arises from the fact of constant changes in the speed of the engine crankshaft during the movement of the car. The change in the position of the inner partition is consistent with the change in the speed of the crankshaft, because these two processes are synchronized. The mathematical package IDL was used to analyze the known formula for the efficiency of a two-chamber jet exhaust muffler of an engine with a movable inner partition. Given the need to show the dependence of the efficiency of the muffler simultaneously on two parameters – the speed of the crankshaft and the position of the movable inner partition of the muffler – the method of color coding was chosen. The design of a two-chamber jet noise muffler developed for ACS "Bogdan" is given. As a result of introduction of the developed muffler noise reduction of level of external noise of the SPAI "Bogdan" on the basis of the chassis KrAZ-63221 car on 2-3,5 dBA in the range of speeds of movement of 45-85 km/h is forecasted.

Keywords: automobile, SPAI, KraZ, masking, internal combustion engine, jet muffler, acoustic efficiency, frequency, color coding method, speed.

Вступ

Актуальність зниження зовнішнього шуму військового автомобіля диктується передусім поліпшенням його маскувальних властивостей і вже потім екологічних. Автомобіль як акустична система має низку джерел шуму, а одним із основних є процес випуску відпрацьованих газів двигуна внутрішнього згорання [1]. Виходячи з цього, свою увагу ми приділимо саме цьому джерелу, з шумом якого борються за допомогою глушників. За об'єкт дослідження нами вибрано САУ "Богдана" на базі шасі КраЗ-63221 [2] (рис. 1).

САУ "Богдана" – колісна артустановка, базується на шасі КраЗ-63221, спільна розробка Крама-

торського заводу важкого верстатобудування і компанії "Українська бронетехніка" [2].

Основна частина

Нова важка САУ "Богдана" вперше для української артилерії матиме "натівський калібр" 155 мм замість "радянського" 152 мм, який зараз використовують ЗСУ.

Важаємо, що прототипом розробленого глушника шуму відпрацьованих газів є двокамерний реактивний глушник шуму. Для глушників із двох камер, з'єднаних внутрішньою трубкою (рис. 2), зниження рівня шуму розраховується за формулою [3]:

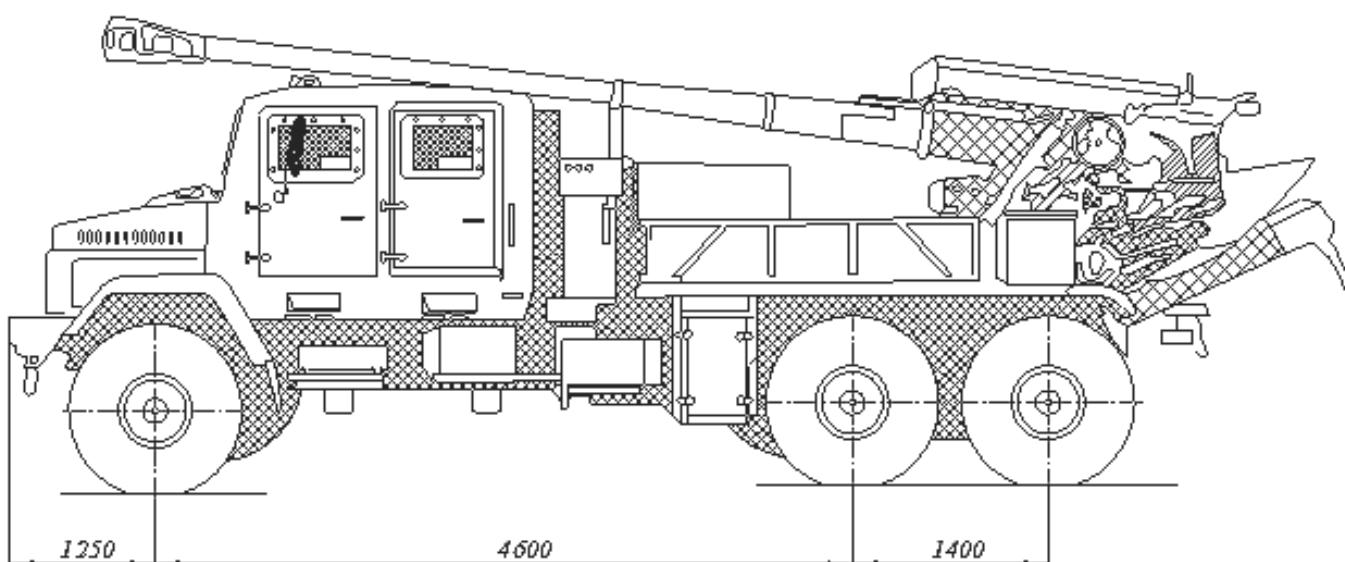


Рис. 1. САУ "Богдана" на базі шасі КраЗ-63221 (основні геометричні розміри)

$$\Delta L = 10 \lg \left[[\operatorname{Re}(B)]^2 + [\operatorname{Im}(B)]^2 \right];$$

$$B = \left\{ \begin{aligned} & [\cos 2kl_k - (m - \frac{1}{2}) \sin 2kl_k \operatorname{tg} kl_c] + \\ & i \frac{1}{2} \left\{ \begin{aligned} & \left(m + \frac{1}{m} \right) \sin 2kl_k + \\ & + \operatorname{tg} kl_c \left[\left(m + \frac{1}{m} \right) \cos 2kl_c - \left(m - \frac{1}{m} \right) \right] \end{aligned} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

1. Розроблений двокамерний реактивний глушник шуму

З метою зниження рівня зовнішнього шуму САУ "Богдана" на базі шасі КрАЗ-63221 нами був розроблений реактивний глушник шуму зі змінною частотною характеристикою. Він має низку переваг перед реактивним глушником, згаданим вище, зокрема достатньо високу акустич-

ну ефективність із прийнятною габаритною довжиною. Принциповою відмінністю від наявних реактивних глушників є можливість змінювати ефективну довжину камер, а отже, й ефективну частотну смугу.

Розроблений двокамерний реактивний глушник (рис. 3) має рухому перегородку 5 між камерами, переміщення якої дає можливість змінювати ефективні довжини l_{k1} та l_{k2} відповідно першої та другої камер глушника. Переміщення перегородки 5 забезпечується переміщенням рухомої перфорованої вихлопної труби 3, на якій ця перегородка жорстко закріплена, за допомогою механізму приводу переміщення труби 2 (стрілками показані напрям руху відпрацьованих газів).

Положення перегородки на рис. 4 протилежне показаному на рис. 3: перша камера має мінімальну довжину $l_{k1} = l_{kmin}$, а друга камера – максимальну $l_{k2} = l_{kmax}$.

Система "двигун – глушник" (рис. 5) працює так. Інформація від встановленого на маховику датчика 10 частоти обертання n колінчастого вала двигуна надходить до блоку керування 9. Останній дає команду електродвигуну 8 відповідно до

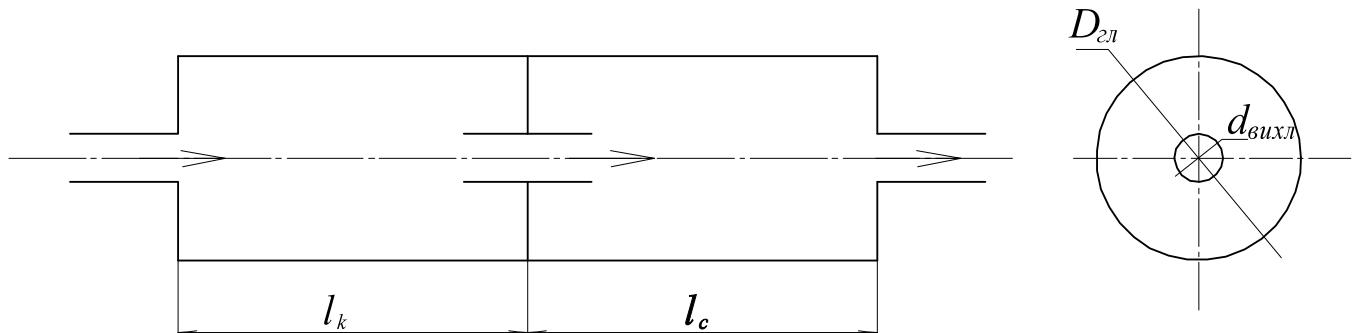


Рис. 2. Реактивний глушник із двох камер, з'єднаних внутрішньою трубкою

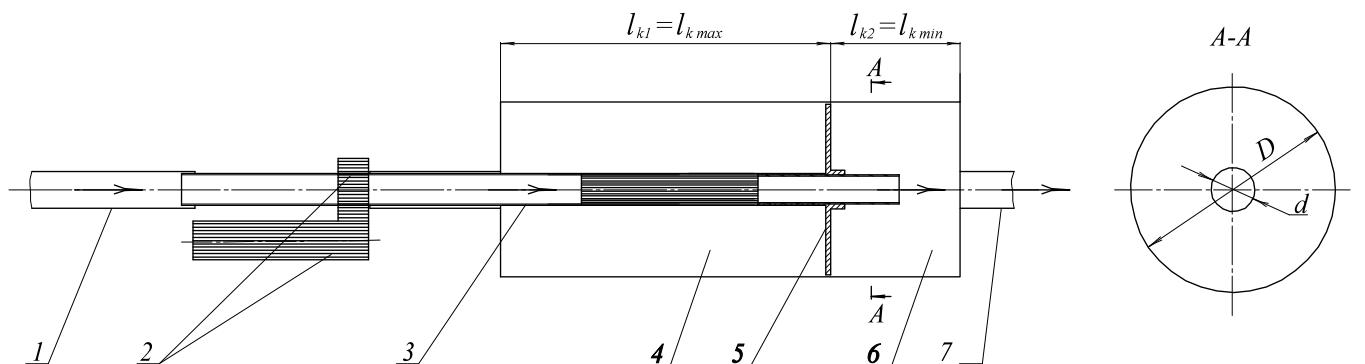


Рис. 3. Розроблений двокамерний реактивний глушник шуму відпрацьованих газів ДВЗ; положення перегородки відповідає $l_{k1} = l_{kmax}$, $l_{k2} = l_{kmin}$; 1, 7 – вхідний та вихідний патрубки відповідно; 2 – механізм приводу рухомої вихлопної труби; 3 – рухома перфорована вихлопна труба; 4, 6 – перша та друга камери реактивного глушника відповідно; 5 – перегородка

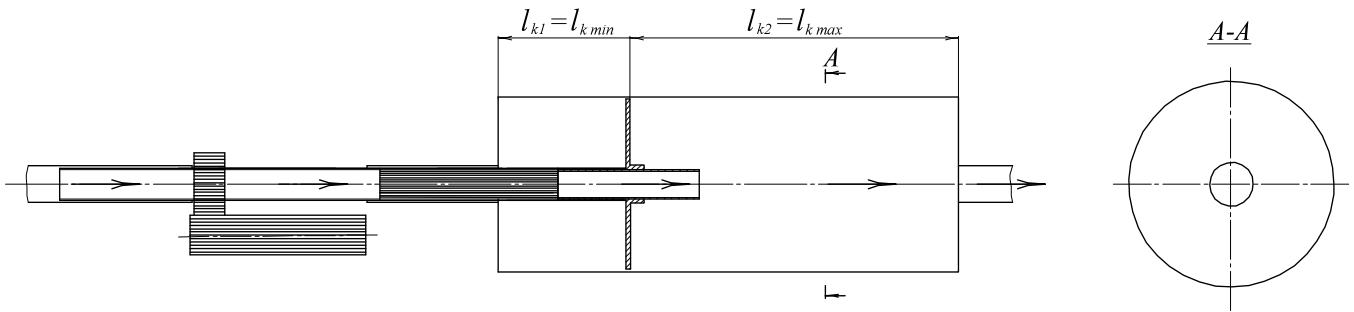


Рис. 4. Розроблений двокамерний реактивний глушник шуму відпрацьованих газів ДВЗ; положення перегородки відповідає $l_{k1}=l_{kmin}$, $l_{k2}=l_{kmax}$.

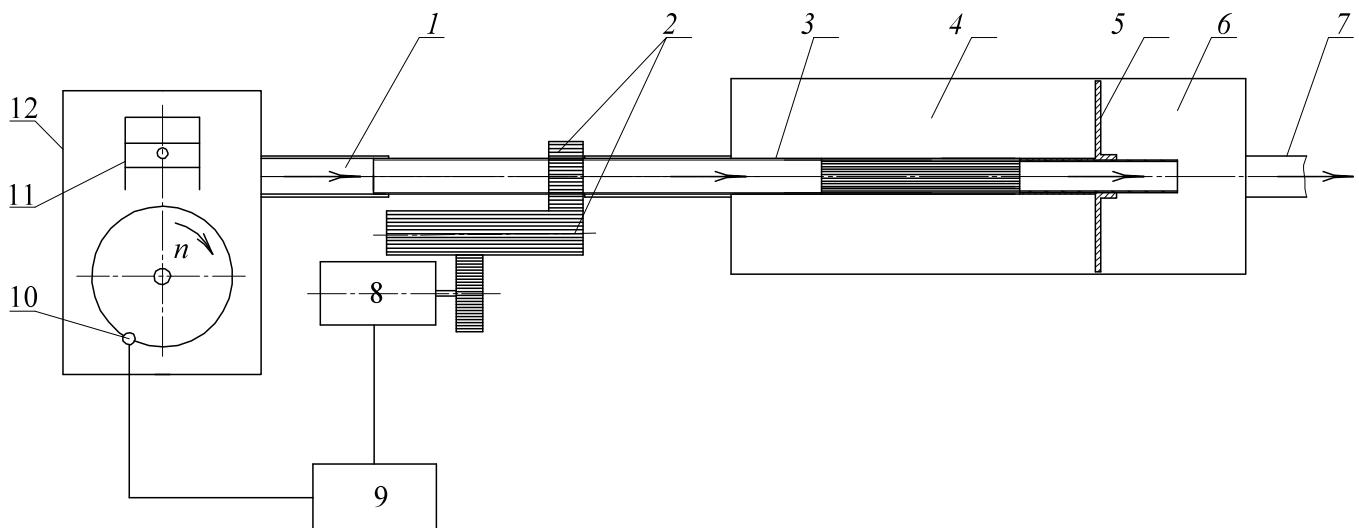


Рис. 5. Розроблений двокамерний реактивний глушник шуму в комплексі з ДВЗ: 1, 7 – вхідний та вихідний патрубки відповідно; 2 – механізм приводу рухомої вихлопної труби; 3 – рухома перфорована вихлопна труба; 4, 6 – перша та друга камери реактивного глушника відповідно; 5 – перегородка; 8 – електродвигун; 9 – блок керування; 10 – датчик частоти обертання колінчастого вала; 11 – циліндр ДВЗ; 12 – циліндр внутрішнього згорання

свого програмного забезпечення. Електродвигун через механізм приводу 2 задає положення рухомої перфорованої вихлопної труби 3 і відповідно рухомої перегородки 5, яка жорстко прикріплена до цієї труби. Тим самим регулюється довжина камер 4 і 6 глушника. Відпрацьовані гази потрапляють у глушник через вхідний патрубок 1 та виходять через вихідний 7.

2. Розрахунок частотної характеристики розробленого глушника шуму

Для розрахунку частотної характеристики (формули (1) застосовано математичний пакет IDL [4].

На рис. 6-8 представлена сімейства графіків залежності ефективності двокамерного глушника від частоти обертання колінчастого вала з різними ефективними довжинами камер. Розрахунки виконано для глушника діаметром $D=0,5$ м із вхідним та вихідним патрубками діаметром $d=0,06$ м та загальною ефективною довжиною

$l=1,3$ м. На рис. 6 представлена залежність в діапазонах зміни ефективної довжини першої ка-

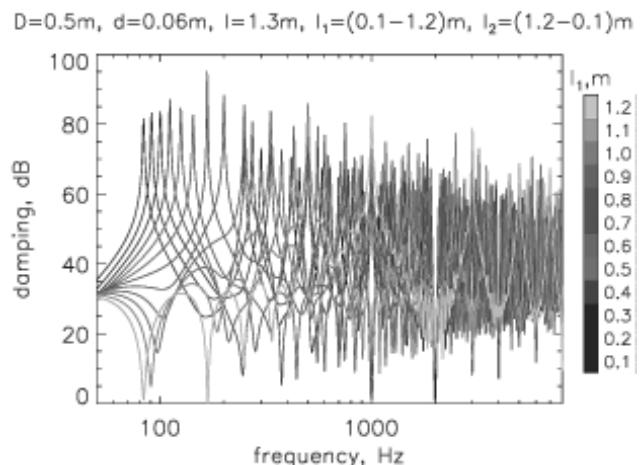


Рис. 6. Залежність ефективності двокамерного реактивного глушника від частоти обертання колінчастого вала та ефективної довжини камер: $l_1=(0,1-1,2)$ м, $l_2=(1,2-0,1)$ м

мери $l_1=(0,1-1,2)$ м та другої камери – $l_2=(1,2-0,1)$ м; на рис. 7 – за умови, що $l_1=(0,1-0,6)$ м та $l_2=(1,2-0,7)$ м; на рис. 8 – за $l_1=(0,7-1,27)$ м та $l_2=(0,6-0,1)$ м.

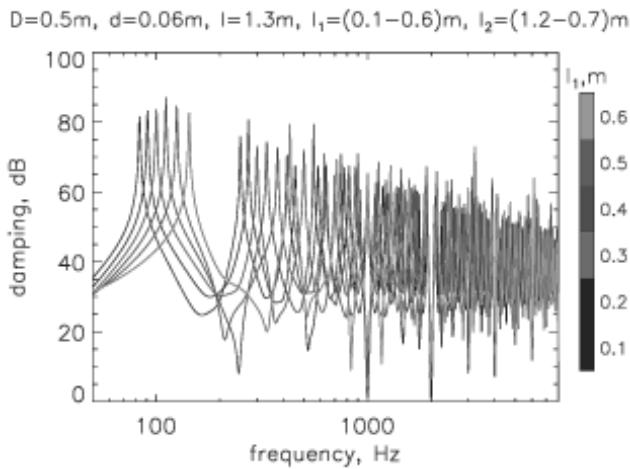


Рис. 7. Залежність ефективності двокамерного реактивного глушника від частоти обертання колінчастого вала та ефективної довжини камер: $l_1=(0,1-0,6)$ м, $l_2=(1,2-0,7)$ м

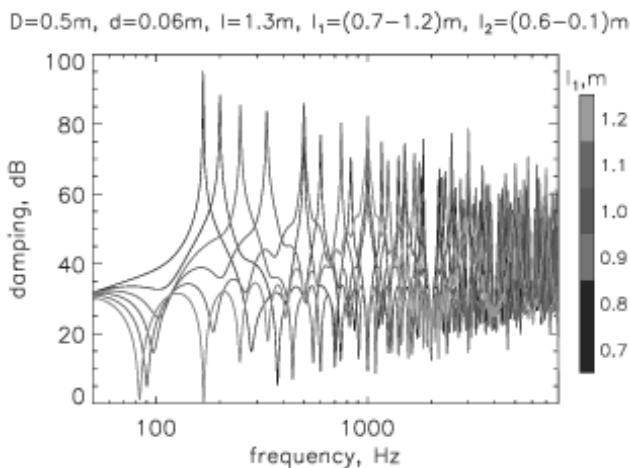


Рис. 8. Залежність ефективності двокамерного реактивного глушника від частоти обертання колінчастого вала та ефективної довжини камер: $l_1=(0,7-1,27)$ м, $l_2=(0,6-0,1)$ м

З огляду на необхідність показати залежність ефективності глушника одночасно від двох параметрів – частоти обертання колінчастого вала та положення внутрішньої перегородки – вибрано метод кольорового кодування (color-coded mapping), за яким аргументи відкладаються на осіх (у нашому випадку х – частота, у – ефективна довжина першої камери глушника), а ефективність глушника відображається відповідним кольором для кожної пари координат. Зображені

такі залежності у вигляді 3D-площини недоцільно, оскільки загубляться всі дітальні й буде важко оцінити числові значення. Таке зображення підходить для більш плавно змінюваних величин. На рис. 9 по горизонталі показано частоту шуму за логарифмічною шкалою, а по вертикалі – ефективну довжину першої камери глушника в межах неперервного руху внутрішньої перегородки. Ефективність глушника для кожної пари параметрів f і l_1 позначено кольором відповідно до шкали праворуч. Виглядає ефектно і разом з тим інформативно, оскільки значення легко читаються для кожної точки.

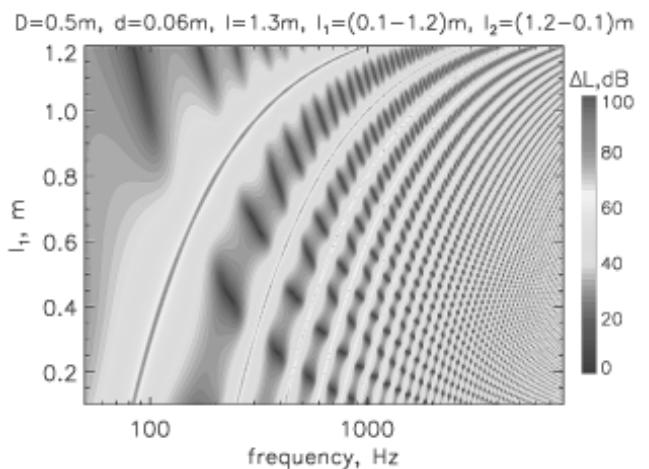


Рис. 9. Залежність ефективності розробленого двокамерного реактивного глушника від частоти та ефективної довжини першої камери: $l=1,3$ м, $l_1=(0,1-1,2)$ м, $l_2=(1,2-0,1)$ м

Наприклад, для ефективної довжини першої камери $l_1 = 60$ см і частоти 200 Гц маємо світлоблакитний колір, який відповідає ефективності близько 40 дБ (рис. 10). З іншого боку, для положен

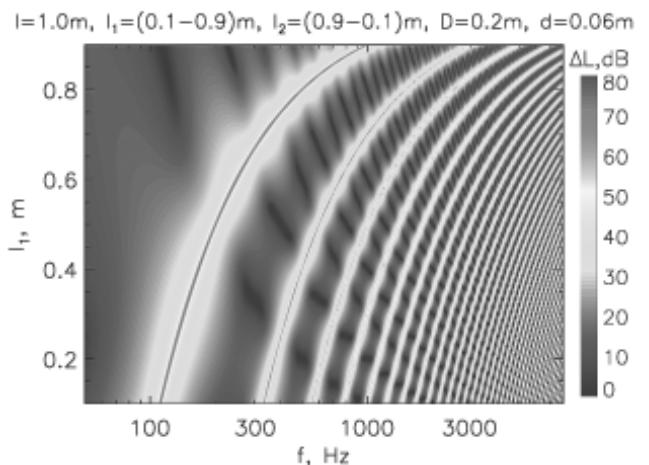


Рис. 10. Залежність ефективності розробленого двокамерного реактивного глушника від частоти та ефективної довжини першої камери: $l=1$ м, $l_1=(0,1-0,9)$ м, $l_2=(0,9-0,1)$ м

ження $l_1 = 65$ см на частоті 300 Гц споглядаємо темно-синій, що відповідає майже нульовій ефективності. Точки з жовто-червоної ділянки, наприклад, 300-350 Гц, якщо $l_1 = 1$ м, відповідають практично повному гасінню шуму. Усереднена кольорова гама відповідає середній ефективності глушника в усьому діапазоні частот і положень перегородки.

