ЗМІСТ

АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

Агарков О. В., Шевчук К. Я., Іванина Ю. І.
Європейська програма розробки допоміжних силових установок для автомобільного транспорту на базі твердооксидних паливних елементів 2

Федоров В. В., Яновський В. В., Ященко Д. М.
Однокамерний реактивний глушник шуму зі змінною частотною характеристикою 8

Черняк Р. Е., Дунь С. В., Павленко О. В.
Покращення техніко-експлуатаційних показників автомобілів-самоскидів КрАЗ великої вантажності 12

Войтків С. В., Курач Б. В., Нємий С. В.
Програма розвитку вітчизняного автобусо-, тролейбусо- та електробусобудування для потреб міських і приміських перевезень пасажирів (концепція) 22

Славін В. В.
Паливна характеристика автомобіля з несправними виконавчими елементами електронної системи керування двигуном 28

АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ

Редченко В. П.
Динамічні випробування мостів: нормативне забезпечення 32

Солодкий С.Й., Думич І. Ю.
Натурні випробування бетонних дорожніх покриттів 35

Маковська Ю.А.
Рівні обслуговування в довгострокових контрактах на поточний дрібний ремонт та утримання автомобільних доріг 39

Толмачов С. М.
До питання застосування пісних бетонів, ущільнюваних катками в основах доріг 45

Золотарьов В. О., Маляр В. В., Корюк В. П., Свінарьов М. О.
Визначення вмісту в щебені зерен пластинчатої форми за EN 933-3 51

Баран П. І., Буряк К. О.
Ефективні перехідні криві для транспортних споруд 55

УДК 629.06, 544.6

© **Агарков О. В.**, заступник завідувача відділу сертифікації колісних транспортних засобів;
© **Шевчук К. Я.**, завідувач відділу сертифікації колісних транспортних засобів;
© **Іванина Ю. І.**, в.о. провідного інженера (ДП «ДержавтотрансНДІпроект»)

ЄВРОПЕЙСЬКА ПРОГРАМА РОЗРОБКИ ДОПОМІЖНИХ СИЛОВИХ УСТАНОВОК ДЛЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ НА БАЗІ ТВЕРДООКСИДНИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Анотація. *В попередній статті ми розглядали перспективність використання енергетичних установок на базі твердооксидних паливних елементів (ТОПЕ) у ролі допоміжних силових установок для автомобільного транспорту [1]. В роботі був докладно розібраний досвід компанії Delphi (США) з розробки та втілення таких допоміжних силових установок для генерації електроенергії безпосередньо на борту вантажного автомобіля з дизельного пального. У цій статті розглянута аналогічна європейська програма з обладнання вантажівок екологічними та високоефективними силовими установками на базі ТОПЕ.*

Ключові слова: *автомобільний транспорт, допоміжна енергетична установка, твердооксидні паливні елементи.*

Аннотация. *В предыдущей статье мы рассматривали перспективность использования энергетических установок на твердооксидных топливных элементах (ТОТЭ) в качестве вспомогательных силовых установок для автомобильного транспорта [1]. В работе также был подробно разобран опыт компании Delphi (США) в разработке и внедрении таких вспомогательных силовых установок для генерации электроэнергии непосредственно на борту грузового автомобиля из дизельного топлива. В данной статье рассматривается аналогичная европейская программа по оборудованию грузовых автомобилей экологически чистыми и высокоэффективными силовыми установками на базе ТОТЭ.*

Ключевые слова: *автомобильный транспорт, вспомогательная силовая установка, твердооксидные топливные элементы.*

Abstract. *In previous paper we considered perspective of application of power plants based on solid oxide fuel cells (SOFC) as auxiliary power units for automobile transport [1]. In that paper we also considered in details an experience of Delphi (USA) in development and application of such auxiliary power units for electricity generation directly at vehicle from the diesel fuel. In current paper, similar European program for application of ecologically clean and highly-efficient power units based on SOFC in freight transport.*

Keywords: *automobile transport, auxiliary power units, solid oxide fuel cells.*

ВСТУП

У попередній статті нами докладно розглянуті переваги та недоліки технології твердооксидних паливних елементів (ТОПЕ). Показано, що технологія ТОПЕ є надзвичайно перспективною, оскільки ККД перетворення енергій вуглеводневого палива таких батарей значно перевищує аналогічний показник інших конкурентоспроможних технологій, таких як дизельні генератори, теплоелектричні елементи тощо [2,3]. Основною причиною отримання високого ККД є відсутність рухомих частин, які обов'язково присутні в машинних методах перетворення енергії. В умовах використання ТОПЕ енергія палива перетворюється на електроенергію безпосередньо – без проміжних станів. Очевидною перевагою технології також є модульність конструкції, тобто можливість створювати джерела енергії довільної потужності з однотипних базових блоків. Ще одна надважлива особливість технології ТОПЕ – екологічність, оскільки у випадку використання вуглеводневого палива єдиними продуктами роботи є вода та диоксид вуглецю. Для застосування в автомобільному транспорті досить істотною є перевага ТОПЕ порівняно з іншими видами паливних елементів: можливість безпосереднього використання вуглеводневого палива, зокрема дизельного без багатостадійної переробки та глибокої очистки, як, скажімо, у про-

тон-обмінних паливних елементів. Можливий так званий внутрішній риформінг, коли вся переробка палива проходить на анодному електроді ТОПЕ, так і неглибокий передриформінг, який не потребує складних агрегатів чи дорогих матеріалів.

У роботі показано, що технологія твердооксидних паливних елементів є надзвичайно перспективною з точки зору використання для генерації електроенергії безпосередньо на борту вантажних автомобілів. Вироблена електроенергія може бути застосована для роботи бортових електроприладів, які широко використовуються в сучасних вантажівках, особливо в призначених для транспортування вантажів на далекі відстані. Такий варіант генерації є особливо важливим в останні роки, оскільки в країнах Європейського Союзу та Сполучених Штатів набуває чинності заборона на використання штатного двигуна вантажівок під час нічних стоянок, коли водію потрібно використовувати бортові електроприлади. Саме тому в Сполучених Штатах активно розвивається державний проект розробки допоміжних силових установок на базі ТОПЕ для вантажних автомобілів, втіленням якого займається компанія Delphi. Перспективита технічні особливості продукту докладно розглянуті в попередній роботі [1].

Країни Європейського Союзу також запустили єдиний проект розробки автомобільної допоміжної силової установки на базі ТОПЕ, втіленням якого займається консорціум під координацією австрійської компанії AVL [4-6].

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Міжнародний консорціум з розробки допоміжної силової установки для вантажних автомобілів

Розробкою, виготовленням та тестуванням допоміжних силових установок на базі ТОПЕ для вантажних автомобілів займається міжнародний консорціум компаній, що працюють у країнах Європейського Союзу.

Серцем будь-якої силової установки на базі ТОПЕ є окремі паливні елементи. Для їхньої розробки та виготовлення до консорціуму запрошена датська компанія Topsoe Fuel Cell, розташована в Копенгагені, член групи компаній Haldor Topsoe. Вона має 20-річний досвід розробки ТОПЕ та систем на їхній основі, в її штаті працюють 115 кваліфікованих співробітників. Компанія отримує потужну підтримку з боку датської наукової лабораторії Riso Lab.

З метою мультиплікації напруги та потужності окремі ТОПЕ збирають у батареї з використанням біполярних колекторів струму, які також виконують функцію рівномірного розподілу газових сумішей: палива по площі анодного електроду, а також окисника по катодному. Конструкція колекторів повинна бути оптимізована з точки зору простої герметизації газових просторів, рівномірності розподілу температурних полів, струму, а також газових потоків. Науково-дослідний центр Forschungszentrum Juelich, розташований у Німеччині, виконує в консорціумі функцію розробника батарей ТОПЕ. Центр має понад два десятиліття досвіду розробок у цій галузі і блискучі результати.

Розробкою і моделюванням системи силової установки в цілому займається відома інжинірингова компанія J. Eberspacher GmbH & Co KG (Німеччина). Загальна координація, підготовка продукту для тестування та комерціалізації належить до компетенції австрійської компанії AVL, яка також виступає головною організацією у виконанні європейських науково-дослідних проектів.

Польове тестування готових продуктів бере на себе іще один член міжнародного консорціуму – шведська компанія Volvo. Під час виконання проекту ця всесвітньо відома організація, по-перше, надає консультації щодо технічних особливостей необхідного продукту, а по-друге, проводить польове тестування безпосередньо в умовах майбутнього використання. Крім того, шведи беруть участь у процесі доведення продукту до вимог ринку.

ОСНОВНІ ДАНІ ПРО ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ПРОЕКТ DESTA

Для розробки та втілення в життя допоміжних силових установок на базі ТОПЕ в Європейському Союзі запущений спеціальний науково-дослідний проект DESTA [7-8], метою якого є розробка та польові тести установок.

Для виконання проекту зібраний спеціальний міжнародний консорціум компаній, в який увійшли організації, що мають багаторічний досвід розробок у галузі:

Topsoe Fuel Cell, член групи компаній Haldor Topsoe, Копенгаген, Данія;
Forschungszentrum Juelich, Юліх, Німеччина;
J. Eberspacher & Co KG GmbH, Німеччина;
AVL, Австрія;
Volvo, Швеція.

Орієнтовний строк проекту становить 36 місяців, у разі необхідності закладено можливість розширення строку ще на півроку. Бюджет проекту – 9,8 мільйонів євро, 3,8 з них є власним внеском дослідницького центру Forshungszentrum Juelich.

Основні цілі проекту – демонстрація першої європейської допоміжної силової установки на базі ТОПЕ в роботі на вантажному автомобілі Volvo, тестування шести систем протягом одного року (3 в

Eberspacher і 3 в AVL), розробка оптимальної єдиної конструкції на основі результатів тестування в двох компаніях, загальний прогрес у розробці ТОПЕ, які працюють безпосередньо на дизельному паливі.

Технічні характеристики цільового продукту проекту DESTA представлені в *табл. 1.*

Отже, основними причинами, які мотивують європейські країни до запуску проекту DESTA, є і документи, що забороняють використовувати двигун під час довгої (більше п'ять хвилин) стоянки, збереження палива, зменшення викидів диоксиду вуглецю та зменшення шумності у процесі експлуатації автомобілів.

Допоміжна силова установка, встановлена на вантажівці, показана на *фото 1.*

Окремо внутрішня частина пристрою показана на *фото 2.*

ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ НА ТОПЕ

У процесі виконання проекту проведено економічний аналіз доцільності використання допоміжних силових установок на базі ТОПЕ для генерації електроенергії на борту вантажних автомобілів порівняно з допоміжними установками на базі дизельних двигунів [9].

Для економічного аналізу взяті вхідні дані, представлені в *табл. 2* (аналіз проведений у квітні 2013 року).

З таблиці видно, що вартість системи на ТОПЕ перевищує вартість аналога на базі дизельного генератора. Саме тому першим питанням, піднятим під час проведення економічного аналізу став період, після якого проект починає

Таблиця 1

Технічні характеристики цільового продукту європейського проекту DESTA

Максимальна електрична потужність	3 кВт
Теплова потужність	10 кВт
Паливо	Дизельне пальне
Орієнтовний життєвий цикл	>20 000 годин
ККД системи по електроенергії	35%
Об'єм системи	150 л
Маса системи	120 кг
Зменшення викидів CO_2 порівняно з використанням двигуна під час стоянки	75%
Час запуску системи	30 хвилин
Рівень шуму	65 дБ (А)

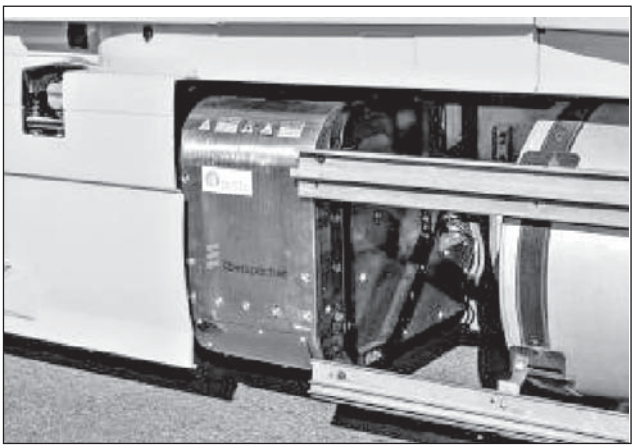


Фото 1. ***Допоміжна силова установка проекту Desta, встановлена на вантажівці***

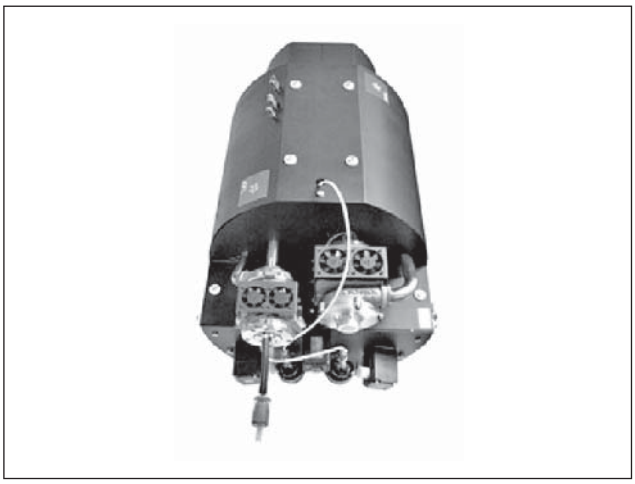


Фото 2. ***Внутрішня частина пристрою***

приносити прибуток. Було проведено порівняння з вартістю генерації електроенергії безпосередньо від двигуна, а також від допоміжної системи на базі дизельного генератора. Результати порівняння представлені в *табл. 3*. В другому стовпці зазначено час для порівняння системи на ТОПЕ з двигуном вантажівки, а в третьому – з допоміжним дизельним генератором.

Для випадку цін на пальне рівня квітня 2013 року проведений аналіз строку виходу проекту на прибутковість для різного часу стоянки вантажівки на тиждень. Результати представлені в аналогічній формі в *табл. 4.*

Основна мета втілення допоміжних систем на базі ТОПЕ – отримання можливості для водія відмовитись від використання кімнати в готелі для відпочинку за рахунок того, що він може вільно користуватися всіма необхідними електроприладами, розташованими безпосередньо на борту вантажного автомобіля. Саме цьому в процесі аналізу також проведено порівняння вартості використання допоміжної системи електропостачання на базі ТОПЕ з вартістю готелів. Аналізували випадки використання готелів протягом чотирьох та п'яти ночей на тиждень. Результати порівняння представлені в *табл. 5.*

Оцінка вартості розробки технології серійного випуску, валідації оптимальності роботи та сертифікації продукції становить 15,6 мільйонів €. Вартість запуску лінії з випуску продукції складає, приблизно, 2,6 мільйони. Ймовірна вартість одної допоміжної установки складає $12 000.

У процесі проведення аналізу розглянуто три сценарії залежності кількості випущених станцій від року роботи заводу: «консервативний», «збалансований», а також «агресивний» *(табл. 6)*.

Таблиця 2

Вхідні дані для проведення економічного аналізу доцільності використання допоміжних силових установок на базі ТОПЕ

Час стоянки на тиждень	30, 40, 50, 57.83 годин
Вартість дизельного пального	3.9-5.0 $/галон (3.9 $/галон = 0.79 €/л)
Потреба в пальному двигуна під час стоянки	0.75 гал./год.
Вартість допоміжної установки на ТОПЕ	$12 000 (€9 230)
Вартість допоміжної установки на дизельному генераторі	$10 000 (€7 700)

Таблиця 3

Час виходу проекту на генерування прибутку для різних цін на дизельне пальне

Вартість пального, $/галон	ТОПЕ порівняно з двигуном, років	ТОПЕ порівняно з допоміжним дизельним двигуном
3,9	1,62	1,63
4,25	1,50	1,52
4,5	1,41	1,43
5	1,27	1,29

Таблиця 4

Час виходу проекту на генерування прибутку для різного часу стоянки на тиждень роботи вантажівки

Час стоянки на тиждень, годин	ТОПЕ порівняно з двигуном, років	ТОПЕ порівняно з допоміжним дизельним двигуном
57.83	1,62	1,62
50	1,86	2,01
40	2,20	2,07
30	2,95	2,64

Таблиця 5

Результати порівняння вартості допоміжної системи на ТОПЕ та використання готелів

Вартість кімнати в готелі	Період виходу на прибутковість у випадку використання готелю чотири рази на тиждень, років	Період виходу на прибутковість у випадку використання готелю три рази на тиждень, років
$30	2,45	1,87
$40	1,72	1,33
$50	1,32	1,03
$60	1,07	0,84

Таблиця 6

Залежності кількості проданих станцій від року роботи заводу для трьох сценаріїв

Рік	Сценарій		
	Консервативний	Збалансований	Агресивний
1	3 000	5 000	8 000
2	3 500	7 000	15 000
3	4 500	11 000	20 000
4	6 500	16 000	22 000
5	8 500	19 000	22 000
6	10 000	20 000	22 000

Для оцінки часу виходу проекту на прибутковість використані різні оцінки вартості виробництва одиниці продукту, включаючи вартість ліцензування, а також адміністрування проекту. Оцінка вартості для різних сценаріїв залежно від року роботу виробництва представлена в *табл. 7.*

Для всіх комбінацій сценаріїв випуску продукції, а також собівартості виробництва була проведена оцінка часу виходу проекту на прибутковість. Результати розрахунків представлені в *табл. 8.*

Таблиця 7

Залежність вартості одиниці продукції від року роботи виробництва для різних сценаріїв

Рік	Собівартість		
	Нижча	Середня	Вища
1	$8 190	$9 100	$10 010
2	$7 605	$8 450	$9 295
3	$7 020	$7 800	$8 580
4	$6 727	$7 475	$8 223
5	$6 482	$7 202	$7 922
6	$6 482	$7 202	$7 922

Таблиця 8

Розрахунок терміну виходу проекту на прибутковість для всіх комбінацій сценаріїв випуску продукції, а також собівартості виробництва

Оцінка терміну виходу проекту на прибутковість, років		Сценарій		
		Консервативний	Збалансований	Агресивний
Собівартість	Нижча	1,30	0,83	0,51
	Середня	1,61	1,01	0,70
	Вища	2,01	1,30	0,98

Таким чином, з проведеного економічного аналізу доцільності можна зробити низку досить важливих висновків. Сценарій використання допоміжних силових систем електропостачання на базі ТОПЕ є надзвичайно сприятливим, період виходу на прибутковість становить 1-2 роки. Оскільки чинності набуває заборона на роботу двигуна автомобіля під час стоянки довше п'яти хвилин, на ринок повинні вийти альтернативні системи для електропостачання незалежно від основного двигуна.

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто досвід європейського консорціуму розробників допоміжних силових установок для вантажівок: від окремих паливних елементів до польових випробувань на вантажних автомобілях. Показано, що цей досвід є надзвичайно важливим – він дозволяє суттєво знизити витрати дизельного палива під час стоянок, викиди диоксиду вуглецю та продуктів неповного згоряння, а також шумність вантажівки під час стоянки. Також проведено економічний аналіз доцільності втілення результатів проекту. Розглянутий досвід є, безумовно, надзвичайно доречним і для України.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Агарков О. В., Шевчук К.Я.* Перспективи використання твердооксидних паливних елементів в автомобільному транспорті // «Автошляховик України», – 2015. – №4 (246) – с. 23.
2. *I. Burmistrov, D. Agarkov, S. Bredikhin, Yu. Nepochatov, O. Tiunova and O. Zadorozhnaya* Multilayered Electrolyte-Supported SOFC Based on NEVZ-Ceramics Membrane, ECS Transactions, Vol. 57, Iss. 1, 917–923 (2013)
3. *I.N. Burmistrov, D.A. Agarkov, F.M. Tsybrov, S.I.* Bredikhin Preparation of membrane-electrode assemblies of solid oxide fuel cells by co-sintering of electrodes, Russian Journal of Electrochemistry, Vol. 52, No. 7, pp. 669-677 (2016)
4. *J. Rechberger, M. Hauth, M. Reissig* AVL SOFC System Development and Testing, Fuel Cell Seminar 2012, Uncasville, CT, 7th of Nov. 2012
5. *J. Rechberger* SOFC APU Development at AVL Fuel Cell Seminar, Palm Springs, 18th of Nov. 2009
6. *J. Rechberger* Update of the AVL SOFC APU development program Fuel Cell Seminar 2015 18th of Nov. 2015
7. http://www.desta-project.eu/fileadmin/downloads/DESTA_website_press_release_Volvo_Eberspaecher_final.pdf
8. http://www.fch.europa.eu/sites/default/files/3.J.RECHBERGER-Desta%20(ID%20193102)%20(ID%20193326)%20(ID%20193799).pdf
9. *P. Prenninger, J. Rechberger, M. Reissig* Scenarios towards the Industrialization of SOFC APUs A3PS Conference 2013 October 3. – 4, 2013, Vienna

УДК 629.113/.115; 534.836.2; 621.43.65

© **Федоров В. В.**, к.т.н., доцент;
© **Яновський В. В.**, к.т.н., доцент;
© **Ященко Д. М.**, к.т.н., доцент (НТУ)

ОДНОКАМЕРНИЙ РЕАКТИВНИЙ ГЛУШНИК ШУМУ ЗІ ЗМІННОЮ ЧАСТОТНОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ

Анотація. *З шумом відпрацьованих газів борються за допомогою глушників шуму, зокрема й реактивних. За величиною акустичної ефективності реактивні глушники поступаються лише резонансним, але при цьому мають порівняно з останніми значно ширший частотний діапазон. Але нерідко і його замало. Враховуючи специфіку спектру шуму ДВЗ, розроблений однокамерний реактивний глушник, який має змогу автоматично змінювати свою частотну характеристику залежно від зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна.*

Ключові слова: *автомобіль, двигун внутрішнього згорання, відпрацьовані гази, шум, джерело шуму, акустична ефективність, шумоглушіння, реактивний глушник, резонансний глушник.*

Аннотация. *С шумом отработанных газов борються с помощью глушителей шума, в том числе и реактивних. По величине акустической эффективности реактивные глушители уступают только резонансным, но при этом имеют сравнительно с последними более широкий частотный диапазон. Но нередко и его не достаточно. Учиитывая специфику спектра шума ДВС, разработан однокамерный реактивный глушитель, который дает возможность автоматически менять свою частотную характеристику в зависимости от изменения частоты вращения коленчастого вала двигателя.*

Ключевые слова: *автомобиль, двигатель внутреннего сгорания, отработавшие газы, шум, источник шума, акустическая эфективность, шумоглушение, реактивный глушитель, резонансный глушитель.*

Abstract. *Silencers, including reactive ones, are used to compensate engine exhaust gases noise. The acoustic performance of reactive silencers concedes only to resonant ones. Although they have much wider frequency range. But often even this frequency range is not enough. Given the specificity of ICE noise spectrum, a single-chamber reactive silencer was developed. It can automatically change its frequency response depending on the rotation speed of the engine's crankshaft.*

Keywords: *vehicle, internal combustion engine, exhaust, exhaust gases, noise, noise source, acoustic efficiency, soundproofing, reactive silencer, resonant silencer.*

ВСТУП

Автомобільний транспорт має велике значення для народного господарства України. Проте йому притаманний і значний недолік – шум. Враховуючи той факт, що за останнє десятиліття в Україні відчутно зросла кількість автомобілів та щільність транспортних потоків, проблема шумового забруднення дедалі стає все більш актуальною. Особливо гострою вона є у містах. Тривала дія шуму викликає незворотну втрату слуху (туговухість), згубно впливає на нервову систему, шлунково-кишковий тракт, психіку людини, знижує гостроту зору, порушує діяльність серцево-судинної системи, знижує продуктивність праці, створює небезпеку нещасних випадків через невиразність звукових сигналів та нерозуміння усної мови. Тому боротьба з шумом автомобілів є нагальним питанням. Один зі способів зниження автомобільного шуму – підвищення акустичної ефективності глушників шуму відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

На сучасних автомобілях використовуються різноманітні глушники шуму відпрацьованих газів. Досить часто застосовують комбінацію з двох глушників, причому один із них створений на базі реактивного глушника.

Реактивні глушники здобули широку популярність завдяки двом своїм характеристикам: по-перше, порівняно високій акустичній ефек-

тивності; по-друге, у широкому діапазоні частот. Хоча, як показує практика, і такого діапазону буває замало.

Нами розроблений реактивний глушник, що не має недоліку, про який було згадано вище. Його довжина є допустимою за достатньо високої акустичної ефективності. Принциповою відмінністю від сучасних реактивних глушників є можливість змінювати габаритну довжину, а отже, й ефективну частотну смугу.

Розроблений реактивний глушник має такі основні складові *(рис. 1)*: вхідний *1* та вихідний *6* патрубки, порожнина глушника *2*, поршень *3*, рухома вихлопна труба *4*, механізм приводу *5* рухомої вихлопної труби. Відмінністю від загально прийнятих глушників реактивного типу є те, що розроблений нами глушник має задню стінку у вигляді поршня. Ця стінка (поршень *2*), рухаючись за допомогою механізму приводу *5,* змінює робочу довжину глушника. Через поршень *2* проходить вихлопна труба, тим самим забезпечує роботу глушника. При цьому робоча довжина глушника може змінюватись від мінімального значення l_{kmin} до максимального l_{kmax} (*рис. 2)*. Такий рух задньої стінки керується блоком керування (*на рис. 1* не показаний).

Частотна характеристика розробленого реактивного глушника шуму відпрацьованих газів ДВЗ наведена на *рис. 3.*

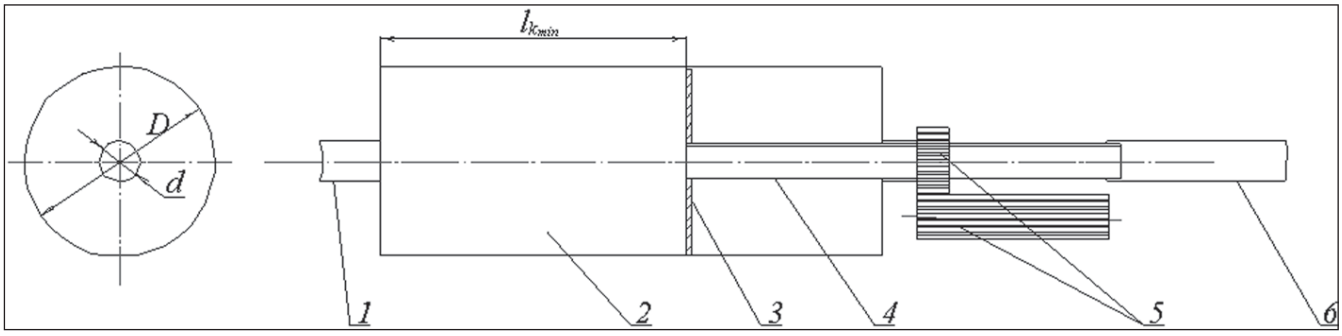


Рис. 1. ***Розроблений реактивний глушник шуму відпрацьованих газів ДВЗ*** *(мінімальна робоча довжина): 1, 6 – вхідний та вихідний патрубки відповідно; 2 – порожнина глушника; 3 – поршень; 4 – рухома вихлопна труба; 5 – механізм приводу рухомої вихлопної труби*

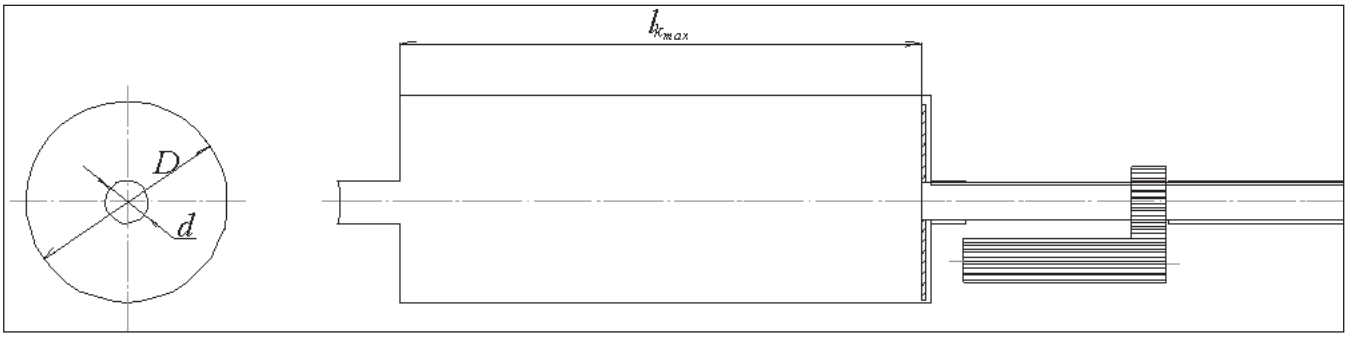


Рис. 2. ***Розроблений реактивний глушник шуму відпрацьованих газів ДВЗ*** *(максимальна робоча довжина)*

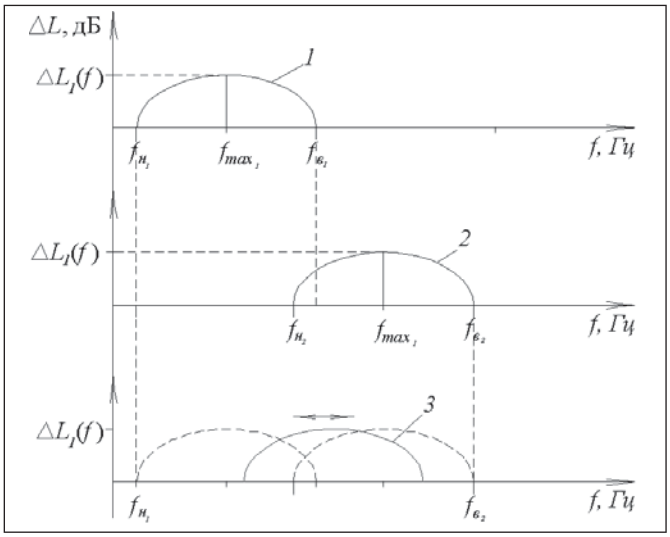


Рис. 3. ***Частотна характеристика розробленого реактивного глушника шуму відпрацьованих газів ДВЗ:***
1 – за мінімальної робочої довжини глушника l_{kmin};
2 – за максимальної робочої довжини глушника l_{kmax};
3 – частотна характеристика в процесі переміщення поршня

Розрахунок розробленого нами глушника має два етапи:

- розрахунок частотного діапазону дії глушника;
- розрахунок акустичної ефективності глушника.

