

Підвищення довговічності дорожнього одягу на мостових спорудах за рахунок використання тонкошарових покриттів

Increasing the durability of pavement on bridge structures through the use of thin-layer coatings

Федоренко О.В., генеральний директор (комунальна корпорація «Київавтодор», Київ)

Fedorenko O.V., General Director (Kyivavtodor Municipal Corporation, Kyiv)

Проведено випробування асфальтобетонних сумішей на основі метилметакрилатної смоли із різним видом заповнювача (пісок, відсів). Основним завданням було визначення фізико – механічних та терморезологічних властивостей досліджуваних зразків. Отримані результати проведених досліджень свідчать про ефективність використання асфальтобетонних сумішей на основі метилметакрилату для влаштування в якості тонкошарового покриття на автодорожніх мостах.

Road pavement is a key structural element for ensuring the safety and comfort of vehicles, in particular due to its flatness, low noise level and roughness, which guarantees the proper coefficient of adhesion to the tires of vehicles while driving. However, it should be noted that during operation, such a coating is easily exposed to negative factors that lead to its premature deformation.

In today's conditions of intensive development of transport infrastructure, the use of materials capable of ensuring the durability and reliability of pavements on roads and bridges is of particular importance. One of these materials is methyl methacrylate-based mixtures, which are becoming increasingly popular due to their exceptional performance properties. Methyl methacrylate mixtures provide high wear resistance, chemical resistance, fast curing and the ability to be used in various climatic zones. They also demonstrate excellent adhesion to various types of surfaces, making them particularly valuable for repairing and overlaying bridges and other complex structures.

However, in order to maximize the potential of methyl methacrylate-based materials, it is necessary to comply with the requirements for the quality of the initial components and the technology of manufacturing mixtures. Inadequate quality of raw materials or violation of technological processes can lead to deterioration of the pavement performance, its premature wear and the need for frequent repairs.

Asphalt concrete mixtures based on methyl methacrylate resin with different types of aggregate (sand, screenings) were tested. The main task was to determine the physical, mechanical and thermo-rheological properties of the tested samples. The obtained results of the studies indicate the effectiveness of the use of asphalt mixtures based on methyl methacrylate for use as a thin-layer pavement on road bridges.

Ключові слова: автодорожній міст, довговічність, асфальтобетонна суміш, дорожнє покриття, метилметакрилат

Keywords: road bridge, durability, asphalt mix, road surface, methyl methacrylate

Постановка проблеми. В умовах інтенсивного розвитку дорожнього будівництва та високих вимог до якості дорожніх покриттів, важливим аспектом є забезпечення довговічності та міцності асфальтобетонних сумішей. Одним із можливих шляхів покращення експлуатаційних характеристик асфальтобетонних покриттів є використання різноманітних модифікаторів, які можуть змінювати фізико-хімічні властивості матеріалів. Одним з таких модифікаторів є метилметакрилат – органічна сполука, що відома своєю здатністю зміцнювати структуру матеріалів за рахунок полімерної реакції та утворення високоміцних полімерних з'єднань.

На сьогоднішній день питання впливу метилметакрилату на властивості асфальтобетонних сумішей залишається недостатньо вивченим. Відомо, що використання метилметакрилату може потенційно покращити такі характеристики, як міцність на стиск, зносостійкість та тріщиностійкість. Однак відсутність детальних досліджень щодо механізмів його впливу на асфальтобетон та його довгострокову ефективність в умовах різних кліматичних і механічних навантажень створює невизначеність щодо доцільності застосування цього матеріалу в дорожньому будівництві.

Тому виникає необхідність у проведенні систематичних випробувань асфальтобетонних зразків, модифікованих метилметакрилатом, з метою визначення оптимальних пропорцій, які забезпечать підвищення їх експлуатаційних характеристик. Вивчення впливу метилметакрилату на структурні та механічні властивості асфальтобетону дозволить оцінити перспективи використання цього матеріалу в дорожньому будівництві та сприятиме вдосконаленню технологій виробництва асфальтобетонних сумішей.

Аналіз відомих досліджень і публікацій. Однією з головних проблем при розрахунку покриттів на основі метакрилатів для мостового полотна, крім обмеженості методики розрахунку, є обмежений набір характеристик матеріалів. Існуючі методики розрахунку дорожнього одягу на мостах здебільшого зводяться до використання плоских розрахункових схем, наприклад, може розглядатися робота між поперечними балками поздовжнього ребра з дорожнім одягом, хоча роботи деяких вчених свідчать

про те, що для дорожнього одягу більш критична робота поперек прогонувої будови [1 — 8].