Кольорові шкали на обох рисунках приведені до однакової межі, щоб різниця в кольорі одразу наочно відображала відмінність в ефективності для різної геометрії (рис. 10).

3. Основні гармоніки шуму відпрацьованих газів ДВЗ САУ "Богдана" на базі шасі КрАЗ-63221 на різних швидкостях руху

Знайдемо значення основних гармонік шуму відпрацьованих газів ДВЗ на різних швидкостях руху САУ "Богдана" на базі шасі КрАЗ-63221.

Величина основної гармоніки знаходиться за формулою [5]:

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

де:

n – частота обертання колінчастого вала, хв^{-1} ;
 i – кількість циліндрів ДВЗ;

τ – коефіцієнт тактності (для чотиритактних ДВЗ $\tau=2$).

Результати розрахунків частот основних гармонік шуму відпрацьованих газів ДВЗ для різних швидкостей руху САУ "Богдана" наведені у табл. 1.

Таблиця 1

№	Швидкість руху САУ "Богдана", $\text{км}/\text{год}$	Частота основної гармоніки шуму відпрацьованих газів ДВЗ, Гц
1.	45	70
2.	50	97
3.	75	130
4.	80	140

4. Прогноз ефективності розробленого глушника шуму

Використовуючи дані про частоти перших гармонік для різних швидкостей руху автомобіля, отримуємо залежність зони дії глушника від частоти шуму відпрацьованих газів ДВЗ або швидкості руху САУ "Богдана" на базі шасі КрАЗ-

63221 (рис. 11). Також використана отримана раніше інформація (див. рис. 6-10) щодо частотної характеристики розробленого глушника зі зміною частотною характеристикою.

На рис. 12 показана прогнозована залежність рівня зовнішнього шуму САУ "Богдана" на базі шасі КрАЗ-63221 від швидкості руху (в магістральному циклі на дорозі) з глушником-прототипом та з розробленим двокамерним реактивним глушником.

Залежність прогнозованого зменшення рівня зовнішнього шуму САУ "Богдана" на базі шасі КрАЗ-63221 від швидкості руху завдяки застосуванню розробленого глушника шуму показана на рис. 13.

Конструкцію розробленого для САУ "Богдана" на базі шасі КрАЗ-63221 двокамерного реактивного глушника шуму наведено на рис. 14.

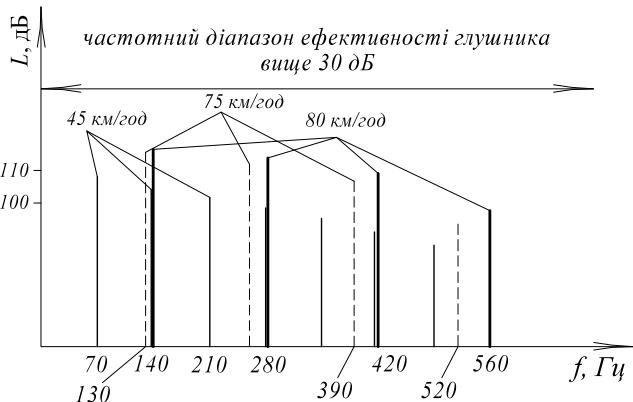


Рис. 11. Залежність зони дії розробленого двокамерного реактивного глушника від частоти шуму відпрацьованих газів ДВЗ або швидкості руху САУ "Богдана" на базі шасі КрАЗ-63221

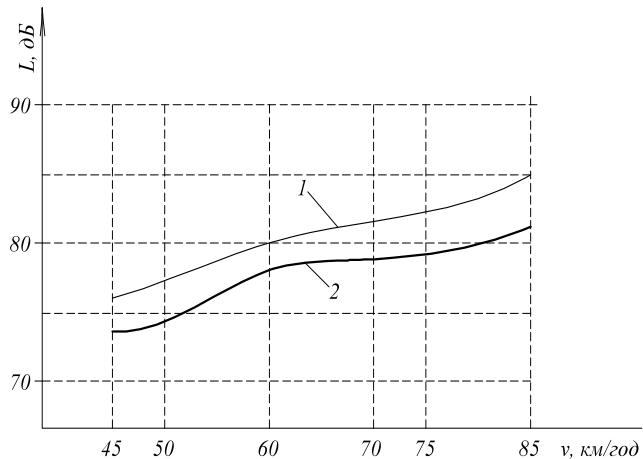


Рис. 12. Залежність рівня зовнішнього шуму САУ "Богдана" на базі шасі КрАЗ-63221 від швидкості руху (в магістральному циклі на дорозі): 1 – із наявним глушником; 2 – із розробленим двокамерним реактивним глушником

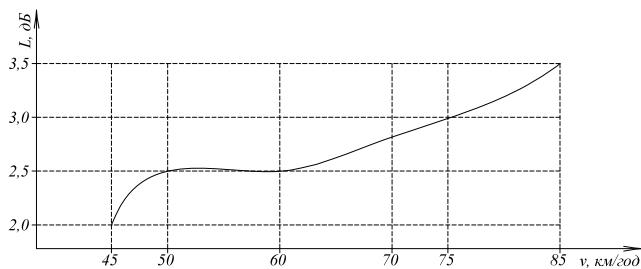


Рис 13. Залежність зменшення рівня зовнішнього шуму САУ "Богдана" на базі шасі КрАЗ-63221 від швидкості руху завдяки застосуванню розробленого двокамерного реактивного глушника шуму

Висновки

Для зменшення зовнішнього шуму та поліпшення маскувальних властивостей САУ "Богдана" на базі шасі КрАЗ-63221 розроблено двокамерний реактивний глушник шуму зі зміною довжиною камер. Проведено розрахунок ефективності розробленого глушника шуму. Наведено конструкцію розробленого для САУ "Богдана" двокамерного реактивного глушника шуму. В результаті впровадження нового високоефективного глушника шуму прогнозується зменшення рівня зовнішнього шуму САУ "Богдана" на базі шасі КрАЗ-63221 на 2-3,5 дБА в діапазоні швидкостей руху 45-85 км/год.

Література

1. Федоров В. В., Яновський В. В., Кovalчук Д. М. Вдосконалений глушник шуму бронеавтомобіля КрАЗ "Фіона" / "Автошляховик України". – 2019. – № 1. – С. 20-25.
2. САУ "Богдана" КрАЗ-63221 [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.autokraz.com.ua/index.php/uk/produktsiya/automobile/military/spec/item/4147-samokhidna-artyleriiska-ustanovka-bohdana-kraz-63221>.
3. Алексеев С. П., Казаков А. М., Колотилов Н. Н. Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1970. – 208 с.
4. <https://www.l3harrisgeospatial.com/Software-Technology/IDL>.
5. Разумовский М. А. Прогнозирование шумовых характеристик поршневых двигателей. – Минск: Вышэйш. школа, 1981. – 31 с.

References

1. 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.
2. SPAI "Bogdan" KrAZ-63221. Specifications (2019) Retrieved from <http://www.autokraz.com.ua/index.php/uk/produktsiya/automobile/military/spec/item/4147-samokhidna-artyleriiska-ustanovka-bohdana-kraz-63221>.
3. Alekseev S. P., Kazakov A. M., Kolotilov N. N. (1970) Bor'ba s shumom i vibratsiyey v mashinostroyenii [Fighting noise and vibration in mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroyeniye, 208.
4. <https://www.l3harrisgeospatial.com/Software-Technology/IDL>.
5. Razumovsky M. A. (1981) Prognozirovaniye shumovykh kharakteristik porshnevyykh dvigateley [Prediction of noise characteristics of piston engines] Minsk, Vysheyshaya shkola, 31.

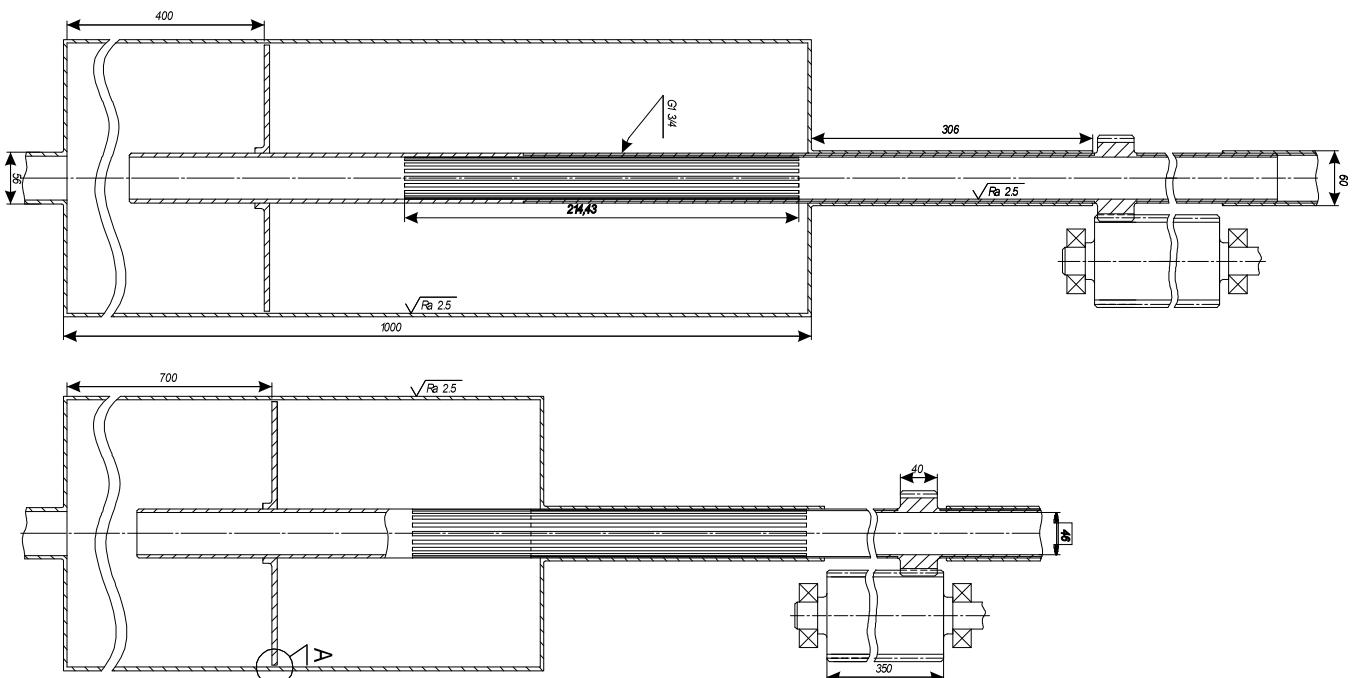


Рис 14. Конструктивна схема розробленого двокамерного реактивного глушника шуму відпрацьованих газів ДВЗ

АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

УДК 625.7

© Л. П. Нагребельна, нач. Центру безпеки дорожнього руху,
e-mail: nagrebelnaliydmila@gmail.com,
ORCID: 0000-0002-5615-9075;
© А. О. Кононенко, наук. співробітник,
e-mail: allabelorus@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4826-0373
(ДП "ДерждорНДІ")

DOI:10.33868/0365-8392-2021-2-266-36-45

© Liydmila Nagrebelska, Head of Road Safety Center,
e-mail: nagrebelnaliydmila@gmail.com,
ORCID: 0000-0002-5615-9075;
© Alla Kononenko, Researcher,
e-mail: allabelorus@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4826-0373
(DerzhdorNDI SE)

СТВОРЕННЯ ЄДИНОЇ СИСТЕМИ МАРШРУТНОГО ОРІЄНТУВАННЯ В УКРАЇНІ З УРАХУВАННЯМ НАЙКРАЩОГО СВІТОВОГО ДОСВІДУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

ESTABLISHMENT OF A UNIFORM ROUTE GUIDANCE SYSTEM IN UKRAINE TAKING INTO ACCOUNT THE WORLD'S BEST PRACTICES TO IMPROVE ROAD SAFETY

Анотація. Технічні засоби організації дорожнього руху суттєво впливають на безпеку руху на автомобільних дорогах загального користування, оскільки надають важливі відомості стосовно маршрутного орієнтування: забезпечують водіїв інформацією про місцезнаходження на конкретній дорозі, регулярно підтверджують намічений напрямок руху, своєчасно інформують учасників дорожнього руху про зміну напрямку за заданим маршрутом та вказують відстань до кінцевого об'єкта. Це дуже важливі дані для водія і єдною роль у гарантуванні безпеки дорожнього руху важко переоцінити.

Своєчасне інформування водіїв про напрямок маршруту дозволить їм заздалегідь виконати перелаштування і впевнено почуватися на дорозі.

Забезпечення повноти інформації щодо маршрутного орієнтування запобігає екстремному гальмуванню транспортних засобів у зоні транспортних розв'язок та порушенню правил маневрування для здійснення повороту/розвороту в потрібному напрямку, а такі маневри призводять до виникнення аварійних ситуацій.

Створення одної системи маршрутного орієнтування вплине на зменшення аварійності на автомобільних дорогах, здешевлення вартості перевезень за рахунок заїзного перепробігу транспортних засобів у разі неправильного вибору маршруту та допоможе водіям безперешкодно і легко добиратися до свого пункту призначення.

Основну необхідність в інформації відчувають водії транспортних засобів, дії яких безпосередньо впливають на безпеку дорожнього руху. Це також обумовлює основні принципи і вимоги до складу, розміщення вибору засобів інформування.

Під час поїздки водії мають потребу в інформації, яка дозволила б їм вільно орієнтуватися на автомобільних дорогах для проходження вибраного маршруту, що знижує напруженність праці водіїв і зменшує ймовірність дорожньо-транспортних пригод та збільшує пропускну здатність доріг. А також – дає змогу коригувати вибраний раніше маршрут з урахуванням реальних умов руху в період здійснення поїздки, сприяючи мінімізації витрат часу.

Для орієнтування на автомобільних дорогах під час руху водіям необхідні відомості про вулиці, об'єкти й напрямки руху. Такі відомості забезпечуються інформаційними покажчиками, якими в достатній кількості повинна бути оснащена дорожня мережа.

Надання інформації має відрізнятися залежно від населених пунктів, доріг загального користування та умов дорожнього руху.

Комплексне вирішення проблеми якісного забезпечення учасників дорожнього руху інформацією може бути досягнуте тільки завдяки створенню одної системи маршрутного орієнтування учасників дорожнього руху, яка буде враховувати потреби в інформації різних категорій учасників дорожнього руху.

Ключові слова: едина система, маршрутне орієнтування, дорожні знаки, автомобільні дороги.

Аннотация. Технические средства организации дорожного движения существенно влияют на безопасность движения на автомобильных дорогах общего пользования, так как несут важную информацию о маршрутном ориентировании: обеспечивают водителей данными о местонахождении на конкретной дороге, регулярно подтверждают намеченные направления движения, своевременно информируют участников дорожного движения об изменении направления движения по заданному маршруту и указывают расстояние до конечного объекта. Это очень важная информация для водителя и ее трудно переоценить в обеспечении безопасности дорожного движения.

Своевременное информирование водителей о направлении маршрута позволит им заблаговременно выполнить переустройство и уверенно чувствовать себя на дороге.

Обеспечение полноты информации о маршрутном ориентировании предотвращает экстренное торможение транспортных средств в зоне транспортных развязок и нарушение правил маневрирования для осуществления поворота/разворота в нужном направлении, а такие маневры приводят к возникновению аварийных ситуаций.

Создание единой системы маршрутного ориентирования позволяет на уменьшение аварийности на автомобильных дорогах, удешевление стоимости перевозок за счет лишнего перепробега транспортных средств в следствии неверно выбранного маршрута и помогает водителям беспрепятственно и легко добираться до своего пункта назначения.

Основную необходимость в информации испытывают водители транспортных средств, действия которых непосредственно влияют на безопасность дорожного движения. Это, в свою очередь, обуславливает основные принципы и требования к составу, размещение выбора средств информирования.

Во время поездки водители нуждаются в информации, которая позволила бы им свободно ориентироваться на автомобильных дорогах при прохождении по выбранному маршруту, снижает напряженность труда водителей и уменьшает вероятность дорожно-транспортных происшествий, а также увеличивает пропускную способность дорог. А также – корректировать выбранный ранее маршрут с учетом реальных условий движения в период осуществления поездки, способствуя минимизации затрат времени.

Для ориентирования на автомобильных дорогах в процессе осуществления движения водителям необходимы сведения об улицах, объектах и направлении движения. Такие сведения обеспечиваются информационными указателями, которыми в достаточном количестве должна быть оснащена дорожная сеть.

Предоставление информации должно отличаться в зависимости от населенных пунктов, дорог общего пользования и условий дорожного движения.

Комплексное решение проблемы качественного обеспечения участников дорожного движения информацией может быть достигнуто только за счет создания единой системы маршрутного ориентирования участников дорожного движения, которая будет учитывать потребности в информации различных категорий участников дорожного движения.

Ключевые слова: единая система, маршрутное ориентирование, дорожные знаки, автомобильные дороги.

Abstract. Route guidance tools have a significant impact on road safety on public roads, as they carry important information on route guidance: provide drivers with information on the location on a specified road, regularly confirm the planned direction of movement, timely inform road users about the change of specified route direction and indicate the distance to the final object. This is very important information for the driver and it is difficult to overestimate it in road safety.

Timely informing of drivers on the route direction will allow them carrying out adjustments in advance and feel confident on the road.

Ensuring the completeness of route guidance information prevents emergency braking of vehicles in the area of traffic junctions and violation of the maneuvering rules to make a turn / turnaround in the right direction, and such maneuvers lead to road accidents.

The establishment of a uniform route guidance system will reduce the road accident level and the cost of transportation due to excessive mileage of vehicles in the case of wrong route and help the drivers freely and easily get to their destination.

The main need for information is felt by the drivers of vehicles whose actions directly impact the road safety. This, in turn, determines the basic principles and requirements for the composition, placement and choice of information tools.

During the trip, the drivers need the information that would allow them navigating freely on the roads when passing the selected route that will relieve the stress of drivers and reduce the probability of road accidents, as well as increase the capacity of roads. It helps the drivers to adjust the previously selected route taking into account the real traffic conditions during the trip thereby minimizing the time consumption.

To navigate the roads during movement, the drivers need the information about streets, objects and directions. Such information is provided by information signs, with which the road network must be equipped in sufficient quantity.

The information provision should differ depending on the settlements, public roads and traffic conditions.

A comprehensive solution of the issue of quality information provision to the road users can be achieved only by establishing a uniform route guidance system for road users which will take into account the needs for information of different categories of road users.

Keywords: uniform system, route guidance, road signs, highways.

Вступ

Основним принципом системи маршрутного орієнтування на автомобільній дорозі є безперевність надання інформації щодо напрямку руху до населених пунктів, туристичних маршрутів, об'єктів сервісу тощо.

Дорожні знаки – один із основних засобів маршрутного орієнтування, що суттєво впливають на безпеку руху на автомобільних дорогах загального користування, оскільки надають важливу інформацію стосовно маршрутного орієнтування, а саме забезпечують водіїв відомостями про мі-

сцезнаходження на конкретній дорозі, регулярно підтверджують напрямок руху та своєчасно інформують учасників дорожнього руху про зміну напрямку за заданим маршрутом та вказують відстань до кінцевого об'єкта.

Як свідчать статистичні дані, у 2020 році на автомобільних дорогах державного значення близько 4% ДТП (рис. 1) сталося через порушення правил проїзду перехрестя.



Рис. 1. Основні порушення правил дорожнього руху

Забезпечення повноти інформації щодо маршрутного орієнтування запобігає екстремному гальмуванню транспортних засобів у зоні транспортних розв'язок та порушенню правил маневрування для здійснення повороту/розвороту в потрібному напрямку, а такі маневри призводять до виникнення аварійних ситуацій.

Отже, своєчасне інформування водіїв про напрямок маршруту дозволить водіям заздалегідь виконати перелаштування і впевнено почуватися на дорозі, уникаючи дорожньо-транспортних пригод.

Системи маршрутного орієнтування та дорожні знаки є світовою проблемою у сфері екології через зростання кількості користувачів автомобілями – нині автопарк становить близько 1 млрд од. А як ми знаємо, автомобільний транспорт є найбільшим забруднювачем навколошнього середовища [1].

За даними IRF (Міжнародної дорожньої федерації), щорічно у світі автомобілі пробігають зайві 10 млрд км через нерозвиненість або погану якість системи інформації на дорогах. Левова частка перепробігу припадає на країни, що розвиваються. В середньому кожен автомобіль у світі за рік проїжджає "зайві" 10 км. У результаті чого маємо великі економічні збитки від придбання зайвих кубометрів бензину, а це до-

даткова шкода довкіллю. Економічні втрати, включаючи упущену вигоду, пов'язані із втратами часу – затримки в доставленні вантажів і пасажирів, запізнення, а також збитками від ДТП, пов'язаними з неадекватною поведінкою водіїв: різке гальмування, перелаштування, повороти, розвороти тощо; додатковий негативний внесок у збільшення інтенсивності руху (затори) [2].

Основна частина

Сучасний стан системи маршрутного орієнтування в Україні загалом незадовільний. На дорогах і вулицях встановлено не більше ніж 1/3 від загальної кількості необхідних інформаційних знаків. Існує велика частка застарілих знаків, які погано видно днем і не видно вночі. Досвід країн, які створили ці системи, не використовується (Велика Британія, Польща). Мало інформаційних знаків, зрозумілих для іноземних користувачів на міжнародних маршрутах та в містах України [3].

Авторами було проведено аналіз закордонних нормативних документів, які стосуються маршрутного орієнтування для подальшого використання найкращого світового досвіду в Україні.

Згідно з ТКП 45-3.03-227 [4] проектні рішення ОДР вулиць і доріг населених пунктів повинні забезпечувати:

- хорошу видимість дорожніх знаків, світлофорів, технічних засобів маршрутного орієнтування для всіх учасників дорожнього руху;
- сприятливий вплив на навколошнє середовище шляхом збільшення пропускної спроможності, зниження кількості конфліктних напрямків, створення скоординованих умов руху транспортних потоків.

У ТКП [4] описані принципи маршрутного орієнтування на автомобільних дорогах загального користування Білорусі. Маршрутне орієнтування на автомобільних дорогах загального користування забезпечується шляхом позначення дорожніми знаками відповідно до СТБ 1140 [5] і горизонтальною розміткою номерів автомобільних доріг відповідно до СТБ 1231 [6].

Проектування опорної системи маршрутного орієнтування в Білорусі здійснюється у вигляді спеціальних проектів для мережі доріг країни або окремих її регіонів відповідно до пунктів СТБ 1300 [7].

У процесі проектування опорної системи визначаються вид і принципові місця розміщення застосовуваних дорожніх знаків індивідуального проектування, що позначають номери автомобільних доріг, найменування найбільш значущих

об'єктів, напрямки руху і відстані до них. Опорна система маршрутного орієнтування є основою для розробки розділу "Система маршрутного орієнтування" у складі проектів організації дорожнього руху для кожної з автомобільних доріг.