1. Розрахунок частотного діапазону дії глушника

Зниження рівня шуму однокамерним глушником для першої гармоніки може бути визначене *за формулою [1]*:

$$\triangle L = 101\ g\left[1+\frac{(m-1/m)^2}{4}\sin^2 kl_k\right], \qquad (1)$$

де $m = \frac{S_{гл}}{S_{вихл}}$ – коефіцієнт розширення ($S_{гл}$– площа поперечного перерізу глушника, м^2;

$S_{вихл}$– площа поперечного перерізу вхідного патрубка);

$k = \frac{2\pi f}{c}$ – хвильове число, де f– частота випромінюваного шуму у відпрацьованих газах, Гц,

c – швидкість звуку в середовищі;

l_k– довжина камери розширення глушника, м.

Максимум акустичної ефективності глушника шуму настає *(див. фор-лу (1))* за частоти f_{max}:

$$\sin kl_k = 1 \Rightarrow kl_k = \frac{\pi}{2} + n\pi \Rightarrow \frac{2\pi f_{max}}{c} l_k =$$

$$= \frac{\pi}{2} + n\pi \Rightarrow f_{max} = \frac{1}{4}(\pi + 2n)\frac{c}{l_k}, \qquad (2)$$

де n = 0, 1, 2, 3 ... *N*.

Аналогічно, згідно з (1) мінімум акустичної ефективності глушника шуму настає за умови, що частоти $f_{min\,н}$ і $f_{min\,в}$ (для одного періоду):

$$\sin_{kl} = 0 \Rightarrow kl_k = 0 + n\pi \Rightarrow \frac{2\pi f_{min}}{c} l_k =$$

$$= n\pi \Rightarrow f_{min} = \frac{n}{2}\frac{c}{l_k}, \qquad (3)$$

Для $f_{min\,н}$ $n = 1$, тоді:

$$f_{min\,н} = \frac{1}{2}\frac{c}{l_k}, \qquad (4)$$

Для $f_{min\,в}$ $n = 2$, тоді:

$$f_{min\,в} = \frac{c}{l_k}, \qquad (5)$$

Частота, за якої мінімальна (теоретично дорівнює нулю) ефективність глушника, на *рис. 3* позначена як $f_{н1}$ та $f_{в1}$ ($f_{н2}$ та $f_{в1}$), оскільки такі позначення показують нижню та верхню межі частотного діапазону глушника.

Зробимо розрахунки для мінімальної та максимальної робочої довжин реактивного глушника.

Нехай мінімальна довжина глушника буде 0,5 м, а максимальна – 0,8 м: l_{kmin} = 0,5 м; l_{kmax} = 0,8 м.

Спочатку зробимо розрахунки для глушника з мінімальною довжиною робочої частини 0,5 м.

Згідно з *(4)* маємо:

$$f_{н\,0,5} = \frac{1}{2}\frac{c}{l_k} = \frac{1}{2}\frac{400}{0,5} = 400\ Гц.$$

Згідно з *(5)* маємо:

$$f_{в\,0,5} = \frac{c}{l_k} = \frac{400}{0,5} = 800\ Гц.$$

Згідно з *(2)* знаходимо частоту, при якій настає максимальна ефективність глушника:

$$f_{max\,0,5} = \frac{1}{4}(1+2n)\frac{c}{l_k} = \frac{3}{4}\frac{400}{0,5} = 600\ Гц.$$

Аналогічно зробимо розрахунки для глушника з довжиною робочої частини 0,8 м (l_{kmax} = 0,8 м).

Згідно з *(4)* маємо:

$$f_{н\,0,8} = \frac{1}{2}\frac{c}{l_k} = \frac{1}{2}\frac{400}{0,8} = 250\ Гц.$$

Згідно з *(5)* маємо:

$$f_{в\,0,8} = \frac{c}{l_k} = \frac{400}{0,8} = 500\ Гц.$$

Згідно з *(2)* знаходимо частоту, за якої настає максимальна ефективність глушника:

$$f_{max\,0,8} = \frac{1}{4}(1+2n)\frac{c}{l_k} = \frac{3}{4}\frac{400}{0,8} = 375\ Гц.$$

2. Розрахунок ефективності розробленого глушника шуму

Насамперед знаходимо значення *m (фор-ла (1))*. При цьому приймаємо: діаметр глушника *D* = 0,3 м, діаметр вхідного патрубка *d* = 0,06 м.

$$m = \frac{S_{гл}}{S_{вихл}} = \frac{D^2}{d^2} = \frac{0,3^2}{0,06^2} = 25.$$

Тоді маємо:

$$\triangle L_1 = 101\ g\left[1+\frac{\left(25-\frac{1}{}\right)^2}{4}\right] = 21,95 \approx 22\ дБ$$

З урахуванням вищенаведених розрахунків графік ефективності розробленого глушника *(рис. 3)* прийме конкретний вид *(рис. 4)*.

Ескіз розробленого реактивного глушника наведено на *рис. 5.*

Конструкцію розробленого реактивного глушника наведено на *рис. 6.*

Ця конструкція глушника була розроблена для автомобіля КрАЗ 5233НЕ «Шрек», багатоцільового броньованого автомобіля високої прохідності класу MPV (Mine Protected Vehicle) [2]. Він призначений для виконання завдань з оперативного транспортування особового складу, а

також вантажів та устаткування різного призначення *(рис. 7)*.

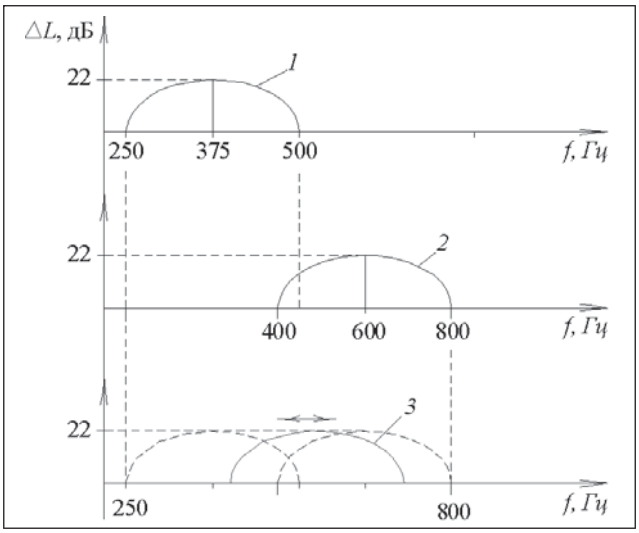


Рис. 4. ***Частотна характеристика розробленого реактивного глушника шуму відпрацьованих газів ДВЗ (діаметр глушника, діаметр вхідного патрубка):***
1 – за мінімальної робочої довжини глушника;
2 – за максимальної робочої довжини глушника;
3 – частотна характеристика глушника в процесі переміщення поршня

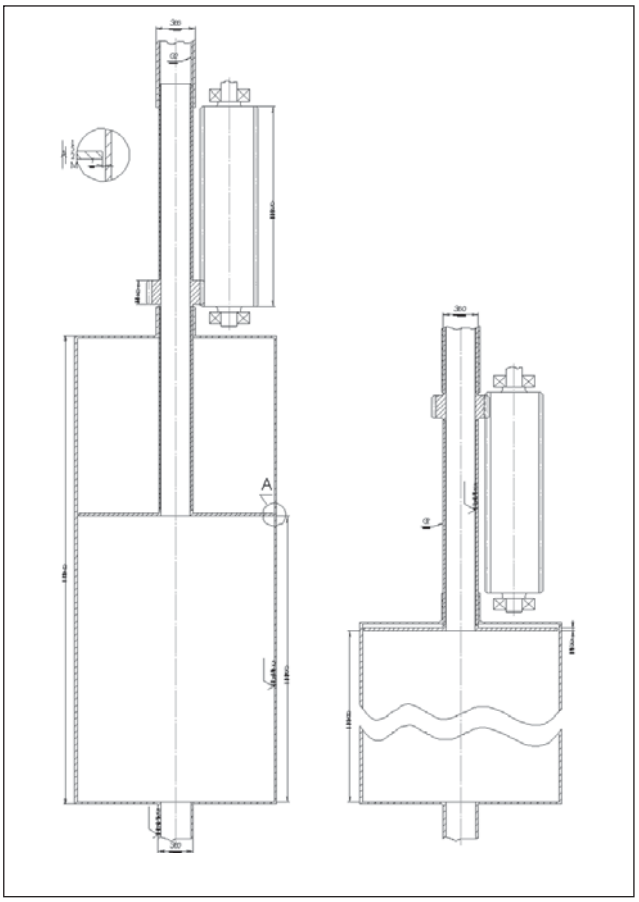


Рис. 6. ***Збірне креслення розробленого однокамерного реактивного глушника шуму відпрацьованих зазів ДВЗ***

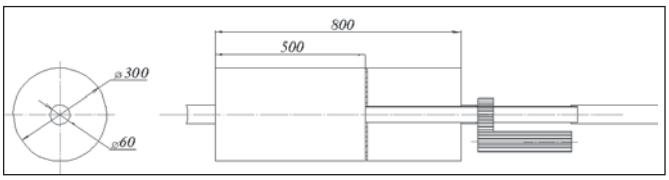


Рис. 5. ***Розроблений реактивний глушник шуму відпрацьованих газів ДВЗ***

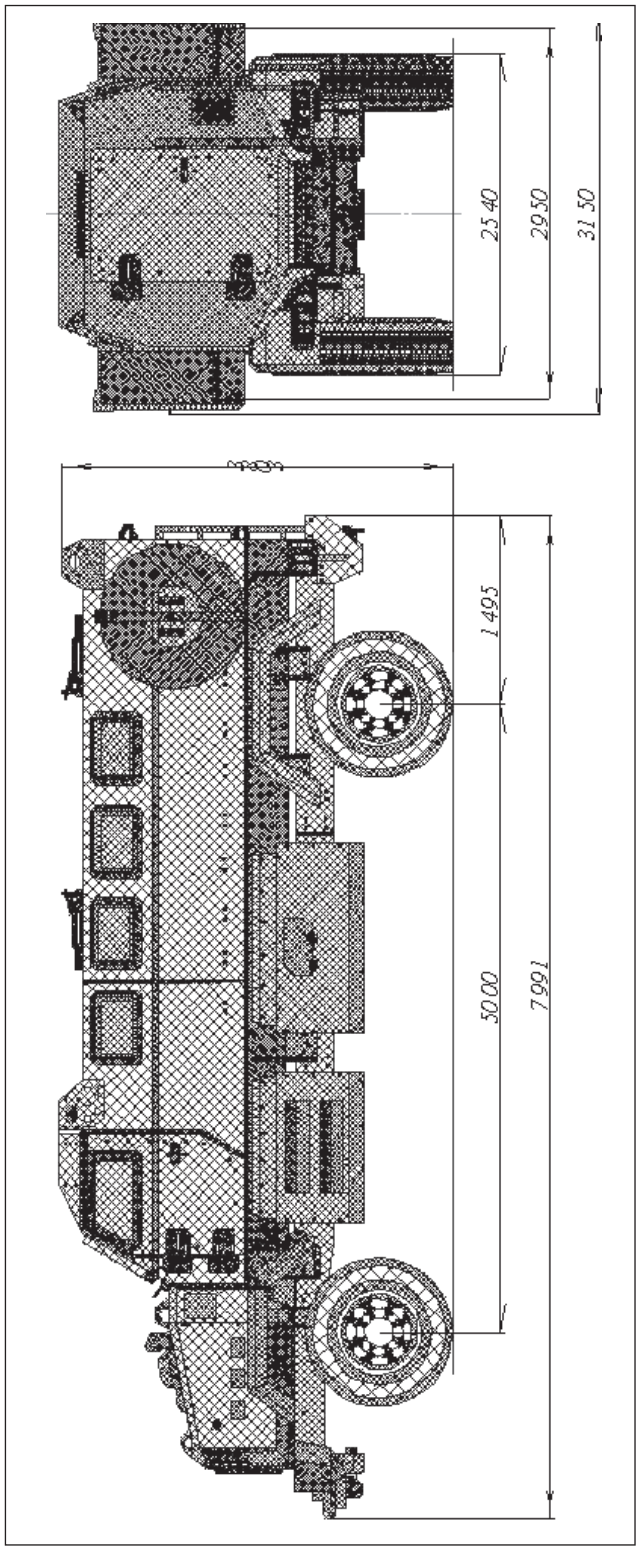


Рис. 7. ***Бронеавтомобіль КрАЗ 5233НЕ «Шрек»***

ВИСНОВКИ

Розроблений нами глушник має ефективність 22 дБ та частотний діапазон від 250 до 800 Гц. Такий широкий частотний діапазон за високої акустичної ефективності досягається за рахунок специфічної конструкції розробленого глушника: можливості змінювати робочу довжину глушника. Ця зміна відбувається синхронно зі зміною частоти обертання двигуна. Процес роботи глушника контролюється обчислювальною технікою. Завдяки такому глушнику можна значно знизити зовнішній шум автомобілів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Контроль шума в промышленности. Предупреждение, снижение и контроль промышленного шума в Англии. Под ред. Дж. Д. Вебба. Пер. с англ. под ред. канд. техн. наук Боголепова И.И. – Л.: Судостроение, 1981. – 312 с.
2. http://www.autokraz.com.ua/downloads/products/mil/armored/shrek.pdf.

УДК 629.3.016

© **Черняк Р. Е.** (ПрАТ «АвтоКрАЗ»)
© **Дунь С.В.,** канд. техн. наук (ПрАТ «АвтоКрАЗ»)
© **Павленко О.В.,** канд. техн. наук, доцент (КрНУ ім. М.Остроградського)

ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛІВ-САМОСКИДІВ КРАЗ ВЕЛИКОЇ ВАНТАЖНОСТІ

Анотація. *Проведено аналіз техніко-економічних показників автомобілів-самоскидів КрАЗ за результатами експлуатаційних випробувань та порівняно з аналогами. Обґрунтовано ефективність використання автомобілів-самоскидів КрАЗ у кар'єрах та в інших важких умовах експлуатації.*

Ключові слова: *автомобіль-самоскид, продуктивність автомобіля, техніко-економічні показники автомобіля.*

Аннотация. *Проведен анализ технико-экономических показателей автомобилей-самосвалов КрАЗ по результатам эксплуатационных испытаний и в сравнении с аналогами. Обоснована эффективность использования автомобилей-самосвалов КрАЗ в карьерах и других тяжелых условиях эксплуатации.*

Ключевые слова: *автомобиль-самосвал, продуктивность автомобиля, технико-экономические показатели автомобиля.*

Abstract. *The analysis of the technical and economic indicators dump trucks KrAZ the results of operational tests and compared to counterparts. The efficiency of the use of dump trucks KrAZ in quarries and other difficult conditions.*

Keywords: *dump truck, truck performance, technical and economic performance of the truck.*

ВСТУП

Розвиток автомобілебудування, зокрема вантажного, значною мірою визначає науково-технічний потенціал країни. Виробництво автомобілів створює робочі місця як в автомобілебудівній галузі, так і в суміжних галузях, що забезпечують виробництво необхідних матеріалів, заготівок, комплектуючих виробів тощо.

Великовантажні автомобілі вітчизняного або імпортного виробництва складають значну частку техніки, яка виконує важливу функцію у виробничих циклах багатьох галузей економіки держави. Незважаючи на складні економічні умови, в країні існує велика потреба в великовантажних автомобілях різної вантажності та призначення.

Ефективність використання великовантажних автомобілів залежить від досконалості їхньої конструкції та технічних характеристик, широкого діапазону моделей, які за своїми технічними показниками відповідають різноманітним умовам експлуатації, розвитку сервісної бази тощо.

В Україні є затребуваними великовантажні автомобілі-самоскиди, що працюють у складних умовах експлуатації в гірничодобувній галузі, на будівництві та ремонті доріг, в будівельній, аграрній та інших галузях. Максимальна вантажність автомобілів-самоскидів, які залучаються до робіт на дорогах загального призначення, обмежується нормативними вимогами, що встановлюють максимальну масу транспортних засобів та навантаження на осі [1]. Вантажність автомобілів, які працюють на відомчих дорогах, обмежується, в основному, їхніми технічними можливостями.

Таким чином, у багатьох галузях економіки існує потреба в великовантажних автомобілях-самоскидах з покращеними техніко-експлуатаційними показниками.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Вітчизняний виробник вантажних автомобілів з повним циклом виробництва ПрАТ «АвтоКрАЗ» традиційно має в своєму модельному ряді автомобілі-самоскиди різного виконання (за вантажністю, потужністю, колісною формулою, об'ємом платформи тощо). Високі технічні показники автомобілів-самоскидів КрАЗ забезпечують їхню надійну роботу в різних експлуатаційних умовах. Основні моделі самоскидів КрАЗ, які випускались за всю історію заводу, показано в *табл. 1.*

Таблиця 1

Модельний ряд автомобілів-самоскидів КрАЗ

Моделі самоскидів КрАЗ	Роки випуску	Основні технічні характеристики				
		Колісна формула	Двигун	Вантажність, т	Швидкість, км/год	Загальний вид
КрАЗ-222 «Дніпро»	1959 - 1966	6х4	ЯАЗ-М206А (6,9 л, 132 кВт)	10	47	
КрАЗ-256Б, КрАЗ-256Б1	1966-1994	6х4	ЯМЗ-238 (14,8 л, 176,5 кВт)	11	68	
КрА-6510	1992-2010	6х4	ЯМЗ-238М2 (14,8 л, 176,5 кВт, Є0-Є2)	13,5	80	
КрАЗ-65055, КрАЗ-65055-02	з 1997	6х4	ЯМЗ-238Д (14,8 л, 243 кВт, Є0-Є2)	16-18	90	
КрАЗ-65032, КрАЗ-65032-02	з 1997	6х6	ЯМЗ-238Д (14,8 л, 243 кВт, Є0-Є2)	13-17	80	
КрАЗ-65055-04, КрАЗ-65055-05	з 2014	6х4	ЯМЗ-6511 (11 л, 243 кВт, Є4-Є5)	18	90	
КрАЗ-5401С2	з 2015	4х2	220-243 кВт, Є4-Є5	10	90	
КрАЗ-6511С4	з 2014	6х4	265-294 кВт, Є4-Є5	20	90	
КрАЗ-7511С4	з 2015	6х4	294-301,5 кВт, Є4-Є5	26	90	
КрАЗ-7133С4	з 2016	8х4	265-294 кВт, Є4-Є5	26	90	

Аналіз інформації, викладеної в табл. 1, показує, що модельний ряд автомобілів-самоскидів КрАЗ розвивався в сторону підвищення вантажності та максимальної швидкості руху. Ці характеристики в кінцевому випадку визначають продуктивність самоскидів. Для забезпечення підвищених експлуатаційних показників застосовувалися більш потужні двигуни, підвищувався такий важливий показник, як об'єм самоскидної платформи та застосовувались автомобілі з колісними формулами 6х4, 6х6 та 8х4. Проведена в останні роки на підприємстві диверсифікація застосовуваних на автомобілях КрАЗ двигунів відомих світових виробників дозволяє в широкому діапазоні задовольнити потреби замовника, тому в *табл. 1* для новітніх моделей самоскидів КрАЗ марки та моделі двигунів не вказані.

Слід відзначити, що на підприємстві здійснюють спроби займати інші ринкові ніші, для чого освоєні моделі самоскидів КрАЗ з безкапотною кабіною, що дозволяє покращити маневреність автомобілів, та створені полегшені моделі самоскидів колісної формули 4х2. Виразною тенденцією розвитку самоскидів КрАЗ є забезпечення комфортних умов роботи водія, для цього пропонуються кабіни різноманітного виконання.

Найбільш прийнятних техніко-експлуатаційних показників вдалося досягти на новітній моделі автомобіля-самоскида КрАЗ-7511С4 *(рис.1)*, основні технічні характеристики якого порівняно з аналогами вказано в *табл. 2.*

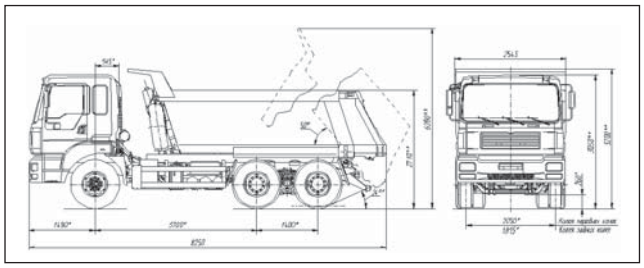


Рис. 1. ***Основні габаритні розміри автомобіля-самоскида КрАЗ-7511С4***

Метою розробки автомобіля КрАЗ-7511С4 є створення сучасного, надійного, продуктивного, економічного самоскида для перевезення сипучих та навалочних вантажів, з оптимальним розподіленням маси по осям автомобіля, з підвищеною маневреністю. Автомобіль відповідає усім сертифікаційним вимогам, які діють в Україні, за екологічним класом двигуна, рівнем зовнішнього та внутрішнього шуму, ефективністю гальмівної системи, застосованою світлотехнікою та іншими обов'язковими вимогами.

Автомобіль призначається для експлуатації в кар'єрах, на будівельних майданчиках, на дорогах з удосконаленим покриттям, а також у загальній мережі доріг України з навантаженням на задній візок до 16,0 т.

За своїми технічними характеристиками автомобіль-самоскид КрАЗ-7511С4 перебуває на рівні аналогів. Вказана в *табл. 2* орієнтовна ціна автомобілів значною мірою залежить від затрат на виробництво та ціновою політикою виробника (продавця). Вартість утримання автомобілів в експлуатації (витрати на технічне обслуговування, ремонт, запчастини, пально-мастильні матеріали тощо) вимагає окремого дослідження.

Підприємство провело експлуатаційні випробування одного з дослідних зразків автомобіля-самоскида КрАЗ-7238С4 (попередника моделі КрАЗ-7511С4) порівняно з іншими моделями автомобілів-самоскидів в умовах ВАТ «Полтавський ГЗК». Самоскиди були задіяні для вивезення розкривних порід перед початком робіт з добування корисних копалин. Мета випробувань полягала у порівнянні рівня продуктивності самоскидів КрАЗ-65055, КрАЗ-7238С4, SHAANXI SX3255DR384C та FAW CA3252. Основні технічні характеристики цих моделей автомобілів представлено в *табл. 3*. Дослідний зразок самоскида КрАЗ-7238С4 мав у своєму складі двигун потужністю 275 кВт, платформу об'ємом 14 м^3, передавальне число головної передачі $i_{гп}$=6,56.

Аналіз параметрів автомобілів-самоскидів, які проходили порівняльні експлуатаційні випробування в Полтавському ГЗК, показує, що самоскид КрАЗ-65055 має найменші об'єм платформи і вантажність. При цьому він досягав найбільших значень максимальної експлуатаційної швидкості. Краща продуктивність може бути досягнута у разі його руху по дорогах із твердим покриттям за рахунок більшої сталої швидкості. Дослідний зразок самоскида КрАЗ-7238С4 має найбільшу вантажність і потужність двигуна. Проте, маючи найбільше значення передавального числа головної передачі і прискорювальну вищу передачу КПП, цей самоскид має найменшу максимальну швидкість. З цієї причини його використання на дорогах загального користування менш ефективне. Автомобілі-самоскиди SHAANXI та FAW за рахунок досить великих значень вантажності, об'єму платформ та максимальної швидкості мають прийнятні експлуатаційні показники на дорогах загального призначення.

Під час проведення експлуатаційних випробувань автомобілів-самоскидів у зимовий період протягом 18-и днів здійснювалася фіксація таких параметрів – добовий пробіг, кількість ходок, довжина маршруту (плече), загальна маса перевезеного вантажу, витрата палива, температура навколишнього середовища тощо. Середня довжина маршруту за робочу зміну склала: для КрАЗ-65055 – 2,48 км, для КрАЗ-7238С4 – 2,92 км, для Shaanxi – 2,48 км, для FAW – 2,56 км. За отриманими даними про-

Таблиця 2

Порівняльна таблиця технічних характеристик великовагового самоскида КрАЗ-7511С4 та його зарубіжних аналогів

Технічна характеристика автомобіля	КрАЗ - 7511С4 (Україна)	Аналоги		
		IVECO IVECO-AMT 653901 (Італія-РФ) [2]	КАМАЗ-6520 (РФ) [3]	МАЗ-6501V6-520-001 (Білорусь) [4]
Колісна формула	6х4	6х4	6х4	6х4
Повна маса, кг	40200	---	33100	33500
Вантажність, кг	26000	25000	21000	20425
Маса спорядженого автомобіля, кг	14200	--	11740	13075
Тип двигуна, екологічний рівень	ДР6НО, Євро-5	ДР6НО, Євро-5	ДР6НО, Євро-5	ДР6НО Євро-5
Номінальна потужність двигуна, кВт (хв⁻¹)	294 (1900)	309 (-3--)	294 (---)	235 (---)
Максимальний крутний момент, Н·м (хв⁻¹)	1920 (1200)	---	---	---
Максимальна швидкість, км/год	85,0	---	---	85
База, мм	3400+1400	3500+1390	4600+1440	---
Об'єм кузова, м³	16,0	15,0	33	12,5 (15,4)
Позначення шин	Michelin 385/65R22,5	--- 12.00R20	--- 12.00R20	--- 315/80R22.5
Питома потужність автомобіля, кВт/т	7,31	---	8,88	7,01
Питома вантажність автомобіля, кг/кг	1,83	---	1,79	1,56
Орієнтовна ціна, у.о.	договірна	129 700	95 000	договірна

Таблиця 3

Основні технічні характеристики автомобілів-самоскидів, які проходили експлуатаційні випробування в Полтавському ГЗК

Параметр автомобіля	Автомобіль-самоскид			
	КрАЗ-65055	Дослідний зразок КрАЗ-7238С4	Shaanxi SX3255DR384C	FAW CA3252
Маса споряджена, т	12,275	13	11,2	14,5
Маса повна, т	28,35	39	37,5	32,25
Вантажність, т	16	26	25	18
Об'єм платформи, м³	10,5	14	19,3	18,6
Потужність двигуна, кВт	243	275	247	228
Кількість передач у КПП	8	9	9	9
Передавальні числа КПП	7,30; 4,86; 3,50; 2,48; 2,09; 1,39; 1,00; 0,71	13,96; 7,47; 5,28; 3,82; 2,79; 1,95; 1,38; 1,00; 0,73	12,42; 8,29; 6,08; 4,53; 3,36; 2,47; 1,81; 1,35; 1,00	12,42; 8,29; 6,08; 4,53; 3,36; 2,47; 1,81; 1,35; 1,00
Передавальне число головної передачі	8,173	6,56	5,26	4,8
Максимальна швидкість, км/год	100	70	77	90

ведена порівняльна оцінка ефективності роботи чотирьох моделей самоскидів за такими параметрами: загальна маса перевезеного вантажу, експлуатаційна витрата палива, добовий пробіг. Результати експлуатаційних випробувань автомобілів-самоскидів КрАЗ-65055, КрАЗ-7238С4, Shaanxi та FAW узагальнено на *рис. 2* та *табл. 4.*

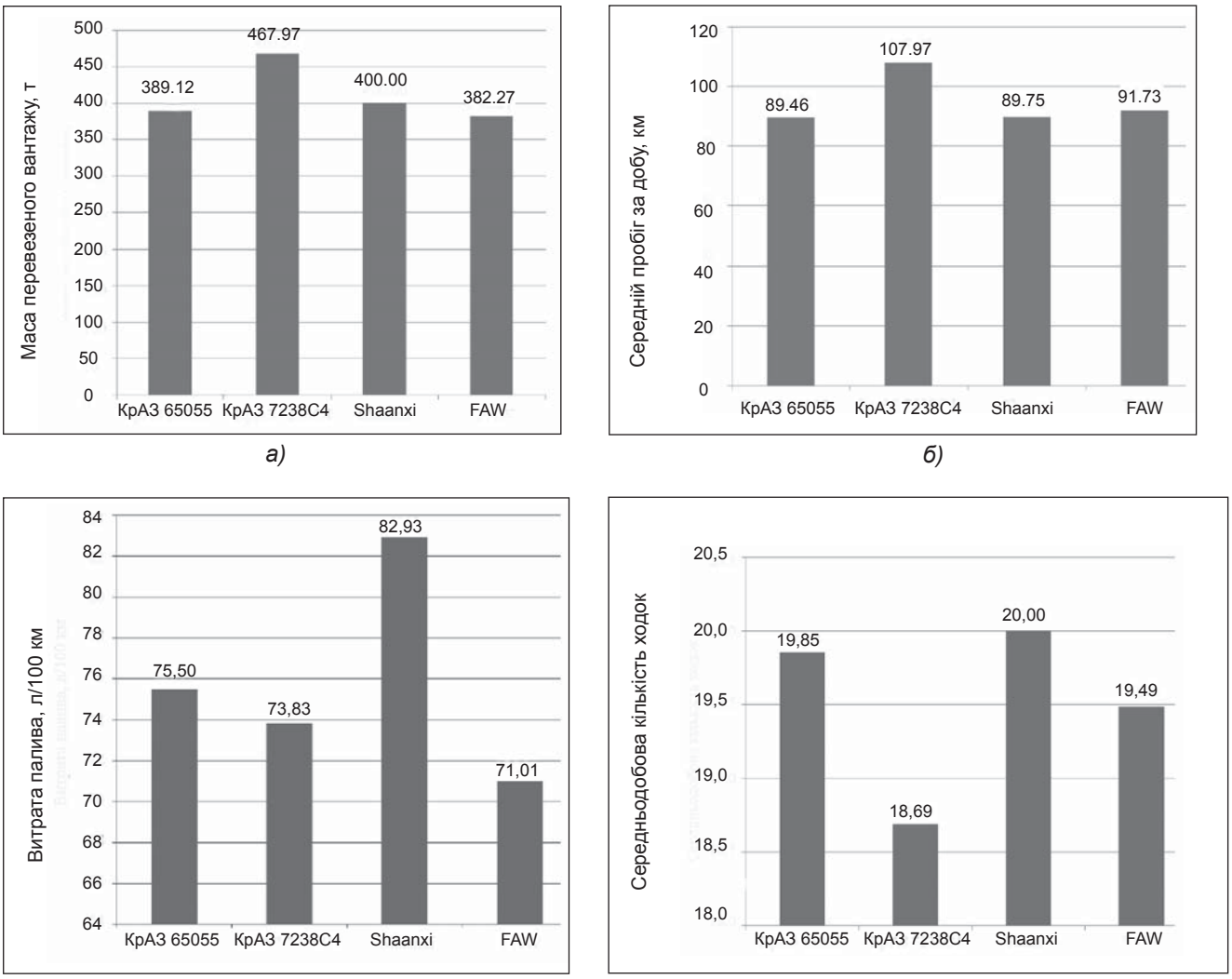


Рис. 2. ***Результати експлуатаційних випробувань автомобілів-самоскидів КрАЗ-65055, КрАЗ-7238С4, Shaanxi та FAW:***
а – середньодобова кількість перевезеного вантажу;
б – середньодобова величина пробігу самоскидів;
в – середня експлуатаційна витрата палива самоскидів за період випробувань;
г – середньодобова кількість ходок.