При негативних температурах дорожній одяг стає крихким, тому можливо вести розрахунок в пружній стадії. За кордоном в силу більш ефективного фінансування наукових досліджень перевага віддається не теоретичним, а експериментальним дослідженням різних конструктивних рішень дорожніх одягів, як на автомобільних дорогах, так і на мостових спорудах (на спеціальних полігонах) [6 — 8].

Перші тонкі покриття на мостах, влаштовані в 1950-х роках, представляли собою один шар епоксидної смоли, нанесений на бетонне покриття та посипаний дрібним заповнювачем. У 1960-х і 1970-х роках почали використовувати поліефірні смоли та метилметакрилати. Вперше покриття на основі метилметакрилату було застосовано в 1976 році на трасі 44 в Гранд-Рапідс, штат Мічиган (США). Термін експлуатації такого покриття становив 16 років. 1978 р. Подібне покриття було застосовано в Японії.

Згідно з [9] тонкі покриття проїзду (10 — 20) мм можуть бути застосовані при реконструкціях мостів та для мостів із розвідними прогонами. Тонкі покриття, як правило, виконуються на основі епоксидів, поліуретанів, метакрилатів, поліестерів.

Однак, детальних вимог до матеріалів, їх складів, вимог до покриттів не надано. Тому було актуальним питання розроблення вимог до матеріалів на основі метакрилатів для мостового полотна.

Згідно з [10] було вперше запропоновано розрахунок тонкошарового покриття на основі метилметакрилату на залізобетонній плиті проїзної частини автодорожніх мостів на довговічність.

Згідно з [10] покриття проїзду повинно мати проєктний строк служби не менше ніж 7 років згідно з [9].

Метою даної праці є випробування асфальтобетонних зразків на основі метилметакрилатної смоли для визначення їх фізико-механічних та термореологічних властивостей з метою подальшого забезпечення довговічності дорожніх покриттів на автодорожніх мостах.

Методи та матеріали. Проведення експериментальних досліджень виконувалось на досліджених зразках (рис. 1) виготовлених на основі метилметакрилату, які виготовлені згідно [11].

Матеріал для покриття на основі метилметакрилатної смоли і заповнювача піску фракції (0 — 5) мм (табл. 1). Змішування мінеральних матеріалів відбувалося в сухому стані. Для проведення дослідження було запроєктовано два склади полімербетонів, а саме: полімербетонів на основі

метилметакрилату з піском; полімербетонів на основі метилметакрилату з відсівом.

Основним завданням статті є підтвердження можливості влаштування тонкошарових покриттів на основі метилметакрилату на автодорожніх мостах.

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості піску (заповнювача)

№ п/п	Назва показника	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-32 [14]	Результати випробування	
			Частковий	Повний
1.	Зерновий склад, повні залишки на ситах, % за масою 2,5 1,25 0,63 0,315 0,14 Пройшло через сито 0,14	не більше ніж 15 %		
			9,5	9,5
			12,0	21,5
			25,0	46,5
			37,5	84,0
			14,0	98,0
			2,0	
2.	Вміст зерен розміром вище 10,0 мм, не повинно перевищувати за масою в %	не більше ніж 0,5	0,0	
3.	Вміст зерен розміром вище 5,0 мм, не повинно перевищувати за масою в %	до 10	0,0	
4.	Модуль крупності	1,6 — 3,5	2,6	
5.	Пилуваті, глинисті частинки в %	до 5	0,9	
6.	Насипна щільність, кг/м ³	не менше 1100	1420	
7.	Вологість, %	не нормується	0,5	

Зовнішній вид досліджуваних зразків наведено на рис. 1.



а)



б)

Рис. 1. Зовнішній вигляд досліджуваних зразків:

- а) - полімербетонів на основі метилметакрилату з піском,
- б) - полімербетонів на основі метилметакрилату з відсівом

Результати. Метою проведеного дослідження було визначення та порівняння щільності полімербетонів, що містять різні типи заповнювачів. Усі досліджувані зразки мали однакову полімерну матрицю (поліефірну смолу та метилметакрилат), проте різнилися за типом заповнювача (пісок або відсів). Результати вимірювання щільності досліджених зразків представлені в таблиці 2.