Завдяки проектуванню допоміжної системи маршрутного орієнтування мають забезпечуватися узгодженість і відповідність найменувань об'єктів з опорною системою маршрутного орієнтування.

Дляожної автомобільної дороги у складі проекту організації дорожнього руху (або у вигляді окремого проекту) повинен розроблятися розділ "Системи маршрутного орієнтування", в якому необхідно вказувати:

- вид і місця розміщення дорожніх знаків індивідуального проектування, передбачених для встановлення на даній дорозі опорними системами маршрутного орієнтування (для мережі республіканських або місцевих доріг);

- загальне компонування інформації, що приводиться на знаках;

- вид і місця розміщення дорожніх знаків індивідуального проектування допоміжної системи орієнтування на даній дорозі;

- загальну компоновку інформації, що приводиться на знаках;

- вид і місця розміщення дорожніх знаків сервісної системи орієнтування на даній дорозі та перелік інформації, що приводиться на знаках;

- вид і місця розміщення дорожніх знаків згідно з СТБ 1300 [7] "Номер дороги" та "Номер і напрямок дороги";

– місця нанесення дорожньої розмітки "Позначення номера маршруту дороги".

Система орієнтування в населеному пункті згідно з СТБ 1300 [7] охоплює такі підсистеми:

- транзитну основну;
- транзитну цільову;
- транзитну допоміжну (вивідну);
- міську;
- екстрених ситуацій;
- сервісну;
- інформаційно-довідкову.

Досвід Латвії [8] показує, що найкращим рішенням є нанесення на дорожні знаки покажчиків напрямків, символів, піктограм та інших позначень, які інформують про особливості дорожнього руху (**рис. 2**).



Рис. 2. Дорожній знак "Попередній покажчик напрямку" (Латвія)

Таблиця 1

Перелік об'єктів, що застосовуються в міській підсистемі орієнтування населеного пункту згідно з СТБ 1300 [7]

Найменування об'єктів	Місце встановлення знаків
Вулиці категорії М, Б, В, Г відповідно до ТКП 45.3.03-227	Позначення вулиць перед перехрещенням їх між собою
Транспортні вузли і площа	Позначення об'єкта безпосередньо перед ним
Об'єкти зовнішнього транспорту (залізничні вокзали та станції, автовокзали, автостанції, аеропорти, річкові порти)	Показчик напрямку перед перехрещенням магістральних вулиць за ТКП 45.3.03-227 із вулицями, що ведуть до об'єкта. Можливе позначення об'єкта безпосередньо перед ним
Промислові вузли і зони, великі промислові та торгові об'єкти	Показчик напрямку перед перехрещенням магістральних вулиць за ТКП 45.3.03-227 із вулицями, що ведуть до об'єкта
Об'єкти і пам'ятники історії, культури, архітектури, що мають туристичне значення	Показчик напрямку перед перехрещенням із вулицями, що ведуть до об'єкта. Можливе застосування туристичних символів згідно з СТБ 1821

Знак "Покажчик напрямку" із коричневим фоном показує напрямок руху та відстань (км) до туристичного об'єкта, а із сірим фоном – напрямок руху до садиби (рис. 3).



Рис. 3. Дорожній знак "Покажчик напрямку"

Відповідно до польських стандартів [9], на дорожніх знаках, встановлених перед прикордонним переходом, рекомендується вказувати назву великого сусіднього міста країни, до якої веде дорога. Для цього застосовують мову оригіналу або транслітерацію латиницею. Праворуч на знаку нанесено маркування серії номерів транспортних засобів країни, які беруть участь у міжнародних перевезеннях.

Приклад показаний на рис. 4.



Рис. 4. Дорожній знак "Покажчик напрямку" із зазначенням серії номера транспортного засобу

Відповідну практику потрібно заснувати і в Україні.

Дорожні знаки "Попередній покажчик напрямку" встановлюються перед транспортною розв'язкою, перехрещенням, приляганням. Відстань від місця встановлення знаку до транспортної розв'язки вказана в нижній частині знака.

За кордоном усі мости, тунелі, транспортні розв'язки в різних рівнях мають свою власну назву. Наближаючись до них, водій бачить дорожні знаки індивідуального проектування з назвою об'єкта та відстанню до нього (рис. 5). Це дає водієві додаткову інформацію про відстань до транспортної розв'язки, де необхідно буде завчасно зорієнтуватися та вибрати необхідний напрямок руху.



Рис. 5. Приклад дорожнього знака "Покажчик відстаней" із зображенням типу розв'язки та зазначенням відстані до неї

Чи потрібно, переймаючи світовий досвід, запроваджувати схожу практику в Україні? На нашу думку, це не може бути обов'язковою вимогою. Знак "Попередній покажчик напрямку" із зазначенням відстані до транспортної розв'язки та її конфігурація є більш інформативним і має всю необхідну інформацію.

У США [10] на знаках для позначення туристичних маршрутів (на коричневому тлі) туристичні об'єкти можуть бути зображені як на самому знаку, так і на допоміжних табличках такого ж кольору (рис. 6).

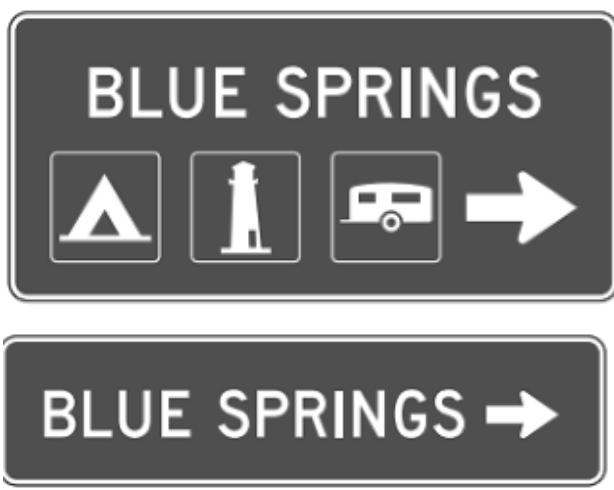


Рис. 6. Знаки туристичних маршрутів (США)

В Україні місця туристичних маршрутів зображені частково на інформаційно-вказівних знаках "Покажчик напрямку" (на коричневому тлі), "Культова споруда" та частково на знаках сервісу: "Туристична база", "Кемпінг", "Місце стоянки причіпів у кемпінгу", "Ділянка для табору автотуристів і місце стоянки причіпів у кемпінгу", "Пляж або басейн", "Визначні місця".

Розроблення нормативного документу стосовно маршрутного орієнтування на мережі автомобільних доріг загального користування України вплине на зменшення аварійності на вітчизняних дорогах та здешевлення вартості перевезень за рахунок зайвого перепробігу транспортних засобів у разі неправильно вибраного маршруту.

Тож, проаналізувавши досвід європейських країн та взявши за приклад їхні системи маршрутного орієнтування, було створено нову осучаснену систему, яка встановлює вимоги щодо створення на мережі автомобільних доріг системи маршрутного орієнтування для водіїв транспортних засобів і пасажирів. Також є можливість застосовувати систему у розробленні проектів (схем) організації дорожнього руху на автомобільних дорогах, розділу з організації дорожнього руху (ОДР) у проектній документації на будівництво та ремонт автомобільних доріг, вулиць або окремого проекту "Система маршрутного орієнтування".

Оновлена система маршрутного орієнтування є системою передачі інформації учасникам дорожнього руху (водіям, пасажирам) за допомогою дорожніх знаків індивідуального проєктування згідно з ДСТУ 4100 [11] у поєднанні з дорожньою розміткою згідно з ДСТУ 2587 [12] про їхнє місцезнаходження, напрямок та відстань до проміжних і кінцевого пунктів на маршруті чи до державного кордону.

У новому стандарті ДСТУ 4100 створено сучасний європейський шрифт Road UA, заснований на перевірених дослідженнями шрифтах: британському Transport і німецькому DIN, але із силуетами окремих символів, більш подібних до наявного шрифту ДСТУ 4100 (рис. 7). За результатами досліджень, цей шрифт збільшує читабельність дорожніх знаків, а це значить, що швидкість реакції водія на дорожню обстановку значно покращується [13].

Об'єктами маршрутного орієнтування є пункти тяжіння водіїв транспортних засобів на маршруті, а також ті, що відображаються на дорожніх знаках індивідуального проєктування, тобто



Рис. 7. Приклад нових дорожніх знаків (Україна)

населені пункти, прикордонні пункти пропуску автомобільного транспорту, вокзали, аеропорти, річкові та морські порти, спортивні й торговельні об'єкти, об'єкти тяжіння туристів і паломників, транспортні розв'язки, автомобільні тунелі, гірські перевали тощо.

На дорожніх знаках індивідуального проєктування, що включені до системи маршрутного орієнтування на автомобільних дорогах загального користування, позначаються назви населених пунктів (кінцевих та проміжних на маршруті), межі областей, адміністративних районів, аеропорти, спортивні комплекси, заповідники, національні парки, курортні зони тощо, інші споруди історичних та культурних пам'яток і місця масового тяжіння туристів, паломників [3], гірські перевали, автомобільні тунелі, транспортні розв'язки у різних рівнях, перехрещення з іншими дорогами, прикордонні пункти пропуску автомобільного транспорту та назви найближчих населених пунктів сусідньої держави (місто, адміністративний центр), об'єкти сервісу.

У населених пунктах на знаках індивідуального проєктування у процесі розробки схем маршрутного орієнтування позначаються назви інших населених пунктів, назви вулиць, бульварів, площ, адміністративних районів тощо, спортивні комплекси, історичні пам'ятники, пам'ятники природи і культури, об'єкти транспортної інфраструктури (аеропорти, залізничні вокзали, пункти зупинки поїздів, автовокзали, автостанції, морські (річкові) порти чи вокзали, інші об'єкти, місця для стоянки тощо), центр міста, інші об'єкти тяжіння туристів, паломників, об'єкти сервісу.

На дорожніх знаках індивідуального проєктування можна зустріти нові піктограми центру та водойми (річки) (рис. 8), які також було внесено до оновленого ДСТУ 4100.

Написи, що використовуються на інформаційно-вказівних та знаках із туристичною інформацією, замінено позначеннями або піктограмами для кращого розуміння іноземними туристами (рис. 3).

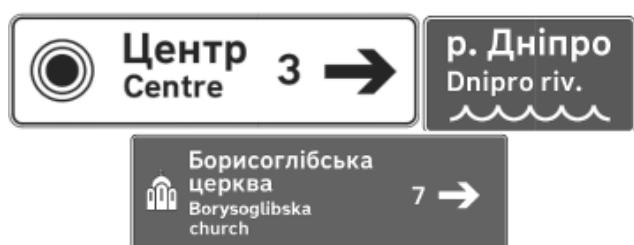


Рис. 8. Приклад нових дорожніх знаків (Україна)

У процесі розробки системи маршрутного орієнтування забезпечуються умови постійного інформування водія про його місцезнаходження на маршруті відносно до об'єктів орієнтування і кінцевого пункту призначення. Тому назва об'єкта, яка з'являється на ДЗП, повторюється на наступних ДЗП, встановлених на маршруті руху до об'єкта.

Також маємо враховувати, що система маршрутного орієнтування є складовою проекту (схеми) організації дорожнього руху згідно з ДСТУ 8752 [14], але одночас може бути окремим проєктом для мережі доріг у межах області чи доріг, що пролягають через кілька областей.

У державному стандарті розділені порядки розроблення системи маршрутного орієнтування для доріг державного та місцевого значення, а також для населених пунктів.

Для доріг державного значення системи маршрутного орієнтування розробляють як у вигляді окремих проєктів для мережі доріг країни чи для території кожної із областей, так і у складі проєктів (схем) організації дорожнього руху, розроблених згідно з ДСТУ 8752 дляожної із автомобільних доріг.

Розроблена система має охопити такі етапи:

1) формування списків найбільш важливих об'єктів маршрутного орієнтування, які потрібно відобразити на ДЗП на мережі доріг області (регіону) або доріг у межах зони обслуговування балансоутримувачем;

2) аналіз найбільш раціональних, зокрема й альтернативних маршрутів слідування до кожного із об'єктів;

3) визначення місць, де необхідно встановити ДЗП;

4) розробка з урахуванням раціонального компонування, ескізів ДЗП, які потрібно встановити на всіх визначених місцях.

Для розроблення системи маршрутного орієнтування використовують карту-схему доріг області (регіону), план населених пунктів, враховують наявність туристичних маршрутів та розміщення історичних і архітектурних пам'яток тощо. Систему маршрутного орієнтування на мережі доріг у межах країни чи області рекомендовано починати з автомобільних доріг державного значення в такому порядку: міжнародні, національні, регіональні, територіальні з визначенням напрямків маршруту спочатку на кожній транспортній розв'язці в різних рівнях, потім на кожному перехресті маршруту з дорогами державного значення. Насамкінець розгляду підлягають перехрестя з дорогами місцевого значення, під'їзи і з'їзди до об'єктів маршрутного орієнтування.

На карті-схемі автомобільних доріг області нумеруються всі транспортні розв'язки (рис. 9), і дляожної з них розробляється схема маршрутного орієнтування та ескізи ДЗП (рис. 10).

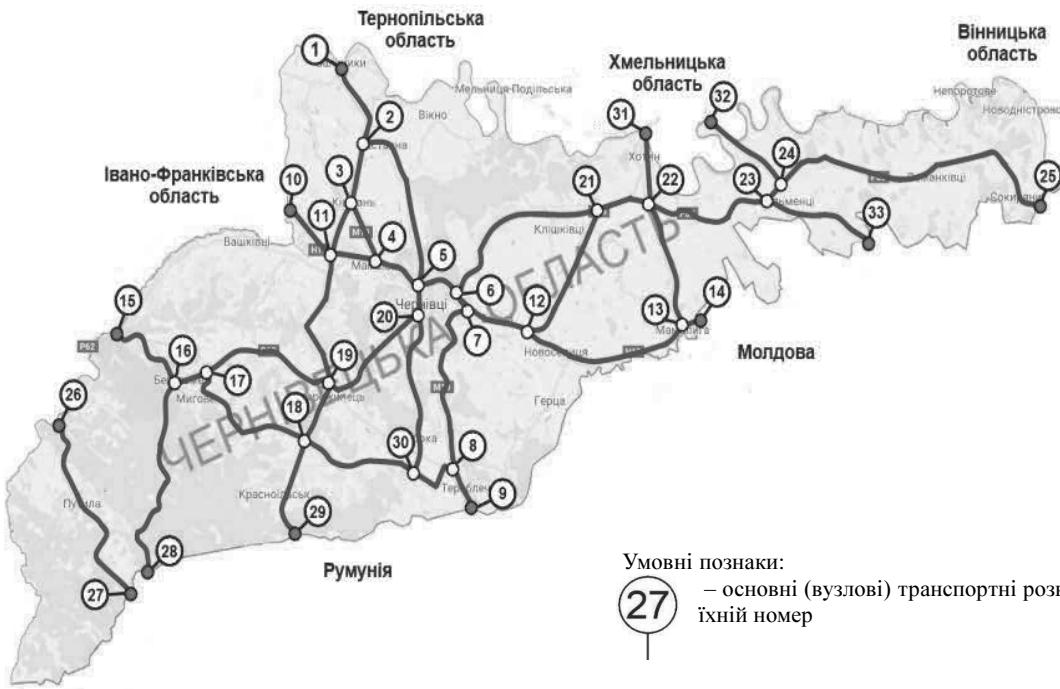
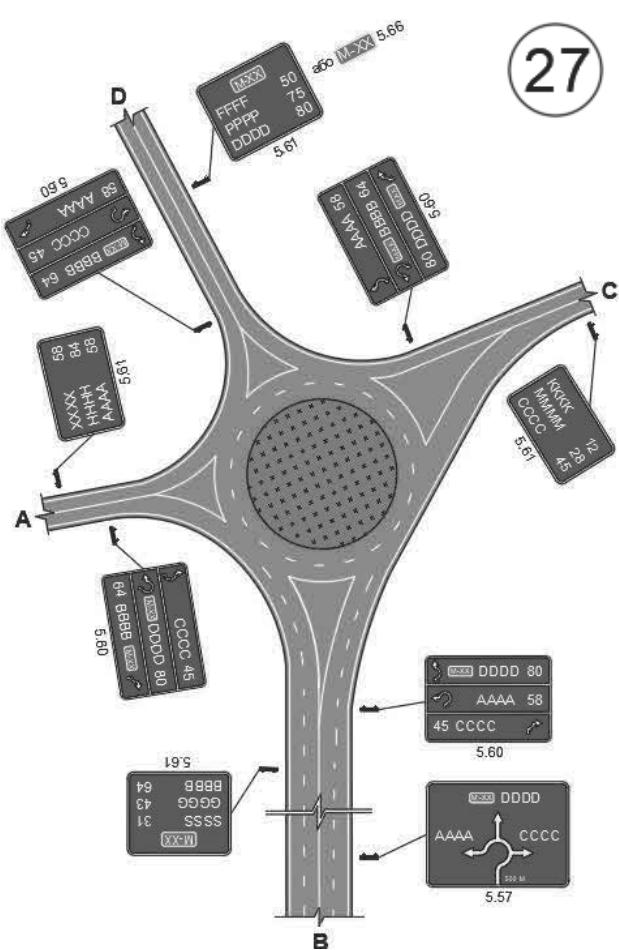


Рис. 9. Карта-схема мережі автомобільних доріг у межах області із графічним зображенням основних (узлових) транспортних розв'язок



Примітка. На схемах МО повинні бути зазначені адреси встановлення ДЗП

Рис. 10. Приклад схеми МО на транспортній розв'язці № 27

Систему маршрутного орієнтування на дорогах загального користування державного значення в межах області потрібно інформаційно погоджувати з аналогічною системою сусідніх областей. Особливо для ділянок доріг, що перетинають межі областей, інформація про об'єкти орієнтування має бути ретельно зіставлена із суміжними адміністративно-територіальними одиницями.

Для доріг місцевого значення системи маршрутного орієнтування розробляються для територій, підпорядкованих обласним державним адміністраціям. Як кінцеві об'єкти в системі на автомобільних дорогах місцевого значення визначаються кінцеві населені пункти автомобільних доріг відповідно до титульних списків, затверджених в установленому порядку, або доріг державного значення, до яких примикають місцеві дороги.

Як проміжні об'єкти у системі маршрутного орієнтування визначаються селища міського типу, спортивні комплекси, заповідники, національні парки, історичні пам'ятники, пам'ятники природи

і культури, курортні зони, інші місця масового тяжіння туристів та паломників. А от вибір маршруту між кінцевими пунктами за наявності декількох варіантів проводиться з урахуванням сукупності чинників: протяжність, технічні характеристики дороги, час і умови руху, наявність об'єктів дорожнього сервісу тощо.

Система маршрутного орієнтування в населених пунктах охоплює сім підсистем: 1) транзитну основну, 2) транзитну цільову, 3) транзитну допоміжну (вивідну), 4) міську, 5) екстрених служб, 6) сервісну, 7) інформаційно-довідкову.

1) Транзитна основна. Забезпечує можливість безперервного проїзду через територію населеного пункту від місця в'їзду на неї автомобільною дорогою загального користування до виїзду на автомобільні дороги загального користування, що виходять з населеного пункту.

2) Транзитна цільова. Забезпечує можливість безперервного проїзду від в'їзду в населений пункт до основних об'єктів тяжіння транспортних потоків, розташованих у цьому населеному пункті. Перелік основних об'єктів тяжіння і маршрути руху до них погоджуються з відповідним органом місцевого самоврядування.

3) Транзитна допоміжна (вивідна). Має забезпечити виїзд на маршрути основної транзитної підсистеми з вулиць населених пунктів, що перетинаються з нею. Транзитна допоміжна (розширенна) підсистема повинна забезпечувати виїзд на маршрути основної транзитної підсистеми від об'єктів, визначених системою орієнтування в населеному пункті.

4) Міська. Інформує учасників дорожнього руху про об'єкти МО на території населених пунктів.

5) Екстрених служб. Також на території населеного пункту має бути реалізована і підсистема екстрених служб, яка забезпечить можливість безперервного проїзду від кожного в'їзду в населений пункт автомобільною дорогою загального користування до медичного закладу (лікарні, пункти першої медичної допомоги тощо), та місця розташування органу внутрішніх справ або підрозділу поліції.

6) Сервісна. Інформує про розташування об'єктів сервісу (автозаправних станцій, пунктів технічного обслуговування, пунктів миття автомобілів, шиномонтажу тощо) на маршруті.

7) Інформаційно-довідкова. Інформує учасників дорожнього руху про розташування довідкової служби, ресторанів, кафе, місця відпочинку, туалетів, пляжів, кемпінгів, готелів тощо.

Отже, система маршрутного орієнтування в населених пунктах формується загалом із об'єктів маршрутного орієнтування для кожної із підсистем та погоджується з органами місцевого самоврядування, власниками доріг (вулиць) в установленаому порядку. Маршрути для транзитного транспорту вказуються по об'їзній дорозі, за її наявності.

Важливими є туристичні маршрути, які включають окремі ділянки різних доріг і під'їзди до туристичних об'єктів місцевості, і саме їх потрібно відображати у системі маршрутного орієнтування на мережі доріг області, регіону. Напрямок руху до історичних та культурних пам'яток, спортивних і туристичних об'єктів, будинків відпочинку, турбаз, кемпінгів тощо зазначають на окремому ДЗІП із коричневим тлом.

Маршрутне орієнтування призначено для постійного інформування водія, незнайомого з маршрутом, про напрямок вибраного маршруту і відстань до кінцевого пункту та про його місце знаходження й розташування об'єктів сервісу.

Розробляючи схеми маршрутного орієнтування, слід враховувати, що водій транспортного засобу може користуватися картою автомобільних доріг України.

Назва будь-якого населеного пункту, яка хоч раз з'явилася на дорожніх знаках, має повторюватись на інших таких самих знаках аж до самого населеного пункту або до державного кордону.

Схеми маршрутного орієнтування складаються з двох частин:

– маршрутне орієнтування на дорогах державного значення, дорогах, якими проходять туристичні маршрути та міжнародні транспортні коридори, включаючи схеми маршрутного орієнтування в населених пунктах, через які проходять ці маршрути;

– маршрутне орієнтування на дорогах місцевого значення.

Кожна з частин поділяється на два розділи:

– схема автомобільних доріг із визначенням місць, де необхідно встановити знаки індивідуального проектування для організації маршрутного орієнтування (транспортні розв'язки, населені пункти, визначні місця, напрямки туристичних маршрутів та міжнародних транспортних коридорів);

– схема вулиць населених пунктів із визначенням місць, де необхідно встановити знаки індивідуального проектування для організації маршрутного орієнтування:

1) транспортні розв'язки

2) основні напрямки доріг чи напрямки до населених пунктів;

3) напрямки до центральної частини та району населеного пункту, вулиці, площа тощо;

4) об'єкти транспортної інфраструктури: аеропорт, залізничний вокзал, автовокзал, автостанція, морський (річковий) порт, ринок, медичні установи, місця для стоянки тощо;

5) туристичні та спортивні об'єкти, історичні та культурні пам'ятки, інші визначні місця.