Таблиця 4

Середньодобові значення пробігу і кількості ходок за результатами експлуатаційних випробувань автомобілів-самоскидів

Автомобіль	Середньо-добовий пробіг, км	Середньодобова кількість вантажу, т	Середньодобова кількість ходок
КрАЗ-7238С4	107,968	467,968	18,687
Shaanxi SX3255DR384C	89,75	400	20
КрАЗ-65055	89,463	389,122	19,853
FAW CA3252	91,729	382,2703	19,48649

Самоскид КрАЗ-65055 має найменшу вантажність, але перевозить за зміну дещо більше вантажів ніж самоскид FAW, вантажність якого більша на 2 т. Автомобіль КрАЗ-65055 має найбільшу енергоозброєність і за кількістю ходок і пробігу за добу мало поступається лідеру Shaanxi. Витрата палива у нього більша ніж у КрАЗ-7238С4 (73,83 л/100 км) та FAW (71,01 л/100 км). Найбільша ви-

трата палива у самоскида SHAANXI (82,93 л/100 км) при середній кількості перевезеного вантажу за зміну (400 т), що робить його невигідним.

Самоскид FAW CA3252, маючи найбільшу максимальну швидкість, але помітно меншу вантажність, перевіз найменшу кількість вантажу. При цьому середньодобові значення пробігу і кількості ходок мало відрізняються для Shaanxi SX3255DR384C, КрАЗ-65055, FAW CA3252. Тому визначальними параметрами кар'єрного самоскида можна вважати вантажність і потужність двигуна. Остання буде суттєво впливати на середню швидкість самоскида на технологічній дорозі з більшим коефіцієнтом опору коченню.

Оскільки самоскид FAW CA3252 має найменшу потужність двигуна і найменше передавальне число головної передачі, то можна дійти висновку про те, що цей самоскид має інше призначення, ніж перевезення вантажів у кар'єрі. Для такого автомобіля рекомендовано більшу частину маршруту рухатися по дорозі з асфальтобетонним покриттям.

Значення передавального числа головної передачі також впливає на середню швидкість автомобіля. Але самоскиди експлуатувалися на технологічних дорогах з більшим опором коченню і значною нерівністю. Тому на такій дорозі рух з великими швидкостями (70 км/год і вище) буде малоймовірним з причини дотримання вимог безпеки і плавності руху. У таких умовах автомобілі з більшою потужністю і більшим передавальним числом головної передачі будуть більш ефективними.

Оцінимо здатність самоскида рухатись по дорозі з підйомом. Прийнято, що самоскид рухається з повною подачею палива з постійною швидкістю по технологічній дорозі, якою, по суті, є утрамбований щебінь. Тому, для розрахунків прийнято коефіцієнт опору кочення f_0=0,025. Побудована динамічна характеристика дослідного зразка самоскида КрАЗ-7238С4, на яку нанесено криві дорожнього опору ψ за різних кутів підйому дороги (від 0° до 5°) (див. *рис. 3*).

З динамічної характеристики видно, що за умови повного завантаження самоскид КрАЗ-7238С4 буде рухатися по горизонтальній дорозі на вищій передачі зі швидкістю 70,1 км/год. Рухатися на підйом в 1° самоскид буде на 8-й передачі зі швидкістю 52,8 км/год. Для того, щоб рухатися на підйом 2°, 3° і 4°, треба задіяти 7 і 8 передачі. Рух по дорозі з підйомом більше 1° буде нераціональним з причини невисокої швидкості і завеликої витрати палива. Залежність максимально можливої швидкості руху самоскида КрАЗ-7238С4 на дорогах з різним кутом підйому θ показана на *рис. 4а*. На *рис. 4б* показана відповідна витрата палива за умови усталеного руху.

Визначимо продуктивність самоскида КрАЗ-7238С4, припустивши, що водій, намагаючись отримати найбільшу продуктивність, вибере максимальну можливу швидкість руху 70,1 км/год. Розрахунок продуктивності виконано за умов, що самоскид після завантаження почне розганятися

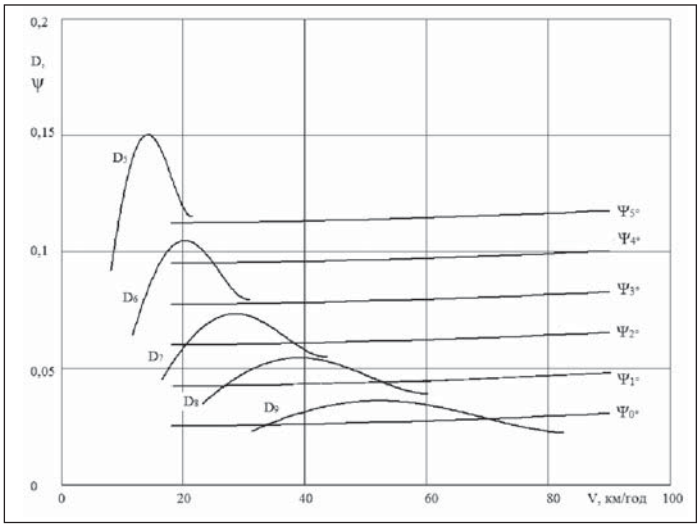
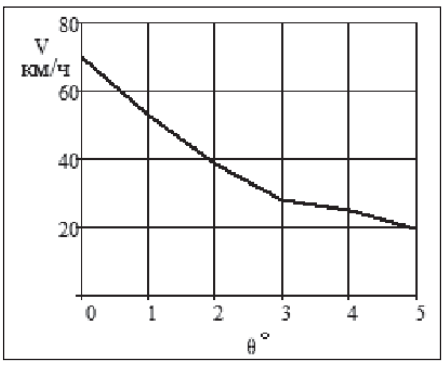
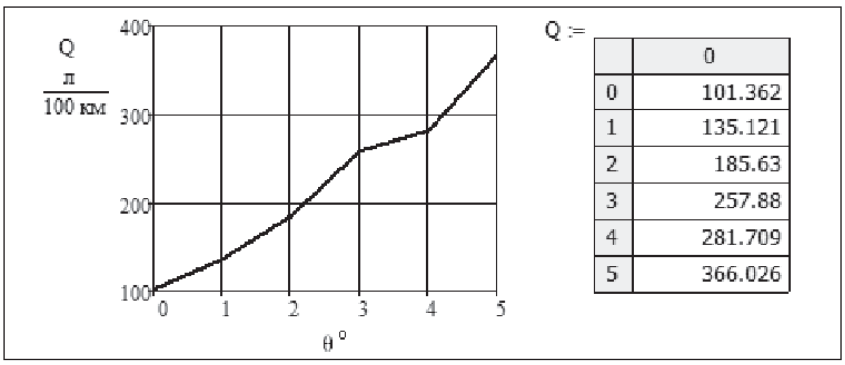


Рис. 3. ***Динамічна характеристика автомобіля-самоскида КрАЗ-7238С4***



а)



	0
0	101.362
1	135.121
2	185.63
3	257.88
4	281.709
5	366.026

б)

Рис. 4. ***Значення:***
а – максимально можливої швидкості руху; б – витрати палива при усталеному русі самоскида КрАЗ-7238С4 на дорогах з різним кутом підйому θ

до швидкості 70,1 км/год і відрізок шляху, який залишиться після фази розгону, буде пройдено зі сталою швидкістю на горизонтальній дорозі. Результати розрахунку наведено в *табл. 5.*

Витрата палива помітно більша за витрату, яку було отримано під час експлуатаційних випробувань. Більшу витрату палива можна пояснити занадто довгим процесом розгону – довжина шляху розгону складає більше третини усього маршруту. Найбільш простим рішенням зменшення витрати палива буде зменшення усталеної швидкості. Визначимо раціональну швидкість самоскида КрАЗ-7238С4 на технологічній дорозі.

Найбільш раціональну швидкість для самоскида КрАЗ-7238С4 можна визначити, якщо нанести на динамічну характеристику криву питомої витрати палива двигуна під час руху на вищій передачі (див. *рис. 5).*

З *рис. 5* видно, що найменшій питомій витраті палива двигуна буде відповідати швидкість, значення якої перебуває в межах 52 – 60 км/год. Крива D_9 у інтервалі швидкостей 53 – 60 км/год проходить значно вище за криву дорожнього опору ψ за 0° підйому. Тому для руху з цими швидкостями не має потреби у повній подачі палива. Відповідно, реальна витрата палива буде помітно меншою за ту, яку б отримали в результаті розрахунків витрати палива усталеного руху з повною подачею палива.

Для точного визначення витрати палива виконано розрахунки витрати палива на ділянці дороги 1,8 км з покриттям із щебеню з урахуванням фази розгону та за умови, що автомобіль буде рухатися з усталеною швидкістю 53 і 60 км/год (див. *табл. 6*).

Таблиця 5

Результати розрахунку за умови руху дослідного зразка самоскида КрАЗ-7238С4 на горизонтальній дорозі зі швидкістю 70,1 км/год

Показник	Значення
Середня швидкість на маршруті довжиною 1,8 км, км/год	61,23
Витрата палива, л/100 км	92,25
Продуктивність, т·км	4793,6
Довжина шляху розгону до досягнутої швидкості 70,1 км/год, м	639,29

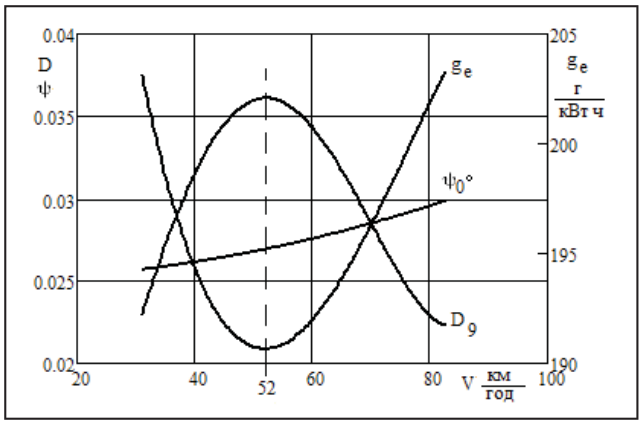


Рис. 5. ***Суміщення кривої питомої витрати палива двигуном та динамічної характеристики КрАЗ-7238С4 під час руху на вищій передачі на горизонтальній дорозі***

З *табл. 6* видно, що у межах швидкості усталеного руху 53–60 км/год витрата палива суттєво не збільшилась. Значення витрати палива дуже близьке до значення, яке було отримано під час експлуатаційних випробувань дослідного зразка самоскида КрАЗ-7238С4. При цьому за умови вибору швидкості 60 км/год продуктивність більша на 10,66 % відносно продуктивності за швидкості 53 км/год. Пояснення тут очевидне: середня швидкість збільшилась, а витрата палива майже не змінилась.

Виконаємо подібні розрахунки за різних швидкостей усталеного руху з метою досліджен-

Таблиця 6

Показники руху дослідного зразка самоскида КрАЗ-7238С4 за різних значень усталеної швидкості на горизонтальній дорозі

Показник	Значення	
	53 км/год	60 км/год
Середня швидкість на маршруті довжиною 1,8 км, км/год	49,22	54,72
Витрата палива, л/100 км	87,13	87,52
Продуктивність, т·км	4080,0	4515,84
Довжина шляху розгону до досягнутої швидкості, м	156,31	178,13

ня зв'язку швидкості усталеного руху і продуктивності. Результати розрахунку наведено на *рис 6.*

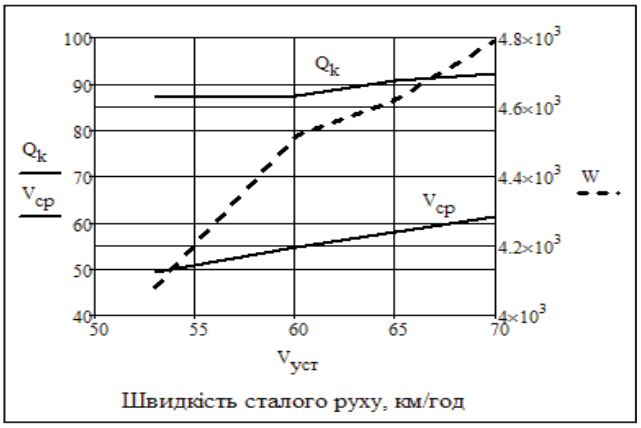


Рис. 6. ***Залежність продуктивності W, витрати палива Q_k і середньої швидкості $V_{ср}$ від вибраної швидкості $V_{уст}$ сталого руху КрАЗ-7238С4 на горизонтальній дорозі***

На *рис. 6* видно випереджувальне зростання продуктивності самоскида КрАЗ-7238С4 відносно збільшення витрати палива. Різке збільшення продуктивності за умови збільшення сталої швидкості дозволяє гнучко підходити до вибору водієм швидкості руху на маршруті з урахуванням різних зовнішніх чинників, наприклад, часу перебування в наряді, відстані до місця зберігання транспортних засобів. Така властивість є достатнім обґрунтуванням економічної доцільності використання самоскидів КрАЗ-7238С4 на етапах підготовки кар'єрів до видобутку корисних копалин відкритим способом.

Результати, отримані під час експлуатаційних випробувань дослідного зразка самоскида КрАЗ-7238С4, дали підставу для модернізації конструкції самоскида з метою покращення його експлуатаційних показників – на модернізованому самоскиді КрАЗ-7511С4 застосовано більш потужний двигун (294 кВт), залишивши без змін параметри трансмісії. У процесі модернізації моделі крім заміни двигуна також було застосовано нову кабіну покращеного дизайну (див. *рис. 7*). У цьому випадку змінилася динамічна характеристика самоскида (див. *рис. 8*).

Як видно з *рис. 8,* криві динамічного фактору перетинаються, що розширює можливості водія з вибору оптимальної швидкості руху автомобіля у будь-яких умовах. Максимальна швидкість руху по гравійній технологічній дорозі з повним завантаженням дорівнює 71,6 км/год. Порівняльна характеристика самоскидів представлена у *табл. 7.*

Максимальна швидкість модернізованого самоскида КрАЗ-7511С4 з повним завантаженням збільшилась не суттєво. Але збільшення потужності двигуна відобразилося на витраті палива за умови усталеного руху самоскида з максимальною швидкістю на дорогах з різним кутом підйому (див. *табл. 8).*

а)

б)

Рис. 7. ***Автомобіль-самоскид КрАЗ***
а – дослідний зразок КрАЗ-7238С4;
б – модернізований зразок КрАЗ-7511С4

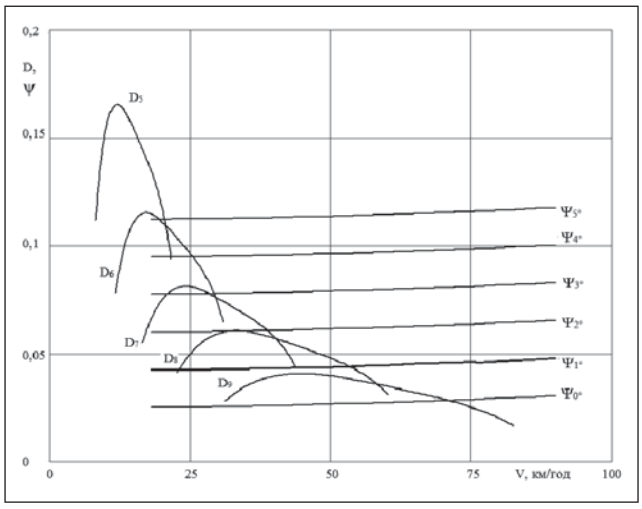


Рис. 8. ***Динамічна характеристика модернізованого самоскида КрАЗ-7511С4 з двигуном потужністю 294 кВт***

З табл. 8 видно, що витрата палива під час руху самоскида КрАЗ-7511С4 по горизонтальній дорозі мало зменшилась. Але під час руху по дорогах з підйомом від 3° різниця у витраті па-

Таблиця 7

Максимально можлива швидкість руху самоскидів на дорогах з різним кутом підйому

Кут підйому, θ°	Максимальна швидкість, км/год	
	Дослідний зразок КрАЗ-7238С4	Модернізований зразок КрАЗ-7511С4
0	70,1	71,6
1	52,83	53,67
2	38,49	38,89
3	27,81	29,21
4	24,966	25,4
5	19,93	20,5

Таблиця 8

Витрата палива за умови усталеного русу самоскидів з максимально можливою швидкістю на дорогах з різним кутом підйому

Кут підйому, θ°	Витрата палива, л/100 км	
	Дослідний зразок КрАЗ-7238С4	Модернізований зразок КрАЗ-7511С4
0	101,362	100,262
1	135,121	133,727
2	185,63	184,55
3	257,88	237,93
4	281,709	279,058
5	366,026	337,424

лива стає досить помітною, особливо на підйомі у 3° – 5°.

З метою порівняння зміни вибраних експлуатаційних показників виконаємо розрахунок витрати палива, середньої швидкості на маршруті довжиною 1,8 км і продуктивності модернізованого самоскида КрАЗ-7511С4 з урахуванням фази розгону за тих самих умов, що і для дослідного зразка самоскида (див. *рис. 9*).

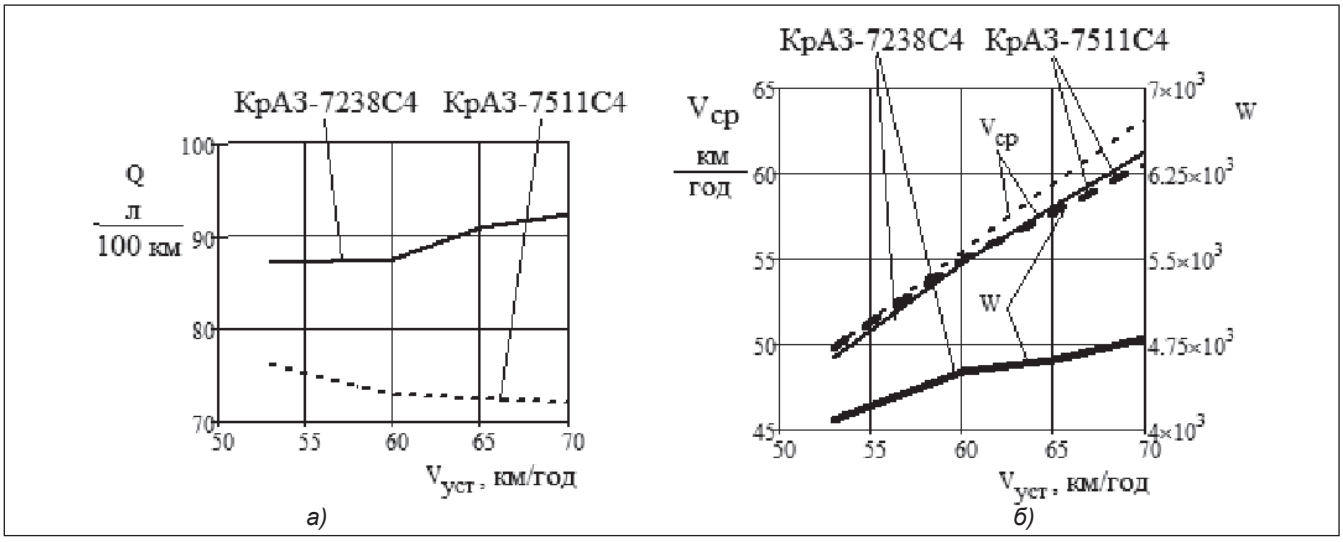


Рис. 9. ***Порівняльна характеристика дослідного зразка самоскида КрАЗ-7238С4 та модернізованого зразка самоскида КрАЗ-7511С4:***
а – залежність витрати палива Q на маршруті від вибраної водієм сталої швидкості;
б – залежність середньої швидкості $V_{ср}$ і продуктивності W самоскидів на маршруті від вибраної водієм сталої швидкості.

Витрата палива на маршруті (кут підйому дорівнює 0°) модернізованого самоскида КрАЗ-7511С4 суттєво менша за витрату палива дослідного зразка (рис. 9), причому за умови збільшення вибраної усталеної швидкості витрата палива, на відміну від дослідного зразка, зменшується. Тому навіть за дуже невеликого збільшення середньої швидкості продуктивність модернізованого самоскида КрАЗ-7511С4 суттєво переважає показники дослідного зразка КрАЗ-7238С4, демонструючи ще більше зростання продуктивності за умови збільшення сталої швидкості, яку вибирає водій.

ВИСНОВКИ

Створений у ПАТ «АвтоКрАЗ» автомобіль-самоскид КрАЗ-7511С4 за своїми техніко-експлуатаційними показниками може бути ефективно застосований для експлуатації в гірничодобувній галузі для перевезення великовагових насипних та навалочних вантажів у тяжких умовах експлуатації.

Результати випробувань дослідного зразка автомобіля-самоскида КрАЗ-7238С4 кореспондуються з тяговим розрахунком та підтверджують ефективність його застосування в кар'єрних умовах на рівні вищому, ніж в аналогів.

З метою покращення паливної економічності автомобіля-самоскида КрАЗ-7511С4 обґрунтовано застосування двигуна більшої потужності 294 кВт (400 к.с.).

Визначено економічну ефективність використання автомобіля-самоскида КрАЗ-7511С4 для експлуатації в гірничодобувній галузі з метою перевезення великовагових насипних та навалочних вантажів в тяжких умовах кар'єрних розробок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Постанова від 10 жовтня 2001 р. № 1306 Кабінету Міністрів України «Про Правила дорожнього руху». – Набрала чинності з 01 січня 2002 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-п/page
2. Самоскид IVECO-AMT 653901 (УралСпецТранс, Євро-5) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.uralst.ru/model.php?id=6312.
3. Самоскид МАЗ-6501V6-520-001(Є-5) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.automaz.com/catalog/dump-body/maz-6501V6-520-001.
4. Самоскид КАМАЗ-6520 (Євро-5) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.kamaz.ua/ru/catalog/zernovoz-kamaz-6520.

УДК 656.1, 629.3

© **Войтків С. В.**, науково-технічний центр «Автополіпром»
© **Курач Б. В.**, науково-технічний центр «Автополіпром»
© **Нємий С. В.**, НУ «Львівська політехніка»

ПРОГРАМА РОЗВИТКУ ВІТЧИЗНЯНОГО АВТОБУСО-, ТРОЛЕЙБУСО- ТА ЕЛЕКТРОБУСОБУДУВАННЯ ДЛЯ ПОТРЕБ МІСЬКИХ І ПРИМІСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАСАЖИРІВ

(Концепція)

Анотація. *Запропонована концепція розвитку вітчизняного автобусо-, тролейбусо- та електробусобудування з метою забезпечення значно вищого рівня ефективності, екологічності та безпечності перевезень пасажирів на міських і приміських маршрутах.*

Ключові слова: *програма, автобус, тролейбус, електробус, перевезення пасажирів, громадський транспорт, пасажирський транспорт, типаж, економічна ефективність, конкурентоспроможність, безпечність перевезень пасажирів.*

Аннотация. *Предложена концепция развития отечественного автобусо-, тролейбусо- и электробусостроения с целью обеспечения значительно более высокого уровня эффективности, экологичности и безопасности перевозок пассажиров на городских и пригородных маршрутах.*

Ключевые слова: *программа, автобус, троллейбус, электробус, перевозки пассажиров, общественный транспорт, пассажирский транспорт, типаж, экономическая эффективность, конкурентоспособность, безопасность перевозок пассажиров.*

Abstract. *The concept of development of domestic bus, trolleybus and electricbuilding is proposed in order to provide a significantly higher level of efficiency, ecological safety and safety of passenger transportation on urban and suburban mar-shruts.*

Keywords: *program, bus, trolleybus, electric bus, passenger transportation, public transport, passenger transport, type, economic efficiency, competitiveness, safety of passengers transportation.*

1. МЕТА ПРОГРАМИ

Метою програми розвитку вітчизняного автобусо-, тролейбусо- та електробусобудування є забезпечення значно вищого рівня **ефективності, екологічності та безпечності** перевезень пасажирів на міських і приміських маршрутах.

2. КОНЦЕПЦІЯ ПРОГРАМИ

Концепція розвитку вітчизняного автобусо-, тролейбусо- та електробусобудування полягає в реалізації комплексів робіт за двома взаємно пов'язаними підпрограмами:

- **Підпрограма 1.** Формування системи міських і приміських перевезень пасажирів на нових принципах;
- **Підпрограма 2.** Створення та організація серійного виробництва автобусів, тролейбусів і електробусів 4-го покоління.

Концепція передбачає паралельну реалізацію обох підпрограм з випередженням реалізації підпрограми 2 на термін у 3-6 місяців.

2.1. Формування системи міських і приміських перевезень пасажирів

Програма розвитку вітчизняного автобусо-, тролейбусо- та електробусобудування передбачає реформування або й створення нової системи міських і приміських перевезень пасажирів автомобільним транспортом загального користування, тобто автобусами, тролейбусами, електроавтобусами та електробусами.

Нова система міських і приміських перевезень пасажирів повинна базуватися на двох нових принципово інших засадах, а саме:

- міські та приміські маршрути, які обслуговуються автобусами, тролейбусами, електроавтобусами або електробусами, повинні бути обладнані відокремленими (якщо є можливість) від основної смуги руху спеці-

ально облаштованими зупинками;
- міські та приміські маршрути повинні обслуговуються автобусами, тролейбусами, електроавтобусами або електробусами 4-го покоління.

Вимоги до зупинок на міських і приміських маршрутах, що обслуговуються автомобільним пасажирським транспортом загального користування:
- зупинки повинні бути комплексними малими спорудами із зоною очікування пасажирів на той чи інший транспорт, зоною посадки-висадки пасажирів, зоною поточної інформації та місця придбання електронних проїзних квитків;
- споруди зупинок повинні мати сучасні архітектурні форми, єдині для всіх маршрутів або, у великих містах, єдині для одного маршруту або для окремої групи маршрутів;
- зупинки мають бути обладнані відповідним захистом пасажирів, що перебувають у тих чи інших зонах, від вітру та атмосферних опадів;
- зупинки повинні бути обладнані пандусами для користування пасажирами з дитячими візками та пасажирами, що перебувають у інвалідних візках;
- зона очікування пасажирів на той чи інший транспорт повинна мати місця перебування пасажирів, які очікують відповідний транспорт, зокрема сидіння або лавки, та місця для перебування пасажирів з обмеженими функціональними можливостями (в інвалідних візках);
- зони посадки-висадки пасажирів повинні мати висоту, необхідну для входу у пасажирські салони автобусів, тролейбусів, електроавтобусів чи електробусів без проміжних сходинок, зокрема для в'їзду до салонів пасажирів у інвалідних візках без будь-яких додаткових засобів;
- зупинки повинні бути обладнані електронними засобами поточної інформації, яка має відображати схеми маршрутів і, як мінімум, графік прибуття на зупинку транспортного засобу конкретного маршруту у реальному часі;
- зупинки повинні бути обладнані касовими апаратами або кіосками для придбання пасажирами електронних проїзних квитків;
- зупинки, на яких передбачається експлуатація електробусів, повинні бути обладнані системою швидкої підзарядки елементів живлення їхніх тягових електродвигунів;
- зони посадки-висадки пасажирів мають бути обладнані системою паркування транспортного засобу у відповідних місцях для гарантування безпечного входу-виходу пасажирів;
- зупинки повинні бути обладнані системою відеонагляду за процесом посадки-висадки пасажирів та захисту споруди й обладнання зупинки від зумисних пошкоджень.

2.2. Формування типажу автомобільного пасажирського транспорту

Програма розвитку вітчизняного автобусо-, тролейбусо- та електробусобудування передбачає формування типажу максимально-уніфікованих конструкцій пасажирських транспортних засобів чотирьох типів:
- ✓ автобусів, обладнаних силовими агрегатами на основі дизельних або газових двигунів і автоматичних коробок перемикання передач;
- ✓ тролейбусів, обладнаних двома тяговими електричними двигунами відповідної потужності;
- електроавтобусів, обладнаних двома тяговими електричними двигунами відповідної потужності, які живляться від дизель-генераторної установки;
- ✓ електробусів, обладнаних двома тяговими електричними двигунами відповідної потужності та елементами їхнього живлення із системою зарядки-підзарядки.

Типаж автомобільного пасажирського транспорту має передбачати типорозмірні ряди модульно-уніфікованих автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів різної пасажиромісткості з метою забезпечення конкретних маршрутів з відповідною інтенсивністю пасажиропотоків найбільш ефективними транспортними засобами.

Типаж автомобільного пасажирськоготранспорту повинен включати:
- ↱ типорозмірні ряди одинарних та зчленованих транспортних засобів різної габаритної довжини;
- ↱ транспортні засоби однакової довжини різної пасажировмістимості за рахунок зміни співвідношення кількості місць для сидіння до загальної вмістимості для експлуатації:
  - на внутрішньоміських маршрутах з великою інтенсивністю пасажиропотоків;
  - на міських маршрутах із середньою інтенсивністю пасажиропотоків;
  - на приміських маршрутах із малою інтенсивністю пасажиропотоків;
- ↱ транспортні засоби, обладнані пасажирськими сидіннями різних типів – жорсткими, напівжорсткими (напівм'якими) і м'якими;
- ↱ транспортні засоби, обладнані багажними

полицями або багажними полицями та багажними відсіками;

- транспортні засоби, обладнані відокремленими майданчиками з окремими вхідними дверима, для безперешкодних перевезень пасажирів, які пересуваються в інвалідних візках.

2.3. Створення автомобільного пасажирського транспорту 4-го покоління

Створення конструкцій автомобільного пасажирського транспорту загального користування 4-го покоління полягає у розробленні і застосуванні технічної системи проектування типорозмірних рядів модульно-уніфікованих автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів яка передбачає:

- застосування принципів модульної уніфікації конструкцій транспортних засобів;
- формування типорозмірних рядів транспортних засобів усіх чотирьох типів на основі застосування у їхніх ходових частинах двох, трьох та чотирьох мостів відповідного призначення;
- створення і застосування у ходових частинах транспортних засобів максимально-уніфікованих мостів усіх типів – керованих, привідних, привідно-керованих та керовано-привідних, які забезпечать можливість створення повнопривідних автобусів;
- створення і застосування у ходових частинах транспортних засобів мостів усіх типів на основі незалежної підвіски коліс;
- застосування у конструкціях мостів усіх типів виключно одинарних коліс;
- застосування мостів усіх типів з однаковою допустимою навантагою у межах 6000-7500 кг.

Створення перспективних конструкцій автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів повинно базуватися на таких основних засадах:

- конструкція транспортних засобів повинна забезпечувати їм високу конкурентоздатність на основі застосування нових та інноваційних патентоздатних конструкторських рішеннях;
- у конструкціях тролейбусів, електроавтобусів та електробусів повинні застосовуватися створені й освоєні українськими виробниками тягові електродвигуни необхідних типорозмірів та відповідні системи керування ними;
- у ходових частинах автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів повинні застосовуватися створені і освоєні у серійному виробництві мости всіх типів з незалежною підвіскою одинарних коліс.

3. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОГРАМИ

3.1. Економічна ефективність

Реалізація програми розвитку вітчизняного автобусо-, тролейбусо- та електробусобудування забезпечить суттєве підвищення:

- **проектної ефективності** – у сфері проектування автомобільних пасажирських транспортних засобів загального користування та їхніх складових частин;
- **ефективності конструкцій** – у сфері рішень стосовно конструкцій транспортних засобів та планувань пасажирських салонів;
- **технологічної ефективності** – у сфері технологічної підготовки й освоєння серійного виробництва засобів автомобільного пасажирського транспорту та їхніх складових частин;
- **виробничої ефективності** – у сфері серійного виробництва типорозмірних рядів автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів;
- **соціальної ефективності** – у сфері економічного розвитку держави, комфортабельності та безпечності перевезень пасажирів;
- **конкурентоздатної ефективності** – у сфері експортування транспортних засобів, зокрема у країни Європи;
- **експлуатаційної ефективності** – у сфері перевезень пасажирів на міських і приміських маршрутах.

3.1.1. Проектна ефективність

Застосування системи проектування модульно-уніфікованих типорозмірних рядів автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів 4-го покоління забезпечує:

- значне зменшення – до 3-4 разів – обсягів дослідно-конструкторських та дослідно-експериментальних робіт, відповідне зниження їхньої трудомісткості та скорочення термінів проектування об’єктів виробництва;
- можливість отримання транспортних засобів як з рівнем підлоги у проходах по пасажирських салонах 360 мм, так і з рівнем 610 мм відносно опорної поверхні;
- забезпечення значно більшої міцності кузові транспортних засобів з висотою підлоги у проходах по пасажирських салонах на рівні 610 мм за умови зменшенні їхніх мас у спорядженому стані;

- можливість формування екстер'єру модуля робочого місця водія (переднього) та привідного модуля (заднього) транспортних засобів в індивідуальному стилі для конкретної фірми-перевізника;
- можливість регулярного рестайлінгу транспортних засобів за умови мінімізації коштів та часу на проведення проектних робіт і технологічної підготовки виробництва;
- можливість створення на базі агрегатів ходової частини пасажирських транспортних засобів, насамперед, на основі застосування уніфікованих мостів усіх типів з незалежною підвіскою одинарних коліс, пасажирських транспортних засобів іншого призначення та автомобільної техніки іншого призначення – вантажних та спеціальних і спеціалізованих автомобілів;
- зниження частки ризику та ймовірності довготривалого доопрацювання конструкцій транспортних засобів за рахунок ретельного відпрацювання мінімальної кількості уніфікованих модулів та агрегатів, вузлів і деталей.

3.1.2. Ефективність конструкцій транспортних засобів

Проектування засобів автомобільного пасажирського транспорту на засадах створення типорозмірних рядів автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів 4-го покоління забезпечує цілу низку переваг, серед яких:

- можливість отримання типорозмірних рядів максимально уніфікованих – рівень уніфікації 85-95 % – пасажирських транспортних засобів у діапазоні габаритної довжини від 6,0 м до 28,0 м з різницею у довжині 0,5-1,0 м;
- можливість забезпечення засобам пасажирського автомобільного транспорту оптимальної пасажиромісткості відповідно до інтенсивності пасажиропотоків на конкретних маршрутах;
- забезпечення оптимальних планувань пасажирських салонів транспортних засобів;
- оптимізація (зменшення відносно транспортних засобів 1-го і 2-го поколінь) габаритної довжини автомобільних транспортних засобів відносно номінальної (заданої) пасажиромісткості;
- відсутність у проходах пасажирських салонах автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів колісних арок;
- оптимізація пасажиромісткості засобів пасажирського автомобільного транспорту відносно допустимої навантаги на мости;
- суттєво кращі показники коефіцієнтів матеріалоємності, корисної вантажопідйомності (пасажиромісткості) та інших конструктивних параметрів.

3.1.3. Технологічна ефективність

Система проектування модульно-уніфікованих типорозмірних рядів автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів 4-го покоління та адекватна їй система проектування технологічного процесу дрібносерійного виробництва вказаних транспортних засобів дає можливість:

- типізувати технологічні процеси у серійному виробництві пасажирських транспортних засобів;
- мінімізувати кількість технологічних процесів у загальному технологічному процесі серійного виробництва транспортних засобів;
- скоротити типаж і загальну кількість технологічного обладнання, спеціального оснащення та інструменту;
- уніфікувати конструкції технологічного стапельного оснащення, необхідного для виготовлення окремих складових частин модулів та складання окремих модулів і кузовів транспортних засобів різної довжини;
- використовувати високопродуктивне технологічне обладнання за рахунок значного збільшення кількості уніфікованих деталей кузовів транспортних засобів;
- уніфікувати технологічну документацію, тобто скоротити час і зменшити трудомісткість розроблення технологічних процесів виготовлення деталей і складових частин різних транспортних засобів;
- скоротити номенклатуру і забезпечити максимальну уніфікацію застосовуваних профільних труб, неметалевих профілів та інших матеріалів.

3.1.4. Виробнича ефективність

Система проектування модульно-уніфікованих типорозмірних рядів автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів 4-го покоління забезпечує створення і впровадження системи дрібносерійного і одиничного виробництва пасажирських транспортних засобах на принципово інших засадах, які передбачають:

- виробництво окремих модулів на уніфікованому стапельному оснащенні, як складових частин кузовів пасажирських транспортних засобів різної довжини, у кількох можливих варіантах – без внутрішнього оздоблення, з частковим внутрішнім оздобленням або з повним внутрішнім оздобленням;
- складання кузовів автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів різної довжини на одному і тому ж уніфікованому стапельному оснащенні.

Організація серійного виробництва модульно-уніфікованих типорозмірних рядів автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів 4-го покоління за наведеними засадами забезпечує:

- розвиток автобусо-, тролейбусо-, електробусобудування переважно за рахунок інтенсивних чинників;
- виробництво автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів будь-якої необхідної тому чи іншому споживачеві пасажиромісткості;
- можливість складання на одних і тих самих технологічних лінях усіх типорозмірів автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів.
- предметну, подетальну і технологічну спеціалізацію дрібносерійного виробництва пасажирської автомобільної техніки;
- оптимізацію програми дрібносерійного виробництва на кузовоскладальних спеціалізованих заводах, тобто зменшення виробничих площ при одній і тій же програмі виробництва або збільшення програми виробництва пасажирських автотранспортних засобів на одних і тих же виробничих площах;
- можливість значно підвищити рівень комплексної механізації, автоматизації, роботизації дрібносерійного виробництва пасажирської автомобільної техніки загального користування;
- значну економію капіталовкладень в організацію і функціонування дрібносерійного виробництва пасажирських транспортних засобів та їх складових частин;
- значне зниження трудомісткості виготовлення пасажирських транспортних засобів і, відповідно, суттєве зменшення собівартості їхнього дрібносерійного виробництва.

3.1.5. Соціальна ефективність

Реалізація програми створення та освоєння виробництва модульно-уніфікованих типорозмірних рядів автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів 4-го покоління і впровадження нової системи пасажирських перевезень автомобільним транспортом загального користування забезпечує:

- значну економію коштів на утримання та ремонт міських вулиць у зв'язку із значним зменшенням допустимої навантаги на колеса пасажирських транспортних засобів (на 35 %) за умови заборони на пересування вулицями міст та інших населених пунктів вантажних транспортних засобів з допустимою навантагою на мости більше 7500 кг і, відповідно, значним зменшенням руйнівної дії автомобільного транспорту на дорожнє покриття;
- можливість реального користування автомобільним пасажирським транспортом загального користування пасажирами, що пересуваються в інвалідних візках без будь-яких додаткових маніпуляцій під час-посадки висадки;
- створення та освоєння виробництва великої номенклатури складових частин пасажирської автомобільної техніки загального користування сучасного технічного рівня;
- розроблення і впровадження у дрібносерійне виробництво пасажирської автомобільної техніки нових матеріалів та відповідних нових технологічних процесів;
- суттєве підвищення рівня розвитку автомобілебудування та машинобудування держави, пов'язаного з виробництвом автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів 4-го покоління;
- створення значної кількості нових робочих місць, які дадуть можливість працевлаштування висококваліфікованих виробничих кадрів.

3.1.6. Конкурентоздатна ефективність

Система проектування модульно-уніфікованих типорозмірних рядів автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів 4-го покоління передбачає:

- розробку конструкцій автомобільних пасажирських транспортних засобів загального користування на основі патентоспроможних інноваційних рішень (патентуванню підлягають система проектування модульно-уніфікованих транспортних засобів, уніфікованих мостів всіх типів з незалежною підвіскою коліс, конструкції привідних мостів, конструкції кузовів транспортних засобів і самих транспортних засобів та інших складових частин);
- застосування планувань пасажирських салонів автомобільних транспортних засобів загального користування, які забезпечують значно кращі умови перевезень пасажирів як на міських, так і на приміських маршрутах;
- суттєве покращення конструктивних параметрів та експлуатаційних показників транспортних засобів відповідних типорозмірних рядів;
- Станом на 14.08.2017 р. за тематикою модульно-уніфікованих автобусів 4-го покоління отримано 28 патентів України на корисні моделі, подано три нові заявки і продовжуються роботи з підготовки ще біля

10 заявок на отримання патентів України на корисні моделі. Ведуться роботи і з патентування варіантів екстер'єрів та інтер'єрів транспортних засобів.

3.1.7. Експлуатаційна ефективність

Експлуатація модульно-уніфікованих типорозмірних рядів автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів 4-го покоління у поєднанні із запропонованою системою організації міських та приміських маршрутів забезпечить:

- використання автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів оптимальної пасажиромісткості відповідно до інтенсивності пасажиропотоків на конкретних маршрутах;
- зменшення тривалості посадки-висадки пасажирів за рахунок відсутності колісних арок у пасажирському салоні і, відповідно, широких проходів до службових (пасажирських) дверей;
- створення умов для суттєвого підвищення інтенсифікації міських перевезень пасажирів;
- реалізацію перспективного типажу пасажирських транспортних засобів, заданого структурами транспортних процесів у містах і населених пунктах з різною інтенсивністю пасажиропотоків та вимогами інтенсивної форми економіки сучасного автоматизованого і роботизованого виробництва;
- оптимізацію структури парку рухомого складу, тобто забезпечення абсолютного кількісного і якісного співвідношення пасажирських транспортних засобів різних типів, вмістимостей і класів;
- підвищення провізної спроможності пасажирських автотранспортних підприємств за рахунок підвищення пасажировмістимості пасажирської автомобільної техніки 4-го покоління в середньому на 15-20%;
- комплектацію фірм-перевізників країни одним уніфікованим комплектом запасних частин для всіх транспортних засобів модульно-уніфікованих типорозмірних рядів;
- уніфікацію технологічних процесів обслуговування, профілактики та ремонту всіх видів пасажирських транспортних засобів;
- скорочення номенклатури і типажу технологічного обладнання та інструменту для здійснення технічного обслуговування та ремонту рухомого складу, а також значне зменшення потреб у виробничих площ;
- зниження трудомісткості технічного обслуговування і ремонту рухомого складу;
- скорочення часу простою автомобільних пасажирських транспортних засобів під час ремонту за рахунок можливості здійснення агрегатного методу ремонту;
- підвищення виробничої потужності фірм-перевізників та суттєве покращення їхніх техніко-економічних показників;
- здійснення спеціалізації і кооперування підприємств технічного обслуговування і ремонту пасажирських автотранспортних засобів у великих містах і промислових центрах;
- полегшення і скорочення термінів проектування нових спеціалізованих автотранспортних підприємств, які здійснюють пасажирські перевезення або обслуговування і ремонт рухомого складу, або проведення необхідної реконструкції існуючих підприємств;
- уніфікацію програми підготовки водіїв пасажирського автотранспорту загального користування та інженерно-технічних працівників з його експлуатації.

3.2. Екологічна безпека

Створення, освоєння серійного виробництва та експлуатація модульно-уніфікованих типорозмірних рядів автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів 4-го покоління забезпечить:

- суттєве зменшення шкідливих викидів у навколишнє середовище за рахунок використання електричних джерел енергії (тролейбуси й електробуси) та застосування електроавтобусів з дизельними або газовими електрогенераторними установками;
- зменшення забруднення навколишнього середовища за рахунок утилізації відпрацьованих складових частин та автотранспортних засобів у цілому на основі мінімізації витрат на створення утилізаційних виробництв.

3.3. Безпечність перевезень пасажирів

Експлуатація модульно-уніфікованих типорозмірних рядів автобусів, тролейбусів, електроавтобусів та електробусів 4-го покоління забезпечить:

- підвищення активної безпеки перевезень пасажирів за рахунок обладнання транспортних засобів антиблокувальними, антибуксувальними та іншими електронними системами активної безпеки;
- суттєве підвищення пасивної безпеки перевезень пасажирів за рахунок:
  - організації робочого місця водія, повністю відокремленого від пасажирського салону;
  - забезпечення у відділенні водія відповідних комфортних умов на основі застосування окремого кондиціонера й опалювача;

- забезпечення безперешкодної оглядовості з робочого місця водія через дзеркала заднього огляду та відеокамери огляду зон вхідних дверей і задньої зони;
- оптимізації планувань пасажирських салонів транспортних засобів, які виключають наявність проміжних сходинок у їхніх проходах;
- здійснення процесів входу-виходу пасажирів виключно на відповідно облаштованих зупинках;
- оптимізації руху пасажирських автотранспортних засобів на основі введення режимів руху за конкретизованими чіткими графіками, що виключить хаотичний одночасний під'їзд до зупинок.

На базі цієї концепції пропонується розроблення державної «Програми розвитку вітчизняного автобусо-, тролейбусо- та електробусобудування для потреб міських і приміських перевезень пасажирів» з конкретизацією етапів робіт з підпрограм, основних виконавців робіт, обсягів їхнього фінансування та термінів виконання.

УДК 629.113

© **Славін В. В.**, канд. техн. наук, ст. викладач ЧНУ ім. Ю. Федьковича

ПАЛИВНА ХАРАКТЕРИСТИКА АВТОМОБІЛЯ З НЕСПРАВНИМИ ВИКОНАВЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДВИГУНОМ

Анотація. *Наведено результати експериментальних досліджень впливу несправностей виконавчих елементів системи керування двигуном на паливну економічність легкового автомобіля в умовах експлуатації.*

Ключові слова: *паливна економічність, легковий автомобіль, електромагнітна форсунка, модуль запалювання, регулятор неробочого ходу, система впорскування.*

Аннотация. *Представлены результаты экспериментальных исследований влияния неисправностей исполнительных элементов системы управления двигателем на топливную экономичность легкового автомобиля в условиях эксплуатации.*

Ключевые слова: *топливная экономичность, легковой автомобиль, электромагнитная форсунка, модуль зажигания, регулятор холостого хода, система впрыска.*

Annotation. *The results of experimental test on the influence of the control element fault the engine management system on the fuel efficiency of automobile in under operating conditions.*

Keywords: *fuel efficiency, automobile, electromagnetic injector, ignition module, regulator of idling, fuel injection system.*

ВСТУП

Початок запровадження в Україні європейських екологічних норм передбачав здійснення першої реєстрації та ввезення на митну територію легкових автомобілів з бензиновими двигунами з пристроями зниження токсичності відпрацьованих газів (ВГ), що відповідають екологічним показникам рівня «Євро-2». При цьому робота системи зниження токсичності ВГ ефективна на бензинових двигунах з системою впорскування палива і системою замкнутого стану (зі зворотнім зв'язком). Через це систему живлення багатьох бензинових двигунів модернізували, використовуючи електронне впорскування палива (EFI – Electronic Fuel Injection), розподіленого (MPI – Multi Point Injection) або центрального типу (TBI – Throttle Body Injection). Система зниження токсичності ВГ на автомобілях представлена дво- (OCC – Oxidation Catalytic Converter) або трикомпонентним каталітичним нейтралізаторами (TWC – Three-Way Catalytic Converters). Ав-

томобілі з бензиновими двигунами екологічного рівня «Євро-2» обладнані електронною системою керування двигуном (типу Motronic) з підсистемами впорскування палива зі зворотнім зв'язком за допомогою λ-датчика й електронних запалювань, трикомпонентним каталітичним нейтралізатором ВГ та системою уловлювання випарів бензину (EVAP – Evaporative Emission Control System).

Згідно із зобов'язаннями перед Женевською угодою 1958 року, впровадженням Правил ЄЕК ООН, частина яких регламентує екологічну безпеку колісних транспортних засобів, Україна на державному рівні регулює поступове введення нових екологічних рівнів [1]. Нині вже діють екологічні норми рівня «Євро-5», а з 1 січня 2020 року в Україні наберуть чинності норми рівня «Євро-6»[2]. Підтримка колісними транспортними засобами екологічних норм високого рівня передбачає виконання низки конструктивних заходів. Для дизелів передбачається встановлення системи селективної каталітичної нейтралізації (SCR – Selective Catalytic Reduction) зі впорскуванням реагенту AdBlue, удосконалення сажових фільтрів (DPT – Diesel Particulate Filter), використання складних систем рециркуляції ВГ (EGR – Exhaust Gas Recirculation). У бензинових двигунах відбудуться зміни в програмному забезпеченні керування робочим процесом згоряння, використання індивідуальних котушок запалювання, встановлення трикомпонентних каталітичних нейтралізаторів ВГ із більшим вмістом благородних металів, використання системи автоматичної зміни фаз газорозподілу (CVVT – Continuous Variable Valve Timing), забезпечення контролю ефективності нейтралізації ВГ, встановлення електронного керування педаллю акселератора та дросельною заслінкою (EGAS – Electronic Throttle Control), впорскування легкого палива безпосередньо в циліндри двигуна (GDI – Gasoline Direct Injection) [3].

Автомобілі з системами живлення зі впорскуванням палива мають більшу потужність, їхні паливна економічність та їздові якості кращі порівняно з аналогами, оснащеними механічними системами живлення, що підтверджено багатьма експериментальними дослідженнями [4].

Не менш важливим є визначення впливу зміни технічного стану елементів системи впорскування і системи зниження токсичності ВГ на показники роботи автомобіля в умовах експлуатації. Підтримка електронної системи керування двигуном і системи зниження токсичності ВГ у технічно справному стані гарантує робочі показники автомобіля на відповідному рівні протягом визначеного періоду експлуатації, який встановив завод-виробник.

Під час роботи двигуна штатна система бортової діагностики (OBD – On Board Diagnosis) визначає появу несправностей шляхом активізації світлового покажчика (MIL – Malfunction Indicator Lamp) на панелі приладів водія. Якщо несправність зберігається у часі, тоді за командою блока керування двигун працює в аварійному режимі. Тривалість роботи двигуна з несправними елементами системи керування двигуном або системи зниження токсичності ВГ погіршує показники роботи.

Метою досліджень є визначення впливу технічно несправних виконавчих елементів системи керування двигуном на паливну економічність двигуна та автомобіля в умовах експлуатації.

Об'єктом досліджень є легковий автомобіль з бензиновим двигуном 4Ч7, 6/66, обладнаний електронною розподіленою системою впорскування бензину, зворотнім зв'язком, системою зниження токсичності ВГ і системою уловлювання випарів бензину *(рис. 1)* [5].

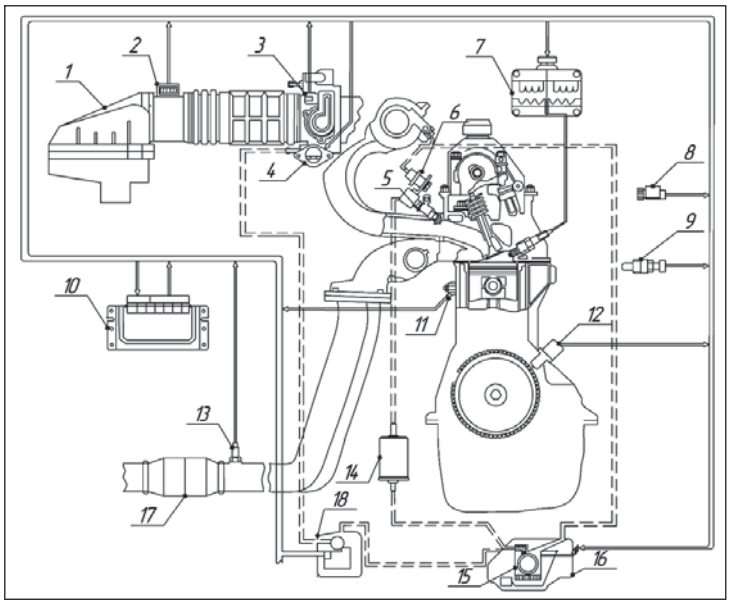


Рис. 1. ***Електронна система керування двигуном та система зниження токсичності ВГ***

1 – повітряний фільтр; 2 – датчик масової витрати повітря; 3 – датчик положення дросельної заслінки; 4 – регулятор неробочого ходу; 5 – електромагнітна форсунка; 6 – регулятор тиску палива; 7 – модуль запалювання; 8 – датчик швидкості; 9 – датчик температури охолодної рідини; 10 – електронний блок керування; 11 – датчик детонації; 12 – датчик положення колінчастого валу; 13 – λ-датчик (датчик кисню); 4 – паливний фільтр; 15 – модуль паливного насоса; 16 – паливний бак; 17 – каталітичний нейтралізатор; 18 – адсорбер випарів бензину з керівним клапаном.

З *рис. 1* видно, що електронна система керування двигуном складається із трьох функціональних груп, які мають відповідні пристрої збирання інформації, її обробки та виконавчі елементи.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Центральним пристроєм електронної системи керування двигуном є електронний блок керування (ECU – Electronic Control Unit), який отримує інформацію від датчиків і керує виконавчими механізмами (електромагнітними форсунками (ЕМФ), регулятором неробочого ходу (РХХ), модулем запалювання (МЗ), клапаном адсорбера, підігрівачем λ-датчика і керівним реле.

Відповідно до мети роботи, для дослідження витрати палива легкового автомобіля використовуються елементи підсистем системи керування двигуном, подачі повітря і палива в циліндри двигуна, іскрового розряду до свічок запалювання, представниками яких є: електромагнітні форсунки, модуль запалювання та регулятор неробочого ходу.

На виконавчі елементи покладено важливу функцію в роботі системи керування двигуном – вони забезпечують потужнісні, паливо-економічні та екологічні показники на відповідному рівні. Блок керування за сигналами датчиків надсилає керівні імпульси до ЕМФ, впорскуючи розраховану кількість палива, керує часом заряду котушок МЗ та визначає момент подачі іскри. РХХ як один із елементів дросельного вузла за командами блока керування регулює частоту обертання колінчастого валу двигуна в режимі мінімального неробочого ходу, перепускаючи повітря, яке потрапляє в обхід закритої дросельної заслінки.

Перший етап дорожніх випробувань полягав у визначенні паливної характеристики автомобіля з технічно справним станом. Умови виконання заїздів та ділянка дороги відповідають ГОСТ 20306-90. Визначення витрат палива в режимах руху та неробочого ходу здійснювалися витратоміром палива об'ємного типу. Усталений рух автомобіля виконувався в діапазоні швидкостей від 20 до 100 км/год, які є поширеними в умовах експлуатації.

Наступним етапом випробувань було визначення паливної характеристики автомобіля з несправними виконавчими елементами електронної системи керування двигуном *(рис. 2)*.

З *рис. 2* видно паливну характеристику автомобіля з несправними ЕМФ і РХХ. Дослідження показали, що несправність однієї форсунки чотирициліндрового двигуна збільшить витрату палива в середньому за характеристикою на 10%. Робота двигуна з несправними ЕМФ змушує реагувати на це електронний блок керування, який збільшує керівні імпульси на справні форсунки. ЕМФ можуть повністю припинити подачу палива через нерухомість клапана, пошкодження в електричному ланцюзі або поганий контакт електричних з'єднань, відсутність електричного імпульсу або обрив у обмотці

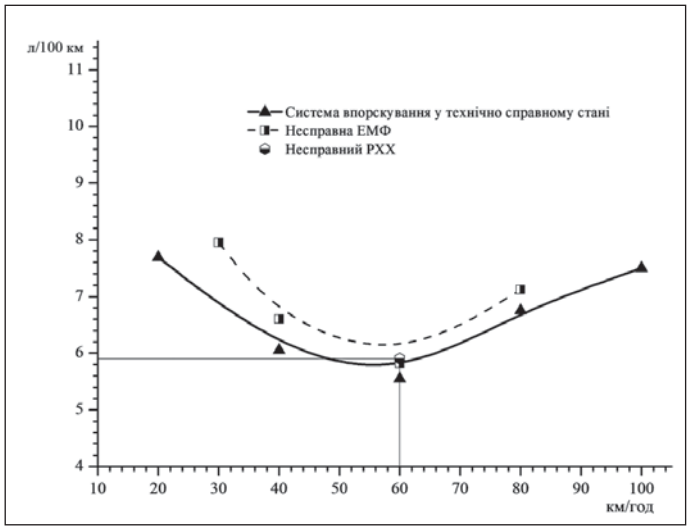


Рис. 2. ***Паливна характеристика автомобіля з несправними ЕМФ та РХХ***

електромагніта. Розповсюдженою несправністю ЕМФ є їхнє забруднення – у процесі експлуатації смолисті відкладення з палива на клапані форсунки призводять до зменшення пропускної здатності форсунки, оскільки керівним параметром ЕМФ є тривалість її відкритого стану, а не тиск палива. Сприятливими умовами зниження продуктивності ЕМФ є зупинка двигуна, коли паливо, що залишилося у форсунці, нагрівається від нагрітих елементів двигуна, а випаровуючись, утворює смолисті відкладення на внутрішніх деталях форсунки.

Рух автомобіля з несправним РХХ збільшить витрату палива до 6 % зі швидкістю 60 км/год *(рис. 2)*. Вихід з ладу РХХ викликає ускладнений пуск двигуна й супроводжується нестійкими обертами режимів неробочого ходу.

Наступний заїзд відбувався із несправним МЗ *(рис. 3)*. Паливна характеристика автомобіля визначалася за відсутності іскрового розряду на свічці запалювання одного циліндра.

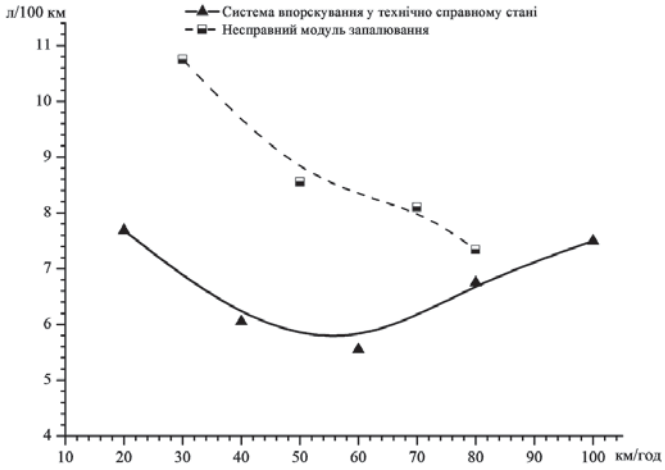


Рис. 3. ***Паливна характеристика автомобіля з несправним МЗ***

Як видно з *рис. 3*, порушення запалювання робочої суміші в одному циліндрі чотирициліндрового двигуна спричиняє значне погіршення паливної економічності автомобіля. В межах швидкостей руху від 30 до 80 км/год несправність МЗ призводить до зростання витрати палива в середньому за характеристикою на 35,33 %. В умовах такої роботи системи запалювання паливо, яке не згоріло, змиває оливну плівку з робочих поверхонь циліндрів двигуна і надходить у випускну систему до пристроїв нейтралізації ВГ, здійснюючи їхнє прискорене спрацювання.

МЗ складається з двох двовивідних котушок запалювання і двоканального комутатора. Різні порушення в системі запалювання пов'язані з виходом з ладу однієї або двох котушок запалювання. Вихід із ладу однієї котушки призводить до того, що іскровий розряд буде лише на двох циліндрах.

Подальші дослідження впливу несправності виконавчих елементів системи керування двигуном на витрату палива відбувалися в режимі мінімальної частоти обертання колінчастого валу двигуна ($n_д$= 920 хв$^{-1}$). За такої частоти обертання витрата палива технічно справного двигуна складала 0,814 л/год. Робота двигуна за умови несправної ЕМФ одного циліндра знижує витрату палива в 1,25 рази, двох циліндрів (1-3) – в 1,46 рази. Зниження витрати палива в цьому режимі з несправними ЕМФ відбувається в результаті підвищення індикаторного ККД та зниження механічних втрат.

Несправний РХХ у режимі мінімального неробочого ходу збільшує витрату палива незначно – в межах 2%, оскільки режим роботи є стаціонарним і, відповідно, РХХ отримує меншу кількість керівних сигналів.

У режимі мінімального неробочого ходу витрата палива за умови несправності МЗ зростає на 20% через відсутність згоряння палива в одному циліндрі двигуна.

ВИСНОВКИ

Дослідження показали очікуване погіршення паливної економічності автомобіля за умови несправностей виконавчих елементів системи керування двигуном.

Паливна характеристика автомобіля в діапазоні швидкостей руху від 30 до 80 км/год свідчить, що:

– несправність однієї ЕМФ збільшить витрату палива в середньому на 10%;

якщо швидкість руху становить 60 км/год, несправний РХХ збільшить витрату палива на 6%;

– відсутність іскрового розряду лише на одній свічці запалювання чотирициліндрового двигуна спричиняє зростання витрати палива в середньому на 35,33%.

Результати заміру витрати палива автомобіля в режимі мінімального неробочого ходу двигуна показали, що:

– несправна ЕМФ одного циліндра знижує витрату палива в 1,25 рази, двох циліндрів (1-3) – в 1,46 рази;

– несправний РХХ збільшує витрату палива в межах 2%;

– відсутність згоряння палива в одному циліндрі чотирициліндрового двигуна підвищує витрату на 20%.