Перший розділ обох частин починається зі схеми маршрутів автомобільних доріг, на якій умовними позначеннями показані місця встановлення дорожніх знаків індивідуального проектування для забезпечення маршрутного орієнтування на маршруті.

Схеми маршрутів руху транспорту в населених пунктах подаються у другому розділі кожної з частин схеми маршрутного орієнтування з позначеннями місць встановлення дорожніх знаків індивідуального проектування для маршрутного орієнтування на дорогах/вулицях населеного пункту.

Схема організації маршрутного орієнтування перед/на транспортній розв'язці доріг/вулиць виконується в довільному масштабі із зазначенням:

– напрямків руху визначеними маршрутами до великих населених пунктів;

– розміщенням зображення дорожніх знаків індивідуального проектування для маршрутного орієнтування з їхньою прив'язкою до кілометражу (км + м) дороги та/або номерів будинків на вулицях населених пунктів чи із зазначенням координатної прив'язки.

Схеми маршрутного орієнтування є незамінним елементом у забезпеченні учасників дорожнього руху інформацією щодо напрямку маршруту.

Висновки

Розроблення єдиної системи маршрутного орієнтування на автомобільних дорогах України сприятиме покращенню безперешкодного перевезування транспортними засобами, систематизує основні вимоги щодо правил компонування інформації на дорожніх знаках індивідуального проектування та на дорожніх знаках, що вказують туристичні маршрути.

Забезпечення повноти інформації щодо маршрутного орієнтування і напрямків руху на транспортних розв'язках вплине на зменшення економічних збитків від дорожньо-транспортних пригод та здешевлення вартості перевезень за рахунок перепробігу транспортних засобів у разі неправильно вибраного маршруту.

Соціальна та економічна ефективність полягає у зниженні аварійності та кількості жертв ДТП на автомобільних дорогах загального користування завдяки покращенню організації дорожнього руху щодо маршрутного орієнтування. Це дозволиме зможу водіям завчасно перелаштуватися перед транспортними розв'язками в потрібному напрямку і не створювати аварійних ситуацій, а також зменшити економічні збитки від вимушеної перепробігу транспортних засобів у разі невдало вибраного маршруту та збитків від дорожньо-транспортних пригод.

Єдина система маршрутного орієнтування також допоможе іноземним туристам вільно користуватися автомобільними дорогами України, зокрема туристичними маршрутами, та відвідати історичні пам'ятки нашої держави.

Література

- Нагребельна Л. П., Поліщук В. П., (2018). До питання про затори на вулично-дорожній мережі міст. LXXIV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2018. – 564 с. (дата звернення 28.03.2021).
- Нагребельна Л. П., Поліщук В. П., (2020). Використання теорії масового обслуговування для удосконалення управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі міст – International Academy Journal Web of Scholar 4(46). doi:10.31435/rsglobal_wos/30042020/7039. ISSN 2518-167X. (дата звернення 28.03.2021). Режим доступу: Web_of_Scholar_4(46).pdf (uaf.org.ua) .
- Guide to the preservation of Jewish cemeteries in Western Ukraine. (дата звернення 28.03.2021). [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://jewishheritageguide.net/en/guide/signs>
- ТКП 45-3.03-227-2010 (02250) “Улицы населенных пунктов. Строительные нормы проектирования”. Минск 2011. 46.
- СТБ 1140-2013 “Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические условия”. Минск 2013. 123.
- СТБ 1231-2012 “Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Общие технические условия”. Минск 2012. 55.
- СТБ 1300 – 2014 “Технические средства организации дорожного движения. Правила применения”. Минск 2014. 137.
- Regulation № 279 Adopted 2 June 2015 Road Traffic Regulations, розділ у 26.7. Direction Indicators and Information Signs.
- “Szczególowie Warunki Techniczne Dla Znaków I Sygnalów Drogowych Oraz Urzędzeń Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego I Warunki Ich Umieszczania Na Drogach Za czniki nr 1 – 4 do rozporz dzenia Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczególnych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach”. Retrieved 28.09.2020.
- The Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD) for streets and highways. 2003 Edition. Retrieved from: MUTCD – 2003 Edition (PDF) – FHWA MUTCD (dot.gov).
- State Standard of Ukraine DSTU 4100:2014 (2015) Bezpeka dorozhn’oho rukhu. Znaky dorozhni. Zahal’ni tekhnichni umovy. Pravyla zastosuvannya”. (Traffic signs. General technical conditions. Application rules) Kyiv. 2015. 109. (Information and documentation) [in Ukraine].
- State Standard of Ukraine DSTU 2587:2010(2011). “Bezpeka dorozhn’oho rukhu. Rozmіrka dorozhnya. Zahal’ni tekhnichni umovy”. (Traffic signs. General technical conditions. Application rules) Kyiv. 2011. 57. (Information and documentation) [in Ukraine].
- A simulated study on the effects of information volume on traffic signs, viewing strategies and sign familiarity upon driver’s visual search performance; Yung-Ching Liu; 2003; Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169814105001022?via%3Dihub> Retrieved 28.03.2021.
- State Standard of Ukraine DSTU 8752:2017 “Bezpeka dorozhn’oho rukhu. Proekt orhanizatsiyi dorozhn’oho rukhu. Pravyla rozrobleniya, pobudovy, oformlennya. Vymohy do zmistu”. (Road safety road traffic project. Guidance for traffic management design. Content requirements) Kyiv. 2019. 29. (Information and documentation) [in Ukraine].

References

- Nahrebelna L., Polishchuk V. (2018). Do pytannia pro zatory na vulychno-dorozhnii merezhi mist. LXXIV naukova konferentsiia profesorsko-vyladatskoho skladu, aspirantiv, studentiv ta spivrobitnykh vidokremlynykh strukturnykh pidrodiliv universytetu. – K.: NTU, 2018. – 564 c. Retrieved 28.03.2021. [in Ukraine].
- Nahrebelna L., Polishchuk V. (2020) Use of Queuing Theory for Improvement of Traffic Management on the Main Street and Road Network of Cities. International Academy Journal Web of Scholar. 4(46). doi: 10.31435/rsglobal_wos/30042020/7039. ISSN 2518-167X. Retrieved 28.03.2021. Retrieved from: Web_of_Scholar_4(46).pdf (uaf.org.ua)
- Guide to the preservation of Jewish cemeteries in Western Ukraine. Retrieved from <https://jewishheritageguide.net/en/guide/signs> Retrieved 28.03.2021.
- State Standard Republic of Belarus TKP 45-3.03-227-2010 (02250). “Ulytsy naselennykh punktov Stroytel’nie normi proektyrovannya”. (Streets of settlements Building codes of design) Minsk 2011. 46. (Information and documentation) [in Belarus].
- State Standard Republic of Belarus STB 1140-2013. “Tekhnicheskye sredstva orhanyzatsyy dorozhnoho dvyzhenyya. Znaky dorozhnye. Obshchye tekhnicheskye uslovyya”. (Traffic control devices Road signs General specifications) Minsk 2011. 123. (Information and documentation) [in Belarus].
- State Standard Republic of Belarus STB 1231-2012. “Tekhnicheskye sredstva orhanyzatsyy dorozhnoho dvyzhenyya. Razmetka dorozhnaya. Obshchye tekhnicheskye uslovyya”. (Traffic control devices Road marking General specifications). Minsk 2011. 55. (Information and documentation) [in Belarus].
- State Standard Republic of Belarus STB 1300-2014 “Tekhnicheskye sredstva orhanyzatsyy dorozhnoho dvyzhenyya. Pravyla prymenenyyya”. (Traffic control devices. Rules for application). Minsk 2014. 137. (Information and documentation) [in Belarus].
- Regulation № 279 Adopted 2 June 2015 Road Traffic Regulations, 26.7. Direction Indicators and Information Signs. Retrieved 28.09.2020.
- “Szczególowie Warunki Techniczne Dla Znaków I Sygnalów Drogowych Oraz Urzędzeń Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego I Warunki Ich Umieszczania Na Drogach Za czniki nr 1 – 4 do rozporz dzenia Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczególnych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach”. Retrieved 28.09.2020.
- The Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD) for streets and highways. 2003 Edition. Retrieved from: MUTCD – 2003 Edition (PDF) – FHWA MUTCD (dot.gov).
- State Standard of Ukraine DSTU 4100:2014 (2015) Bezpeka dorozhn’oho rukhu. Znaky dorozhni. Zahal’ni tekhnichni umovy. Pravyla zastosuvannya”. (Traffic signs. General technical conditions. Application rules) Kyiv. 2015. 109. (Information and documentation) [in Ukraine].
- State Standard of Ukraine DSTU 2587:2010(2011). “Bezpeka dorozhn’oho rukhu. Rozmіrka dorozhnya. Zahal’ni tekhnichni umovy”. (Traffic signs. General technical conditions. Application rules) Kyiv. 2011. 57. (Information and documentation) [in Ukraine].
- A simulated study on the effects of information volume on traffic signs, viewing strategies and sign familiarity upon driver’s visual search performance; Yung-Ching Liu; 2003; Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169814105001022?via%3Dihub> Retrieved 28.03.2021.
- State Standard of Ukraine DSTU 8752:2017 “Bezpeka dorozhn’oho rukhu. Proekt orhanizatsiyi dorozhn’oho rukhu. Pravyla rozrobleniya, pobudovy, oformlennya. Vymohy do zmistu”. (Road safety road traffic project. Guidance for traffic management design. Content requirements) Kyiv. 2019. 29. (Information and documentation) [in Ukraine].

© Т. В. Бондар, заст. зав. відділу аудиту та перевірки безпеки доріг Центру безпеки дорожнього руху,
e-mail: tv_bondar@ukr.net, ORCID: 0000-0001-9693-5545;
 © О. В. Беленчук, зав. відділу аудиту та перевірки безпеки доріг Центру безпеки дорожнього руху,
e-mail: belenchuk_o@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0525-0546;
 © Є. Ф. Теплюк, наук. співробітник,
e-mail: teplyukevgen@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5581-4798;
 © О. Г. Пина, наук. співробітник,
e-mail: sanyap2207@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5808-4679
(ДП "ДерждорНДІ")

© Tetiana Bondar,
e-mail: tv_bondar@ukr.net,
ORCID: 0000-0001-9693-5545;
 © Olga Belenchuk,
e-mail: belenchuk_o@ukr.net,
ORCID: 0000-0003-0525-0546;
 © Yevhen Tepliuk, e-mail: teplyukevgen@ukr.net,
ORCID: 0000-0001-5581-4798;
 © Oleksandr Puna, e-mail: sanyap2207@gmail.com,
ORCID: 0000-0002-5808-4679
(DerzhdorNDI SE)

АНАЛІЗ АВАРИЙНОСТІ – ШЛЯХ ДО ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ РУХУ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

ACCIDENT ANALYSIS – THE WAY TO EFFECTIVE TRAFFIC SAFETY MANAGEMENT ON ROADS

Анотація. Проблема зниження рівня аварійності та зменшення кількості жертв дорожньо-транспортних пригод (далі – ДТП) в період експлуатаційного утримання автомобільних доріг до цього часу вирішувалась здебільшого через визначення ділянок (місць) концентрації ДТП з розробкою заходів із покращення дорожніх умов і вдосконалення організації дорожнього руху на них та проведення щорічних комісійних весняних та осінніх обстежень мережі доріг представниками дорожніх організацій та поліції (раніше Державою інспекції).

Проте, ділянки концентрації ДТП не були охоплені в повному обсязі на мережі доріг місцевого значення з причини відсутності в картках обліку ДТП точні прив'язки місць їх зосередження, а також, їх не визначали на вулицях і дорогах міст та інших населених пунктів з причини відсутності критерію для їх ідентифікації і тому не досягнуто максимальної ефективності від впровадження управління ділянками (місцями) концентрації ДТП.

В статті проаналізовано критерії визначення ділянок концентрації ДТП на автомобільних дорогах загального користування в різні періоди, досліджено динаміку кількості ділянок концентрації ДТП та розглянуто інші сучасні можливості ефективного управління безпекою руху, зокрема, проведення перевірки (інспекції) безпеки існуючих автомобільних доріг.

Ключові слова: аварійність, автомобільні дороги, безпека дорожнього руху, ділянки (місця) концентрації ДТП, перевірка безпеки автомобільних доріг.

Аннотация. Проблема снижения уровня аварийности и уменьшения количества жертв дорожно-транспортных происшествий (далее – ДТП) во время содержания автомобильных дорог до этих пор решалась, в основном, за счет определения участков (мест) концентрации ДТП с разработкой мероприятий по улучшению дорожных условий и организации дорожного движения на них, а также ежегодных комиссионных весенних и осенних обследований сети дорог представителями дорожных организаций и полиции (ранее – Госавтоинспекции).

Однако участки концентрации ДТП не были охвачены в полном объеме на сети дорог местного значения по причине отсутствия в карточках учета ДТП точной привязки мест их совершения, а также они не определялись на улицах и дорогах городов и других населенных пунктов ввиду отсутствия критерия для их идентификации и поэтому не достигнута максимальная эффективность от внедрения управления участками (местами) концентрации ДТП.

В статье проанализированы критерии определения участков концентрации ДТП на автомобильных дорогах общего пользования в разные периоды, исследована динамика количества участков концентрации ДТП, приведен критерий определения участков концентрации ДТП на улицах и дорогах городов и других населенных пунктов, а также рассмотрены другие современные возможности управления безопасностью движения, в частности проведение проверки (инспекции) безопасности автомобильных дорог.

Ключевые слова: аварийность, автомобильные дороги, безопасность дорожного движения, участки (места) концентрации ДТП, инспекция безопасности автомобильных дорог.

Abstract. Road safety management begins with a detailed analysis of accidents, which is reflected in Article 24 of the Law of Ukraine "On Road Traffic" which states that when performing repairs and maintenance of roads, streets and railway crossings road maintenance organizations in the first place should take measures for road safety on the basis of accounting and analysis of road accidents, results of inspections and

surveys of roads, streets and railway crossings, and especially in emergency and dangerous areas and in places of concentration of road accidents. The problem of reducing the accident rate and reducing the number of victims of road accidents during the maintenance of roads has so far been solved mainly by identifying areas (places) of concentration of accidents with the development of measures to improve road conditions and improve the organization of traffic on them and conducting annual commission spring and autumn inspections of the road network by representatives of road organizations and the police.

However, the areas of concentration of road accidents were not fully covered on the road network of local significance due to the lack of accurate reference of the places of accident in the accident registration cards, as well as they were not identified on the streets and roads of cities and other settlements due to the absence of any criteria for their identification and therefore the maximum efficiency from introduction of management of sites (places) of concentration of road accident isn't reached.

The article analyzes the criteria for determining the areas of concentration of accidents on public roads in different periods, examines the dynamics of the number of areas of concentration of accidents and considers other modern opportunities for effective traffic safety management, in particular, inspection (inspection) of existing roads.

Keywords: accident, highways, road safety, areas (places) of concentration of road accidents, black spots, road safety inspections.

Вступ

Управління безпекою автомобільних доріг починається з детального аналізу аварійності. На основі обліку й аналізу дорожньо-транспортних пригод, результатів обстежень та огляду автомобільних доріг, вулиць і залізничних переїздів дорожньо-експлуатаційні організації під час виконання робіт із ремонту й утримання автомобільних доріг, вулиць та залізничних переїздів у першочерговому порядку повинні здійснюватися заходи щодо безпеки дорожнього руху. Передусім це необхідно робити на аварійних і небезпечних ділянках та в місцях концентрації дорожньо-транспортних пригод. Це відображене у статті 24 Закону України "Про дорожній рух" [1].

Як показує практика і досвід інших країн, першочергове впровадження заходів із підвищеннем безпеки руху на ділянках концентрації ДТП та дорогах із підвищеним рівнем аварійності, а також впровадження заходів, спрямованих на ліквідацію факторів ризику, що впливають на тяжкість наслідків ДТП, має найвищий потенціал до швидкого зниження рівня аварійності і зменшення показників смертності на автомобільних дорогах. Адже рівень аварійності, як лакмусовий папірець, характеризує стан відповідності дорожніх умов вимогам транспортного потоку. Він також вказує на проблемні ділянки доріг, де передусім потрібно вжити невідкладних заходів для підвищення безпеки руху, а детальний аналіз причин виникнення ДТП допомагає встановити домінантні фактори ризику, що впливають на виникнення ДТП та тяжкість їхніх наслідків.

Управління ділянками (місцями) концентрації ДТП в Україні впроваджено з 1984 року. Наразі з 2021 року планується впровадження також аудиту та перевірки безпеки автомобільних доріг, що є важливим інструментом запобігання небезпечним ситуаціям, які можуть сприяти виникненню ДТП і, безумовно, позитивно вплине на досягнення бажаних результатів щодо зниження рівня аварійності та зменшення кількості жертв ДТП.

Слід відмітити, що традиційні методи підвищення безпеки руху на основі виявлення ділянок концентрації ДТП адресовані вже наявній проблемі, а перевірка безпеки автомобільних доріг має на меті попередження виникнення ДТП та пом'якшення можливих наслідків у разі їхнього скоєння.

Отже, для ефективного управління безпекою руху наявної мережі доріг потрібно визначати не лише місця і ділянки концентрації ДТП, але також і дороги з підвищеним рівнем концентрації ДТП з метою проведення перевірки безпеки цих доріг та першочергового впровадження обґрунтованих заходів з удосконалення дорожніх умов та покращення організації дорожнього руху. Особливо це актуально в умовах обмеженого фінансування.

Також варто зазначити, що одночасне проведення перевірки безпеки всієї мережі доріг і планування надмірної кількості заходів із підвищеною безпекою руху без можливості фінансового забезпечення та недостатніх матеріально-технічних ресурсів призведе здебільшого до формального виконання процедури перевірок безпеки автомобільних доріг і не сприятиме першочерговому впровадженню комплексу актуальних заходів саме на дорогах із підвищеним рівнем аварійності, а тому не дозволить досягти бажаного результату. Заходи, відкладені на декілька років, можуть бути вже не актуальними або не повною мірою враховувати потреби користувачів дорожнього руху на той час.

Отже, перевірку безпеки мережі автомобільних доріг слід здійснювати поетапно, починаючи з доріг із найвищим рівнем концентрації ДТП, а не одразу всієї підвідомчої мережі доріг раз на три роки. Це не стосується ділянок (місць) концентрації ДТП, заходи з підвищенням безпеки руху на яких потрібно здійснювати позачергово відповідно до статті 27 [1].

Основна частина

На виникнення ДТП впливають багато взаємопов'язаних факторів, до яких відносять дорожні та погодні умови, транспортні потоки, а також людський фактор. Власники автомобільних доріг можуть підвищувати безпеку дорожнього руху передусім через удосконалення дорожніх умов, а також опосередковано впливати на поведінку учасників дорожнього руху. Наприклад, можна змусити водія знизити швидкість руху шляхом влаштування засобів заспокоєння руху (підвищених пішохідних переходів, дорожніх пагорбів, шикан, кільцевої розв'язки тощо) або впорядкувати рух пішоходів шляхом встановлення пішохідного огороження.

Для визначення ролі дорожніх умов у виникненні ДТП на мережі доріг загального користування Г. М. Зубом (ДП "ДерждорНДІ") в 1973 році, вперше в колишньому СРСР, підтверджена підпорядкованість фактичного розподілу ДТП уздовж дороги імовірністю методам (закону Пуассона) [2]. В результаті проведених наукових досліджень запропоновано вважати аварійно-небезпечними кілометри доріг, де за останні три роки сталося не менше ніж три ДТП із загиблими та/або травмованими. На жаль, вибірка даних для проведення досконалого вивчення проблеми була недостатньою і це не дозволило автору встановити стійку закономірність впливу дорожніх умов на аварійність. Надалі наукові дослідження, виконані фахівцями інституту, були продовжені та узагальнені О. С. Забишним (ДП "ДерждорНДІ"), і на основі отриманих результатів був запропонований науково обґрунтований критерій для визначення ділянок (місць) концентрації ДТП як ефективний метод підвищення безпеки руху шляхом цілеспрямованого впровадження заходів для вдосконалення дорожніх умов. За результатами досліджень доведено, що дорожні умови мали домінантний вплив на виникнення ДТП на кілометрах доріг, де за останні три роки сталося не менше ніж чотири ДТП із загиблими та/або травмованими [2-7].

Для впровадження результатів наукових досліджень фахівцями інституту в різні часи розроблені такі документи щодо виявлення та обстеження ділянок концентрації ДТП:

– "Порядок обследования участков концентрации ДТП и разработки мероприятий по повышению безопасности дорожного движения": Министерство строительства и эксплуатации автомобильных дорог УССР, 1984 г.;

– "Рекомендации по оценке роли дорожных условий в возникновении ДТП на участках и местах их концентрации", Министерство строительства и эксплуатации автомобильных дорог УССР, 1987 г.;

– ГСТУ 218-03450778.090-2001 "Порядок визначення ділянок і місць концентрації дорожньо-транспортних пригод".

Відповідно до вищеперелічених документів, ділянки (місця) концентрації ДТП визначалися за критерієм:

$$Z \geq 4 \text{ ДТП}; t = 3 \text{ роки}; K_{np} > 0,40; \quad (1)$$

де:

Z – кількість ДТП із загиблими та/або травмованими на ділянці протяжністю один кілометр за період спостереження, t ;

t – період спостереження (три останні календарні роки);

K_{np} – відносна кількість ДТП, що припадає на один мільйон автомобілекілометрів пробігу, визначається

$$K_{np} = \frac{Z \cdot 106}{t \cdot 365 \cdot L \cdot N} \quad (2)$$

де:

N – середньорічна добова інтенсивність руху за даними останнього року спостережень, авт./добу;

365 – кількість днів на рік;

L – протяжність ділянки, км (не враховується для ділянок протяжністю, меншою за 1 км).

Для визначення ділянок концентрації розглядалися ділянки протяжністю один кілометр між пікетним розташуванням кілометрових знаків, хоча їхнє положення не завжди відповідає довжині 1000 м з різних об'єктивних причин. Але таке рішення було прийняте для зручності обліку ділянок концентрації ДТП та спостереження за динамікою аварійності на них з метою коректного співставлення результатів для оцінки ефективності від впроваджених заходів.

До місць концентрації ДТП відносилися ділянки невеликої протяжності, зазвичай перехрестя, криві в плані малого радіусу, зони автобусних зупинок, наземні пішохідні переходи, залізничні переїзди тощо.

Оцінка ефективності (соціальна) від впровадження заходів із покращенням дорожніх умов на ділянках концентрації ДТП проводилась співставленням результатів кількості ДТП "до" та "після" виконання запланованих заходів із підвищенням безпеки дорожнього руху

$$E = \frac{Z_{\text{до}} - Z_{\text{після}}}{Z_{\text{до}}} \cdot 100 \% \quad (3)$$

де:

$Z_{\text{до}}$ – кількість ДТП на ділянці (місці) концентрації ДТП "до" виконання заходів щодо підвищення безпеки руху;

$Z_{\text{після}}$ – кількість ДТП на ділянці (місці) концентрації ДТП "після" виконання заходів щодо підвищення безпеки руху.

Період спостереження за динамікою аварійності "до" повинен дорівнювати періоду спостереження за динамікою аварійності "після" виконання заходів щодо підвищення безпеки руху.

Із часом накопичений досвід роботи на ділянках концентрації ДТП показав як корисні результати, так і низку проблем. Зокрема, відсутність точної фіксації місць сконцентрованої значної кількості ДТП, особливо на дорогах місцевого значення, унеможливлювала визначення всіх ділянок їхньої концентрації. Окрім того, постало питання, чи потрібно для визначення ділянок концентрації ДТП на дорогах I категорії з роздільною смугою враховувати аварійність та інтенсивність руху для кожного напрямку окремо. Інша проблема була пов'язана з тим, що розглядалися ділянки дороги між кілометровими знаками і тому не враховувалися ті ділянки, на яких аварійність розподілялася поряд, але з різних боків від кілометрового знака. І, нарешті, відповідно до Постанови КМ від 30 червня 2005 р. № 538 "Про затвердження Порядку обліку дорожньо-транспортних пригод" (яка наразі втратила чинність на підставі Постанови КМ № 424 від 22.05.2019), було передбачене включення до державної статистичної звітності даних про ДТП: не лише тих, що призвели до загибелі та/або травмування людей, а й тих, що призвели тільки до матеріальних збитків. Отже, назріла потреба запровадити новий критерій визначення ділянок концентрації аварійності з урахуванням не тільки ДТП із загиблими та/або травмованими, а й тих, що призвели лише до матеріальних збитків. У результаті розроблено СОУ45.2-00018112-007 [8], який є чинним донині.

Відповідно до СОУ45.2-00018112-007 [8] до місць концентрації ДТП відносяться короткі ділянки дороги протяжністю до 150 м у населеному пункті та протяжністю до 250 м за його межами за умови

$$\begin{aligned} Z_{\text{до}} \geq 12 \text{ ДТП} \text{ та } K_{\text{np}} > 1,44, \\ Z_{\text{після}} \geq 4 \text{ ДТП} \text{ та } K_{\text{np}} > 0,40; t = 3 \text{ роки}, \end{aligned} \quad (4)$$

де:

$Z_{\text{до}}$ – кількість ДТП із загиблими та/або травмованими і матеріальним збитком на ділянці дороги за період t , років;

$Z_{\text{після}}$ – кількість ДТП із загиблими та/або травмованими на ділянці дороги за період t , років.

До ділянок концентрації ДТП слід відносити ділянки дороги протяжністю понад 150 м у населеному пункті та понад 250 м за його межами за умови

$$\begin{aligned} Z_{\text{до}} \geq 12 \text{ ДТП} \text{ та } K_{\text{np}} > 1,44, \\ Z_{\text{після}} \geq 4 \text{ ДТП} \text{ та } K_{\text{np}} > 0,40; t = 3 \text{ роки}, \end{aligned} \quad (5)$$

де:

$Z_{\text{до}}$ – кількість ДТП із загиблими та/або травмованими і матеріальним збитком, якщо відстань між сусідніми ДТП на ділянці не перевищує 150 м;

$Z_{\text{після}}$ – кількість ДТП із загиблими та/або травмованими, якщо відстань між сусідніми ДТП на ділянці дороги не перевищує 300 м.

Адресу ділянки (місця) концентрації ДТП назначають за адресами сконцентрованої першої та останньої ДТП на ділянці їхньої концентрації (км+м – км+м).

Довжина ділянки концентрації ДТП відповідає фактичній довжині і визначається як різниця між адресами (місцем) сконцентрованої останньої та першої ДТП на визначеній ділянці. Тобто довжина ділянок концентрації ДТП може бути, наприклад, 650 м, 1360 м тощо за умови виконання (5).

Такий підхід визначення ділянок концентрації ДТП вирішив проблему врахування ділянок розділених кілометровим знаком, але ускладнив їхній облік і спостереження за динамікою аварійності в наступні три роки після впровадження на них заходів щодо покращення дорожніх умов, оскільки, першочергово встановлені межі ділянки змінюються через міграцію місць сконцентрованих ДТП. На практиці, залежно від відстані міграції ДТП в межах ділянки і зміни її довжини, доводиться або коригувати межі раніше взятої на облік ділянки, або знімати з обліку наявну ділянку і брати на облік ділянку в нових межах, що ускладнює проведення оцінки ефективності впроваджених заходів.

Однак критерій, що враховує щільність ДТП, є правильним, оскільки дає можливість зосередити увагу саме на проблемній ділянці, а кілометровий відрізок, де трапилося дві ДТП на початку ділянки і дві ДТП, наприклад, через 800 м,

не відображає суттєвого впливу дорожніх умов на виникнення аварійності.

Аналіз динаміки ділянок (місць) концентрації ДТП, виявлених за критерієм, що діяв до 2008 та пізніше, не показує різкого зменшення чи збільшення їхньої кількості у зв'язку зі зміною підходу до їхнього виявлення (рис. 1).

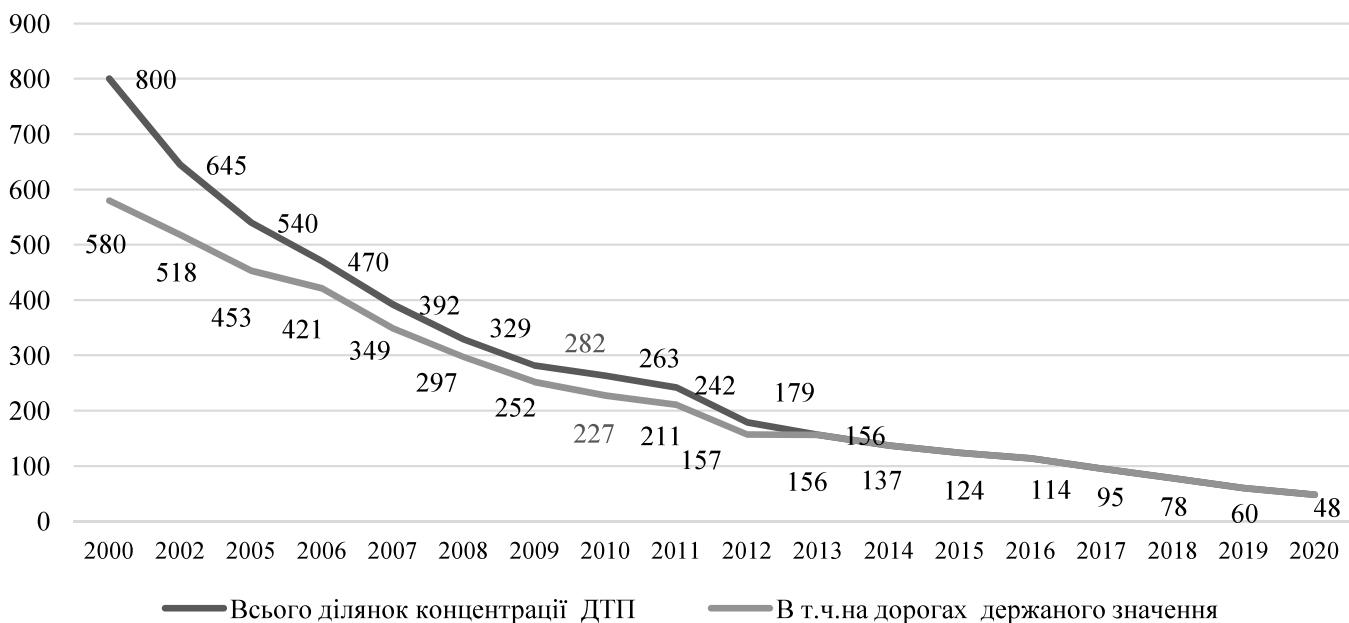


Рис. 1. Динаміка кількості ділянок (місць) концентрації ДТП (2000 – 2020 pp.)

Проаналізувавши динаміку кількості ділянок (місць) концентрації ДТП на автомобільних дорогах загального користування, можна зробити такі висновки. По-перше, управління ділянками концентрації ДТП шляхом цілеспрямованого впровадження обґрутованих заходів призвело до поступового зменшення їхньої кількості на 94%, зокрема майже на 92% на дорогах державного значення за період 2000-2020 років. По друге, починаючи з 2013 року, на мережі доріг місцевого значення відсутні ділянки (місця) концентрації ДТП, що пов'язано зі зміною самої мережі (територіальні дороги з переліку доріг місцевого значення вилучені і передані до доріг державного значення) та відсутністю точних даних щодо місць скоєння ДТП (назва дороги, км+м) що унеможливило визначення ділянок (місць) концентрації аварійності.

Слід зазначити, що кількість ділянок (місць) концентрації ДТП значно скоротилася також завдяки проведенню останнім часом масштабного виконання реконструкції та капітального ремонту доріг. Через зміни дорожніх умов ділянки конце-

нтрації ДТП на таких дорогах мають визначатися за результатами аналізу аварійності за три роки після закінчення робіт.

Найбільша кількість ділянок концентрації ДТП припадає на міжнародні дороги (рис. 2).

Щодо вулиць і доріг міст та інших населених пунктів, то нині в Україні не існує критерію ви-

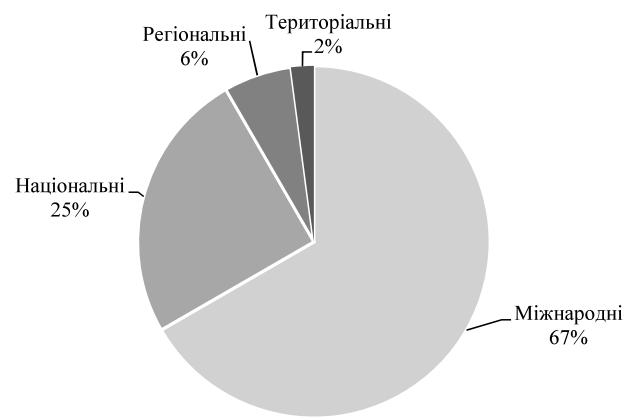


Рис. 2. Розподіл ділянок концентрації ДТП на дорогах загального користування станом на 01.01.2021 р.

значення місць і ділянок концентрації ДТП на них. Наразі розроблено проект національного нормативного документу (ДСТУ), в якому наведено, зокрема, критерій визначення місць і ділянок концентрації ДТП на вулицях і дорогах міст та інших населених пунктів, що забезпечить ці-

лісність системи управління ділянками концентрації ДТП та вплине на зменшення рівня аварійності на них.

Єдиного підходу до критерію визначення ділянок (місць) концентрації ДТП для всіх країн немає і не може бути, оскільки у різних країнах – різний рівень аварійності і ступінь забезпеченості безпеки учасників дорожнього руху. Запровадження єдиного критерію призвело б до того, що в одних країнах ділянок концентрації ДТП було б замало чи взагалі не було, а в інших зачадто багато, щоб з ними впоратися невідкладно. Тому критерій визначення ділянок (місць) концентрації ДТП має бути індивідуальним для кожної країни, більше того, в кожній країні з часом він може переглядатися з урахуванням накопиченого досвіду і стану аварійності.

Окрім виявлення ділянок концентрації ДТП та детального аналізу причин виникнення аварійності важливою складовою комплексу заходів щодо підвищення безпеки руху на мережі доріг на стадії експлуатації є проведення перевірки безпеки автомобільних доріг, що передбачено [1,9] та має бути впроваджено в Україні з 2021 року відповідно до Директиви 2008/96/ЄС [10].

На відміну від традиційного методу підвищення безпеки руху на вже наявних ділянках концентрації ДТП невеликої протяжності перевірка безпеки автомобільних доріг навпаки проводиться уздовж усієї дороги, охоплюючи ділянки концентрації ДТП, та спрямована на раннє виявлення факторів ризику з метою усунення проблем чи небезпек іще до виникнення ДТП.

Важливість проведення перевірок як регулярної процедури для підвищення безпеки всіх учасників руху (зокрема незахищених та маломобільних: пішоходів, велосипедистів, а також осіб з інвалідністю, людей похилого віку) важко не оцінити. Тому фахівцями інституту у 2012 році розроблена "Методика проведення аудиторських перевірок з безпеки дорожнього руху на стадії експлуатації автомобільних доріг загального користування" [11], яка, на жаль, тоді не була впроваджена через відсутність законодавчої підстави.

З прийняттям Закону України "Про внесення змін до деяких законів України щодо управління безпекою автомобільних доріг" [9] ця проблема зникла і є законодавча підставка запровадити проведення аудиту на стадії проєктування, будівництва та в перший рік після введення ділянки дороги в експлуатацію, а також перевірки безпеки доріг на стадії експлуатації. Аудит та перевірка безпеки автомобільних доріг є важливою

ланкою у процесі ефективного управління безпекою руху.

Наразі, маючи вже законодавче підґрунтя, розробляється низка нормативно-правових актів (НПА) щодо проведення:

- аудиту безпеки автомобільних доріг (Положення про проведення аудиту безпеки автомобільних доріг загального користування);
- перевірки безпеки автомобільних доріг (Положення про проведення перевірки безпеки автомобільних доріг загального користування).

У проведенні перевірки безпеки доріг потрібно керуватися тим, що заходи з покращення дорожніх умов мають бути спрямовані на попередження виникнення аварійних ситуацій та пом'якшення наслідків ДТП, якщо такі виникнуть. Також упроваджені заходи повинні запобігати здійсненню помилок учасниками дорожнього руху, що призводять чи можуть у подальшому привести до аварій, тобто створювати так звану "дорожню інфраструктуру, що все пробачає". Якщо ж за обставин, що склалися на поточний момент, необхідно вибирати між конфліктними заходами з підвищення безпеки та забезпечення комфортоності руху, перевагу слід віддавати заходам, спрямованим на зниження кількості ДТП та тяжкості їхніх наслідків.

Висновки

Вирішення проблеми створення для учасників дорожнього руху безпечних і комфортних умов руху є однією з надважливих соціальних сфер людської діяльності, оскільки вона пов'язана зі збереженням життя і здоров'я людей та зменшенням матеріальних збитків від ДТП. Найефективніший і найкоротший шлях для досягнення мети щодо зниження рівня аварійності та зменшення кількості жертв ДТП на автомобільних дорогах є встановлення за даними аналізу аварійності домінантних факторів ризику, що сприяли єкоєнню ДТП, визначення ділянок їхньої концентрації з розробкою заходів, спрямованих на їхню ліквідацію, а також проведення перевірки безпеки доріг, починаючи з доріг із підвищеним рівнем аварійності.

Обґрунтоване планування заходів та встановлення пріоритетності розподілу фінансових ресурсів, спрямованих передусім на ділянки концентрації ДТП та дороги з підвищеним рівнем аварійності, суттєво вплине на зменшення кількості ДТП та тяжкість їхніх наслідків на вітчизняних дорогах.

Література

- 1 Закон України "Про дорожній рух". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3353-12#Text> (дата звернення 15.04.2021).
 - 2 Забышний А. С. Вероятностные методы в оценках влияния дорожных условий на безопасность движения. – Киев, 1989. – 15 с. (Препринт АН УССР. Институт математики; 89, 73).
 - 3 Забышний А. С. Понятия теории вероятностей и математической статистики в анализах покилометрового распределения ДТП на автомобильных дорогах. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К.: Будівельник, 1989. Вип. 44. – С. 109-114.
 4. Забышний А. С. Абсолютные значения случайных и не случайных ДТП в различных уровнях их концентрации на километрах дорог – К.: Госдорнин., 1990. – 12 с. – Рус. – Деп. в УкрНИИТИ 25.06.90., № 1142. – Ук 90.
 5. Забышний А. С. Критерий оценки возникновения ДТП из-за несовершенства дорожных условий. // Автодорожник Украины. – 1983. – №1. – С. 38-40.
 6. Забышний А. С. Методика оценки роли дорожных условий в возникновении ДТП на участках дорог. Госдорнин. Київ, 1990. – 22с. – Рус. – Деп. в УкрНИИТИ 12.07.90., №1161. – Ук 90.
 7. Забишний О. С. Математичні моделі розв'язання практичних задач підвищення безпеки руху // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 1992. Вип. 50. – С. 65-67.
 8. СОУ 45.2-00018112-007:2008 "Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги загального користування. Порядок визначення ділянок і місць концентрації дорожньо-транспортних пригод на дорогах загального користування", Київ, 2008.
 9. Закон України "Про внесення змін до деяких законів України щодо управління безпекою автомобільних доріг". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/200-20#Text> (дата звернення 15.04.2021).
 10. Directive 2008/96/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on road infrastructure safety management (Директива 2008/96/ЄС від 19 листопада 2008 р. "Про управління безпекою дорожньої інфраструктури". URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32008L0096> (дата звернення 15.04.2021).
 11. М 03450778-700:2012 "Методика проведення аудиторських перевірок з безпеки дорожнього руху на стадії експлуатації автомобільних доріг загального користування". Київ, 2012.
- References**
1. Zakon Ukrayiny "Pro dorozhniy rukh". [Law of Ukraine "On Road Traffic"]
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3353-12#Text> (date of application 15.04.2021) [in Ukraine].
 2. Zabyshnyj A. S. Veroyatnostnye metody v ocenkah vliyanija dorozhnyh uslovij na bezopasnost' dvizheniya. [Probabilistic methods in assessing the impact of road conditions on road safety] – Kiev, 1989. – 15s. (Preprint AN USSR. Institut matematiki; 89, 73) [in Russian].
 3. Zabyshnyj A. S. Ponyatiya teorii veroyatnosti i matematicheskoy statistiki v analizah pokilometrovogo raspredeleniya DTP na avtomobil'nyh dorogah. [Concepts of the theory of probability and mathematical statistics in the analysis of per-kilometer distribution of road accidents] // Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo. – K.: Budivel'nik, 1989. Vip. 44. – S. 109-114 [in Russian].
 4. Zabyshnyj A. S. Absolutnye znacheniya sluchajnyh i ne sluchajnyh DTP v razlichnyh urovnyah ih koncentracii na kilometrah dorog [Absolute values of accidental and non-accidental accidents at various levels of their concentration on kilometers of roads]: – K.: Gosdornii., 1990. – 12 s. – Rus. – Dep. v UkrNIINTI 25.06.90., № 1142.– Uk 90 [in Russian].
 5. Zabyshnyj A. S. Kriterij ocenki vozniknoveniya DTP iz-za nesovershenstva dorozhnyh uslovij. [Criterion for assessing the occurrence of an accident due to imperfect road conditions] // Avtodorozhnik Ukrayiny. – 1983. – №1. – S. 38-40 [in Russian].
 - 6 Zabyshnyj A. S. Metodika ocenki roli dorozhnyh uslovij v vozniknenii DTP na uchastkakh dorog. [Methodology for assessing the role of road conditions in the occurrence of road accidents on road sections] Gosdornii. Kiev, 1990. – 22s. – Rus. – Dep. v UkrNIINTI 12.07.90., №1161. – Uk 90 [in Russian].
 7. Zabyshnyi O. S. Matematychni modeli rozviazannia praktychnykh zadach pidvyshchennia bezpeky rukhu [Mathematical models for solving practical problems of improving traffic safety] // Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. – 1992. Vyp. 50. – S. 65-67 [in Ukraine].
 8. SOU 45.2-00018112-007:2008 "Bezpeka dorozhnoho rukhu. Avtomobilni dorohy zahalnoho korystuvannia. Poriadok vyznachennia dilianok i mists kontsentrasiy dorozhno-transportnykh pryrod na dorohakh zahalnoho korystuvannia" [Road safety. Public roads. The procedure for determining the areas and places of concentration of road accidents on public roads] Kyiv, 2008 (Information and documentation) [in Ukraine].
 9. Zakon Ukrayiny "Pro vnesennya zmin do deyakykh zakoniv Ukrayiny shchodo upravlinnya bezpekoju avtomobil'nykh dorih". URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/200-20#Text> (date of application 15.04.2021) [in Ukraine].
 10. Directive 2008/96/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on road infrastructure safety management URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32008L0096> (date of application 15.04.2021) [in English]
 11. M 03450778-700:2012 "Metodyka provedennya audytors'kykh perevirok z bezpeky dorozhn'oho rukhu na stadiyi ekspluatatsiyi avtomobil'nykh dorih zahal'noho korystuvannya" [Methods of audits on road safety at the stage of operation of public roads] Kyiv, 2012 (Information and documentation) [in Ukraine].



СЕМІНАР ІЗ ПУБЛІЧНИХ ЗАКУПІВЕЛЬ У ЛЬВОВІ

16-17 червня 2021 року у м. Львові відбувся науково-практичний семінар "Закупівлі в дорожній галузі. Особливості формування договірних цін на дорожні роботи", організований ДП "ДерждорНДІ" за підтримки Укравтодору.

У заході взяли участь понад 250 фахівців з усіх куточків України.

На семінарі обговорили доцільність оновлення Тендерної Методології в частині:

- поширення сфери дії Методології на поточний середній ремонт та експлуатаційне утримання, а також на специфічні роботи та послуги (проектування, технічний нагляд, науково-технічний супровід, послуги інженера-консультанта);
- встановлення чіткого механізму використання та застосування нецінових критеріїв;
- повноцінного запуску відкритого порталу сертифікованої продукції та атестованих виробництв тощо.

© А. М. Онищенко, докт. техн. наук, професор, зав. кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1040-4530 (Національний транспортний університет); © О. В. Федоренко, нач. Управління експлуатації та безпеки руху, e-mail: 50281@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3628-4298 (Державне агентство автомобільних доріг України); © В. А. Зеленовський, зав. відділу технологій дорожніх робіт, e-mail: ukrdorndi@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5834-5456 (ДП "ДерждорНДІ"); © О. Е. Цеханський, технічний директор, e-mail: olegtsekh@ukr.net, ORCID: 0000-0001-3834-4285 (ТОВ "КАПОНІР-ГРУП")

© Artur Onyshchenko, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Head of the Bridges, Tunnels and Hydraulic Engineering Department, e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1040-4530 (National Transport University); © Oleg Fedorenko, Head of the Department of Operation and Traffic Safety, e-mail: 50281@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3628-4298 (State Agency of Motor Roads of Ukraine); © Volodymyr Zelenovskiy, Head of Road Technologies Department, e-mail: ukrdorndi@ukr.net ORCID: 0000-0001-5834-5456 (DerzhdorNDI SE); © Oleg Tsekhanovsky, Technical Director, e-mail: olegtsekh@ukr.net, ORCID: 0000-0001-3834-4285 (LLC "KAPONIR-GROUP")

ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ АРМУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ADFORS GLASGRID У БУДІВНИЦТВІ ТА ДЛЯ РЕМОНТУ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ І МОСТАХ

EXPERIENCE OF APPLICATION OF REINFORCING MATERIALS ADFORS GLASGRID IN THE CONSTRUCTION AND REPAIR OF ASPHALT CONCRETE COVERING ON ROADS AND ROADS

Анотація. У роботі розглядається питання щодо застосування європейського досвіду, інноваційних технологій та найсучасніших армувальних матеріалів Adforс GlasGrid у будівництві та для ремонту асфальтобетонних покрівок на автомобільних дорогах і мостах. Виконані наукові дослідження та практичний досвід останніх років показали, що підвищення довговічності асфальтобетону може бути досягнуте шляхом його макроармування із застосуванням синтетичних сіток. Це забезпечує підвищення його міцності на розтяг і покращує здатність сприймати розтягувальні температурні напруження. Завдяки цьому збільшується опір асфальтобетонних шарів розтягувальним напруженням, що сприяє підвищенню їхньої температурної тріщинності. Механізм роботи армувальних сіток в асфальтобетонних шарах пояснюють такою схемою – з появою розтягувальних напружень в асфальтобетоні їх починає сприймати, включаючись у роботу, армувальна сітка. Саме вона підвищує опір розтягувальним зусиллям в асфальтобетонних шарах в умовах зміни температури і сприяє підвищенню довговічності [1-9].