У результаті порушення роботи двигуна його екологічний рівень погіршиться через зниження ефективності системи нейтралізації ВГ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Міжнародні організації, конвенції та багатосторонні угоди в галузі транспорту: навчальний посібник / [за ред. А. М. Редзюка] // Автомобільний транспорт. – К.: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2009 – Т.1. – 208 с.
2. Закон України «Про внесення змін до Закону України «Про деякі питання ввезення на митну територію України та реєстрації транспортних засобів» щодо посилення адаптаційної спроможності та поетапного запровадження в Україні міжнародних екологічних вимог до транспортних засобів» (Закон від 08.06.2017 №2098-VIII) – Режим доступу: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2098-19.
3. *Славін В. В.* Вплив технічного стану елементів корекції складу паливоповітряної суміші на паливну економічність автомобіля / В.В. Славін, І. В. Манько, А. В. Гунько // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2016. – Вип. 1 (34). – С. 463 – 468.
4. *Гутаревич Ю. Ф., Славін В. В.* Поліпшення показників легкових автомобілів з карбюраторними двигунами в умовах експлуатації / Ю.Ф. Гутаревич, В.В. Славін// «Вісник СевНТУ», 2013. – № 142. – С. 36 – 40.
5. Вплив типу системи живлення на екологічні показники автомобіля в умовах експлуатації / В. В. Славін, І. В. Манько, А. В. Гунько // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ, 2015. – № 9. – С. 69 – 75.

УДК 624.21

© **Редченко В.П.**, доктор техн. наук,
завідувач Дніпропетровського комплексного відділу
(ДП «ДерждорНДІ»)

ДИНАМІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ МОСТІВ: НОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Анотація. *Утримання мостів та шляхопроводів у працездатному стані є важливим завданням. Суттєву роль у плануванні черговості проведення ремонтних робіт відіграє правильна та своєчасна діагностика технічного стану споруди. Натурні випробування є одним з найбільш інформативних методів діагностики конструкцій. Мости працюють на динамічне навантаження, але Державний стандарт на проведення динамічних випробувань мостів в Україні відсутній. Прийняття та впровадження в практику розробленого проекту національного стандарту щодо проведення динамічних випробувань автодорожніх мостів дозволить підвищити якість робіт з визначення технічного стану мостів.*

Ключові слова: *міст, динамічні випробування, технічний стан, стандарт.*

Аннотация. *Содержание мостов и путепроводов в рабочем состоянии является важным заданием. Существенную роль при планировании очередности ремонтных работ играет правильная и своевременная диагностика технического состояния сооружения. Натурные испытания – это наиболее информативный метод диагностики конструкций. Мосты работают на динамическую нагрузку, но Государственный стандарт на проведение динамических испытаний мостов в Украине отсутствует. Принятие и внедрение в практику разработанного проекта национального стандарта о проведении динамических испытаний автодорожных мостов позволит повысить качество работ по определению технического состояния мостов.*
Ключевые слова: *мост, динамические испытания, техническое состояние, стандарт.*

Abstract. *The contents of bridges and overpasses in working order is the important task. The essential role for want of planning of sequence of repair jobs is played with correct and duly diagnostics of condition of a structure. Field tests is a most informative method of diagnostics of constructions. The bridges work on a dynamic load, but State Standard on realization of dynamic tests of bridges in Ukraine is absent. The acceptance and introduction in practice of the developed project of the national standard about realization of dynamic tests of road bridges will allow to increase quality of works on definition of condition of the bridges.*

Keywords: *bridge, dynamic tests, condition of the bridge, standard.*

ВСТУП

На сьогодні в Україні відсутній Державний стандарт на проведення динамічних випробувань мостів, що негативно відбивається на якості виконання цих робіт. Склад робіт, методику та аналіз результатів динамічних випробувань, які виконуються, щоразу визначає керівник, виходячи з власного досвіду та набутих знань. Замовник за відсутності стандарту не може оцінити правильність та повноту виконаних робіт. Стандарт ставить певні мінімальні вимоги, яких необхідно дотримуватися, за його відсутності виконавець (свідомо чи несвідомо) часто виконує неповний об'єм робіт або ж допускає грубі помилки. Останній висновок зроблено за результатами аналізу технічних звітів з випробувань мостів, які доводилося читати автору цієї статті за останні кілька років. У вигляді зауважень зупинюся на окремих, найбільш поширених помилках (нагадаю, що виправлення помилок – це єдиний шлях до здобуття знань).

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Зауваження 1. Помилкою загального характеру є визначення певного натурного параметру та складання висновків без порівняння з розрахунками. Наприклад, визначається власна частота і робиться висновок, що вона «не потрапляє до забороненого нормами діапазону частот», якщо ж

потрапляє в цей діапазон, тоді висновок приблизно такий: «слід звертати увагу». Або ж, визначивши натурне значення динамічного коефіцієнту, приходять до висновку, що він не перевищує нормативної величини, а в разі його перевищення пояснюють це тим, що «випробувальне навантаження не точно відображає нормативне навантаження». Такі висновки дискредитують саму ідею динамічних випробувань. Чому? Щодо динамічного коефіцієнту, то в нормах на проектування наведено лише певний алгоритм, який спрощує розрахунки на динамічні навантаження. Фактичний динамічний коефіцієнт ніколи не буде відповідати нормативному значенню, що наведене в нормах на проектування. Динамічний коефіцієнт є функцією, яка залежить від модальних параметрів конструкції, характеристик навантаження та швидкості його руху, і саме функцію динамічного коефіцієнту треба визначати під час випробувань [1, 4]. Рекомендований діапазон власних частот є обмеженням за другою групою граничних станів, тоді як технічний стан переважно визначається за першою групою граничних станів. Необхідно виконати розрахунки та порівняти фактичні динамічні параметри з параметрами розрахункової моделі, знайти відмінності, визначити їхню можливу причину, а потім зробити відповідні висновки чи провести додаткові дослідження. Кінцевим етапом будь-яких випробувань є порівняння фактичних параметрів з розрахунковими чи іншими (наприклад, результатами попередніх випробувань) даними. Без такого порівняння випробування не є закінченою процедурою.

Зауваження 2. На сьогодні широкого розповсюдження набули індуктивні штокові датчики деформацій. Між штоком та втулками, які його утримують, наявне сухе тертя. За найменшого відхилення осі штоку від напряму переміщення це тертя значно збільшується, що призводить до спотворення, особливо коли шток з конструкцією з'єднано струною. На *рис. 1* представлено синхронні цифрові віброграми напружень та прогинів усередині прольоту балки, які зареєстровані з використанням тензорезистора та індуктивного штокового датчика зі струнним зв'язком.

Добре видно, що прогини, зареєстровані штоковим індикатором, спотворені сухим тертям. Малі амплітуди коливань зовсім не реєструються. Відповідно, значення частот і особливо декрементів коливань за такою віброграмою будуть хибними. Подібні віброграми отримуємо і за умови застосування механічних реєстраторів з голкою чи пером, тертя яких теж спотворює віброграму навіть за використання тензорезисторів. До того ж зв'язок датчика з конструкцією за допомогою струни та пружини змінює загальний коефіцієнт перетворення системи вимірювання порівняно з коефіцієнтом перетворення окремо датчика. Цей факт теж часто ігнорують.

Для реєстрації вільних коливань слід використовувати реєстраційні системи (датчик – зв'язок – реєстратор), механічна частина яких не містить вузлів із сухим тертям, а перша власна частота, як мінімум, в 10 разів більша за вищу частоту, яку збираємося зареєструвати. Також не повинно бути інерційних обертових елементів (шківи, блоки, шестерні і т.п.).

Зауваження 3. Для виконання аналізу результатів динамічних випробувань застосовують «ручний» метод опрацювання віброграм, який добре спрацьовує лише для найпростішої динамічної системи типу осцилятор. Стосовно прогонових будов мостів, які мають власні форми коливань з близькими за значенням частотами, необхідно проводити спектральний аналіз віброграм. На *рис. 2* представлено дві віброграми вільних коливань прогонової будови мосту, які синхронно зареєстровані у двох різних її точках. Навіть на побіжний погляд зрозуміло, що за умови ручного опрацювання таких віброграм значення власних частот та, особливо, їхніх декрементів коливань будуть відрізнятися. Слід відмітити, що і спектральний аналіз – це також інструмент, який дозволяє отримувати лише ймовірнісні оцінки значень модальних параметрів. Поширене уявлення про те, що пік амплітудного спектру завжди відповідає власній частоті, є хибним у випадку згущення частот – тут слід використовувати спеціальні вдосконалені алгоритми спектрального аналізу.

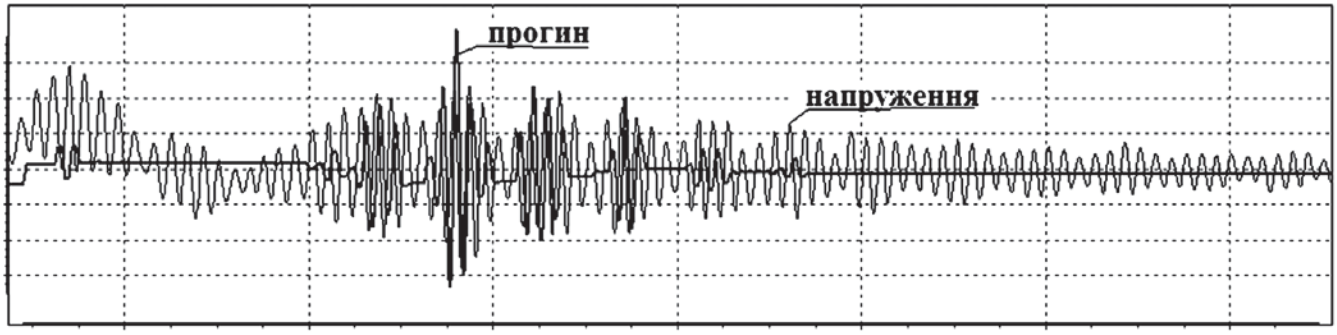


Рис. 1. ***Віброграми напружень та прогинів*** *(штоковий індикатор)*

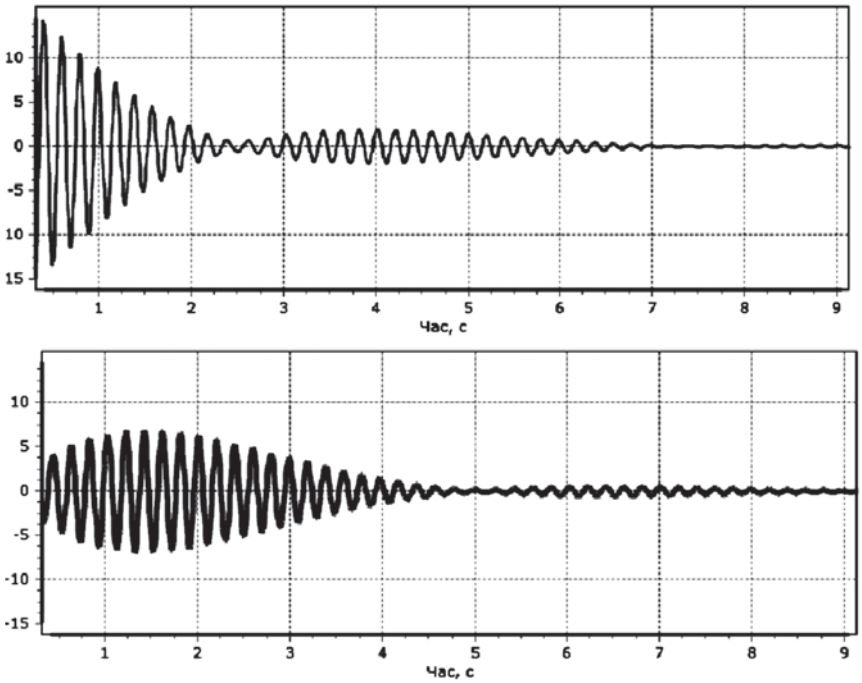


Рис. 2. ***Віброграми вільних коливань прогонової будови, зареєстровані синхронно у двох різних її точках***

Зауваження 4. Відсутність норм обов'язкового виконання не стимулює виконавців робіт впроваджувати в практику новітні методи динамічних випробувань. Так ще у 2007 році Укравтодором були затверджені рекомендації щодо виконання випробувань мостів рухомим навантаженням, що дозволяє в багатьох випадках замінити статичні випробування, які потребують зупинки руху транспорту по мосту [2]. Необов'язковість цих рекомендацій не спонукає виконавців до їхнього вивчення та застосування. Так само і в багатьох інших випадках. У 2014 році Укравтодором прийнято в експлуатацію програму «СпектрУМ», яка реалізує вдосконалені алгоритми спектрального аналізу [3, 5]. На жаль, виконавцям значно легше здійснювати випробування та писати звіти зі всіма окресленими вище помилками, ніж вивчати щось нове.

ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ

Вирішити означену проблему дозволить прийняття та впровадження в практику національного стандарту ДСТУ «Настанова щодо проведення динамічних випробувань автодорожніх мостів», проект якого на замовлення Укравтодору розроблено ДП «ДерждорНДІ». Відомі у світі нормативні документи щодо впливу вібрації на будівельні конструкції [6, 7] мають досить загальний характер та не враховують специфіки динаміки саме мостів, тому проект національного стандарту є піонерним з орієнтацією на оцінку технічного стану мостових конструкцій. Перша редакція проекту ДСТУ у квітні цього року була схвалена та оприлюднена для широкого обговорення в розділі «Новини» на офіційному веб-сайті ДП «ДерждорНДІ».

Проект ДСТУ вирішує такі завдання:

- встановлення вимог щодо обладнання та методик проведення динамічних випробувань;
- встановлення вимог щодо аналізу та використання результатів динамічних випробувань.

Головні методологічні положення викладені в таких розділах та додатках ДСТУ:

- «Модальний оперативний контроль», де наведені загальні положення з основними рекомендаціями для проведення динамічних випробувань та визначення параметрів власних форм коливань конструкції (модальних параметрів);
- «Випробування рухомим навантаженням», де наведені загальні положення з основними рекомендаціями для проведення динамічних випробувань рухомим навантаженням з визначення фактичних характеристик жорсткості та міцності прогонових будов;
- Додаток А «Удосконалені алгоритми спектрального аналізу»;
- Додаток Б «Методика визначення функції динамічного коефіцієнту»;
- Додаток В «Методика випробування рухомим навантаженням»;
- Додаток Г«Форма динамічного паспорта моста».

На момент написання цієї статті перша редакція проекту ДСТУ вже пройшла стадію обговорення. Для більш широкого ознайомлення спеціалістів з проектом ДСТУ були проведені міжкафедральні семінари в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті та Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту. Загалом коментарі та зауваження на першу редакцію ДСТУ надійшли від п'яти організацій. Всі коментарі розглянуті на засіданні ТК 321 «Будування мостів», за результатами чого складено другу (остаточну) редакцію ДСТУ. Набуття чинності ДСТУ планується з 01.01.2018 р.

ВИСНОВКИ

Розробка та впровадження в практику національного стандарту щодо проведення динамічних випробувань автодорожніх мостів дозволить підвищити якість виконання робіт з діагностики технічного стану мостів.

Застосування ДСТУ надасть такі переваги:

- сприятиме підвищенню економічного та соціального ефекту за рахунок покращення якості виконання робіт з визначення технічного стану мостів та, відповідно, більш обґрунтованому складанню проектів їхнього ремонту;

- дозволить більш точно визначати фактичну вантажопідйомність автодорожніх мостів, а також відповідний режим їхньої експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Р В.2.3-03450778-858:2015 Рекомендації щодо встановлення обмеження швидкості руху на автодорожніх мостах відповідно до їх фактичного технічного стану.
2. Р В.2.3-218-03450778-711:2007 Рекомендації з діагностики стану прогонових будов мостів за динамічною дією рухомого навантаження.
3. Р В.3.1-218-03450778-777:2010 Рекомендації з визначення натурних динамічних характеристик автодорожніх мостів.
4. *Редченко В. П.* Про обмеження швидкості руху на автодорожніх мостах та визначення фактичного динамічного коефіцієнту / В. П. Редченко // Автошляховик України. – Київ, 2013. – №3. – С. 41-48.
5. Аналіз результатів динамічних випробувань мостів з використанням програми «СпектрУМ» / В. П. Редченко // Мости та тунелі. Теорія, дослідження та практика. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна. – Дн-ськ, 2014. – Вип. 6. – С. 119-125.
6. British Standard, BS 5228.2:2009. Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites – Part 2: Vibration.
7. German Standard, DIN 4150@3:1999. Structural Vibrat ion – Part 3: Effects of vibration on structures.

УДК 625.841

© **Солодкий С. Й.,** доктор техн. наук, професор;
© **Думич І. Ю.,** канд. техн. наук, доцент кафедри «Автомобільні дороги та мости»
(НУ «Львівська політехніка»**)**

НАТУРНІ ВИПРОБУВАННЯ БЕТОННИХ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ

Анотація. *Представлено дослідження коефіцієнта динамічності монолітних бетонних покриттів залежно від типу основи. Залежності встановлені експериментально шляхом випробування дорожніх одягів у натурних умовах.*

Ключові слова*. Дорожні одяги жорсткого типу, монолітні бетонні покриття, основи, коефіцієнт динамічності, динамічна стійкість*

Аннотация. *Представлено исследование коэффициента динамичности монолитных бетонных покрытий в зависимости от типа основания. Зависимости установлены экспериментально путем испытания дорожных одежд в натурных условия .*

Ключевые слова. *Дорожные одежды жесткого типа, монолитные бетонные покрытия, основания, коэффициент динамичности, динамическая стойкость.*

Abstract. *Research of coefficient of dynamic quality of jointed unreinforced concrete pavement is presented depending on the type of foundation. Dependences are set experimentally by the test of rigid pavement in real condition.*

Keywords. *Rigid pavement, jointed unreinforced concrete pavement, road foundation, coefficient of dynamic quality, fatigue strength.*

ВСТУП

Лабораторними випробуваннями моделей плит встановлено істотний вплив основ із матеріалів, укріплених цементом, на витривалість бетонних дорожніх покриттів за різних співвідношень товщини плит покриття та основи [1]. Встановлено також вплив нежорстких прошарків між плитами покриття та основи на напружено-деформований стан покриттів за дії повторних динамічних навантажень [2]. Оскільки випробування моделей плит проводили за допомогою лабораторної віброустановки, то для підтвердження отриманих результатів досліджень в реальних умовах були виконані натурні випробування деяких конструкцій експлуатованих бетонних покриттів за дії рухомого автомобільного навантаження (КРАЗ-256Б) вагою 250 кН.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Основні задачі натурних випробувань зводились до наступного:

визначення статичних і динамічних прогинів (амплітуд коливань) бетонних покриттів на різних основах за різних швидкостей руху автомобіля;

визначення коефіцієнта динамічності покриттів залежно від типу основи;

визначення частот вимушених коливань плит бетонних покриттів під час руху автомобіля з різними швидкостями.

Натурні випробування проводили на експлуатованих покриттях Львівської кільцевої дороги та автодороги Львів-Стрий, де були влаштовані дослідні ділянки з різними конструкціями покриттів і основ. Вимірювання статичних пружних прогинів плит покриттів виконували за допомогою прогиномірів балочної конструкції, що встановлювали на узбіччі *(рис.1)*.

Автомобіль КРАЗ-256Б вагою 250 кН (навантаження на дві задні спарені осі – 185кН) розміщався симетрично поздовжньої осі плити і після установки прогиномірів по середині вільного краю і в куті плити з'їжджав із швидкістю 2 км/год. Амплітуди і частоти коливань плит покриттів вимірювали приладом ВВП-2 (вібровимірювальний прилад) при встановленні вібродатчика посередині вільного краю плити (поз.1), посередині защемленого краю (поз.3) і в куті вільного краю плити (поз.2). Автомобіль рухався зі швидкостями 30, 50 і 70 км/год.

Випробування проводили на п'яти конструкціях цементобетонних покриттів:

1. покриття товщиною 22 см на піщаній неукріпленій основі (Львівська кільцева дорога);

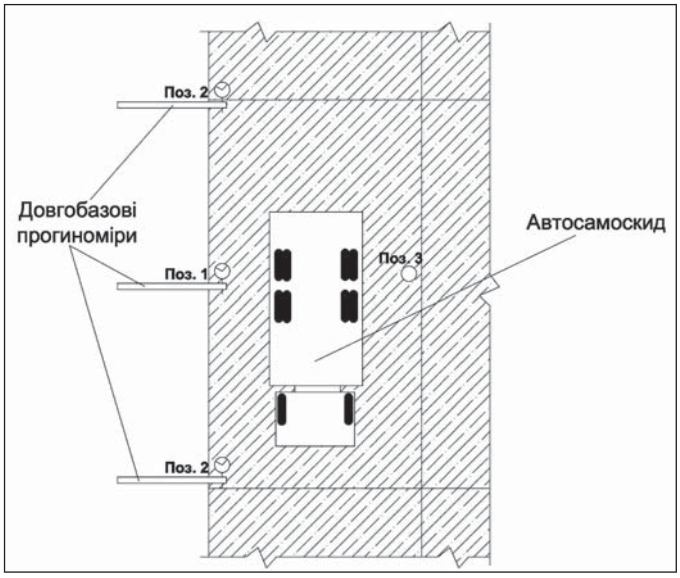


Рис. 1. ***Визначення статичних прогинів вільного краю покриття під час руху автомобіля із швидкістю 2 км/год***

2. покриття товщиною 24 см на піщаноцементній основі 18 см (дослідна ділянка дороги Київ-Чоп довжиною 40 м);
3. покриття товщиною 22 см на основі із піщаногравійної суміші 20 см (Львівська кільцева дорога);
4. покриття товщиною 24 см на гравієцементній основі 16 см з прошарком із чорного піску 5 см (дорога Київ-Чоп);
5. покриття дослідної ділянки товщиною 20 см на гравієцементій основі 20 см без прошарку довжиною 40 м (дорога Київ-Чоп).

Натурні випробування завжди відрізняються значною розбіжністю вимірюваних величин із-за багатьох випадкових чинників, що впливають на значення цих величин. Проте, із багатьох випадкових чинників, що впливають на величину статичних і динамічних прогинів, можна виділити основі, а саме: товщина плит покриття та укріпленої основи, модулі пружності бетону, піскоцементу, гравієцементу і земполотна. Тому під час наших випробувань на кожній ділянці були вибрані 5-6 плит з приблизно однаковими вищевказаними параметрами, величину яких встановлювали натурними замірами.

Як під час лабораторних, так і натурних випробуваннях було виявлено, що динамічні прогини (амплітуди коливань) більш стабільні ніж статичні. Це свідчить про те, що миттєво прикладувані навантаження (динамічні) сприймаються в основному покриттям та основою і меншою мірою земполотном. Натомість земполотно дуже чутливе до статичних навантажень. Всі розбіжності вимірюваних величин мають місце, переважно, із-за неоднорідності верхніх шарів земполотна.

В *таблиці 1* приведені значення середніх статичних пружних прогинів покриттів від навантаженого автомобіля КРАЗ 256-Б. Прогиноміри встановлювали на рівні двох задніх спарених осей з навантаження 185 кН.

В *таблиці 2* приведені амплітуди і частоти коливань п'яти конструкцій покриттів під час руху автомобіля з різними швидкостями.

Натурні випробування п'яти типів бетонних покриттів на різних основах доповнюють лабораторні дослідження і наочно підтверджують істотний вплив основ на напружено-деформований стан і несну здатність покриттів. Так, аналіз результатів, приведених в таблицях 1 і 2 свідчить, що статичні прогини покриттів на неукріплених основах приблизно в 1,5-2, а амплітуди коливань в 2-3 рази більші ніж покриттів на укріплених цементом основах. Для покриттів на неукріплених основах (піщаних і гравійних) прогини і амплітуди вільного кута плити (поз.2) приблизно в 1,4-1,9 рази більші тих же показників для середини вільного краю (поз.1). Для покриттів на укріплених основах ця різниця незначна, приблизно 10-15%. Це означає, що від'ємні згинальні моменти в приторцевих частинах плити незначні для покриттів на укріплених цементом основах.

Як амплітуди, так і частоти вимушених коливань на будь-яких основах залежать від швидкості руху автомобіля. Чим більша швидкість, тим коротший час прикладання навантаження і більший динамічний ефект. Залежність амплітуд коливань від швидкості руху автомобіля для покриттів на різних основах можна виразити наступними формулами:

– для покриттів на неукріплених основах

$$A=0{,}87\times10^{-4}\times V^{1,6} \qquad (1)$$

– для покриттів на укріплених цементом основах за наявності нежорсткого прошарку

$$A=0{,}28\times10^{-4}\times V^{1,5} \qquad (2)$$

– для покриттів на укріплених цементом основах без будь-яких прошарків (об'єднана плита)

$$A=0{,}18\times10^{-4}\times V^{1,4} \qquad (3)$$

Таблиця 1

Значення статичних прогинів п'яти типів покриттів

Тип конструкції бетонного покриття	1	2	3	4	5
Прогини середини вільного краю плити (поз. 1, мм)	0,16	0,10	0,15	0,06	0,07
Прогини вільного кута плити (поз.2), мм	0,23	0,12	0,22	0,07	0,08

Таблиця 2

Амплітуди і частоти коливань бетонних покриттів на різних основах

Тип конструкції покриття	Найменування вимірюваних величин	Позиція встановлення вібродатчика	Швидкість руху автомобіля, км/год		
			30	50	70
1	2	3	4	5	6
1.	Амплітуди, мм	1 3 2	0,015 0,006 0,039	0,025 0,011 0,053	0,048 0,025 0,092
	Частоти	1,3,2	13,3	16,5	20,0
2.	Амплітуди, мм	1 3 2	0,004 0,003 0,005	0,007 0,005 0,008	0,012 0,010 0,015
	Частоти	1,3,2	13,7	14,5	15,4
3.	Амплітуди, мм	1 3 2	0,012 0,005 0,033	0,020 0,010 0,045	0,038 0,021 0,078
	Частоти	1,3,2	13,0	15,8	19,0
4.	Амплітуди, мм	1 3 2	0,005 0,003 0,006	0,009 0,005 0,011	0,015 0,014 0,018
	Частоти	1,3,2	13,8	15,0	17,6
5.	Амплітуди, мм	1 3 2	0,00 0,002 0,003	0,005 0,004 0,006	0,009 0,008 0,010
	Частоти	1,3,2	12,1	13,0	14,6

В приведених формулах швидкість V виражена в км/год., а амплітуда А – в мм. Формули справедливі для середини вільного краю плити (поз.1) за маси рухомого автомобіля близько 25 т. За інших значень мас автомобіля амплітуди будуть змінюватись пропорційно масі.

Якщо амплітуди коливань покриттів на будь-яких основах зростають приблизно в 3 рази із збільшенням швидкості автомобіля з 30 км/год. до 70 км/год., то частоти вимушених коливань змінюються по складніших законах. Для покриттів на неукріплених основах за вищевказаного зростання швидкості частоти вимушених коливань збільшились в 1,8-1,9 рази, а для покриттів на укріплених основах – лише на 10-15% (за наявності нежорсткого прошарку на 30%). Стабільність частоти в даному випадку пояснюється тим, що ефективна коливальна маса покриттів на укріплених основах майже вдвічі більша (покриття плюс основа), а це приводить до стабільності напружено-деформованого стану таких покриттів навіть за зростання швидкості автомобілів.

Натурні випробування бетонних покриттів рухомими навантаженнями дають змогу диференційовано підійти до визначення коефіцієнта динамічності залежно від типу основи. Під час руху автомобіля по покриттю має місце згинна хвиля, що рухається разом з автомобілем *(рис. 2)*.

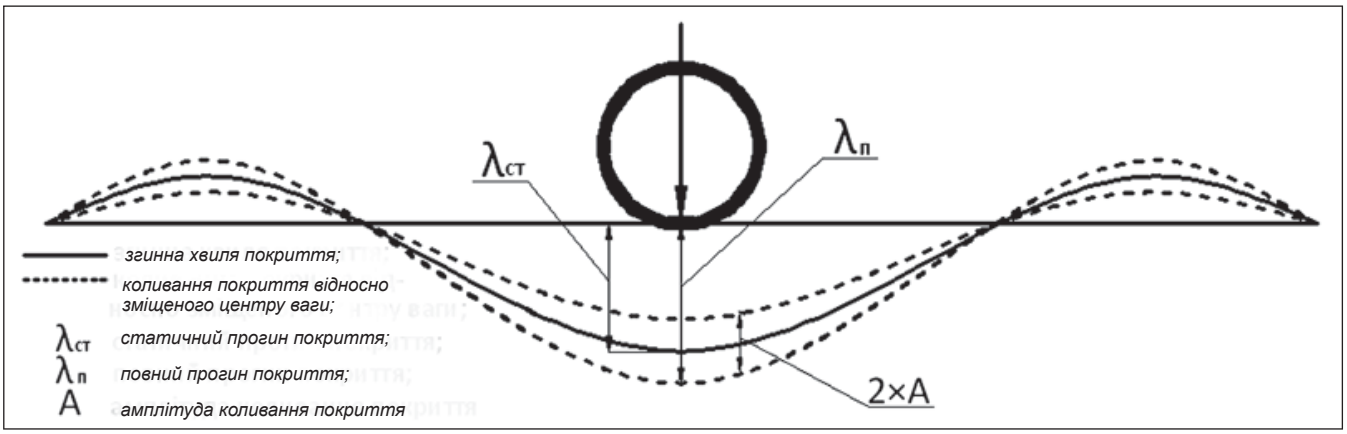


Рис. 2. ***Схема до визначення коефіцієнта динамічності***

Максимальна ордината згинної хвилі, що співпадає з центром найбільш навантаженої опори автомобіля є статичним прогином $\lambda_{ст.}$. За значних швидкостей автомобіля покриття коливається відносно нового зміщеного вниз центра ваги, положення якого визначається ординатою згинної хвилі, тобто статичним прогином. Амплітуди коливань значно менші статичного прогину і являють собою тільки частину повного прогину, що дорівнює сумі статичного прогину і амплітуди. Коефіцієнт динамічності визначаємо як відношення повного прогину до статичного:

Використовуючи формулу 4 і результати, приведені в таблицях 1 і 2, визначаємо коефіцієнти динамічності для покриттів на різних основах для вільного краю плити (найбільш напруженого) за швидкості руху автомобіля 70 км/год.

$$K = (\lambda_{ст.} + A) / \lambda_{ст} \qquad (4)$$

ВИСНОВКИ

1. Для покриттів на укріплених цементом основах (піщаних і гравійних) коефіцієнт динамічності становить 1,30-1,35. Це динамічно нестійкі покриття.

2. Для покриттів на укріплених цементом основах за відсутності будь-яких нежорстких прошарків між плитами покриття та основи коефіцієнт динамічності становить 1,10-1,15. Це динамічно стійкі покриття.

3. Наявність нежорстких прошарків між плитами покриття та основи знижує динамічну стійкість покриття і підвищує коефіцієнт динамічності до 1,25.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вплив типу основи на витривалість монолітних цементобетонних дорожніх покриттів / С. Й. Солодкий, І. Ю. Думич // Автошляховик України. – 2014. – №2. – С. 23-26.
2. Деякі аспекти конструювання монолітних цементобетонних дорожніх покриттів за критерієм динамічної стійкості/ С. Й. Солодкий, І. Ю. Думич // Автошляховик України. – № 1-2.– С. 81-83.

УДК 338.4:625.76

© **Маковська Ю. А.** (ДП «ДерждорНДІ»)

РІВНІ ОБСЛУГОВУВАННЯ В ДОВГОСТРОКОВИХ КОНТРАКТАХ НА ПОТОЧНИЙ ДРІБНИЙ РЕМОНТ ТА УТРИМАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. *Розглянуто довгострокові контракти, засновані на кінцевих показниках якості обслуговування (ДККП) – рівнях обслуговування доріг. Визначені переваги ДККП над традиційними видами контрактів. Проаналізовано доцільність розробки нормативного документа за рівнями обслуговування.*

Ключові слова: *довгостроковий контракт кінцевих показників, ДККП, поточний дрібний ремонт, експлуатаційне утримання, рівень обслуговування, рівень втручання.*

Аннотация. *Рассмотрены долгосрочные контракты, основанные на конечных показателях качества обслуживания (ДККП) – уровнях обслуживания дорог. Определены преимущества ДККП над традиционными видами контрактов. Проанализирована целесообразность разработки нормативного документа по уровням обслуживания.*

Ключевые слова: *долгосрочный контракт конечных показателей, ДКПП, текущий мелкий ремонт, эксплуатационное содержание, уровень обслуживания, уровень вмешательства.*

Abstract. *Long-term Output- and Performance-based Road Contracts (OPRC) are considered. The advantages over traditional types of contracts are determined. The possibility of establishing rules relating to the level of service is analyzed.*

Keywords: *output- and performance-based road contract, the routine maintenance, level of service, intervention level.*

ВСТУП

Українах з різним ступенем економічного розвитку в сфері експлуатації автомобільних доріг поширюється відносно нова форма – довгострокові контракти, засновані на кінцевих показниках якості стану доріг, зокрема на показникові рівня обслуговування. Отриманий у цьому напрямі позитивний досвід свідчить про необхідність обґрунтування моделей довгострокових контрактів в управлінні станом доріг з урахуванням реалій в Україні, що дозволить забезпечити стабільні умови здійснення поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання доріг і збільшить ефективність цих робіт [1]. Аналіз світового досвіду реалізації довгострокових контрактів показує, що від їхнього впровадження може бути отримана економія від 10 % до 40 % вартості робіт [5].

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Останнім часом у дорожньому господарстві гостро стоїть проблема підтримки інфраструктури у належному стані. Основним фактором існування такої проблеми є вже доведена багатьма дослідженнями неефективність традиційних методів укладання контрактів. Саме цей факт протягом останніх двох десятиліть спричинив бурхливий розвиток нових типів і моделей контрактів у дорожній галузі.

Так, у 2009 році в США був опублікований звіт проведеного дослідження дорожньої інфраструктури Американською асоціацією інженерів-будівельників (ASCE), в якому засвідчені критичні погляди американських дослідників щодо дійсних типів та моделей довгострокових контрактів. Основою для таких висновків слугували зріст витрат на утримання доріг, обмеження у використанні нововведень та інновацій підрядниками, покладення значної частини ризику неналежного та несвоєчасного виконання робіт на дорожні агентства, тоді як підрядники не несуть відповідальності та не надають жодних гарантій за будь-які зміни у стані доріг на період їхнього утримання, тобто існує ризик недосягнення необхідного експлуатаційного стану.

Вирішенням багатьох із перерахованих проблем, як зауважили у звіті дослідники ASCE, можуть слугувати так звані контракти, засновані на показниках якості (performance-based contracts, надалі – PBC). Так, для того щоб перенести ви-

щезазначені ризики на підрядників, у контрактах РВС передбачено подовження (на відміну від традиційних контрактів) терміну їхнього виконання з охопленням фази експлуатації доріг. Цю функцію контрактів РВС дослівно називають гарантією на утримання доріг (maintenance performance warranties) .

Уперше цей вид контракту в дорожньому секторі застосований у Британській Колумбії, Канада, в 1988 році. Пізніше він був впроваджений у двох інших канадських провінціях: Альберті й Онтаріо.

У США контракт, заснований на показниках якості виконуваних робіт, уперше застосовано у Вірджинії 1996 року.

Поступово ця тенденція розповсюдилася на інші країни Європи, Африки й Азії: Великобританію, Швецію, Фінляндію, Нідерланди, Норвегію, Францію, Естонію (63% національних доріг), Сербію і Чорногорію (8% національних доріг), Південну Африку (100% національних доріг), Замбію, Чад (17 % сезонних доріг), Філіппіни (231 км національних доріг) та інші .

У деяких джерелах літератури, наприклад, у звітах та керівництвах Світового Банку, контракти РВС мають назву OPCR (output-and performance-based road contracts), а ключові показники ефективності (key performance indicators – KPI) визначаються як «рівень обслуговування» чи «рівень сервісу» (service level, level of service (LOS), performance service indicator - PSI) .

Основними перевагами контракту, що заснований на показниках якості виконуваних робіт, порівняно з традиційними підходами є :

- економія фінансових засобів (створення стимулу для приватного сектора впроваджувати інноваційні підходи і підвищувати продуктивність праці, зниження адміністративних і накладних витрат у зв'язку з розробкою поліпшеного пакету контрактів, а також меншою кількістю персоналу для їхнього контролю і супроводу);
- велика вірогідність незмінності витрат (ризик перевитрат за виконану роботу перенесений на підрядчика, і дорожня адміністрація рідше стикається з непередбачуваними витратами);
- можливість вести дорожнє господарство з меншою кількістю персоналу;
- велика задоволеність користувачів якістю доріг і дорожніх умов (потреби користувачів відображаються в якісних показниках виконання робіт, що фіксуються в контракті, і оплата підрядника залежить від того, наскільки він виконав або перевиконав дані показники);
- стабільне багаторічне фінансування, спрямоване на утримання автомобільних доріг.

Довгостроковий контракт, заснований на кінцевих показниках (ДККП) [2], – це контракт, в якому оплата робіт з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг безпосередньо пов›язана з виконанням або перевиконанням підрядником чітко поставлених мінімальних вимог щодо кінцевих показників експлуатаційного стану доріг, які можуть бути досягнуті шляхом виконання робіт з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг.

Підрядники отримують оплату не за виконані об'єми робіт, а за досягнення встановлених рівнів обслуговування .

ДККП визначає кінцеві показники, які підрядник повинен підтримувати під час надання послуг (виконання робіт) з поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання доріг. За умови дотримання показників оплата підряднику проводиться в повному обсязі, як правило, рівними частинами щомісяця. Невиконання кінцевих показників робіт або несвоєчасне усунення виявлених дефектів оцінюється штрафними балами та обумовлює зниження щомісячної оплати за ДККП, залежно від їхньої кількості.

Згідно з моделлю ДККП, для збільшення прибутку підрядник повинен скорочувати об'єми своєї діяльності до мінімально прийнятного рівня втручання, який, проте, дозволяє забезпечити досягнення і підтримку встановлених рівнів обслуговування. ДККП змушує підрядника встановлювати, оптимізувати і своєчасно здійснювати заходи, які дозволяють в короткій, середній та довгостроковій перспективі забезпечувати підтримання стану дороги на вищому рівні, аніж установлені рівні обслуговування. При цьому вимоги з усунення дефектів, які визначають рівні обслуговування в ДККП, мають бути не нижчими від вимог до рівня утримання автомобільних доріг, які зазначені в СОУ 45.2-00018112-042:2009, СОУ 45.2-00018112-077:2012, П Г.1-218-113:2009, П Г.1-218-118:2005.

Необхідний стан доріг досягається обмеженнями часу наявності дефектів елементів доріг, які визначають рівень обслуговування – мінімальні вимоги щодо кожного обмеження, не гірші за нормативні вимоги.

Прийняті в контракті рівні обслуговування обумовлюються рівнями втручання, які є одним з показників вимоги з усунення дефекту. Повинні бути встановлені, принаймні, мінімально допустимі значення рівнів втручання, за яких вже не виникає загроза безпеці руху або збереженню елемента дороги (такі, коли потрібно обов'язково виконувати той

чи інший вид послуг або робіт згідно з вимогами ДСТУ 3587-97, П Г.1-218-113:2009 та СОУ 45.2-00018112-042 та інших нормативних документів).

Вимога з усунення дефекту і відповідний їй рівень обслуговування визначається на основі раціонального задоволення вимог споживачів таким, що відповідає нормативним вимогам або кращий за них за умови можливих витрат на поточний дрібний ремонт і експлуатаційне утримання. Показники вимог з усунення дефектів залежать від адміністративного значення доріг державного значення (міжнародні, національні, регіональні, територіальні) та інтенсивності і складу руху на них.

У процесі укладання ДККП для визначення показників вимоги з усунення дефекту (періоду між оглядами, рівня втручання, терміну ліквідації дефекту) слід спиратись на безумовне забезпечення нормативних вимог ДСТУ 3587-97, П Г.1-218-113:2009, СОУ 45.2-00018112-042 щодо показників транспортно-експлуатаційного рівня, на значення яких безпосередньо впливають роботи з поточного ремонту та експлуатаційного утримання автомобільних доріг. Показники вимог з усунення дефекту можуть бути вищими за мінімальний рівень і забезпечувати виконання більш високих цільових рівнів обслуговування.

Рівень обслуговування (РО) («level of service» – LOS) – це показник, що визначає діапазон умов експлуатації конкретного виду дорожнього активу.

У 1994 році в США вийшло «Керівництво якості доріг», в якому визначено рівні обслуговування, як «якісні показники, що характеризують умови експлуатації доріг та їхнє сприйняття водіями і пасажирами». Критичним, на думку авторів «Керівництва…», є необхідність визначення якості обслуговування з точки зору сприйняття дорожніх активів споживачами. Тому було запропоновано такі ключові параметри РО, що відповідають цим міркуванням:

– **Швидкість і час в дорозі**.

– **Щільність руху**. Є параметром, що описує близькість транспортних засобів один відносно одного у транспортному потоці, відображає легкість маневрування та психологічний комфорт водіїв.

– **Затримки**. Це перевищення часу в дорозі через умови руху або елементи управління.

– **Інші параметри**. Незручності, які можуть виникнути під час руху або, навпаки, якості та чинники, що сприяють задоволеності споживачів.

РО відображає якість обслуговування та вимірюється масштабом задоволення користувача і застосовується до кожного з режимів руху: легкових і вантажних автомобілів, велосипедів, пішоходів і автобусів .

РО поділяють на шість рівнів, які позначаються літерами латинського алфавіту від А (найкращий рівень) до F (найгірший рівень). Концепція формування рівня обслуговування в дорожній галузі наведена на *рис. 1.*

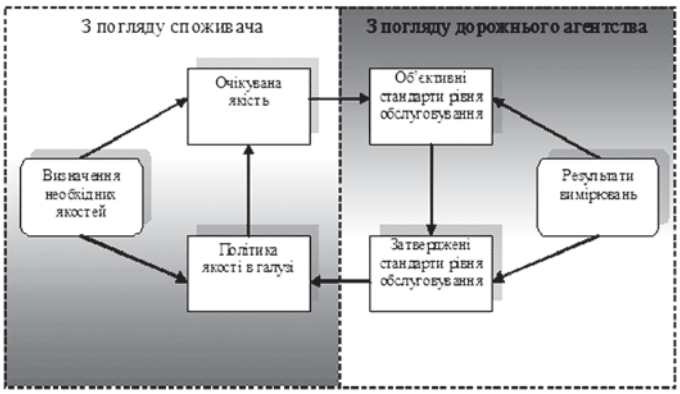


Рис. 1. ***Концепція формування рівня обслуговування*** *(адаптовано з [9])*

Типові показники ефективності, які застосовуються в довгострокових контрактах, заснованих на кінцевих показниках (ДККП), і формують рівень обслуговування можуть бути такими:

– міжнародний індекс рівності (IRI) для вимірювання рівності дорожнього покриття, що впливає на вартість експлуатації транспортних засобів;

– відсутність вибоїн, контроль тріщин і колійності як факторів безпеки та якості покриття;

– значення коефіцієнта зчеплення;

– об'єм замулення або засмічення системи дренажу;

– пошкодження дорожніх знаків і розмітки;

– тощо.

Зазвичай у довгострокових контрактах ДККП передбачається від 20 до декількох сотень показників, що формують рівень обслуговування.

Перші дослідження в Україні в цьому напрямі були проведені в Національному транспортному університеті кафедрою управління виробництвом і майном, у результаті чого Каніним О. П., Соколовою Н. М., Харченко А. М., Шпиг А. Ю. за участі автора цієї статті були розроблені Методика та інформаційно-аналітична система управління станом автомобільних доріг на основі довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показником рівня їх обслуговування [3, 4, 6, 7], згідно з якою рівень обслуговування автомобільних доріг в цілому – це інтегральний показник, який відображає досягнення певного усередненого експлуатаційного стану всіма конструктивними елементами автомобільної дороги та визначається повнотою і якістю виконання робіт

з ремонтів та утримання доріг на основі оптимізації ремонтно-відновлювальних заходів та утримання.

Рівень обслуговування доріг тісно пов›язаний з поняттям рівня втручання (РВ), який, у свою чергу, якщо дорожня служба дотримується його виконання, обумовлює досягнення певного рівня обслуговування.

Під час обґрунтування контрактів з експлуатації доріг значення рівня обслуговування може варіювати залежно від поставлених задач. Це можуть бути мінімально допустиме значення стану, нижче якого виникає загроза безпеці руху або збереженню елемента дороги, тригери (значення рівня втручання, коли доцільно виконувати той чи інший вид ремонтних дій), цільові рівні втручання, яких потрібно досягти.

Рівень обслуговування автомобільної дороги в цілому визначається кожного звітного місяця за формулою:

$$PO_m = 1 - \frac{CxШ_m}{B_m}, \qquad (1)$$

де PO_m – рівень обслуговування в m-й місяць;

C – вартість одного штрафного балу, грн.;

$Ш_m$ – кількість штрафних балів на m-й місяць;

B_m – місячний розмір оплати з контрактом.

Отже, найкращий рівень обслуговування дорівнює 1, якщо не встановлено премії (бонусу) за досягнення кращого експлуатаційного стану. В останньому випадку потрібно визначити методику нарахування премій, а рівень обслуговування може бути більший за 1.

Рівень втручання і рівень обслуговування ґрунтується на понятті експлуатаційного стану елементу дороги, його класифікації і безрозмірній шкалі рейтингу стану, яка відображує спільний вплив на стан різних типів пошкоджень. Прийнято, що елементи дороги протягом життєвого циклу перебувають послідовно в одному з п'яти експлуатаційних станів *(див. таблиця 1)*.

Кожен тип пошкодження характеризуються двома параметрами:

– рівнем серйозності;

– рівнем розповсюдження.

Рівень серйозності характеризує ступінь або міру ураження елементу, а рівень розповсюдження – ступінь охоплення елементу пошкодженням. Як правило, рівень серйозності поділяється на три підрівні: низький, середній і великий.

Кожне пошкодження окремо впливає на рейтинг стану елементу дороги. Рейтинг пошкодження визначається інтерполяцією між граничними значеннями інтервалів розповсюдження пошкоджень, які відповідають експлуатаційним станам [8, с. 89-93]:

$$r_{ij}^{PC} = b_{ij}^{max} - \frac{PP_i^{PC} - P_{ij-1}^{PC}}{P_{ij}^{PC} - P_{ij-1}^{PC}} x \ (b_{ij}^{max} - b_{ij}^{min}),$$

$$P_{ij-1}^{PC} < PP_i^{PC} \le P_{ij}^{PC} \qquad (2)$$

де r_{ij}^{PC} – рейтинг i-го пошкодження з рівнем серйозності РС в j-му експлуатаційному стані;

b_{ij}^{max} – верхня межа для j-го стану в балах;

PP_i^{PC} – фактичний виміряний (оцінений візуально або інструментально) об'єм пошкодження (рівень розповсюдження);

P_{ij}^{PC} – межа рівня розповсюдження i-го пошкодження j-го стану;

b_{ij}^{min} – нижня межа для j-го стану в балах.

Стан елементу визначається через рейтинг залежно від сумісного впливу кожного пошкодження елементу. Для визначення стану елементу в цілому за всіма зафіксованими пошкодженнями розраховується його рейтинг:

$$R_i^e = f_{ni} \left(\sum_{j=1}^{j=n_i} [100 - r_{ij}\right], j = 1 \ldots n_i, \qquad (3)$$

де R_i^e – середньозважений рейтинг стану і-го елементу;

f_{ni} – функція обчислення рейтингу, яка враховує сумісний вплив на стан елементу декількох пошкоджень. Для всіх видів елементів застосовуються однакові функції f_{ni}.

Виконання різних видів ремонтних робіт приводить до різних значень величини підвищення рейтингу і до переходу до кращого стану елементу дороги. Визначення величини підвищення рейтингу здійснюється через застосування моделі впливу ремонтів.

Таблиця 1

Класифікація експлуатаційних станів елементів доріг

Експлуатаційний стан	Назва стану	Межі рейтингу стану елементу, балів
Стан 1	Відмінний	понад 80 до 100 включно
Стан 2	Добрий	понад 60 до 80 включно
Стан 3	Задовільний	понад 40 до 60 включно
Стан 4	Поганий	понад 20 до 40 включно
Стан 5	Аварійний	понад 0 до 20 включно

З метою систематичного використання у процесі укладенні ДККП обґрунтованих рівнів обслуговування елементів автомобільних доріг, після виконання наукових досліджень, доцільна розробка нормативного документу відповідного рівня, який повинен включати такі дані:

– рівень вимог залежно від адміністративного значення доріг, відповідно до ДСТУ 3587;

– складову дороги (земляне полотно, покриття дорожнього одягу, штучні споруди, інженерне облаштування, технічні засоби тощо);

– вид елементу дороги (узбіччя, покриття тощо);

– тип елементу дороги (узбіччя укріплені, покриття асфальтобетонне тощо);

– дефект елементу (вибоїни, сітка тріщин, деформація відбійника тощо);

– частоту нагляду за станом елементу дороги;

– пору року, коли застосовується рівень обслуговування (літо, зима, літо і зима);

– рівень втручання;

– термін ліквідації;

– кількість штрафних балів за час, що перевищує термін ліквідації;

– одиниця виміру умови області застосування – рівня розповсюдження (на 1 випадок, на 1 кілометр) і кількість таких одиниць (наприклад, більше 5 на 1 кілометр);

– пояснення умов застосування;

– вид діяльності: поточний дрібний ремонт або експлуатаційне утримання доріг.

Мінімальні рівні обслуговування у ДККП, які б забезпечували нормативні вимоги до експлуатаційного стану автомобільної дороги, виконання яких залежить від поточного дрібного ремонту та експлуатаційного утримання, повинні бути встановлені й описані в плані-завданні до контракту і не мають суперечити ДСТУ 3587-97, СОУ 45.2-00018112-042:2009, П Г.1-218-113:2009 та інших нормативних документів. Приклад рівнів обслуговування елементів автомобільних доріг для ДККП наведені у *таблиці 2.*

Таблиця 2

Приклад рівнів обслуговування елементів автомобільних доріг в ДККП

Код	Елемент / місце	Сезон	Рівень обслуговування	Рівень втручання	Час відгуку	Штрафні бали за недотримання
1	2	3	4	5	6	7
І. Асфальтобетонне покриття						
1.1. Вибоїни						
1.1.1	Всі смуги руху	Л, З	Не допускаються за більшим діаметром та глибиною	Середній діаметр – у межах від 150 мм до 200 мм та/або глибина вибоїни – у межах від 40 мм до 50 мм	1 день	2 в день
1.1.2	Всі смуги руху	Л, З	Не допускаються за більшим діаметром та глибиною	Середній діаметр вибоїни перевищує 200 мм та/або глибина – понад 50 мм	4 години	2 за 4-х годинний період
1.1.3	Всі узбіччя з твердим покриттям	Л, З	Не допускаються за більшим діаметром та глибиною	Середній діаметр – понад 300 мм та/ або глибина вибоїни – понад 50 мм	7 днів	2 в день
1.2. Ямковий ремонт						
1.3. Лінійні тріщини						
1.3.1	Всі смуги руху	Л	Не допускаються за шириною	Ширина тріщини від 3 мм до 5 мм включно	До 15 вересня	2 в день за кожен км проїжджої частини, що не відповідає вимогам
1.3.2	Всі узбіччя з твердим покриттям	Л	Не допускаються за шириною	Ширина тріщини від 3 мм до 5 мм включно	До 15 вересня	1 в день за кожен км проїжджої частини, що не відповідає вимогам

ВИСНОВОК

Рівень обслуговування автомобільних доріг відображає досягнення певного усередненого експлуатаційного стану всіма конструктивними елементами автомобільної дороги та визначається повнотою і якістю виконання робіт з ремонтів та утримання доріг на основі оптимізації ремонтно-відновлювальних заходів та утримання.

Рівень обслуговування може варіювати залежно від поставлених задач. Це може бути мінімально допустиме значення стану, нижче якого виникає загроза безпеці руху або збереженню елемента дороги, тригери, цільові рівні втручання, яких потрібно досягти. З метою систематичного використання у процесі укладення ДККП обґрунтованих рівнів обслуговування елементів автомобільних доріг, після виконання наукових досліджень, доцільна розробка нормативного документу відповідного рівня.

ЛІТЕРАТУРА

1. Деякі питання реформування системи державного управління автомобільними дорогами загального користування [Електронний документ] / Розпорядження Кабінету міністрів України від 31 березня 2015 р. № 432-р.. – Режим доступу: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/432-2015-%D1%80.
2. МР В.3.2-02070915-844:2014 «Методичні рекомендації з управління станом автомобільних доріг на основі довгострокових контрактів з поточного дрібного ремонту та утримання доріг за показником рівня їх обслуговування».
3. Соколова Н. М. Моніторинг виконання довгострокових контрактів з утримання доріг / Н. М .Соколова, О. П. Канін, А. М. Харченко // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2013. – Вип. 28. – С. 434-442.
4. Соколова Н. М. Теоретичні аспекти довгострокових контрактів на основі кінцевих показників / Н. М. Соколова, О. П. Канін, А. М. Харченко // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал. Вип. 11. – К.: НТУ, 2013. С. 130-139.
5. Станкевич Наталья Содержание и улучшение дорожной инфраструктуры с помощью контрактов, основанных на показателях качества работ / Н. Станкевич, Н. Кюреши, Ц. Кейроз // Транспортный бюллетень TN-27. – Вашингтон (США): Всемирный банк. – Сентябрь, 2005.
6. Харченко А. М. Еволюція розвитку та переваги застосування довгострокових контрактів, заснованих на кінцевих показниках, у дорожній галузі / А.М.Харченко, О. П. Канін, Н. М. Соколова // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2013. – Вип. 28. С. 496-504.
7. Харченко А. М. Система управління станом доріг за показником рівня обслуговування в довгострокових контрактах з поточного дрібного ремонту та утримання доріг / А. М. Харченко, О. П. Канін, Н. М. Соколова // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал. Вип. 12. – К.: НТУ – 2013. – С. 193-205.
8. Харченко А. М. Удосконалення методів проектування річної програми робіт дорожньо-ремонтних організацій [Текст]: дис. … канд. техн. наук: 05.13.22 / Харченко Анна Миколаївна; Національний транспортний університет – К., 2010. – 183 с.
9. J. Litzka. Performance indicators for road pavements a tool to evaluate long life pavements. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.fehrl.org/?m=32&mode=download&id_file=523.

УДК 625.848

© **Толмачов С. М.**, докт. техн. наук, професор
(Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

ДО ПИТАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ПІСНИХ БЕТОНІВ, УЩІЛЬНЮВАНИХ КОТКАМИ В ОСНОВАХ ДОРІГ

Анотація. *У статті показано переваги основ доріг із пісного цементобетону, який ущільнюють котками. Порівняно зі звичайними важкими бетонами ці бетони містять дуже мало цементу і води. Зазначено, що основи з такого бетону можна будувати за допомогою сучасної дорожньої техніки: асфальтоукладальників та котків. Досліджено властивості бетонів, ущільнюваних котками, серед яких: щільність, міцність, водопоглинання, морозостійкість. Щільність таких бетонів така сама, як і звичайних важких. Міцність бетонів за витрати цементу 120-140 кг/м³ досягає 10 МПа. Морозостійкість матеріалу відповідає марці F100. Запропоновано використовувати такі бетони для будівництва основ доріг і нижніх шарів їхніх покриттів.*

Ключові слова: *основи доріг, пісний бетон, ущільнення котками, щільність, міцність, водопоглинання, морозостійкість.*

Аннотация. *В статье показаны преимущества оснований дорог из тощего цементобетона, который уплотняют катками. По сравнению с обычными тяжелыми бетонами эти бетоны содержат очень мало цемента и воды. Показано, что основания из такого бетона можно строить с помощью существующей дорожной техники: асфальтоукладчиков и катков. Исследованы свойства бетонов, которые уплотняют катками, такие как: плотность, прочность, водопоглощение, морозостойкость. Плотность таких бетонов такая же, как обычных тяжелых бетонов. Прочность бетонов при расходе цемента 120-140 кг/м³ достигает 10 МПа. Морозостойкость материала соответствует марке F100. Предложено использовать такие бетоны для строительства оснований дорог и нижних слоев их покрытий.*

Ключевые слова: *основания дорог, тощий бетон, уплотнение катками, плотность, прочность, водопоглощение, морозостойкость.*

Abstract. *The article shows the advantages of the bases of roads from lean cement concrete, which is compacted with rollers. Compared with conventional heavy concrete, these concretes contain very little cement and water. It is shown that the bases of such concrete can be built with the help of existing road machinery: asphalt pavers and rollers. The properties of concrete, which are compacted by rollers, such as: density, strength, water absorption, frost resistance, are studied. The density of such concrete is the same as that of conventional heavy concrete. Concrete strength at cement consumption of 120-140 kg/m³ reaches 10 MPa. The frost resistance of these concretes corresponds to the grade F 100. It is proposed to use such concretes for the construction of the bases of roads and lower layers of road surfaces.*

Keywords: bases of roads, lean cement concrete, compacting with rollers, density, strength, water absorption, frost resistance.

ВСТУП

Стан проблеми і актуальність. Різка зміна умов експлуатації дорожніх шляхів протягом останніх трьох десятиліть (зростання навантаження на вісь транспортного засобу та інтенсивності руху) спричинила необхідність підвищення довговічності шарів дорожніх одягів з цементних бетонів. Як показує вітчизняний і світовий досвід, новим вимогам руху найбільше відповідають дорожні покриття жорсткого типу [1].

Цементобетонні дорожні покриття мають низку переваг порівняно з покриттями інших типів, наприклад, високу міцність на розтяг у результаті згинання, малу величину пружних деформацій під навантаженням від автомобілів, високу розподільну здатність, світлий колір, високий стабільний у часі і мало залежний від зволоження коефіцієнт зчеплення з протектором колеса автомобіля, незначний знос унаслідок стирання, високу довговічність, тривалий термін служби. Досить дешевою, швидко і просто влаштованою основою

є шар з цементного бетону, який ущільнено укочуванням. Як показала практика будівництва (рис. 1, 2), такий шар товщиною 16...18 см (на дорозі 1-2 категорії) може замінити два шари укріпленого і неукріпленого щебеню або щебенево-піщаної суміші товщиною 22...26 см кожен.

З огляду на те, що вміст цементу в такому бетоні зазвичай не перевищує 140…150 кг/м^3, його названо пісним. Свою назву він отримав через малу кількість в'яжучої речовини. Цементобетонні основи з пісного бетону, які в подальшому перекривають основним шаром покриття з асфальтобетону або цементобетону мають високу довговічність і забезпечують тривалість служби всієї конструкції дорожнього одягу. Тому актуальним є улаштування таких основ для доріг будь-яких категорій.

Традиційний підхід до влаштування таких основ передбачає застосування комплекту бетоноукладальних машин. Це стримує широке застосування шарів основ із пісного бетону в будівництві автодоріг через відсутність таких комплектів в Україні в необхідній кількості та їхню високу вартість. Однак, накопичений нами досвід влаштування таких основ у будівництві доріг в АР Крим (80-ті роки минулого століття), реконструкції аеропортів у м. Донецьку, м. Харкові та м. Львові (2007 – 2012 р.р.) показав, що для будівництва основ з пісного бетону досить ефективно можна використовувати техніку, призначену для влаштування асфальтобетонних покриттів. Зокрема, це асфальтоукладальники і котки *(рис. 1)*. Одержуваний при цьому бетон відрізняється високими фізико-механічними характеристиками *(рис. 2)*. Тому одним із перспективних напрямків розвитку дорожньої інфраструктури України є будівництво не тільки основ, але й верхніх шарів доріг з жорстких цементобетонних сумішей з використанням наявної дорожньої техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Укочений бетон відомий як різновид важких цементних бетонів, але відрізняється від них значно меншим вмістом цементу і води, що дозволяє покращити його властивості [2]. До переваг цього бетону також можна віднести: менші витрати цементу, малу усадку і високу тріщиностійкість, які пов'язані зі зниженим водоцементним відношенням, допустимим у зв'язку зі способом його ущільнення; можливість перекриття його іншими конструктивними шарами безпосередньо після укочування, після невеликої технологічної перерви; ущільнення бетонної суміші укочуванням (віброукочуванням), що здешевлює технологію будівництва.

Існує думка [3], що укочений бетон є більш технологічним матеріалом, аніж звичайний бетон, хоча і дещо менш зручним для дорожніх конструк-

Рис. 1. ***Укладання пісної бетонної суміші асфальтоукладальником***

Рис. 2. ***Керн з пісного бетону, випиляного з основи через 18 годин***

цій, зважаючи на його більшу чутливість до зміни погодних факторів і порушень технологічного процесу. Ефективність цього композиту досягається за рахунок зменшення витрат цементу – до 30 % і трудовитрат майже в два рази. Насамперед усе це стосується пісних укочених та малоцементних пресованих бетонів.

Пісний бетон – це будівельний матеріал, у якому порівняно з традиційними важкими бетонами не тільки значно зменшена кількість цементу і води, але й збільшено вміст заповнювачів (щебеню, піску) [4]. Він використовується у будівництві в тих випадках, коли застосування традиційного важкого бетону економічно недоцільно. Це приводить до суттєвої економії найдорожчого компонента бетонної суміші – цементу. До того ж здешевленню продукції сприяє збільшення об'ємного вмісту в бетоні щебеню.

Пісний цементний бетон відомий досить давно, а дослідження його властивостей велися досить широко [5 – 8]. У роботах різних авторів зазначено, що влаштування шарів дорожніх одягів із пісного бетону має свої переваги і недоліки, які

створюють певні проблеми у його застосуванні. Але на сьогодні можна цілком впевнено сказати, що в будівництві, а можливо, і в реконструкції автошляхів в Україні найбільш доцільним є улаштування основ і шарів дорожніх одягів (зокрема нижнього шару двошарових покриттів) з пісного бетону, що ущільнюється методом укочування.