Проблематика. Незважаючи на широке застосування асфальтобетонних шарів у дорожньому будівництві і великий досвід підвищення їхньої якості, руйнування у вигляді поперечних, повздовжніх тріщин за умови зниження температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів залишається одними із найбільш поширеніх. Поява тріщин, зсуvin та колії є джерелом подальшого руйнування як самих асфальтобетонних шарів, так і всього дорожнього одягу [1-4].

Забезпечення довговічності асфальтобетонного покриву є важливою задачею у процесі будівництва вулиць, доріг та мостів. Особливу актуальність це питання набуває у зв'язку зі збільшеною потребою в реконструкції або ремонти наявного покриву, що вже має поперечні, повздовжні тріщини та колії. В такому разі швидко з'являються копіювальні тріщини в асфальтобетонних шарах над наявними тріщинами в основі від зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів [3-8].

Матеріали і методи. Асфальтобетонні покриви на автомобільних дорогах та мостах з покрашеними фізико-механічними властивостями за рахунок використання армувальних сіток. Армовані асфальтобетонні шари нежорсткого дорожнього одягу. Експериментальними методами визначались необхідні властивості матеріалів та перевірялась достовірність теоретичних рішень.

Результати. Проведено аналітичний огляд вітчизняного та світового досвіду щодо покращення якості дорожніх покривів на автомобільних дорогах та мостах, підвищення їхньої працездатності та довговічності, а також вдосконалення економічної ефективності геосинтетичних армувальних матеріалів Adforс GlasGrid.

Висновки. За виконаним аналітичним оглядом світового та вітчизняного досвіду застосування геосинтетичних армувальних матеріалів Adfors GlasGrid на автомобільних дорогах та мостах встановлено доцільність застосування таких матеріалів. А також визначені переваги їхнього застосування над іншими армувальними матеріалами. Показано приклади застосування таких матеріалів на об'єктах будівництва у м. Києві.

Ключові слова: автомобільна дорога, мости, армовані асфальтобетонні шари, армувальні сітки, тріщиностійкість, довговічність, покриття на мостах, в'язкопружні рішення, пружні рішення, термореологічний паспорт матеріалів.

Аннотация. В работе рассматривается вопрос о применении европейского опыта, инновационных технологий и современных армирующих материалов Adfors GlasGrid при строительстве и ремонте асфальтобетонных покрытий на автомобильных дорогах и мостах. Выполненные научные исследования и практический опыт последних лет показали, что повышение долговечности асфальтобетона может быть достигнуто путем его макроармирования с применением синтетических сеток. Это обеспечивает повышение его прочности на растяжение и улучшает способность воспринимать растягивающие температурные напряжения. Благодаря этому увеличивается сопротивление асфальтобетонных слоев растягивающим напряжениям, что способствует повышению их температурной трещиностойкости. Механизм работы армирующих сеток в асфальтобетонных слоях объясняют следующей схемой – с появлением растягивающих напряжений в асфальтобетоне их начинает воспринимать, включаясь в работу, армирующая сетка. Именно она повышает сопротивление растягивающим усилиям в асфальтобетонных слоях в условиях изменения температуры и способствует повышению долговечности [1-9].

Проблематика. Несмотря на широкое применение асфальтобетонных слоев в дорожном строительстве и большой опыт повышения их качества, разрушения в виде попечных, продольных трещин при снижении температуры и действия пневматических колес транспортных средств остаются одними из самых распространенных. Появление трещин, оползней является источником дальнейшего разрушения как самих асфальтобетонных слоев, так и всей дорожной одежды [1-4].

Обеспечение долговечности асфальтобетонного покрытия является важной задачей при строительстве улиц, дорог и мостов. Особую актуальность этот вопрос обретает в связи с возросшей потребностью в реконструкции или ремонте имеющегося покрытия с попечными, продольными трещинами и выбоинами. В таком случае быстро появляются копирующие трещины в асфальтобетонных слоях над имеющимися трещинами в основании по причине изменения температуры и действия пневматических колес транспортных средств [3-8].

Материалы и методы. Асфальтобетонные покрытия на автомобильных дорогах и мостах с улучшенными физико-механическими свойствами за счет использования армирующих сеток. Армированные асфальтобетонные слои нежесткой дорожной одежды. Экспериментальными методами определялись необходимые свойства материалов и проверялась достоверность теоретических решений.

Результаты. Проведен аналитический обзор отечественного и мирового опыта по улучшению качества дорожных покрытий на автомобильных дорогах и мостах, повышение их работоспособности и долговечности, а также совершенствование экономической эффективности геосинтетических армирующих материалов Adfors GlasGrid.

Выходы. Выполненный аналитический обзор мирового и отечественного опыта применения геосинтетических армирующих материалов Adfors GlasGrid на автомобильных дорогах и мостах подтверждает целесообразность применения таких материалов. А также определенные преимущества их применения в сравнении с другими армирующими материалами. Показаны примеры применения таких материалов на объектах строительства в г. Киеве.

Ключевые слова: автомобільна дорога, мости, армировані асфальтобетонні слої, армируючі сітки, тріщиностійкість, довговічність, покриття на мостах, в'язкоупругі рішення, упругі рішення, термореологічний паспорт матеріалів.

Abstract. This paper considers the application of European experience, the latest innovative technologies and the latest reinforcing materials Adfors GlasGrid in the construction and repair of asphalt pavements on roads and bridges. The performed scientific researches and practical experience of the last years have shown that increase of durability of asphalt concrete can be reached by its macroreinforcement with use of synthetic grids. This increases its tensile strength and improves the ability to absorb tensile thermal stresses. This increases the resistance of asphalt concrete layers to tensile stress, which increases their temperature crack resistance. The mechanism of operation of reinforcing mesh in asphalt concrete layers is explained by the following scheme – with the advent of tensile stresses in asphalt concrete they begin to perceive, joining the work, reinforcing mesh. The reinforcing grid in asphalt concrete layers increases resistance to tensile forces at change of temperature and promotes durability.

Problem statement. Despite the widespread use of asphalt concrete layers in road construction and extensive experience in improving their quality, destruction in the form of transverse, longitudinal cracks with decreasing temperature and the action of pneumatic wheels of vehicles remain one of the most common. The appearance of cracks, landslides and tracks is a source of further destruction of both the asphalt concrete layers and all pavement.

Ensuring the durability of asphalt pavement is an important task in the construction of streets, roads and bridges. This issue is especially relevant due to the increased need for reconstruction or repair of existing pavement, which already has transverse, longitudinal cracks and tracks. In this case, copying cracks quickly appear in the asphalt concrete layers above the existing cracks as a result of changes in temperature and the action of the pneumatic wheels of vehicles.

Materials and methods. Asphalt concrete pavements on highways and bridges with improved physical and mechanical properties due to the use of reinforcing mesh. Reinforced asphalt concrete layers of non-rigid pavement. The necessary properties of materials were determined by experimental methods and the reliability of theoretical solutions was checked.

Results. An analytical review of domestic and international experience in improving the quality of road surfaces and bridges, improving their efficiency and durability, as well as improving the economic efficiency of geosynthetic reinforcing materials Adfors GlasGrid.

Conclusions. Based on the performed analytical review of world and domestic experience in the use of geosynthetic reinforcing materials Adfors GlasGrid on roads and bridges, the feasibility of using such materials has been established. Also, the advantages of their use in comparison with other reinforcing materials are determined. Examples of application of such materials at construction sites in Kyiv are shown.

Keywords: motor road, bridges, reinforced asphalt concrete layers, reinforcing mesh, crack resistance, durability, coatings on bridges, viscoelastic solutions, elastic solutions, thermorheological passport of materials.

Вступ

На автомобільних та міських дорогах і вулицях у більшості країн світу, зокрема і в Україні, найбільш поширеними є нежорсткі дорожні одяги з асфальтобетонним покриттям.

Так склалося історично, що в Україні більшість автомобільних доріг розраховувалася на навантаження групи А (100 кН на вісь) або групи Б (60 кН на вісь). Згодом, за останні кілька десятиліть, зросли транспортні навантаження на вісь та загальна маса транспортних засобів, значно підвищилася інтенсивність руху, збільшилася доля великовантажних транспортних засобів у транспортному потоці. Згідно з чинними нормативними документами конструкції дорожніх одягів в Україні розраховують на навантаження 130 кН на вісь. Між тим, дослідження проф. Б. С. Радовського свідчать, що наднормативне збільшення навантажень на 15-30% викликає скорочення строку служби дорожнього одягу у 2-4 рази. Це і є однією з головних причин, чому сьогодні більшість доріг України, а також міських вулиць та доріг, працюють на межі вичерпання критеріїв граничного стану, в умовах наявності значної кількості руйнувань дорожнього покриття та шарів дорожнього одягу, потребують відновлення своєї несної здатності.

На сьогодні вже проведено велику кількість досліджень щодо причин виникнення руйнувань в асфальтобетонному покритті, розроблено методи їхнього запобігання. Дослідженнями напружено-деформованого стану автомобільних доріг із нежорстким дорожнім одягом, вивченням видів руйнувань, методів їхнього запобігання та розробленням методів підвищення довговічності асфальтобетонних покріттів займалися багато видатних учених в нашій країні та за кордоном: О. Т. Батракова, А. Г. Батраков, В. І. Братчун, І. П. Гамеляк, В. К. Жданюк, В. О. Золотарьов, М. М. Іванов, І. В. Кіяшко, Б. І. Ладигін, І. С. Ладиженський, О. Ю. Мерзлікін, В. В. Мозговий, К. Монісміт, Ю. Є. Нікольський, Д. О. Павлюк, Б. С. Радовський, В. Я. Савенко, А. О. Салль, В. М. Сіденко, Г. К. Сюньї, Б. Б. Телтаєв та інші [1-9].

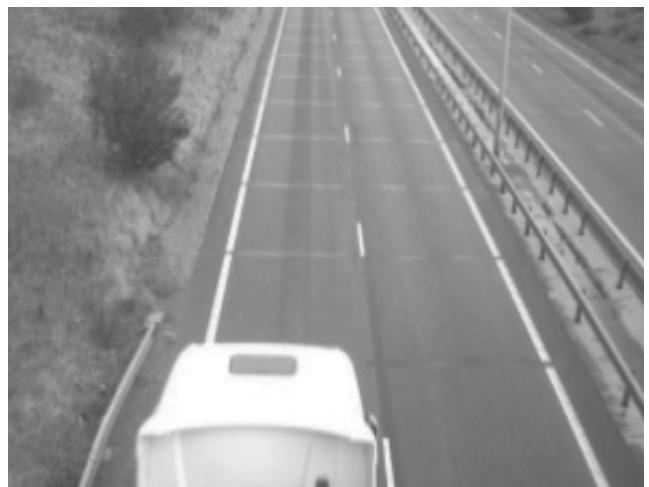
Основна частина

Відомо, що основними видами руйнувань в асфальтобетонному покритті є тріщини. В асфальтобетонних шарах можуть виникати температурні, відображені тріщини та тріщини від втому. Характерні ділянки автомобільної дороги як результат проявлення тріщин на поверхні покриття зображені на **рис. 1**.

Температурні тріщини утворюються під дією температурних напружень у результаті охолодження покриття в добовому та річному цик-



Температурні тріщини



Відображені тріщини



Тріщини від втому

Рис. 1. Види тріщин в асфальтобетонних покріттях автомобільних доріг

лах зазвичай протягом кількох років унаслідок старіння бітуму, через що асфальтобетон втрачає свої термореологічні властивості та деформаційну здатність за мінусової температури.

Відображені тріщини виникають як наслідок концентрації напружень в асфальтобетоні над швами і тріщинами жорсткої основи в умовах вертикальних переміщень плит і блоків основи. Водночас, дослідження свідчать, що жорсткотою основою може бути не тільки основа з бетонних плит або тріщинувато-блочна основа з дефрагментованих плит, а й основа з щебенево-піщаної суміші, укріпленої цементом.

Тріщини від втоми виникають під дією транспортних навантажень унаслідок багаторазового прогину шарів дорожнього одягу та старіння бітуму і поступового зменшення міцнісних характеристик асфальтобетону з часом (втомна деструкція). Вони можуть бути як поперечні, так і поздовжні на смугах накату коліс транспортних засобів.

Які б найякісніші асфальтобетони та щебенево-мастикові асфальтобетони із застосуванням найякіснішого полімер-бітумного в'яжучого ми не використовували як матеріал для верхніх шарів покриття, як би ретельно не дотримувались технології виконання робіт, ми не застраховані від передчасного виникнення тріщин у покритті у більшості випадків, а саме:

- у місцях стику дорожньої конструкції з новою конструкцією за умови розширення;
- у місцях підходів до мостових переходів та до шляхопроводів, де змінюється жорсткість конструкції;
- за посилення доріг із наявними тріщинами (будемо частково фрезерувати нижній шар із тріщинами чи ні);
- за посилення доріг зі цементобетонним покриттям та тріщинувато-блочною основою.

Крім того, враховуючи температурні показники нашої країни, і без перерахованих чинників у покриттях можуть з'являтися і з'являтися температурні тріщини, що є початком їхнього руйнування.

Загалом причини руйнувань дуже прості:
– підвищення транспортних навантажень;
– температурні коливання та аномальні відхилення температури;

– природне старіння асфальтобетону.

Сучасний світовий досвід будівництва, ремонту, експлуатації та утримання автомобільних доріг, а також міських вулиць, доріг і мостів із не-жорстким дорожнім одягом свідчить, що запобіг-

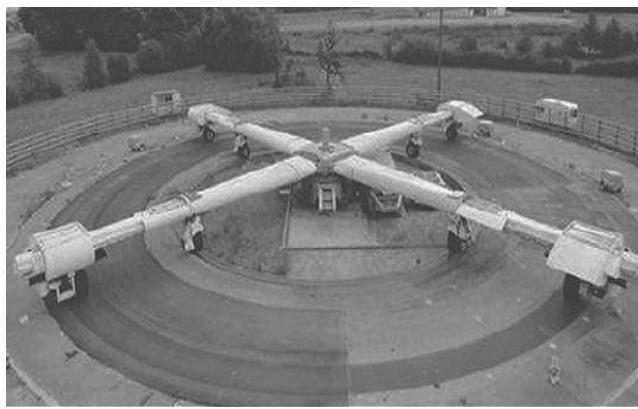
ти утворенню в асфальтобетонному покритті температурних тріщин, відображених тріщин та тріщин від втоми і за рахунок цього збільшити його міжремонтний термін та довговічність можна лише за допомогою використання армувальних синтетичних матеріалів (далі – ACM) для армування асфальтобетону.

В Україні застосовується велика кількість армувальних синтетичних матеріалів різних виробників. Одним з провідних світових виробників таких матеріалів є французький концерн "Saint-Gobain", виробництво якого було удостоєне в 2018 році срібної нагороди WCM (World Class Manufacturing – Виробництво Світового Класу), що підтверджує відмінну якість продукції, високий рівень інновацій та обслуговування клієнтів із країн Європи, Америки та Азії. Використання новітніх наукових і технологічних розробок та впровадження розроблених патентів дозволило створити найсучасніше виробництво геограток зі скловолокна для найрізноманітнішого застосування.

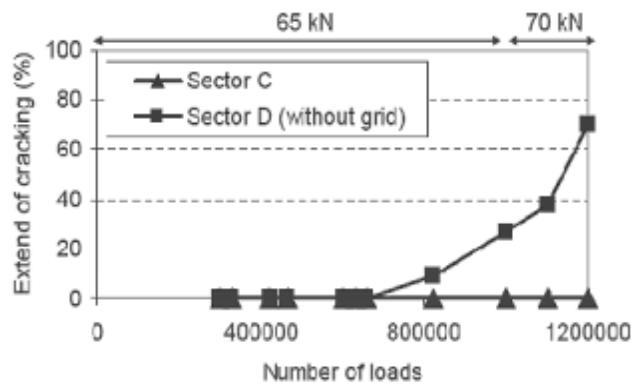
Концерн випускає армувальні синтетичні матеріали торговельної марки Adfors GlasGrid, що дозволяють знизити ризик появи температурних, втомних і відображених тріщин в асфальтобетонному покритті, запобігти колієутворенню, суттєво зменшити витрати на будівництво, ремонт та експлуатацію автомобільних доріг та подовжити термін служби дорожнього одягу. Виробництво геограток сертифіковане згідно з ДСТУ ISO 9001:2015 "Системи управління якістю. Вимоги" та відповідає всім вимогам ДСТУ EN 15381:2015 "Геотекстиль та віднесені до геотекстилю вироби. Необхідні характеристики для використання в дорожніх конструкціях і асфальтобетонних покриттях".

Геогратки протестовані в провідних лабораторіях світу, а також у лабораторіях Національного транспортного університету (НТУ) та ДП "Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна" (ДП "ДерждорНДІ"). На **рис. 2** зображене випробування та результати випробувань асфальтобетонного покриття на кільцевому стенді IFFSTAR (Франція), армованого геогратками Adfors GlasGrid (Sector C), його порівняння з неармованим асфальтобетонним покриттям (Sector D).

Результати випробувань на кільцевому стенді IFFSTAR (Франція) свідчать, що асфальтобетонне покриття, армоване геогратками Adfors GlasGrid, витримало 1200000 проїздів розрахункового навантаження (що є моделюванням 10-річної експлуатації покриття) без появи тріщин, водночас така ж конструкція, що не армувалася, за-



Кільцевий стенд IFFSTAR



Результати випробувань

Рис. 2. Здійснення випробувань армованого геогратками асфальтобетонного покриття на кільцевому стенді IFFSTAR та їхні результати

знала значного розтріскування – близько 70% своєї поверхні.

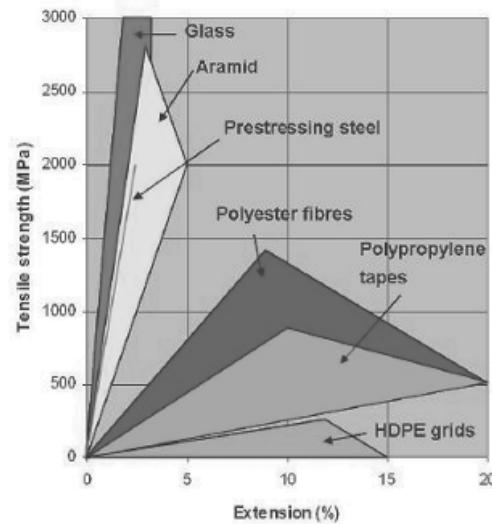
Досліди НТУ показали, що:

- модуль пружності композиції "асфальтобетон + ACM + асфальтобетон" порівняно із композицією без застосування ACM підвищується до 35% і збільшується зі зростанням температури;
- міцність на розтяг композиції "асфальтобетон + ACM + асфальтобетон" збільшилась на 25-30% порівняно із композицією без застосування ACM;
- показник втоми композиції "асфальтобетон + ACM + асфальтобетон" збільшується на 8-16% порівняно з композицією без застосування ACM.

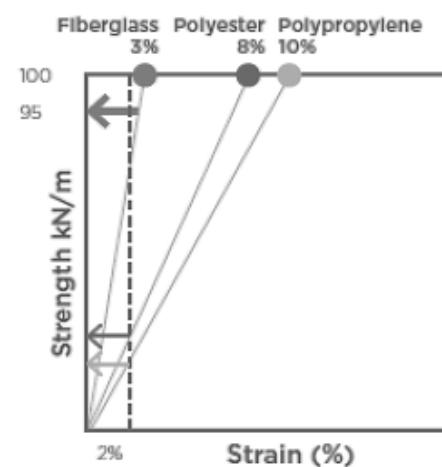
В НТУ розроблено прилади та методики випробування армованих асфальтобетонів та визначення їхніх міцнісних характеристик, визначення довговічності в умовах циклічного навантаження та випробування на втому, на основі чого розроблено СОУ 45.2-00018112-076:2012 "Асфальтобетонні шари з армуючими прошарками. Метод визначення розрахункових характеристик".

Результати випробувань та багаторічний досвід використання армувальних синтетичних матеріалів Adfors GlasGrid у світі підтвердили їхню високу ефективність та здатність суттєво підвищити довговічність асфальтобетонних покривів, зменшити витрати на їхній ремонт і експлуатацію завдяки значним перевагам перед продукцією інших виробників:

1) Низьке максимальне подовження геограток Adfors GlasGrid дає найбільший армувальний ефект та найбільшу тріщиностійкість армованого асфальтобетону. Армувальний ефект ACM зі скловолокна порівняно з ACM з інших матеріалів схематично зображено на рис. 3.



Залежність міцності на розтяг та максимального видовження ACM із різних матеріалів



Частка розтягувального зусилля ACM із різних матеріалів за умови однакового видовження

Рис. 3. Армувальний ефект ACM зі скловолокна порівняно з ACM з інших матеріалів

Дослідження свідчать, що мікротріщини можуть з'являтися в асфальтобетоні в умовах його відносного видовження 2%. Таке видовження є граничним для геограток зі скловолокна Adfors GlasGrid, тому вони сприймають на себе практично все розтягувальне навантаження, тоді як ACM з інших матеріалів продовжують розтягуватись та сприймають тільки близько 25-30% навантаження. Усе інше розтягувальне навантаження змушений приймати на себе асфальтобетон, тому в ньому раніше виникнуть тріщини. До того ж немає різниці, чим викликане розтягувальне навантаження – зниженням температури асфальтобетонного шару (температурні напруження) чи дією транспорту (напруження від розтягу за умови згину).

Армування асфальтобетонних шарів геогратками з більшим армувальним ефектом дозволяє знизити сумарну товщину шарів дорожнього одягу, а також застосовувати армувальні геогратки під тонкими шарами асфальтобетону (концерн Saint-Gobain, наприклад, в інструкції із застосування дозволяє розміщення геограток під верхнім шаром покриття з мінімальною товщиною в укоchenому стані – 4 см).

Висока міцність та жорсткість каркасу геограток Adfors GlasGrid дозволяють підвищити загальний модуль пружності дорожнього одягу, запобігти колієутворенню та значно збільшити довговічність асфальтобетонних покриттів.

Покриття міцної гратки запатентованим еластомерним полімером забезпечує відмінну адгезію геограток до асфальтобетонних шарів та асфальтобетонних шарів між собою.

Самоскліювальна здатність таких геограток із маркуванням GG дозволяє значно прискорити будівництво та ремонт, а також знизити вартість робіт. Можливість укладання на фрезеровану поверхню геограток із підкладкою з маркуванням CGL або CG дозволяє також прискорити будівництво та ремонт і знизити вартість робіт.

Відпрацьована технологія використання під верхнім шаром асфальтобетонного покриття дає змогу застосовувати геогратки для виконання середніх ремонтів вулиць та доріг, а також у будівництві та під час ремонту покриттів мостів.

Здатність до фрезерування та повторного використання в регенерованому асфальтобетоні дозволяє використовувати геогратки для виконання ремонту асфальтобетонних покриттів вулиць, доріг та мостів. Геогратки Adfors GlasGrid єдині у світі отримали сертифікат Євросоюзу щодо можливості переробки та повторного використання.

Відсутність необхідності додаткового анкерування геограток у процесі їхнього укладання дає

змогу значно пришвидшити будівництво та ремонт, а також знизити вартість виконання робіт. Будь-які геогратки не потребують додаткового анкерування або іншого закріплення на нижньому шарі.

За умови приблизно такої ж вартості порівняно з продукцією інших провідних світових виробників ACM Adfors GlasGrid дозволяють зменшити товщину асфальтобетонних шарів (знизити вартість нового будівництва, реконструкції або капітального ремонту) та подовжити міжремонтний термін до 15 років.

Геогратки Adfors GlasGrid з'явилися на ринку України відносно нещодавно, але завдяки своїм перевагам уже встигли дуже добре зарекомендувати себе на різноманітних об'єктах. На сьогодні отримано позитивний досвід застосування таких армувальних матеріалів:

- для нового будівництва та капітального ремонту (**рис. 4, 5**);
- в укладанні безпосередньо на фрезеровану поверхню нижнього шару асфальтобетонного покриття без застосування вирівнювального шару (**рис. 6**);
- для виконання поточного середнього ремонту, коли геогратка використовується під верхнім шаром асфальтобетону (**рис. 7**);
- для ремонту Південного мосту через р. Дніпро в м. Києві (**рис. 8**);
- для ремонту місць зупинок громадського транспорту (**рис. 9**);
- для виконання локальних ремонтних робіт у зонах каналізаційних люків (**рис. 10**).

Висновки

Сучасні вимоги та стандарти автодорожнього покриття стають досяжними завдяки використанню інноваційних матеріалів, які на додачу до своїх унікальних властивостей допоможуть заощадити на процесі будівництва та ремонтних роботах у майбутньому.

Автомобільні дороги і мости є важливою складовою частиною дорожньої мережі в Україні. Для їхнього нормального функціонування має велике значення довговічність асфальтобетонного покриття. Досвід використання ACM Adfors GlasGrid підтверджує їхню високу ефективність для підвищення довговічності автомобільних доріг та мостів, що дозволяє рекомендувати їхнє широке застосування в новому будівництві, для виконання реконструкції, капітального та середнього поточного ремонту асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг та мостів, а також для ремонтів місць зупинок громадського транспорту і зон каналізаційних люків.



Рис. 4. Застосування ACM Adfors GlasGrid GG50 для виконання капітального ремонту автомобільної дороги М-03 Київ – Харків – Довжанський, 2019 рік



Рис. 5. Застосування ACM Adfors GlasGrid GG50 для виконання капітального ремонту просп. Космонавта Комарова (нині – Любломира Гузара) в м. Києві, 2019–2020 роки

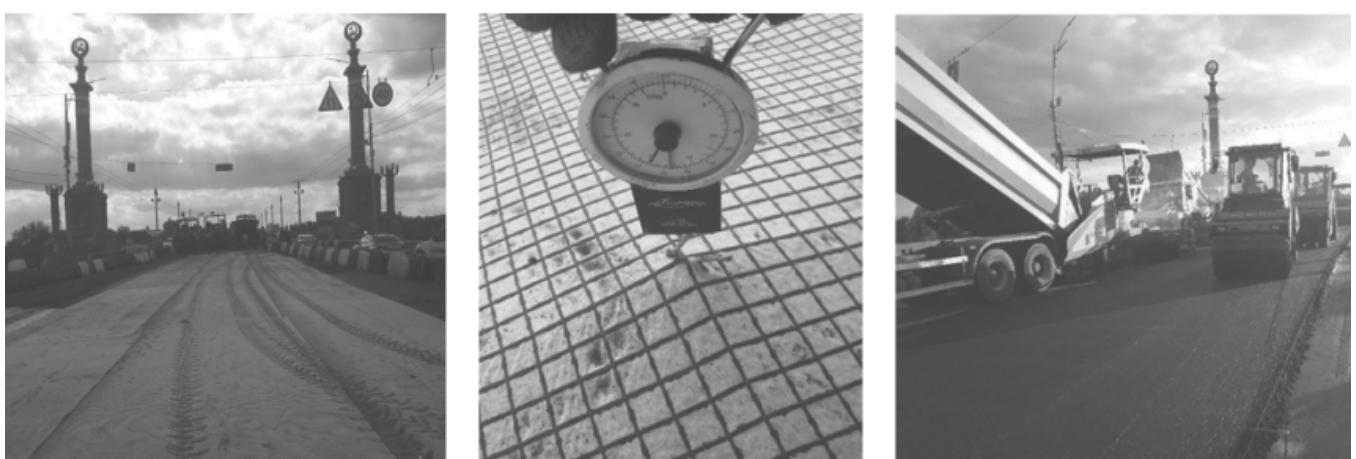


Рис. 6. Застосування ACM Adfors GlasGrid CG50L на фрезеровану поверхню нижнього шару асфальтобетону для виконання капітального ремонту на просп. Соборності в м. Києві, 2020 рік

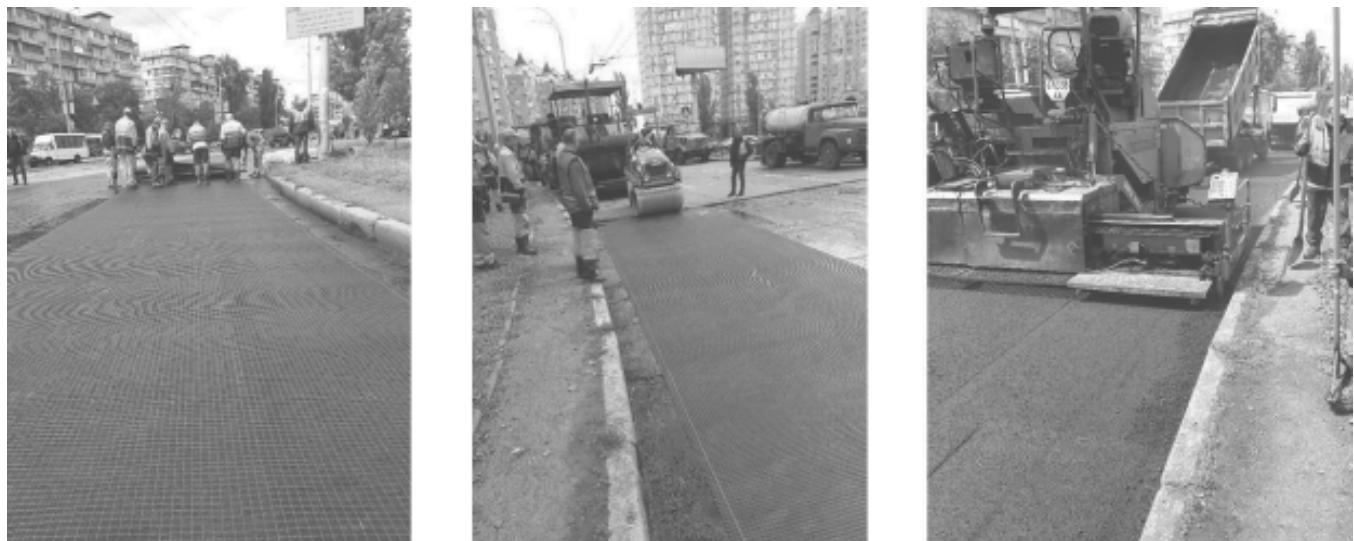


Рис. 7. Застосування ACM Adfors GlasGrid CG100 під верхнім шаром асфальтобетонного покриття для виконання поточного середнього ремонту вул. Олександра Архипенка в м. Києві, 2020 рік



Рис. 8. Застосування ACM Adfors GlasGrid GG50, GG100 ma CG100 під верхнім шаром асфальтобетонного покриття на Південному мосту в м. Києві, 2019–2020 роки



Рис. 9. Ремонт місць зупинок громадського транспорту в м. Києві із застосуванням ACM Adfors GlasGrid CG100, 2020 рік



Рис. 10. Застосування ACM Adfors GlasGrid PM100 для виконання ремонту зон каналізаційних люків у м. Києві, 2019–2020 роки

Література

1. Ладиженський І. С. Дослідження впливу армуючих сіток на температурну тріщиностійкість асфальтобетонних шарів. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Національний транспортний університет. № 70. Київ, 2004. С. 17-21.
2. Мозговий В. В., Смолянець В. В., Ладижинський І. С., Прудкий О. В. Уточнення розрахункових температур та інтенсивності руху при розрахунках дорожнього одягу міських вулиць і доріг. Безпека дорожнього руху України. Науково-технічний збірник. № 4 (19). Київ, 2004. С. 55-59.
3. Мозговий В. В., Бесараб О. М., Іщенко О. М., Ладиженський І. С. Обґрунтування вибору умови граничного стану для оцінки тріщиностійкості асфальтобетонних шарів при дії транспортного навантаження. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Національний транспортний університет. № 67. Київ, 2003. С. 59-68.
4. Савенко В. Я., Усиченко О. Ю. Методика розрахунку основ нежорстких дорожніх одягів армованих геосинтетиками. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Національний транспортний університет. № 58. Київ, 2000. С. 133-141.
5. Золотарев В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов. Издательство при ХГУ издательского объединения "Высшая школа". Харьков, 1977. 114 с.
6. Салль А. О. Исследование трещиноустойчивости чёрных покрытий на основаниях из малопрочных каменных материалов. Опыт службы дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями. Стройиздат. Москва, 1972. С. 8-38.
7. Radovsky B. S., Mozgovoy V. V. Ukrainian experience of system retarding reflecting cracking Reflective Crack in Pavements. Design and performance of overlay systems. Maastricht, 1996.
8. Радовский Б. С., Руденский Л. В. О связи между длительной и усталостной прочностью дорожно-строительных материалов. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Київ, 1975, С. 53-62.
9. Салль А. О. Механические свойства асфальтобетона при изгибе кратковременными нагрузками. Исследование органических вязущих материалов и битумоминеральных смесей для дорожного строительства. Союздорнии. № 34. Москва, 1969, С. 102-115.

References

1. Ladyzhens'kyj I. "Doslidzhennya vplyvu armuyuchykh sitok na temperaturnu trishchynostiykist' asfal'tobetonnykh shariv". Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo. Natsional'nyy transportnyy universytet. No. 70. Kyiv, 2004. P. 17-21.
2. Mozhovyy V., Smolyanets' V., Ladyzhyns'kyj I., Prudkyy O. "Utochnennya rozrakhunkovykh temperatur ta intensyvnosti rukhu pry rozrakhunkakh dorozhn'oho odyahu mis'kykh vulyts' i dorih". Bezpeka dorozhn'oho rukhu Ukrayiny. Naukovo-tehnichnyy zbirnyk. No. 4 (19). Kyiv, 2004. P. 55-59.
3. Mozhovyy V., Besarab O., Ishchenko O., Ladyzhens'kyj I. "Obgruntuvannya vyboru umovy hranychnoho stanu dlya otsinky trishchynostiynosti asfal'tobetonnykh shariv pry diyi transportnoho navantazhennya". Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo. Natsional'nyy transportnyy universytet. No. 67. Kyiv, 2003. P. 59-68.
4. Savenko V., Usychenko O. "Metodyka rozrakhunku osnov nezhorstkykh dorozhnikh odyahiv armovanykh heosyntetykami". Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo. Natsional'nyy transportnyy universytet. No. 58. Kyiv, 2000. P. 133-141.
5. Zolotarov V. "Dolgovechnost' dorozhnykh asfal'tobetonov". Izdatel'stvo pri KGU izdatel'skogo ob"yedineniya "Vysshaya shkola". Kharkiv, 1977. 114 p.
6. Sall A. "Issledovaniye treshchinoustoychivosti chornykh pokrytiy na osnovaniyakh iz maloprochnykh kamennykh materialov". Opty sluzhby dorozhnykh odezhds s asfal'tobetonnymi pokrytiyami. Stroyizdat. Moskva, 1972. P. 8-38.
7. Radovsky B., Mozgovoy V. "Ukrainian experience of system retarding reflecting cracking Reflective Crack in Pavements". Design and performance of overlay systems. Maastricht, 1996.
8. Radovskiy B., Rudenskiy L. "O svyazi mezhdu dlitel'noy i ustalostnoy prochnost'yu dorozhno-stroitel'nykh materialov". Avtomob'il'n' dorogi i dorozhn' bud'vnitstvo. Kyiv, 1975, P.53-62.
9. Sall A. "Mekhanicheskiye svoystva asfal'tobetona pri izgib'e kratkovremennymi nagruzkami". Issledovaniye organicheskikh vyazhushchikh materialov i bitumomineral'nykh smesey dlya dorozhnogo stroitel'stva. Soyuzdornii. No. 34. Moskva, 1969, P. 102-115.

АНАЛІЗ ПРИЧИН АВАРІЙНОГО РУЙНУВАННЯ МОСТУ ЧЕРЕЗ р. ЧОРТОМЛИК

ANALYSIS OF THE CAUSES OF ACCIDENTAL DESTRUCTION OF THE BRIDGE THROUGH r. CHORTOMLYK

Анотація. Представлено інформацію про аварійне руйнування прогонової будови мосту через р. Чортомлик. Викладено аналіз причин цього руйнування.

Ключові слова: автодорожній міст, аварія, вантажопідйомність, ферма Скугарєва.

Аннотация. Представлено информацию об аварийном обрушении пролетного строения моста через р. Чертомлык. Изложено анализ причин этого обрушения.

Ключевые слова: автомобильный мост, авария, грузоподъемность, ферма Скугарева.

Abstract. The information on emergency deterioration of the bridge span over the River Chortomlyk is presented. The analysis of the causes of this deterioration is stated.

Keywords: road bridge, accident, bearing capacity, the Skugarev girder.

Вступ

Вранці 20 травня 2020 року під час проїзду вантажівки по мосту через р. Чортомлик (біля с. Олексіївки Дніпропетровської обл.) сталася неприємна подія – аварійне руйнування прогонової будови мосту – **рис.1а**. На щастя, аварія обійшлася без людських жертв і на час написання цієї статті на місці зруйнованого мосту в надзвичайно короткі терміни вже збудовано новий, що є позитивним результатом розв'язання складної ситуації. Дослідження причин аварійного руйнування будівельних конструкцій завжди було підґрунттям для виправлення помилок та розвитку як будівельної практики, так і системи експлуатації. Саме тому доцільно проаналізувати причини руйнування прогонової будови та зробити відповідні висновки, щоб не допускати таких ситуацій.

Основна частина

Конструкція мосту. Міст через несудноплавну р. Чортомлик на км 206+925 дороги 2-ї категорії Н-23 збудований у 1955 році під нормативні (на той час) тимчасові навантаження Н-13 та НГ-60 із габаритом проїзду 6 м. Міст 8-мипрогоно-

вий (рис.1б), далі в тексті застосовано нумерацію опор від 1 до 9, починаючи з правого берега (з боку м. Кривого Рогу). Основні геометричні характеристики мосту:

- повна довжина 151, 92 м;
- поздовжня схема 9,3+6x21,6+9,8 (м);
- габарит мосту за ширину .Г7,9+2x1,0 (м).

Руслові прогонові будови (2-3,...7-8) розрізні з фермами мають кожна повну довжину близько 22,1 м за умови розрахункової довжини 21,6 м. Конструкція була запропонована на початку 50-х років минулого століття як типова для застосування в будівництві автодорожніх мостів у районах СРСР із помірним кліматом. За прізвищем їхнього розробника вони отримали назву: "ферми інж. Скугарєва". Головною їхньою перевагою була технологічність. Таврові пояси ферми утворені з прокатного двотавра №55 (за ОСТ 10016-39) шляхом поздовжнього розрізання по стінці. Розкоси та стійки виконані з прокатних спарених кутиків та з'єднані зі стінками таврових поясів на заклепках. Марка сталі – Ст-Зпс. Кожна пласка ферма уздовж має три заводські блоки, які за

розмірами та вагою доступні для легкого перевезення та монтажу з використанням стиків із накладками на заклепках. У просторову конструкцію ферми об'єднуються системою поздовжніх та поперечних в'язів.

Плита прогонової будови виконана зі збірних залізобетонних плит товщиною 180..200 мм та з вутами в зоні обпирання на пояси ферм. У поперечному перерізі є два блоки, які стикуються над центральною фермою. Уздовж прогонової будови – 16 рядів плит (по 2 в кожній панелі ферми). Проектний габарит проїзду становив 6,0 м із двома тротуарами по 0,75 м на консолях збірних плит.

Під час реконструкції мосту у 2006 році габарит збільшили до 7,9 м із двома консольними тротуарами по 1,0 м. На збірні плити, які вже на той час мали цілу низку дефектів, для їхнього підсилення поклали шар бетону товщиною близько 150 мм, поверх нього гідроізоляцію та асфальтобетонне покриття – **рис. 2.** Для підтриман-

ня консольних тротуарів були влаштовані поперечні ферми. В результаті реконструкції мосту початкова вага прогонової будови суттєво зросла – більше ніж на 80 т, до того ж без підсилення головних ферм.

Історія обстежень. Уперше паспорт мосту було складено у 2009 році за результатами обстеження, виконаного Дніпропетровським відділом ДП "ДерждорНДІ". Загальний технічний стан мосту у 2009 році оцінювався як обмежено працевздатний (4-й стан), рекомендувалося обмеження маси транспортних одиниць у колоні до 17 т за умови максимального навантаження на вісь до 12 т. Спеціальне обстеження та випробування мосту виконувалося у 2017 році ДП "УкрДПТІтрансбуд". За результатами цього обстеження, загальний технічний стан мосту оцінювався як обмежено працевздатний (4-й стан), рекомендувалося обмеження маси транспортних одиниць у колоні до 14 т за умови максимального навантаження на вісь до



Рис. 1а. Аварійне руйнування прогонової будови мосту під час проїзду вантажівки

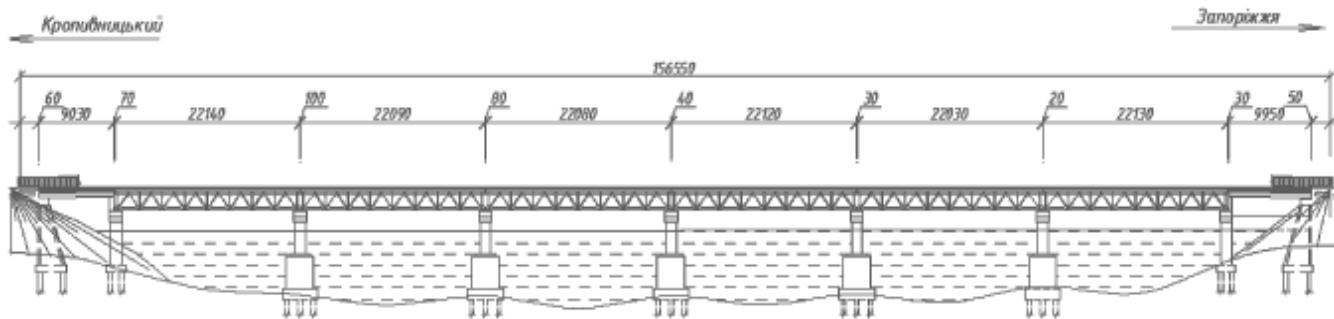


Рис. 1б. Загальний вигляд мосту

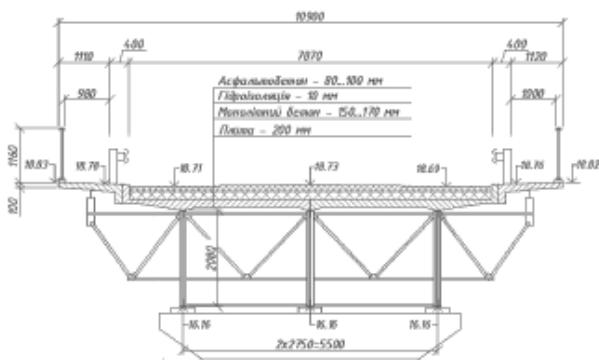


Рис. 2. Поперечний переріз

10 т, а також обмеження швидкості руху мостом до 30 км/год [1]. Чергове планове обстеження мосту на замовлення Служби автомобільних доріг Дніпропетровської області було розпочате ПСП "Мост-сервіс" у березні 2020 року. У квітні виконано модальний контроль та моніторинг напруженно-деформованого стану прогонової будови мосту під експлуатаційним навантаженням. За результатами модального контролю стан несних конструкцій усіх прогонових будов був практично однаковий. Під час одноденного моніторингу по мосту проїхало близько 50 вантажівок різного типу, зокрема завантажені "фури" та вантажівки Ford 3542 та Ford4142 з асфальтобетоном. Останні мали загальну масу близько 34 та 39 т відповідно. Замовнику було надано попередній звіт [2], завершальний звіт планувався до видачі у червні. У попередньому звіті відмічалося, що за відсутності дорожніх знаків щодо обмеження маси транспортних засобів по мосту фактично проходить рух транспорту з масою втричі більшою, ніж його фактична вантажопідйомність. На початку травня за ініціативи САД у Дніпропетровській області на підходах до мосту були встановлені тимчасові знаки про обмеження маси транспортних одиниць до 10 т, але за відсутності контролю з боку поліції вимоги цих знаків водіями не виконувалися – як результат аварійна ситуація під час проїзду фури загальною масою 36 т.

Характер руйнування ферми. Руйнування прогонової будови 4-5 відбулося під час проїзду по мосту п'ятитонної вантажівки загальною масою 36 т. Вантажівка рухалася верховою смугою проїзної частини (у напрямку на Кривий Ріг) зі швидкістю 30...35 км/год. Падіння прогонової будови почалося з опори 4 в момент зайду на цю опору передньої осі автомобіля. До удару задньої осі тягача в опору 4 (близько 0,3 секунди) автомобіль встиг повністю зайхати передньою віссю на про-

гонову будову 3-4. Після підняття конструкцій зруйнованої прогонової будови з води (рис. 3) було проведено їхнє обстеження. Встановлено, що руйнування несних елементів ферм спостерігається лише в крайній до опори 4 панелі.



Рис. 3. Підйом із води крайньої до опори 4 секції прогонової будови

Нижні пояси всіх ферм мають пластичні руйнування в крайньому до опори 4 вузлі з вигином елемента пояса до верхнього вузла (рис. 4, 5). Опорні стійки мають місцеві погнутості у вузлах кріплень. Верхні пояси – розриви перед крайнім до опори 4 вузлом із деформацією пояса вгору. У фасадних ферм розрив верхніх поясів відбувся на повний переріз. А от стінка тавра має гладкий розрив, характерний для руйнування у разі розвитку тріщини від крайньої кромки, пояси розірвані з утворенням ряду пластичних вузлів подібно до руйнування в розривній машині. У середній фермі пояс тавру не розірвався, а відділився від стінки (рис. 6). Опорний розкос верхової ферми має спільну деформацію спарених кутиків, окрім близької до нижнього вузла третини його довжини (рис.7). Опорний розкос середньої ферми також має спільну деформацію спарених кутиків, окрім близької до верхнього вузла третини його довжини. Кутики опорного розкосу низової ферми деформувалися роз'єднано, характер їхньої деформації вказує на втрату стійкості кутиків. Поперечні в'язі над опорою 4 мають деформації без розривів, окрім верхньої горизонтальної планки між середньою та низовою фермами, яка була розірвана. Жодне з'єднання на заклепках не має пошкоджень.