Мета статті. Метою цієї роботи є проведення дослідження якості пісних бетонів, що ущільнюються пресуванням або укочуванням.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Дослідження проводили на кафедрі технології дорожньо-будівельних матеріалів (ТДБМ) Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ – ХАДІ). Були досліджені щільність та міцнісні характеристики пісних укочених бетонів з різними витратами цементу: 120, 160, 200 кг/м^3.

Зразки бетону виготовляли за різних показників тиску: 30, 45, 60 МПа, дослідження щільності проводили на 28 добу, зразки тверділи в нормальних умовах за температури + 20 ± 3 °С і відносної вологості 95±5 %. Результати досліджень щільності показано *на рис. 3*. Як видно з наведених даних, за умови тиску пресування бетонної суміші 30 МПа і витрати цементу 120 кг/м^3 щільність бетону склала 2099 кг/м^3 *(рис. 3)*. Зі збільшенням тиску пресування до 45 і 60 МПа за цих же витрат цементу щільність бетону збільшилася до 2136 і 2154 кг/м^3 відповідно, тобто на 1,8 і 2,6 %. За витрати 160 кг/м^3 цементу та показників тиску пресування 30 МПа і 45 МПа щільність бетону становить 2111 і 2159 кг/м^3 відповідно. Зі зростанням тиску пресування до 60 МПа і за тієї ж витрати цементу щільність бетону

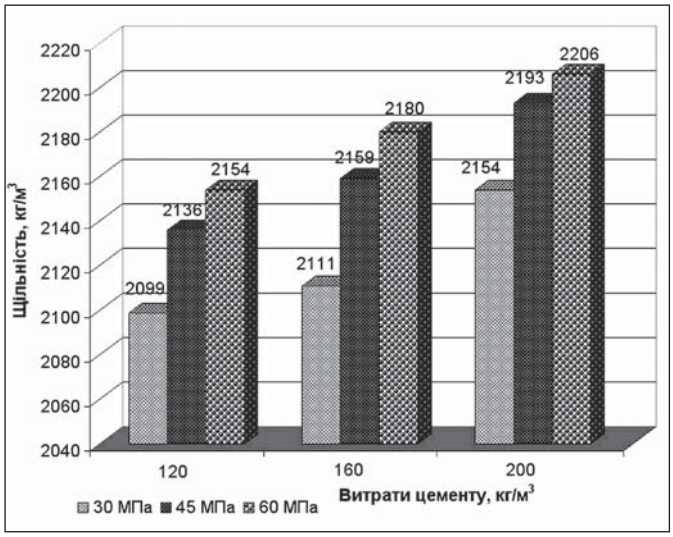


Рис. 3. ***Щільність пісного укоченого бетону залежно від витрат цементу***

збільшується до 2180 кг/м^3, тобто на 3,3 %. Для складів бетону з витратою цементу 200 кг/м^3 за умови тиску пресування 30 МПа щільність бетону склала 2154 кг/м^3, а за 45 МПа і 60 МПа щільність практично однакова і становить 2193 і 2206 кг/м^3, тобто зростає на 1,8 і 2,4 %.

Дослідження міцності пісних укочених бетонів показали, що за умови тиску пресування 30 МПа міцність бетонів у віці 7 діб природного твердіння в нормальних температурно-вологістних умовах (температура +20±2 °С, відносна вологість 95 %) склала: за витрати цементу 120 кг/м^3 – 49,6 кг/см^2; за витрати цементу 160 кг/м^3 – 74,5 кг/см^2; за витрати 200 кг/м^3 – 90,7 кг/см^2 *(табл. 1)*.

Очевидна тенденція зростання міцності бетону зі збільшенням витрати цементу в складі бетонних сумішей *(рис. 4, 5)*. На сьому добу твердіння *(рис. 4)* за витрат цементу 120 кг/м^3 за умови тиску пресування 30 МПа міцність пісного бетону становить 49,6 кг/см^2. Зі збільшенням тиску пресування до 45…60 МПа та за тих самих показників витрат цементу міцність бетону зростає на 28…30 % порівняно з бетоном, пресованим під тиском 30 МПа. Аналогічна тенденція збільшення міцності зі збільшенням тиску пресування спостерігається і за умови витрат цементу 160 кг/м^3 та 200 кг/м^3. Для витрат цементу 160 кг/м^3 і тиску пресування 30 МПа міцність пісного бетону становить 74,5 кг/см^2. Зі зростанням тиску пресування до 45 МПа та 60 МПа міцність збільшується до 95 кг/см^2 та 93,7 кг/см^2 відповідно, тобто на 27 % та 24 %. Для витрат цементу 200 кг/м^3 і тиску пресування 30 МПа міцність пісного бетону становить 90,7 кг/см^2. Зі збільшенням тиску пресування до 45 МПа міцність зростає на 8 %, а за умови тиску пресування 60 МПа – на 39 %.

Тенденція збільшення міцності бетонів зі збільшенням тиску пресування та кількості цементу проявляється і у віці 28 діб твердіння *(рис. 5)*. Для витрат цементу 120 кг/м^3 та тиску пресування 30 МПа міцність становить 68,1 кг/см^2, зі збільшенням тиску пресування до 45 та 60 МПа міцність зростає на 21 % та 38 % відповідно. Зі збільшенням витрат цементу до 160 кг/м^3 та тиску пресування з 30 МПа до 45…60 МПа міцність пісного бетону збільшується на 13 % та 20 % відповідно. Для витрат цементу 200 кг/м^3 і тиску пресування 30 МПа міцність пісного бетону становить 126 кг/см^2. За умови тиску пресування 45 МПа та 60 МПа міцність збільшується на 18 % та 31 % відповідно порівняно з бетоном, пресованим під тиском 30 МПа. Таким чином, максимальний приріст міцності пісних бетонів на 28 добу твердіння спостерігається за показників витрат цементу 120 кг/м^3 та тиску пресування 45 та 60 МПа.

В останні роки для поліпшення властивостей бетонів, що виготовляються методом укочування або різними способами пресування, набувають

Таблиця 1

Міцність пісних укочених бетонів

№ складу	Тиск пресування, МПа	Витрати цементу, кг/м^3	Міцність у віці, діб, $R_{ст}$, кг/см^2	
			7	28
1	30 МПа	120	49,6	68,1
2		160	74,5	100,5
3		200	90,7	126,0
1	45 МПа	120	63,7	82,4
2		160	95,0	113,7
3		200	98,1	149,7
1	60 МПа	120	64,5	93,8
2		160	93,7	120,6
3		200	126,4	165,0

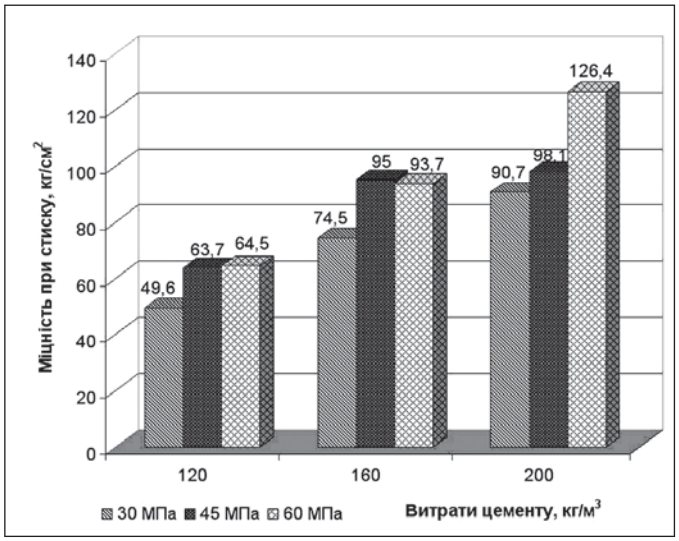


Рис. 4. ***Міцність пісних укочених бетонів у віці семи діб природного твердіння залежно від витрат цементу***

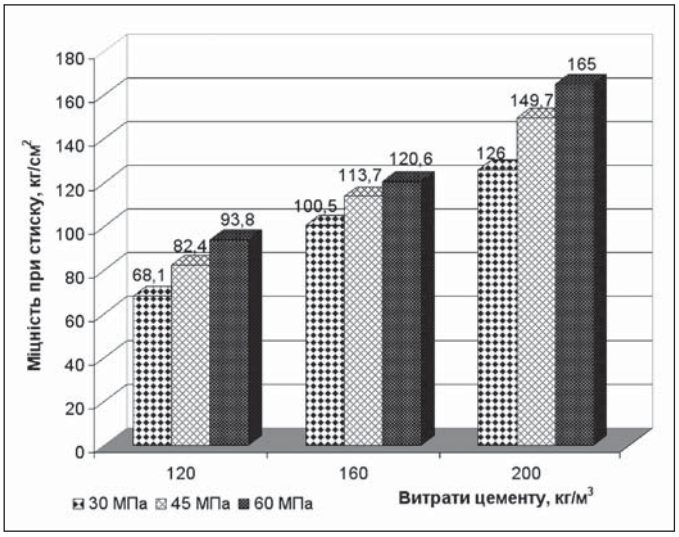


Рис. 5. ***Міцність пісних укочених бетонів у віці 28 діб природного твердіння залежно від витрат цементу***

поширення різні хімічні добавки нового типу. Вони призначені для застосування в бетонах, які ущільнюються тільки пресуванням і укочуванням. Їхня ефективність для віброущільнених бетонів дуже низька. До таких добавок відносяться, наприклад, розробки фірми MC-Bauchemie (Німеччина) пластифікатор Murasan BWA 14 і спеціально розроблена добавка Techniflow 12. Названі добавки сприяють більш якісному ущільненню бетонних сумішей.

Дослідження проводили на дрібнозернистих бетонах, що виготовляються методом пресування за умови Р = 40 МПа і витрати цементу марки 400 у кількості 120 кг/м^3. Результати дослідження впливу витрат добавок на щільність та міцність бетонів наведені в табл. 2. Дослідження показали, що введення пластифікатора приводить до зростання щільності пресованого бетону за оптимальної кількості добавки з 2145 кг/м^3 до 2225 кг/м^3, тобто на 5 %. Оптимум добавки склав 0,3 % від маси цементу. Зі збільшенням витрати добавки до 0,6 і далі до 0,9 % щільність пресованих бетонів починає знижуватися. Для добавки Techniflow притаманний такий самий ефект приросту щільності бетонів, як і в бетонів з оптимальною кількістю пластифікатора, але цей приріст спостерігається незалежно від витрати добавки. Таке підвищення щільності можна пояснити кращим ковзанням частинок суміші один щодо одного, що забезпечується адсорбцією добавок на частинках цементу. Цементне тісто забезпечує цього разу мастило і якісну упаковку частинок.

Аналогічні закономірності спостерігаються і в процесі визначення міцності пресованих пісних бетонів *(табл. 2)*. максимальний приріст міцності спостерігається за показників витратах добавок 0,3 % від маси цементу. Зі збільшенням витрати добавок до 0,6 і далі до 0,9 % міцність пресованих бетонів починає знижуватися.

Таблиця 2

Вплив витрати пластифікатора Murasan BWA 14 і добавки Techniflow 12 на властивості пресованих пісних бетонів

№ з/п	Вид і кількість добавки, % від $m_ц$	Щільність, ρ кг/м³	Міцність у віці, діб, $R_{ст}$, кг/см²	
			7	28
1	Без добавок	2145	58,8	62,8
2	Murasan BWA 14 – 0,3 % від $m_ц$	2225	62,3	67,3
3	Murasan BWA 14 – 0,6 % від $m_ц$	2207	60,1	65,2
4	Murasan BWA 14 – 0,9 % від $m_ц$	2173	49,3	51,5
5	Techniflow 12 – 0,3 % від $m_ц$	2232	59,4	64,0
6	Techniflow 12 – 0,6 % від $m_ц$	2233	55,6	62,5
7	Techniflow 12 – 0,9 % від $m_ц$	2234	48,3	59,3

У дослідженнях морозостійкості пісних укочених бетонів використовували склади, які відрізнялися витратою цементу і наявністю хімічної добавки *(табл. 3)*. Як хімічну добавку застосовували Murasan BWA 14, яка сприяє більш якісному ущільненню бетонних сумішей. За більш якісного ущільнення сумішей, відповідно, повинні поліпшуватися показники якості пісних укочених бетонів, такі як міцність, водопоглинання і морозостійкість. Це підтверджують дані табл. 3. Так, наприклад, міцність пісних укочених бетонів за умови введення хімічної добавки збільшується на 10 % за витрати цементу 120 кг/м³ і на 11 % за витрати цементу 160 кг/м³. Ця величина приросту міцності значно менша, ніж для віброущільнених бетонів, у які вводять суперпластифікатори. Але слід врахувати, що суперпластифікатори мають водознижувальну дію, а добавки цього типу призначені для поліпшення ущільнення жорстких бетонних сумішей і мають свій, зовсім інший механізм дії. Тому невеликий приріст міцності бетонів з добавкою порівняно з бетонами без добавки, пояснюється лише однією причиною - створенням більш щільної структури пісних укочених бетонів.

Введення добавки Murasan BWA 14 до складу пісних укочених бетонів приводить до зниження водопоглинання, що підтверджує висловлене припущення. У бетонах з витратою цементу 120 кг/м³ водопоглинання знижується на 16 %, а в бетонах з витратою цементу 160 кг/м³ це зниження менш помітне - на 5 %. Менше зниження водопоглинання можна пояснити наявністю в складі останніх більшої кількості цементу, який на початковій стадії (скомпонування частинок наповнювачів) грає роль тонкого наповнювача і сприяє створенню більш щільної структури бетону, ніж за умови меншої витраті цементу.

Крім досліджень у лабораторії кафедри проводили порівняльні випробування кернів, відібраних з основи, що будувалася в цей період в Курській області, дороги 2 категорії *(рис. 6)*. Співробітниками кафедри ТДБМ ХНАДУ було проведено науковий супровід будівництва цього та низки інших об'єктів, який показав, що фактична щільність зразків бетону, що укладаються в основу доріг і майданчиків, становить 2300...2450 кг/м³, залежно від застосовуваних матеріалів і ущільнювальної техніки. Така щільність відповідає щільності важких цементних бетонів.

Рис. 6. ***Ділянка основи з пісного укоченого бетону на дорозі 2 категорії в Курській області***

Таблиця 3

Властивості пісних укочених бетонів

№ з/п	Кількість цементу, кг/м³	Добавка BWA 14, % від $m_ц$	$R_{ст}$, МПа	Водопоглинання, W, %	Коефіцієнт морозостійкості після кількості циклів		
					100	150	200
1	120	-	85,5	3,64	0,99	0,95	0,78
2	120	0,4 %	93,7	3,15	1,04	0,95	0,92
3	160	-	132,0	2,84	1,03	1,0	0,92
4	160	0,4 %	146,0	2,7	1,04	0,99	0,94

Швидкість набору міцності пісних бетонів з правильно підібраним складом у реальних умовах будівництва через 18 годин становила 30...35 кг/см^2, що дозволяло пересуватися по укладеній основі важкій техніці – навантаженим автосамоскидам з бетонними сумішами і 24-тонним котками. Міцність бетону у віці 28 діб за умови витрат цементу не більше 120...140 кг/м^3 перевершила марку М100. Водопоглинання бетону не перевищувало 4...5 %. Морозостійкість бетону кернів відповідала маркам F75...F100, що значно вище за вимоги до бетону основ (F25).

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що максимальний приріст щільності пресованих пісних бетонів спостерігається за умови витрати цементу 200 кг/м^3. А найпомітніше зростання щільності бетонів зі збільшенням витрати цементу забезпечується за умови тиску пресування 60 МПа.

2. Показано, що максимальний приріст міцності пісних бетонів на 28 добу твердіння спостерігається за умови витрати цементу 120 кг/м^3 та тиску пресування 45 та 60 МПа. Міцність пісного бетону збільшується на 21 % та 38 % відповідно.

3. Введення спеціальних добавок для пресованих бетонів дозволяє підвищити їхні щільність і міцність за рахунок кращої упаковки зерен заповнювача.

4. Встановлено, що морозостійкість пісних укочених бетонів з витратами цементу 120...160 кг/м^3 відповідає марці F150 і не залежить від наявності або відсутності хімічної добавки Murasan BWA 14 у складі бетону.

5. Результати лабораторних і практичних досліджень показали безсумнівну ефективність улаштування основ, а також нижніх шарів покриттів автомобільних доріг усіх категорій з пісного бетону, що укладається за допомогою асфальтоукладальників і ущільнюється котками. З деяким збільшенням витрат в'яжучого та коригуванням складу цим способом можна влаштовувати не тільки основи та нижні шари покриттів, але й верхні шари проїжджої частини автомобільних доріг.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Лесовик Р. В.* Разработка укатываемого бетона на техногенном сырье для дорожного строительства / Р. В. Лесовик, В. В. Строкова, М. С. Ворсина // Строительные материалы. – 2004. – № 9. – С. 8 – 9 .
2. *Лесовик Р. В.* Пути снижения материалоемкости в дорожном строительстве / Р. В. Лесовик // Наука и техника в дорожной отрясли. – 2012. – № 4. – С. 6 – 7.
3. *Петрович П. П.* Укатываемый бетон в дорожном строительстве / П. П. Петрович // Бетон на рубеже третьего тысячелетия: материалы 1-й Всерос. конф. по проблемам бетона и железобетона. – М. Ассоциация «Железобетон», 2001. – Кн. 3. Секционные доклады: секции III – VII. – С. 1727 – 1731.
4. Что такое тощий бетон. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://tolkobeton.ru/beton/toshhij-beton.html
5. *Фролов А. Б.* Опыт использования укатываемого бетона в дорожном строительстве / А. Б. Фролов // Энергетическое строительство за рубежом, 1985. – № 1. – С. 30 – 35.
6. *Пинус Э. Р.* Строительство цементобетонных покрытий автомобильных дорог / Э. Р. Пинус. – М.: Высшая школа, 1975. – 303 с.
7. *Корюков В. П.* Жесткий цементобетон / В. П. Корюков //Автомобильные дороги, 1988. – № 9. – С. 20 – 21.
8. *Костенко Ю. А.* Цементные бетоны, уплотняемые катками / Ю. А. Костенко, И. М. Грушко, В. А. Бирюков, С. Н. Толмачев // Автошляховик України, 1996. – № 2. – С. 34 – 37.

УДК 691-492

© **Золотарьов В. О.**, докт. техн. наук, професор;
© **Маляр В. В.**, канд. техн. наук, доцент;
© **Корюк В. П.**, науковий співробітник;
© **Свінарьов М. О.**, канд. техн. наук, науковий співробітник (ХНАДУ)

ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ В ЩЕБЕНІ ЗЕРЕН ПЛАСТИНЧАТОЇ ФОРМИ ЗА EN 933-3

Анотація. *Розглянуті методи визначення вмісту зерен пластинчатої форми у складі сумішей різних і окремих фракцій. Освітлені особливості визначення зерен пластинчатої форми на ситах, що рекомендуються EN 933-3:1997.*

Ключові слова: *щебінь, фракції, сита з круглими, квадратними і щілинними отворами, ситовий аналіз.*

Аннотация. *Рассмотрены методы определения содержания зерен пластинчатой формы в составе смесей разных и отдельных фракций. Освещены особенности определения зерен пластинчатой формы на ситах, рекомендуемых EN 933-3:1997.*

Ключевые слова: *щебень, фракции, сита с круглыми, квадратными и щелевыми отверстиями, ситовой анализ.*

Abstract. *The determination methods of platelet shape granules content in mix proportions of different and individual fractions are considered. The determination factors of platelet shape granules on sieves recommended by EN 933-3:1997 are shown.*

Keywords: *crushed stone, fractions, sieves with round, square and slotted holes, sieve analysis.*

ВСТУП

Форма зерен щебеню для асфальтобетонних сумішей є одним із показників його якості і придатності для отримання якісного асфальтобетону. Стандарт ДСТУ Б В.2.7-119:2011 на суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний [1] диференціює вміст зерен пластинчатої і голчатої форми в щебені залежно від типу і марки суміші: для сумішей типу А з 45-55 % щебеню таких зерен повинне бути менше 15%; типу Б з 35-45 % щебеню – 20 %; типу В з 25-35 % щебеню – 30 %. Для щебенево-мастикового асфальтобетону, відповідно до ДСТУ Б В.2.7-127:2015 [2], вміст таких зерен – 10-15 %.

Об'єктивність таких меж не обґрунтована з кількох причин: через недостатню чіткість критерію пластинчастості у співвідношенні між мінімальним і максимальним розміром, що характеризує відхилення від сферичності; через складність врахування зерен іншої форми, відмінної від пластинчатої і характеру поверхні зерен. Стандарт BS 812-105.1 [3] відносить до зерен пластинчатої форми такі, у яких товщина істотно менша за довжину і ширину, а до голчатих (витягнутих) – ті, у яких довжина істотно більша, ніж товщина і ширина. Значення цих співвідношень можуть відрізнятися у країнах залежно від призначення щебеню.

Підвищена увага до форми зерен пояснюється її впливом на щільність упаковки і дробильність зерен у процесі ущільнення сумішей та роботою в асфальтобетонних шарах під транспортним навантаженням. Останнє може призвести до зменшення носійної здатності асфальтобетонних шарів і їхнього руйнування. На упаковку найбільше впливає вміст подовжених зерен. Про це свідчить коефіцієнт кореляції, наведений в [4], між пустотністю і нещадністю. Він є найменшим (0,53) порівняно з іншими показниками форми: співвідношення поверхонь (0,87), сферичності (0,80), опуклості (0,83), повноти (0,82).

Недостатність вивчення впливу фактора форми на щільність мінерального кістяка та бетону, а також низький рівень методів контролю форми у виробничих умовах обумовлені відсутністю в нормативній базі оцінки якості щебеню та відповідного інструментарію.

Аналіз нормативних документів за останні 45 років показує, що норми вмісту пластинчатих зерен з кожним новим стандартом на асфальтобетон змінювалися без об'єктивних для цього обґрунтовувань від 15 % для багатощебенистого до 40 % для малощебенистого асфальтобетону. Водночас ДСТУ Б В.2.7-74-98 «Будівельні матеріали. Крупні заповнювачі природні, з відходів промисловості, штучні для будівельних мате-

ріалів, виробів, конструкцій та робіт» [5] класифікує щебінь за максимальним вмістом зерен пластинчатої (лещадної) і голчастої форми від 10 до 35 % на чотири групи: «окатана» – до 10 %; «кубоподібна» – 10...15%; «покращена» – 15...25 %; «звичайна» – 25...35 %. Несумісність вимог до форми зерен щебеню споживачів і виробників очевидна. Також очевидно, що це є одним із факторів зниження якості асфальтобетону у конструкції дорожнього одягу, перевитрати дорогих мінерального порошку і бітуму. Проблема ускладнюється тим, що насичений щебенем щебенево-мастиковий асфальтобетон для верхніх шарів доріг вищих категорій вимагає пониженого вмісту пластинчатих зерен.

Дотримання вимог стандартів, навіть таких суперечливих, може бути забезпечено у разі надійного методу перевірки вказаних у паспортах даних. Щодо форми щебеню це важко застосувати в реальних умовах, оскільки дотепер контроль цієї властивості щебеню відповідно до [6] здійснюється спрощеним методом, що передбачає: розділення зерен щебеня по фракціях на ситах з невказаною формою комірок (квадратні або круглі), візуальне визначення кількості пластинчатих та голчастих зерен зі вмістом фракції менше 5% за масою; обмір кожного зерна за допомогою шаблона з метою визначення кількості зерен з співвідношенням максимального і мінімального розміру, більшому за 1:3. При цьому аналітична проба може містити різну кількість зерен залежно від фракції 5-10 мм, 10-20 мм, 20-40 мм [6].

Згідно зі стандартом ДСТУ Б В.2.7-71 необхідно розсіювати кожну аналітичну пробу на щілинних ситах з шириною отвору, що вдвічі менша за мінімальний розмір зерна. Таким чином, співвідношення між максимальною довжиною і діаметром зерна дорівнює 4 для зерен крупністю до 20 мм і 3,5 для зерен крупністю 40 мм і більше. Це відрізняється від співвідношення, що дорівнює 3, яке передбачене у визначенні кількості зерен такої форми ручним шаблоном. Крім того, стандарт не регламентує форму отворів сит, що використовуються для відбору проб. В умовах широкого використання зарубіжного дробильно-сортувального і змішувального устаткування це призводить до істотних відхилень лабораторного гранулометричного складу від того, що має місце на виробництві.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Результати експериментальних досліджень

Виходячи з тенденції адаптації стандартів Європейського Союзу, було здійснено відпрацювання методу визначення вмісту зерен пластинчатої форми за EN 933-3:1997 «Визначення форми зерен, індекс пластинчастості» [7]. Європейський розподіл зерен щебеня за розмірами передбачає вузьке фракціонування на квадратних ситах з розміром сторін отворів від 80 мм до 4 мм і співвідношенням суміжних розмірів меншого до більшого – 0,8. У разі випробування гранулометричних складів асфальтобетонних сумішей воно дорівнює 0,63. Співвідношення між розмірами круглих ($d_{кр}$) і квадратних ($d_{кв}$) сит відповідає рівнянню:

$$d_{кв}=0{,}792\cdot d_{кр}+0{,}125. \quad (1)$$

Для визначення вмісту зерен пластинчастої форми за методом EN 933-3 можуть бути використані сита квадратної форми з розмірами згідно ISO 33310-2: 63/80; 50/63; 40/50; 31,5/40; 25/31,5; 20/25; 16/20; 12,5/16; 10/12,5; 8/10; 6,3/8; 5,6/63 мм і сита, що їм відповідають, – з шириною щілини між стрижнями: 40; 31,5; 25; 20; 16; 12,5; 10,0; 8,0; 6,3; 5,0; 4,0; 3,15; 2,5 мм Співвідношення суміжних щілинних і квадратних сит дорівнює 1,58. Схема розсіювання щебеню представлена на *рис. 1* [8], а зовнішній вигляд різних видів сит на *рис. 2*.

Для досліджень були прийняті проби гранітного щебеню шести виробничих кар'єрів Полтавської, Запорізької і Дніпропетровської областей. Вони включали щебінь вузької фракції 5-10 мм, а також щебінь фракцій 10-20 мм і 5-20 мм. Розсіювання широких фракцій на вузькі проводили на вібростолі з частотою коливань 2800 на 1 хв. та амплітудою до 1 мм. Час вібрації – 15 хв. Маса лабораторних проб за EN 933-3 повинна бути: для зерен розміром: £4 мм – 0,2-1,2 кг; 4-8 мм – 0,6-5,0 кг; 8-16 мм – 2,6-8,0 кг; 16-31,5 мм – 10-12 кг; 31,5-63,0 мм – 40-45 кг. Для розсівання використовували по дві аналітичні проби з кожного кар'єру. Кожний частинний залишок, що утворився на квадратних ситах, розсіювали на відповідному щілинному ситі. Показник

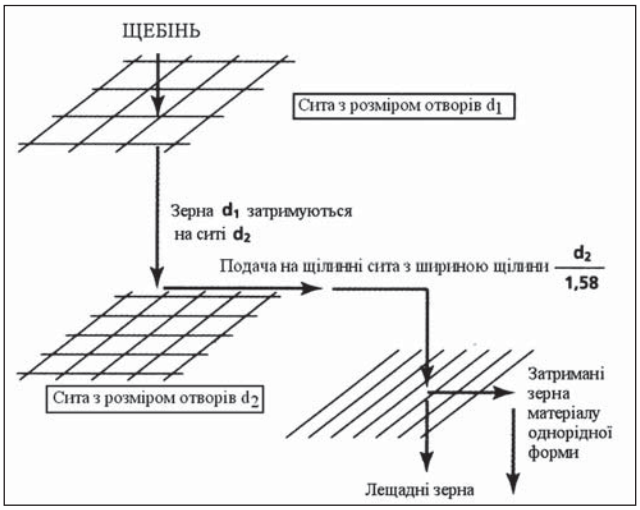
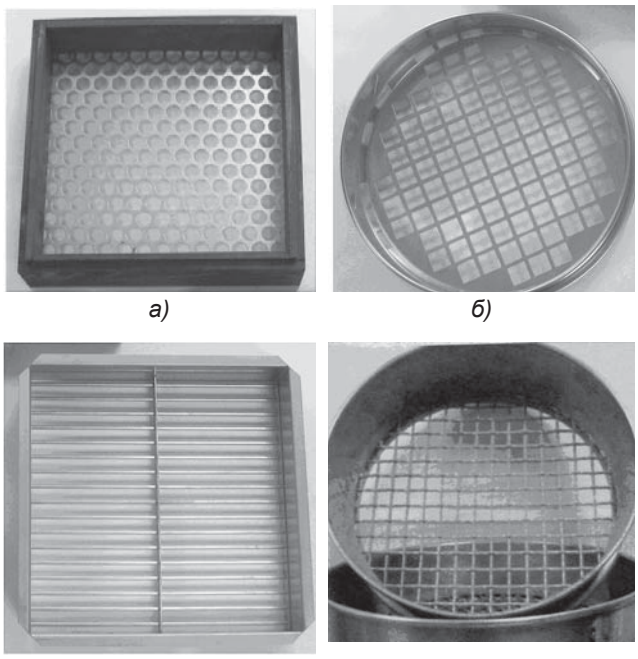


Рис. 1. ***Схема розсіювання щебеню (відповідно до [8])***



а) б) в) г)

Рис. 2. ***Сита з круглими:***
а – квадратними (перфорованими),
б – подовжніми щілинними,
в – і квадратними (сітчастими), г – отворами

пластинчастості (FI) на кожному ситі визначали за формулою:

$$FI = (m_2/m_1)x100, \% \quad (2)$$

де m_2 – маса щебеню пластинчатої форми, яка пройшла крізь щілинне сито;

m_1 – маса щебеню, висіяна на ситах із квадратними отворами.

Загальну суму зерен пластинчатої форми за EN 933-3 встановлювали як суму мас пластинчатих зерен в окремих фракціях. Наприклад, для щебеню фракції 10-20 мм визначали загальну суму лещадних зерен для фракцій 10-12,5 мм, 12,5-16 мм, 16-20 мм; на щілинних ситах з просвітом відповідно: 6,3 мм, 8,0 мм і 10 мм.

Проте в ДСТУ Б В.2.7-71 передбачається визначення вмісту зерен пластинчатої форми в цій фракції за кількістю зерен, які пройшли крізь подовжній отвір шириною 5 мм після розсіювання неподіленої на більш вузькі фракції 10-20 мм. Вміст пластинчатої фракції щебеню 10-20 мм одного з кар'єрів Полтавської області за методом EN склав: 14 %, за ДСТУ Б В.2.7-71 методом розсіювання крізь щілинне сито 5 мм – 5,2 %, а методом ручного обміру – 20,1 %.

Приклад розрахунку результатів визначення пластинчастості за методом EN 933-3 наведено в *табл. 1.*

Головними причинами обмеження вмісту зерен пластинчатої форми в щебені є збільшення пустотності мінерального остову, дробильність зерен у технологічному процесі і в процесі роботи асфальтобетону в дорожньому шарі. Для перевірки деяких з цих уявлень були приготовані модельні проби щебеню фракції 6,3-16 мм, що складалися з: кубовидного щебеню; суміші 30 % зерен пластинчатої форми і 70 % кубовидної; щебеню пластинчатої форми. Дробильність зерен визначали за ДСТУ Б В.2.7-71 у циліндрі діаметром 75 мм. Результати випробування наведені в *табл. 2.*

Відповідно до цих результатів найнижча дробильність відповідає кубовидному щебеню, а найвища – лещадному щебеню. Рівень дробильності відрізняється незначно. Проте цього достатньо, аби віднести щебінь однієї і тієї ж гірської породи до різних марок: кубовидної – до марки 1200, а лещадної – до марки 600.

Таблиця 1

Результати визначення вмісту зерен пластинчатої форми в щебені фракції 5-20 мм

Фракції на квадратних ситах	Маса залишку після розсіювання на квадратних ситах		Фракції на щілинних ситах	Маса залишку після розсіювання на щілинних ситах	
	гр.	%		гр.	%
16/20	40	0,7	10	-	-
12,5/16	400	7,0	8	153	10,7
10/12,5	436	7,7	6,3	186	13,0
8/10	1424	25,1	5	369	25,8
6,3/8	1418	25,1	4	308	21,6
5/6,3	1413	2409	3,15	233	16,3
5/4	537	9,5	2,5	181	12,6
Сума	5670	100	Сума	1430	100
Вміст пластинчатих зерен %	25,2 $(\frac{5670}{1430} \cdot 100)$				

Таблиця 2

Дробильність щебеню різної форми

Вміст щебеню за масою, %	Насипна цільність, кг/м³		Втрата маси на контрольному ситі 1,25 мм, %	Втрата маси на контрольному ситі 2,5 мм, %
	після вібрування	по ДСТУ Б В.2.7-71		
Кубовидний 100	1540	1400	5,7	10,3
Кубовидний 70 Лещадний 30	1510	1370	6,4	11,5
Лещадний 100	1450	1300	9,1	17,0

Пластинчаті зерна також впливають на насипну щільність. В обох випадках, в умовах ущільнення вібрацією і насипанням з висоти 10 см у циліндр, різниця складає близько 100 кг/м³. Водночас метод вібрації дає більш щільну упаковку, що узгоджується з [9]. У процесі випробування на дробильність змінюється зерновий склад щебеню. Повні залишки на ситі 5 мм після дробильності дорівнюють: щебеню кубовидної форми 10 %, лещадних і кубовидних зерен – 12 %, лещадних – 30 % відповідно. Для проб усіх кар'єрів зменшення розміру фракції удвічі призводить до збільшення пустотності на 3-5 %.

Для виконання описаних вище випробувань використовували сита з круглими і квадратними отворами. Гранулометричні склади мінеральних сумішей, отримані з використанням таких сит, відрізняються. Наприклад, якщо залишок на ситі з круглими отворами (діаметр 5 мм) становить 40 %, то залишок на ситі з квадратними отворами того ж розміру – 45-46 %. Щоб якісно визначити вміст зерен лещадної форми відповідно до EN 933-3, не маючи сит з квадратними отворами, необхідно: виконати розсівання щебеню або мінеральної частини асфальтобетонної суміші на ситах з круглими отворами, потім привести залишки до квадратних сит згідно з *табл. 3* та розсіяти кожну фракцію на відповідних щілинних ситах, вказаних у тій же таблиці.

Таблиця 3

Відповідність круглих, квадратних і щілинних отворів

Види сит	Фракції на ситах і щілинні отвори, мм							
Круглі	25/31,5	20/25	16/20	12,5/16	10/12,5	8/10	6,5/8	5/6,5
Квадратні	20/25	16/20	12,5/16	10/12,5	8/10	6,3/8	5/6,3	4/5
Щілинні	12,5	10	8	6,3	5	4	3,15	2,5

ВИСНОВКИ

Використовування європейських сит спрощує та уніфікує визначення зерен пластинчатої форми в окремих фракціях або в сукупності.

Встановлення марки щебеню за дробильністю без урахування вмісту в ньому зерен пластинчатої форми може призвести до отримання необ'єктивних результатів, бо наявність таких зерен у масі щебеню підвищує дробильність.

Наявність зерен пластинчатої форми в щебені підвищує пустотність мінерального кістяка.

Перехід від отворів сит круглої до квадратної форми може бути здійснений за емпіричною формулою (1).

Вимоги до щебеню стандарту ДСТУ Б В.2.7-74 і стандартів на асфальтобетонні суміші істотно розрізняються, що ускладнює забезпечення дорожньої галузі щебенем необхідної якості. Це призводить до необхідності взаємоузгодження та актуалізації цих стандартів з більшою достовірністю, ніж використання методу поштучного вимірювання кожного зерна проби.

ЛІТЕРАТУРА

1. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній і аеродромний. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7. – 119: 2011 [Чинний від 01.10.2012] – К.: Дежстандарт України, 2013. – 32 с. (Державний стандарт України).
2. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-127:2015 [Чинний від 01.07.2016] – К.: Мінрегіон України, 2015. – 30 с. (Державний стандарт України).

3. BS 812-105.1-89: Testing Aggregates – Part105: Methods for determination of particle shape – Section105.1 Flakiness index. British Standards Institution, 1990. – 10 p.
4. A. K. H. Kwan and C. F. Mora Effects of various shape parameters on packing of aggregate particles // Magazine of Concrete Research, 2001, 53, No. 2, April, P. 91–100.
5. Будівельні матеріали. Крупні заповнювачі природні, з відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Класифікація: ДСТУ Б В.2.7-74-98 [Чинний від 01.01.1999] – К.: Мінрегіон України, 1998. – 16 с. (Державний стандарт України).
6. Будівельні матеріали. Щебінь і гравій із щільних гірських порід та відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань: ДСТУ Б В.2.7-71-98 [Чинний від 10.12.1997] – К.: Державний комітет будівництва, архітектури і житлової політики України, 1997. – 98 с. (Державний стандарт України).
7. EN 933-3:1997 Test for geometrical properties of aggregates - Part 3: Determination of particle shape, flakiness index.
8. Les enrobes bitumineux. Tom 1. Paris. USIRF. -2001. – 229 p.
9. *Serdant T., Laprard F., Angot D.* Prevision de la compacite de mélanges granulaires pur modèle de suspention solide// Bull. Liaison des Labo. P.et Ch., N. 194.– 1994. – P 59-83.

УДК 625.72, 625.04, 625.7, 528.48

© **Баран П. І.**, докт. техн. наук, професор (ІФНТУНГ)
© **Буряк К. О.**, докт. техн. наук, доцент, зав. кафедри (ІФНТУНГ)

ЕФЕКТИВНІ ПЕРЕХІДНІ КРИВІ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУД

Анотація. *Дається порівняльний аналіз сучасних перехідних кривих (клотоїди, кадіоїди і тріоїди) для проектування та реконструкції автодоріг і залізниць з мінімізацією зміщень траси в межах земляного полотна. Показано особливості побудови віражу на кривих та розрахунку поля проектних позначок земляного полотна і дорожнього покриття.*

Ключові слова: *колова крива, клотоїда, кадіоїда, тріоїда, планово-висотне розмічування віражу.*

Аннотация. *Приведен сравнительный анализ современных переходных кривых (клотоиды, кадиоиды и триоиды) для проектирования и реконструкции автомобильных и железных дорог с минимальными смещениями трассы в пределах земляного полотна. Показано особенности построения виража на кривых и расчета поля проектных отметок земляного полотна и дорожного покрытия.*

Ключевые слова: *круговая кривая, клотоида, кадиоида, триоида, планово-высотная разбивка виража.*

Abstract. *A comparative analysis of modern transition curves (clothoids, cadioids and trioids) is given for the design and reconstruction of roads and railways with minimal offsets within the roadbed. The features of the curve formation on the curves and the calculation of the field of design marks of the roadbed and pavement are shown.*

Keywords: *circular curve, clothoid, cadioid, trioid, plan-height breakdown of the bend.*

ВСТУП

Серед широкого класу транспортних перехідних кривих (клотоїда, кадіоїда) важливе місце можна відвести новим кривим типу парабол третього порядку, наприклад, тріоїдів. У більшості європейських країн, зокрема й в Україні, найбільше поширення має перехідна крива клотоїда, яку відносять до класу кубічних парабол. Кут (в радіанній мірі), який стягує дугу клотоїди, та її змінний радіус визначаються за формулами:

$$\varphi = \frac{l^2}{2RL}; \quad \rho = \frac{dl}{d\varphi} = \frac{RL}{l}, \qquad (1)$$

де R – радіус колової кривої; частина і довжина перехідної кривої.

У геодезичній і транспортній літературі [1,3] часто поруч з клотоїдою згадується наближена до неї кубічна парабола, яка подається математичним виразом

$$y = l^3 / 6RL \approx x^3 / 6RL, \qquad (2)$$

де *x, y* – прямокутні координати рухомої точки параболи.

Згідно з цією формулою кут кубічної параболи і радіус визначаються похідними.

$$\varphi = \frac{dy}{dl} = \frac{l^2}{2RL}, \quad \rho = \frac{dl}{d\varphi} = \frac{RL}{l}, \qquad (3)$$

Тому формули (1) і (3) свідчать, що *кубічна парабола* теоретично є *клотоїдою*, прямокутні координати якої даються у таблицях кривих або обчислюються на ПК за формулами:

$$x = l\left(1 - \frac{q^2}{40}(1 - \frac{q^2}{86{,}4}(1 - \frac{q^2}{173{,}333}(1 - \frac{q^2}{292{,}92}(1 - \frac{q^2}{444{,}71}(1 - \frac{q^2}{628{,}6}))))) - \ldots\right);$$
$$y = \frac{lq}{6}\left(1 - \frac{q^2}{56}(1 - \frac{q^2}{125{,}714}(1 - \frac{q^2}{229{,}091}(1 - \frac{q^2}{364{,}8}(1 - \frac{q^2}{532{,}63})))) - \ldots\right); \quad q = \frac{l^2}{RL}. \qquad (4)$$

Ці ж формули використовують для обчислення координат x_L, y_L КПК при $q = 1/L$

До речі, радіус клотоїди та інших перехідних кривих пропорційно зменшується від ∞ в ППК до *R* в КПК і цим істотно впливає на динамічні властивості руху транспорту.

Під час пошуку ефективної перехідної кривої для реконструкції автошляхів найкращою виявилася складна кубічна парабола **(кадіоїда)** [2] з параметрами:

$$\varphi = \frac{l^3}{RL^2}(L - \frac{l}{2}); \quad \rho = \frac{RL^2}{l^3(3L - 2l)}. \qquad (5)$$

Як бачимо, радіус кривини кадіоїди не має рівномірного зменшення з віддаленням транспорту від ППК, що, на наш погляд, і як буде показано нижче, ускладнює динаміку руху через нерівномірність зміни відцентрового прискорення на перехідній кривій.

Прямокутні координати представницьких точок кадіоїди можна визначати за допомогою таблиць [2], використання яких в умовах сучасного виробництва викликає значні незручності. Тому з метою обчислення координат на комп'ютерах або калькуляторах нами на основі інтегральних залежностей виведено прості формули, які можуть стати елементами додаткових підпрограм для підготовки проектної документації або розмічувальних робіт на місцевості. Отримані формули, які істотно відрізняються від авторських за формою та змістом, мають вигляд:

$$x = l\left(1 - \frac{w_1^2}{14} + \frac{w_1 w_2}{8} - \frac{w_2^2}{18} - \frac{w_1^3 w_2}{84} + \frac{w_1^2 w_2^2}{60} + \frac{w_1^4}{312} - \frac{w_1 w_2^3}{96} + ..\right);$$
$$y = l\left(\frac{w_1}{4} - \frac{w_2}{5} + \frac{w_1^2 w_2}{22} - \frac{w_1^3}{60} - \frac{w_1 w_2^2}{24} + \frac{w_2^3}{78} - ..\right); \; w_1 = \frac{l^3}{RL^2}; \; w_2 = \frac{l^4}{2RL^3}, \qquad (6)$$

де w_1, w_2 – складові кута кадіоїди в радіанній мірі ($\varphi_l = w_1 - w_2$).

Найголовніше те, що у своїх дослідженнях автори кадіоїди не звернули уваги на простішу перехідну криву третього порядку, названу нами **тріоїдою**, яка може знайти застосування у дорожній практиці.

Тріоїда характеризується кутом і радіусом

$$\varphi = \frac{l^3}{3RL^2}, \quad \rho = \frac{dl}{d\varphi} = \frac{RL^2}{l^2}, \qquad (7)$$

а її прямокутні координати визначаються за формулами:

$$x = \int_0^l dl \cos\varphi = \int_0^l \left(1 - \frac{\varphi^2}{2!} + \frac{\varphi^4}{4!}\right) dl = l\left(1 - \frac{l^6}{126R^2L^4}\left(1 - \frac{l^6}{200R^2L^4}\right)\right);$$
$$y = \int_0^l dl \sin\varphi = \int_0^l \left(\varphi - \frac{\varphi^3}{3!} + \frac{\varphi^5}{5!}\right) dl = \frac{l^4}{12RL^2}\left(1 - \frac{l^6}{135R^2L^4}\left(1 - \frac{l^6}{288R^2L^4}\right)\right). \qquad (8)$$

Цікавою властивістю тріоїди є те, що її кут також ділить довжину перехідної кривої наполовину, а це характерно для клотоїди і кардіоїди, забезпечуючи при цьому її примикання до колової кривої радіусом *R*. **Це означає, що у процесі пошуків нових (оптимальних) перехідних кривих можна використовувати криві інших порядків, наприклад, що описуються узагальненою формулою**

$$\varphi = \frac{l^n}{nRL^{n-1}}, \quad \rho = \frac{dl}{d\varphi} = R\left(\frac{L}{l}\right)^{n-1} \qquad (9)$$

Зауважимо, що всі наведені тут формули для прямокутних координат точок перехідних кривих отримані методом наближеного інтегрування функцій косинуса і синуса кутів або їхніх різниць та розраховані на обчислення шуканих величин з похибкою до 1 мм, а менш впливові члени формул за малістю відкинуті.

Прямокутні координати точок трьох перехідних кривих, які визначають їхні положення відносно лінії тангенса траси, а також їхню кривину, наведено в *табл.1*, за якою можна робити аналіз конструктивних властивостей перехідних кривих. Надважливими серед них є ординати кінця перехідних кривих, які визначають можливість їхнього поєднання з коловими кривими радіусом *R (у табл. 1* їх виділено жирним шрифтом).

Аналіз координат точок кривих та їхніх радіусів свідчить, що найдальше від тангенса кривої відходить клотоїда, потім кадіоїда і найближче тріоїда, що може сприяти використанню останніх двох малої довжини, зокрема у реконструкції автодоріг 1У-ї та У-ї категорій, але за умови, якщо знехтувати непомірним збереженням радіусів її кривини майже на всій першій половині перехідної кривої, де відгін віражу практично не формується. У разі використання довгих перехідних (120-140м) – технічна перевага залишається за клотоїдними кривими.

Таблиця 1

Порівняння координат і радіусів перехідних кривих (R=400 і L=100 м)

№ Точок	Елемент перехідної кривої l ,м	Клотоїда $\varphi=\frac{l^2}{2RL};\ \rho=\frac{RL}{l}$			Кадіоїда $\varphi=\frac{l^3}{RL^3}(L-\frac{l}{2})$; $\rho=\frac{RL^3}{l^2(3L-2l)}$			Тріоїда $\varphi=\frac{l^3}{3RL^2};\ \rho=\frac{RL^2}{l^2}$		
		x, м	y, м	*p*, м	*x*, м	*y*, м	*p*, м	*x*, м	*y*, м	*p*, м
10	**100**	**99,84**	**4,16**	**400**	**99,86**	**3,75**	**400**	**99,95**	**2,08**	**400**
9	90	89,91	3,04	444	89,92	2,62	411	89,98	1,37	494
8	80	79,95	2,13	500	79,96	1,74	446	79,99	0,85	625
7	70	69,97	1,43	571	69,98	1,08	510	70	0,50	816
6	60	59,99	0,90	667	59,99	0,62	617	60	0,27	1111
5	**50**	**50,00**	**0,52**	**800**	**50**	**0,31**	**800**	**50**	**0,13**	**1600**
4	40	40,00	0,27	1000	40	0,13	1136	40	0,05	2500
3	30	30,00	0,11	1333	30	0,04	1852	30	0,02	4444
2	20	20,00	0,03	2000	20	0,01	3846	20	0,00	10000
1	10	10,00	0,00	4000	10	0,00	14286	10	0,00	40000
0	**0**	**0**	**0**	∞	**0**	**0**	∞	**0**	**0**	∞

Принагідно треба відзначити, що завдяки своїм властивостям перехідні криві можна ефективно використовувати для згладжування профілю колових вертикальних кривих та забезпечення кращої взаємної видимості, особливо на опуклих кривих.

Що стосується характеристики динамічних властивостей наведених перехідних кривих, то варто також звернути увагу на кадіоїду і тріоїду, які найменше різняться між собою, хоч і мають окремі технологічні відмінності.

На жаль, у своїх теоретичних дослідженнях динамічних властивостей автори кадіоїди більшу увагу звертають не на погашення впливу відцентрового прискорення

$$a=\frac{v^2}{\rho}=\frac{(v/3{,}6)^2 l^2}{RL^2}\left(3Ll^2-2l^3\right)\ \text{м/с}^2, \qquad (10)$$

а на його зміну в процесі руху транспорту, тобто на величину

$$I=\frac{da}{dl}\cdot\frac{dl}{dt}=\frac{6(v/3{,}6)^3}{RL^3}\left(Ll-l^2\right), \qquad (11)$$

де v – швидкість руху транспорту в км/годину; *R, L, l* – відповідно радіус колової кривої, довжини перехідної кривої та її частини в м; *3,6* – коефіцієнт для обчислення швидкості у

Якщо v = *80 км/год, R = 400, L = 100* і *l=50 м*, то відцентрове прискорення в середині кадіоїди становить 0,62 м/с^2, а в КПК воно зростає майже вдвічі і сягає v^2/R. На жаль, нормативні документи не регламентують допустимого значення відцентрового прискорення, яке впливає на величину поперечного ухилу покриття автодороги на кривій, а лише на допустиму зміну цього прискорення *I* в межах 0,5-0,6 м/с^3 [2].

Дослідженнями функції (11) на екстремум встановлено, що максимальний приріст відцентрового прискорення (*dI/dl)* характерний для середини кадіоїди, де його значення сягає величини

$$I_{\max}=\left(\frac{dI}{dl}\right)_{\max}=\frac{3(v/3{,}6)^3}{2RL}. \qquad (12)$$

Саме за цим параметром оцінюється якість планування руху транспорту на кривій. За вказаних вище величин v, R, L величина I_{max} = 0,41 < 0,6 м/с^3. Для виконання цієї умови змінюють або швидкість руху транспорту, або довжину перехідної кривої.

У тріоїді відцентрове прискорення, його приріст та зміна приросту відповідно становлять:

$$a=\frac{3(v/3{,}6)^3 l^2}{RL^2};\ I=\frac{da}{dl}=\frac{2(v/3{,}6)^2 l^2}{RL^2};\ \Delta I=\frac{dI}{dt}=\frac{da}{dl}\cdot\frac{dl}{dt}=\frac{2(v/3{,}6)^3 l}{RL^2} \qquad (13)$$

У *табл. 2* для трьох вказаних перехідних кривих як приклад наведено розподіл відцентрових прискорень, їхніх приростів та змін, які обчислено за вказаних вище значень швидкості руху транспорту, радіуса колової кривої, довжини перехідної кривої та її окремих частин у межах від 10 до 100 м. Аналіз даних *табл. 1* і *табл. 2* свідчить, що радіус кривини кадіоїди повільно змінюється у першій половині кривої і прискорено – у другій, внаслідок чого порушується плавність зміни поперечного профілю шляху під час відгону віражу. Саме ця обставина, на наш погляд, стає гальмом у використанні кадіоїди у дорожно-будівельній практиці, оскільки спричинює нестабільність руху транспорту в зоні його виходу на колову криву. До речі, у тріоїді ця залежність не порушується, що може сприяти її застосуванню для реконструкції

позакласних доріг з малими перехідними кривими, враховуючи її найменший відхід від лінії тангенса.

Таблиця 2

Розподіл відцентрових прискорень та їхніх приростів залежно від положення транспорту на перехідній кривій

Перехідна крива	Віддалення від ППК, м									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Відцентрові прискорення, м/с²										
Клотоїда	0,12	0,25	0,37	0,49	0,62	0,74	0,86	10,98	1,11	1,23
Кадіоїда	0,03	0,12	0,27	0,43	0,62	0,80	0,97	1,10	1,20	1,23
Тріоїда	0,12	0,49	1,11	1,98	3,09	4,44	6,05	7,90	10,00	12,34
	Прирости відцентрового прискорення, м/с³									
Клотоїда	0,27 – const									
Кадіоїда	0,15	0,26	0,35	0,40	0,41	0,40	0,35	0,26	0,15	0
Тріоїда	0,05	0,11	0,16	0,22	0,27	0,33	0,38	0,44	0,49	0,55

Планово-висотне положення поверхні покриття автодороги здебільшого визначається п'ятьма габаритними лініями земляного полотна та покриття з віссю траси і проектними позначками Z_{ji} характерних точок на вказаних лініях по поперечниках з інтервалом 10-20 м залежно від радіуса колової кривої (j = 1, 2, 3, 4, 5; i = 1, 2, 3, ..., n); n = кількість поперечників. При цьому 1 і 5 лінії відображують контури земляного полотна, а 2 і 4 – контури покриття дороги, 3 – її вісь.

Максимальне відхилення похибок проектних позначок земляного полотна від проекту становить 50 мм, а покриття – 10-20 мм. Тому на стадії будівництва покриття на місцевості від осі розмічують лінії 2 і 4 та задають їхнє висотне положення проектними позначками на всіх проектних поперечниках.

Вихідними для розрахунку цих позначок слугують проектні позначки $Z_{ji}^{1(5)}$ з профілю проекту, які визначають рівень земляного полотна на прямолінійних ділянках. Для криво-лінійних ділянок в ці позначки вводять поправки $h_{ji} = l_{ji}u_1$ відгону віражу на перехідних кривих для 2-ої або 5-ої ліній та однакову поправку $h_K = Lu_1$ на коловій кривій.

Для погашення впливу відцентрового прискорення на кривих влаштовують поперечний ухил покриття автошляху (віраж) в напрямі до центра кривої, який на коловій кривій становить (у %) [3].

$$u_R = \frac{(v/3{,}6)^2}{gR} = 0{,}786\frac{v^2}{R}, \qquad (14)$$

де v – швидкість руху транспорту, км/год; g – сила земного тяжіння, м/с²; R – радіус колової кривої, м.

Щоб забезпечити виїзд транспорту з двосхильного профілю дороги на віраж у межах перехідної кривої, формується поступовий односхильний профіль покриття дороги за рахунок поступової зміни висотного положення зовнішньої кромки проїзду під нормативним ухилом, u^0_L = 0,5 – 1%, який доцільніше розраховувати за формулою

$$u_L = \frac{h_L}{L} = \frac{bu_R}{L}, \qquad (15)$$

де $h_L = L\,u_L$ – максимальне перевищення відгону віражу в КПК; b – ширина проїжджої частини дороги (залежно від кількості смуг руху).

Тому профільні проектні позначки автошляху на криволінійних дільницях обчислюють за формулами

$$Z_i^{зн} = Z_{ППК} + lu_L; \quad Z_i^{осі} = Z_i^{зн} - \frac{b}{2}u_R; \quad Z_i^{вн} = Z_i^{зн} - bu_R. \qquad (16)$$

Перша формула використовується на перехідних кривих, а друга і третя – на коловій кривій (для точок осі та внутрішньої кромки).

Треба зауважити, що в Україні традиційно проектні позначки профілю даються для узбіччя земляного полотна, тоді як краще було б їх давати для осі (за аналогією прив'язки планового положення траси), як у міжнародній практиці. Для цього випадку формули (15) будуть такі (відповідно для осі , зовнішньої та внутрішньої кромок):

$$Z_i^{осі} = Z_{ППК} + lu_L; \quad Z_i^{зн} = Z_i^{осі} + \frac{b}{2}u_R; \quad Z_i^{вн} = Z_i^{осі} - \frac{b}{2}u_R. \qquad (17)$$

Для аналізу точності формування цифрової поверхні відгону віражу згідно з формулою (13) доцільно користуватися поперечними ухилами $u_\rho = \frac{0{,}786v^2}{\rho}$, де ρ – де радіус перехідної кривої в її точках. Для прикладу в табл.3 такі ухили (в %) наведено для клотоїди, кадіоїди та квартоїди, які обчислені при v = 80 км/год; R = 400 м і L = 100 м.

Таблиця 3

Розподіл поперечних ухилів $u_\rho = \frac{R u_R}{\rho}$ покриття автодороги в межах перехідної кривої в %

Перехідна крива	Віддалення l в метрах від ППК									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Клотоїда	1,3	2,5	3,8	5,0	6,3	7,6	8,8	10,1	11,3	12,6
Кадіоїда	0,3	1,3	2,7	4,4	6,3	8,2	9,9	11,3	12,3	12,6
Тріоїда	0,1	0,5	1,3	2,0	3,2	4,5	6,2	8,1	10,2	12,6

Дані цієї таблиці свідчать, що на перехідних кривих поперечні ухили покриття різні, залежно від типу перехідної кривої. На клотоїді ці ухили носять лінійний характер, тобто ухил покриття поступово змінюється від ППК до КПК, тоді як для кадіоїди та тріоїди властиве нелінійне зростання ухилів. Проте цей процес проявляється більше в зоні наближення перехідної кривої до колової, зокрема у тріоїді, що можна вважати сприятливішим для нерівномірного руху транспорту на противагу кадіоїді.

Таким чином, за проведеними нами дослідженнями можна констатувати, що вказані перехідні криві можуть використовуватися для проектування та реконструкції транспортних споруд, зокрема розробленим авторами простим і прогресивним методом прямого з'єднання перехідної кривої з коловою, який докладно описано у праці [6,7]. Розміщення перехідних кривих стосовно колової кривої показано на *рис.1*, а лінійно-кутові елементи їхньої прив'язки до осі траси колової кривої наведено в *табл. 4*. З огляду на це втрачає перспективу старий метод проектування перехідних кривих зі зміщеним і особливо з незміщеним центром колової кривої, радіус якої зменшується на відому величину $p = L^2 / 24 R$.

ВИСНОВКИ

1. Крім клотоїди і кадіоїди для проектування та реконструкції автодоріг і залізниць можна використати і параболу третього порядку **тріоїду**, яка в рівних умовах більше наближається до лінії тангенса.

2. Всі згадані перехідні криві особливо ефективні на стадії проектування та реконструкції споруд з використанням розробленого нами методу прямого їхнього з'єднання з коловою кривою без зміщення її центру або скорочення радіуса.

Таблиця 4

Елементи розмічування і прив'язування клотоїди, кадіоїди і тріоїди (*R=400 м, L=100 м*) до траси

Позначення	Клотоїда	Кадіоїда	Тріоїда
R	400	400	400
L	100	100	100
x_L	99,844	99,082	99,950
y_L	4,162	3,378	2,077
K	57,753	54,727	40,780
φ_k	8 16 21	8 16 08	5°50'29"
x_k	57,552	57,528	40,710
t	42,292	41,554	59,240
t_N, d	28,927	28,914	20,408
T_d	28,626	28,613	20,302
c_L	99,931	99,152	99,972
β_L	2 23 13	2 09 38	1°11'26"
$x_{L/2}$	50,00	50,00	50,00
$y_{L/2}$	0,521	0,312	0,130
$y_{ПК}$	0,315	0,155	0,264

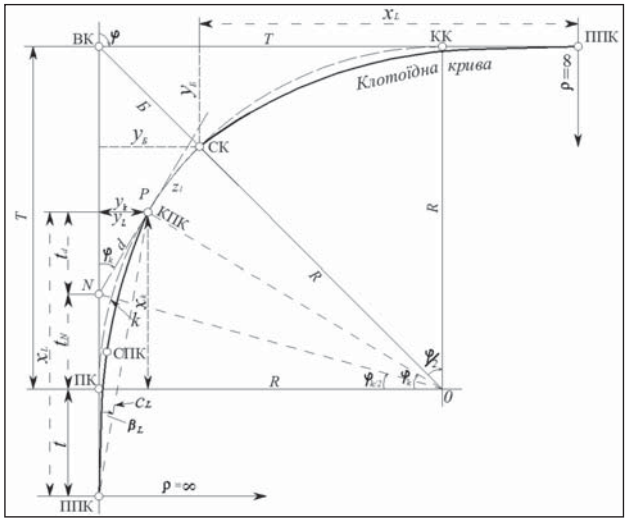


Рис. 1. ***Розміщення перехідної кривої з прив'язкою до осі траси колової кривої***

ЛІТЕРАТУРА

1. *Левчук, Г. П., Новак В. Е., Лебедев Н. Н.* Прикладная геодезия /Г. П. Левчук, В. Е. Новак, Н. Н. Лебедев.− М.: Недра, 1983.− 400 с.
2. *Белятынский А. А., Таранов А. М.* Применение кривых нового типа при проектировании закруглений автомобильных дорог/ А.А. Белятынский, А.М. Таранов // Строительство и архитектура.− 1981.− №2.−С.104-106.
3. *Баран П. І.* До теорії та практики розпланування сучасних перехідних кривих / П. І. Баран // Вісн. геодез. та картогр.− 1998.−№3.− С.20-26.
4. *Баран П. І.* Інженерна геодезія / П. І. Баран.− К.: Віпол. – 2012. − 618 с.
5. ДБН В.2.3-4-2000. Автомобільні дороги. К.: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000, −100 с.
6. *Баран П. І.* Новий спосіб розміщення клотоїди та її з'єднання з незміщеною коловою кривою / П. І. Баран, К. О. Буряк // Вісн. геодез. та картогр.− 2013.−№3. − С.11-14.
7. *Баран П. І.* Топографія та інженерна геодезія (Підручник для геодез. і негеодез. спеціальностей ВНЗ) / П. І. Баран., М. П. Марущак. – К: Знання України, 2015, – 463 с.
8. Geodezja inzynieryjna. Tom 1− Warszawa, PPWK. – 1979. – p. 638.