Аналіз процесу руйнування. Розрахункове моделювання різних варіантів руйнування прогонової будови та порівняння результатів із фактичними даними дало змогу встановити найбільш вірогідну картину руйнування.



Рис. 4. Стрілкою позначена деформація нижнього пояса верхової ферми



Рис. 5. Ділянка пластичного шарніру нижнього пояса низової ферми (тавр розрізано вже у процесі демонтування)



Рис. 6. Середня ферма, розрив верхнього пояса: а – стінка тавра; б – полка тавра; в – опорний розкос



Рис. 7. Стрілкою відмічена деформація опорного розкосу верхової ферми

Спочатку коротко оглянемо деякі особливості напруженого стану елементів крайньої до опори ферми. Опорний розкос сприймає майже всю опорну реакцію, що припадає на дану ферму, але жорсткі пояси також частково включаються в роботу зі сприйняттям частини опорної реакції. Ця частина досить мала – в межах 1-2%. На верхній пояс вона передається через опорну стійку, пояси працюють на згин і при цьому згинальний момент у крайньому вузлі верхнього пояса в декілька разів більший від моменту в крайньому вузлі нижнього пояса. Величина згинального моменту у верхньому поясі за нормальнюю роботи опорного розкосу далека від руйнівного, тому все нормальню. Опорний розкос складено з двох кутиків 130x90x8, які в трьох місцях з'єднані між собою зварними прокладками, що забезпечує їхній сумісний спротив, якщо стійкість втрачено. Розрахункове граничне зусилля на стиск для такого розкосу із врахуванням наявної корозії становить близько 72 т. Якщо ж кутики повністю роз'єднати, то кожен із них окремо витримає лише 29 т, тобто разом 58 т. Роз'єднання кутиків лише на частині довжини розкосу буде визначати критичну силу в інтервалі між 58 та 72 т. Зусилля, більше за критичне, призводить до деформації вигину розкосу і до збільшення частини опорного зусилля, яке передається на верхній пояс та викликає його згин. Розрахунки показують, що вже за декілька тон перевищення критичної сили на опорний розкос почнеться пластична деформація спочатку верхнього пояса, а за ним і нижнього пояса ферми. З певними зусиллями вони ще зможуть працювати у пружнопластичному режимі, але інтервал зростання навантаження (і відповідно опорної реакції) від початку деформації вигину опорного розкосу до розриву верхнього пояса дуже малий – усього декілька т. Відзначимо, що зусилля в опорному розкосі фасадної ферми від власної ваги у такому разі становить близько 50 т (загальна маса прогонової будови – 260 т), а обстеженням виявлено, що переважна більшість опорних розкосів усіх прогонових будов має роз'єднання кутиків: часткове чи за всією довжиною.

У цьому випадку руйнування відбувалося, очевидно, в такій послідовності.

1. З наближенням вантажівки до опори 4 збільшуються зусилля в опорних розкосах ферм та на момент аварії із врахуванням динамічного коефіцієнту досягають значень 12 т, 14 т та 9 т для верхової, середньої та низової ферм відповідно.

2. Над опорою 4, за результатами обстежень, були наявні глибокі вибоїни в асфальтобетонно-

му покрітті саме на верховій смузі руху, тому, якщо водій пригальмував, то зусилля, вказані в п. 1, будуть збільшені приблизно на 20%, тобто сумарно із зусиллям від постійного навантаження зусилля в опорному розкосі низової ферми перевищує на декілька т значення критичної сили за стійкістю роз'єднаних кутиків.

3. Очевидно, що кутики опорного розкосу низової ферми або були вже повністю роз'єднані, або остаточно роз'єдналися під час проїзду даного автомобіля. Опорний розкос низової ферми втрачає стійкість, що призводить до руйнування поясів даної ферми в крайній до опори 4 панелі.

4. Руйнування опорної ділянки низової ферми викликає різке зростання навантаження на дві інші ферми (верхову та середню), саме над якими перебуває вантажівка, що призводить до руйнування їхніх опорних панелей і падіння прогонової будови.

Причини аварійної ситуації. Причин, унаслідок яких сталося аварійне руйнування прогонової будови даного мосту, декілька, і саме тому їхній спільнний чинник викликає руйнування конструкцій саме на цьому мосту, хоча інші такої ж конструкції ще працюють. Перерахуємо причини цієї аварії:

1. Особливості конструкції ферм Скугарєва.
2. Помилки проектантів реконструкції 2006 року.

3. Недоліки системи експлуатації.

Тепер розглянемо кожну причину детальніше. Ферма Скугарєва має таку особливість: її елементи працюють як на поздовжні сили, так і на згин. Найбільш слабкими при цьому є розкоси, для яких у вузлах кріплення до нижнього пояса проявляється вигин, що сприяє прискореному роз'єднанню спарених кутиків. Запаси міцності, закладені під час проектування ферм даного типу в 1953-1955 рр., дозволяють експлуатувати їх навантаженням Н-13 та НГ-60 навіть із роз'єднаними кутиками розкосів, але лише за наявності проектного постійного навантаження. Про особливості ферм Скугарєва спеціалістам було відомо давно, обстеження мостів із такими прогоновими будовами рекомендувалося робити частіше, ніж інших [3].

Під час реконструкції мосту у 2006 році власна вага прогонової будови була збільшена на 80 т без підсилення несних конструкцій. Важко це зрозуміти, якщо взяти до уваги, що максимальне тимчасове проектне навантаження становить лише 60 т (НГ-60). За таких умов вантажопідйомність мосту після реконструкції заявлялася як

Н-30 та НК-80. Тут явно простежується недостатня кваліфікованість проектантів, і це не поодинокий випадок для України, коли поширення мосту накладною плитою виконується без належних розрахунків. Зрозуміло, що міст був приречений, і лише наявні запаси закладені у процесі його початкового будівництва дозволили ще так довго його експлуатувати. На сьогодні вимога обов'язкового проходження проектами реконструкції мостів експертизи [4] набагато зменшує ймовірність таких помилок.

Документація на реконструкцію в експлуатаційній організації відсутня. Під час складання первого паспорту споруди у 2009 році рекомендувалося обмеження маси транспортних засобів у колоні до 17 т. У 2017 році, за результатами спеціального обстеження та випробування мосту, рекомендовано обмеження маси транспортних засобів у колоні до 14 т. Навесні 2020 року через міст починають інтенсивно возити асфальтобетон для ремонту автодороги Нікополь – Дніпро, дорожні знаки про обмеження маси транспортних засобів відсутні – їх просто спиляли невідомі вандали. За результатами чергового планового обстеження у 2020 році ще до видачі завершального звіту, попереднім висновком рекомендується обмежити масу транспортних засобів і на початку травня перед мостом встановлюються знаки обмеження до 10 т, які ігноруються як водіями, так і поліцією. Закрити міст для руху транспорту експлуатаційна організація також не може – в нормативних документах така можливість хоч і передбачена, але чіткі критерії відсутні. В цій ситуації проявляється недолік взаємодії балансоутримувача мосту, який відповідає за безavarійну експлуатацію, та дорожньої поліції, яка контролює виконання водіями вимог дорожніх знаків. Дорожній знак стояв кілька тижнів, але патрульні ніби його й не бачили. Так, знак установлений іще до завершення погодження з поліцією, але ж ціна ігнорування цього факту – зруйнований міст. Необхідно прийняти більш чіткі інструкції взаємодії різних відомств у таких ситуаціях. Треба зауважити, що таку картину, коли через міст, перед яким зазначено про обмеження маси, скажімо, 15 т, проїжджають вантажівки вагою 30 т і більше, можна побачити в кожній області України. Причина полягає не тільки у відсутності об'їздів, а ще й у недовірі до правильності встановленого знаку, коли для мостів однакової конструкції та стану різні експерти рекомендують встановлення знаків обмеження, які різняться іноді більше ніж суттєво. Роз-

глянемо це на прикладі мостів, які експлуатуються і підібні зруйнованому.

Аналіз стану мостів за системою Скугарєва. В базу даних мостів Укравтодору [5] внесені дані щодо 24 мостів, прогонові будови яких виконані за системою Скугарєва (враховуючи загальну кількість облікованих мостів, можна говорити, що це приблизно половина від наявних). Усі вони збудовані в середині 50-х років минулого століття під навантаження Н-13 та НГ-60. Загальні дані щодо кожного з цих мостів приведені в табл. 1.

Як уже йшлося вище, всі ці мости мають однакові початкові характеристики вантажопідйомності та одинаковий вік, отже, слід було б очікувати і схожої інформацію в таблиці, однак це не так. Аналіз повної інформації, яка внесена в паспорти цих мостів, показує таке.

Про те, що прогонові будови системи Скугарєва, зазначено лише для двох мостів, інші представлені як "індивідуальна конструкція". Відповідно проектні навантаження для частини мостів визначені неправильно, до того ж у бік завищення. Матеріал прогонових будов слід було вказати

Таблиця 1

Дорога	КМ	Область	Матеріал	Проектне навантаження	Вантажність			Стан	Рік та виконавець
					в колоні	одиночне	на вісь		
O 021205	14+597	Вінницька	Ст.з.б	H13, НГ60	18		7	4	2015 ДерждорНДІ
P-17	137+568	Вінницька	Ст.з.б	H13, НГ60	13	30	7	5	2020 ДерждорНДІ
P-33	91+698	Вінницька	Ст.з.б	H13, НГ60	11	51	10	3	2008 ДерждорНДІ
P-33	97+598	Вінницька	Ст.з.б	H13, НГ60	10	48	10	3	2008 ДерждорНДІ
T-02-02	152+341	Вінницька	Ст.з.б	H13, НГ60	24	64	10	3	2008 ДерждорНДІ
C 041518	6+100	Дніпропетровська	Ст.з.б	H10, НГ60				5	2014 УкрДПТІтрансбуд
T-04-13	47+421	Дніпропетровська	Ст.з.б	H13, НГ60	17	40	12	4	2013 ДерждорНДІ
T-04-20	75+706	Дніпропетровська	Ст.з.б	H30, НК80				4	2013 ПДАБА
T-04-32	53+754	Дніпропетровська	Ст.з.б	H30, НК80	20	52	8	4	2016 УкрДПТІтрансбуд
T-04-32	83+773	Дніпропетровська	Метал	H10, НГ60	6	10	2.4	5	2020 Укртрансакад
C 050516	1+630	Донецька	Метал	H13, НГ60				3	2016 Мост-1
T-05-13	24+953	Донецька	Метал	A11, НК80				3	2016 Мост-1
H-08	655+467	Запорізька	Ст.з.б	H13, НГ60	13	60	10	4	2007 Мост-1
P-24	61+272	Івано-Франківська	Метал	H13, НГ60	15	54	18	3	2009 ТРІАДА
P-24	62+282	Івано-Франківська	Ст.з.б	H13, НГ60	15	54	18	3	2009 ТРІАДА
T-14-10	22+580	Львівська	Ст.з.б	H18, НК80	20	40	10	5	2020 ДерждорНДІ

Продовження таблиці 1

Дорога	КМ	Область	Матеріал	Проектне навантаження	Вантажність			Стан	Рік та виконавець
					в колоні	одиночне	на вісь		
T-14-24	4+062	Львівська	Метал	H30, НК80	27	77	18	4	2016 Дорцентр
T-15-06	93+357	Миколаївська	Ст.з.б	H13, НГ60	17	60	12	4	2014 УкрДПІТрансбуд
M-22	48+199	Полтавська	Ст.з.б	H10, НГ60	15	30	8	5	2014 ДерждорНДІ
P-44	41+021	Сумська	Ст.з.б	H13, НГ60				3	2016 Укрголовмостекспертиза
C 190132	1+100	Сумська	Ст.з.б	H30, НК80	29	76		2	2010 Сумський ВКП
P-46	21+967	Харківська	Ст.з.б	H13, НГ60	10	60		3	2013 ХНАДУ
P-71	273+896	Черкаська	Метал	H13, НГ60	25	70	15	3	2015 Дорцентр
O 251519	1+190	Чернігівська	Метал	H13, НГ60	13	60	13	4	2010 СК ГРУП

як метал, оскільки залізобетонна плита не включена в сумісну з фермами роботу, фактично для більшості вказаний матеріал – сталезалізобетон. Уже тільки це свідчить про різну кваліфікацію виконавців, що і проявляється в значеннях фактичної вантажопідйомності. В жодному паспорті не вказано про надмірне постійне навантаження (є спеціальна граfa у формі), отже, за умови однакового проектного навантаження та схожих дефектів їхня вантажопідйомність повинна бути однаковою. Відкинувшись один із мостів, який було відремонтовано з підсиленням до навантаження А-11, бачимо, що допустиме навантаження в колоні рекомендоване різними виконавцями (а значить, і відповідний знак обмеження маси) перебуває в інтервалі від 6 т до 29 т. Слід зауважити, що для даних прогонових будов визначальним (чинить більший вплив) є проектне навантаження НГ-60, а тому за умови зниження вантажопідйомності більшою мірою має знизитися величина ваги одиночного навантаження, ніж вага автомобіля в колоні. З таблиці видно, що частіше відбувається навпаки. Технічний стан прогонових будов, визначення якого повинно орієнтуватися на фактичну вантажопідйомність, теж має суттєвий розкид – від стану 2 до стану 5. Цілком очевидно, що у переважній більшості фактична вантажопідйомність визначена не розрахунком, а суб'єктивно, з орієн-

тацією лише на власний досвід, який, як бачимо, здебільшого недостатній для такої процедури. У такій ситуації більш чесно повелися ті виконавці, які зовсім не вказали вантажопідйомність (пусті клітинки в таблиці). Для невідомої конструкції та ще такої складної, як ферма, в межах облікової процедури, якою є паспортизація, визначити вантажопідйомність не завжди є можливим – це завдання спеціального обстеження, за результатами якого і будуть уже внесені в паспорт правильні дані. З цього короткого огляду бачимо суттєві недоліки системи обстеження мостів, як це було раніше і з проектними роботами. Очевидно, що слід ввести певний контроль результатів обстежень подібно до експертизи проектів. Найпростіше це організувати, застосувавши процедуру аналізу матеріалів обстеження перед внесенням інформації в базу даних мостів (АЕСУМ).

Висновки

1. Фізичною причиною руйнування прогонової будови мосту було значне перевантаження його тимчасовим навантаженням у вигляді вантажівки загальною масою 36 т, що в декілька разів перевищувало допустиму масу транспортних засобів у загальному режимі руху для цього мосту. Вимоги дорожнього знаку про обмеження маси транспортних засобів на ділянці мостового переходу ігнорувалися – як водієм цієї вантажівки, так і во-

діями інших вантажівок, що, за даними моніторингу, суцільним потоком рухалися через міст. Дорожня поліція у такій ситуації виконання вимог дорожнього знаку не контролювала.

2. Для упередження подібних аварійних ситуацій необхідно:

– на міжвідомчому рівні прийняти чіткі інструктивні вимоги щодо встановлення дорожніх знаків відповідно до фактичної вантажопідйомності мосту та контролю виконання їхніх вимог;

– провести позапланові обстеження мостів із прогоновими будовами системи інж. Скугарєва, особливу увагу приділити стану розкосів на предмет руйнування об'єднання їхніх спарених кутиків, за необхідності провести ремонтні роботи;

– у процесі внесення паспортних даних мостів у базу АЕСУМ проводити контроль правильності визначення вантажопідйомності мосту, обов'язково вимагати від виконавців розрахунок, який враховує фактичні постійні навантаження, геометричні характеристики перерізів та їхнє послаблення дефектами; за відсутності такого розрахунку відправляти звіти на доопрацювання;

– прискорити впровадження в практику єдиної методики визначення фактичної вантажопідйомності автодорожніх мостів із рекомендаціями щодо встановлення відповідних дорожніх знаків;

– для підвищення кваліфікації експертів із технічного обстеження будівель та споруд (особливо тих, які не мають спеціальної мостової освіти) організувати їхнє навчання зі здачею ек-

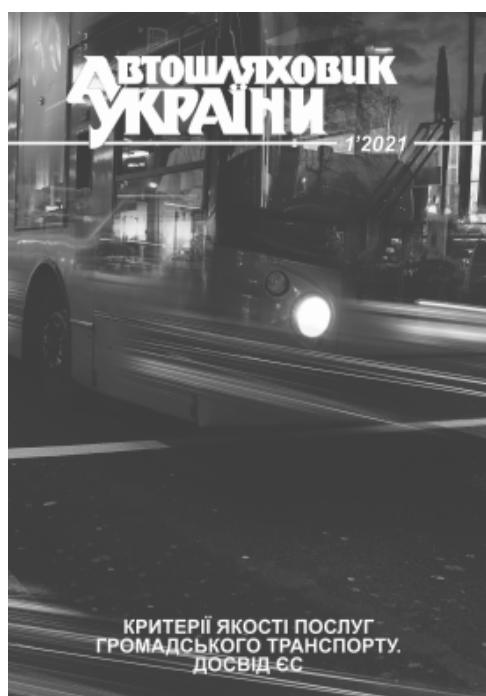
заменів, у виборі виконавця обстежень мостів перевагу віддавати експертам, які пройшли таке навчання.

Література

1. Технічний звіт за результатами обстеження та оцінки технічного стану моста через р. Чортомлик на а/д Н-23 Кіровоград – Кривий Ріг – Запоріжжя, км 242+730. ДП "УкрДПТІтрансбуд", Дніпро, 2017.
2. Технічний звіт "Послуги з комплексного спеціального обстеження та випробування мосту через р. Чортомлик на а/д Н-23, км.206+925. Етап 1: польові роботи, розрахунки та складання попереднього висновку". ПСП "Мост-сервіс", Дніпро, 2020.
3. П-Г.1-218-113-97 Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України. Укравтодор, 1997 р.
4. Закон України. Про регулювання містобудівної діяльності. 2011 р.
5. Аналітична експертна система управління мостами України (АЕСУМ). Укравтодор.

References

1. Tekhnichnyy zvit za rezul'tatamy obstezhennya ta otsinky tekhnichnoho stanu mosta cherez r. Chortomlyk na a/d N-23 Kirovohrad – Kryvyy Rih – Zaporizhzhya, km 242+730. DP "UkrDPTIttransbud", Dnipro, 2017.
2. Tekhnichnyy zvit "Posluhy z kompleksnoho spetsial'noho obstezhennya ta vyprobuvannya mostu cherez r. Chortomlyk na a/d N-23, km.206+925. Etap 1: pol'ovi roboty, rozrakhunki ta skladannya poperedn'o vysnovku". PSP "Most-servis", Dnipro, 2020.
3. P-H.1-218-113-97 Tekhnichni pravyla remontu ta utrymannya avtomobil'nykh dorih zahal'noho korystuvannya Ukrayiny. Ukravtodor, 1997.
4. Zakon Ukrayiny. Pro rehulyuvannya mistobudivnoyi diyal'nosti. 2011.
5. Analytychna ekspertna sistema upravlinnya mostamy Ukrayiny (AESUM). Ukravtodor.



РОЗПОЧАЛАСЯ ПЕРЕДПЛАТА НА ДРУГЕ ПІВРІЧЧЯ 2021 РОКУ

№ 3 (вересень), № 4 (грудень)

"Автошляховик України" – науково-виробничий журнал для фахівців автомобільного транспорту та дорожнього господарства, видається з 1960 року.

На сторінках часопису друкуються матеріали про сучасні технології, наукові дослідження та розробки, висвітлюються питання організації 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, через сайт: www.smartpress.com.ua або безпосередньо через редакцію часопису: www.journal.insat.org.ua

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

oboiko@insat.org.ua, +38 044 201-08-69

АНОНС: МІЖНАРОДНІ ВИСТАВКИ КОМУНТЕХ-2021 ТА ДОРТЕХЕКСПО-2021



КОММУНТЕХ



надбудови на шасі відомих брендів. На виставці виробник представить нові автогонщики та власні розробки: паливозаправники, самоскиди, інші спеціальні авто.

Цьогоріч ТМ "Геркулес" презентує грандіозну новинку – вантажний електротрицикл J-12. Електромотор потужністю 2200 Ватт. Акумулятор місткістю 120 Ah, якого вистачить на 50 км пробігу. Понижувальна передача для подолання крутых підйомів. Вантажність – 600 кг, відкидаються всі борти для максимальної зручності доступу. Система гальм – гідралічний привід на всі 3 колеса. Краще побачити на власні очі!

Свою першу участь у виставках підтвердили кілька компаній, серед яких "Європа Авто" – надійний експерт із постачання спецтехніки з Європи з 15-тирічним досвідом. На стенді компанії відвідувачі зможуть побачити високопродуктивний екскаватор-навантажувач BULL HD100 з двигуном Perkins (100 к. с.) і трансмісією ZF.

Для мінімізації тактильних контактів на виставці гостей запрошують реєструватися онлайн.

Усе, що стосується комфорту й безпеки, МВЦ організовує на найвищому рівні – це підтверджують численні відвідувачі та учасники. Тому сміливо приходьте й отримуйте цікавий досвід та задоволення від спілкування! До зустрічі на виставках!

Місце проведення:

Україна, м. Київ, Міжнародний виставковий центр,
Броварський проспект, 15, станція метро "Лівобережна"

Традиційно восени, а саме 19-21 жовтня 2021 року, Міжнародний виставковий центр запрошує відвідати комплекс виставок "ДорTexExpo" та "КомунTex" – насичений і масштабний демонстраційний майданчик, де представлені останні досягнення галузі.

Десятки компаній-виробників вдалися до апгрейду функціоналу свого обладнання або навіть до випуску нових продуктів. На відвідувачів очікують такі ключові гравці українського ринку, як ТМ "Геркулес", ТОВ "Глобус-авто", Завод спецтехніки "Техкомплект", "Альфатех" та багато інших. Кожному з них є чим здивувати!

Центр спецтехніки "Альфатех" – офіційний та ексклюзивний дистрибутор дорожньої і будівельної техніки всесвітньовідомих виробників. Розмаїття брендів, представлених компанією, вражає: корейська техніка Hyundai Construction Equipment та Retech, американська мінітехніка Bobcat і вантажні автомобілі Tatra, іспанська комунальна техніка AUSA тощо.

ТОВ "Глобус-авто" 15 років займається виготовленням і реалізацією прибиральних машин та обладнання, є ексклюзивним представником концерну Bucher (Швейцарія). Техніка компанії працює в різних містах України. Цього року відвідувачам презентують компактну підмітально-прибиральну машину CityCat, призначену для всесезонного утримання тротуарів, пішохідних зон, майданчиків та інших територій із твердим покриттям.

"Техкомплект" (Завод спецтехніки) забезпечує базове постачання техніки комунальним підприємствам, відомствам, силовим структурам, енергетичним підприємствам, установам охорони здоров'я, а також приватним особам та організаціям України. "Техкомплект" – повністю інтегроване підприємство, яке встановлює будь-який тип