Проводячи співставлення отриманих значень показника міцності при стиску для випробуваних асфальтобетонів встановлено наступне. За температури випробування 0°C для полімербетону на основі

метилметакрилату з піском середнє значення показника випробування становить 32 МПа, а для полімербетону на основі метилметакрилату з відсівом та полімербетону на основі поліефірної смоли 35 МПа та 75,3 МПа відповідно.

Таблиця 2

Результати визначення щільності матеріалу для покриття на основі метилметакрилату

Найменування показника	Одиниця виміру	Полімербетон на основі метилметакрилату з піском		Полімербетон на основі метилметакрилату з відсівом	
		Значення випробування	Середнє значення	Значення випробування	Середнє значення
Щільність	г/см ³	2,08	2,09	2,10	2,13
		2,08		2,14	
		2,11		2,12	
		2,09		2,16	
		2,10		2,13	
		2,10		2,13	

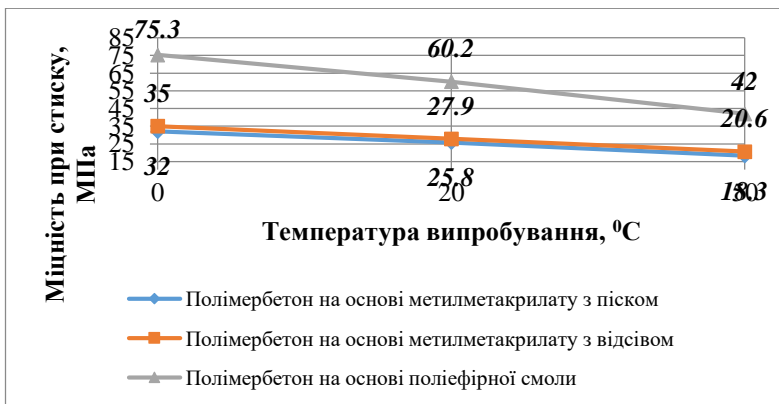


Рис. 2. Результати визначення міцності при стиску полімербетонів, виготовлених на основі метилметакрилату та поліефірної смоли

При проведенні дослідження встановлено, що параметри функції довговічності для полімербетону на основі метилметакрилату з відсівом є вищими у порівнянні з полімербетоном на основі метилметакрилату з

піском. Визначені результати дослідження свідчать, що такі покриття матимуть підвищену довговічність безпосередньо на об'єкті будівництва.

Для визначення модуля пружності зразків на основі метилметакрилату було проведено випробування на зразках полімербетону на основі метилметакрилату з піском та полімербетон на основі метилметакрилату з відсівом по 12 одиниць кожного. Випробування проводились за температури 0°C та +20°C.

Так в результаті випробування встановлено, що значення показника пружності матеріалу для покриття на основі метилметакрилату з піском за температури 0°C коливається в межі від 10798 МПа до 10945 МПа. За тієї ж температури випробування для полімербетону на основі метилметакрилату з відсівом дана межа становить від 12749 МПа до 12981 МПа.

Таблиця 3

Результати випробувань полімербетонів, виготовлених на основі метилметакрилату на показники втоми

Найменування показника	Полімербетон на основі метилметакрилату з піском	Полімербетон на основі метилметакрилату з відсівом
Показники функції довговічності:		
b	-0,52	-0,48
B	349	325
Показник втоми m	-1,9	-2,08

Таблиця 4

Результати випробувань полімербетонів, виготовлених на основі метилметакрилату на температурний коефіцієнт лінійного розширення

Найменування матеріалу	Коефіцієнт лінійного розширення ($\alpha, \cdot 10^{-5}$) в інтервалі температур, °C ⁻¹				
	+20	+10	0	-10	-20
Полімербетон на основі метилметакрилату з піском	-50,5	-41,13	-34,88	57,83	-25,5
Полімербетон на основі метилметакрилату з відсівом	-25,5	-31,75	-31,75	51,58	-13

При температурі випробування +20°C межа модуля пружності для досліджуваних зразків становить від 10142 МПа до 10300 МПа для

полімербетону на основі метилметакрилату з піском та від 11183 МПа до 11248 МПа для полімербетону на основі метилметакрилату з відсівом.

Окрім цього, за результатами проведених досліджень визначено середньоарифметичне значення модуля пружності зразків на основі метилметакрилату. Аналіз результатів (рис. 3) обчислення даного значення показує, що показник випробування за температури 0°C для полімербетону на основі метилметакрилату з піском на 6% менший, а при +20°C на 12,5% у порівнянні з результатами полімербетону на основі метилметакрилату з відсівом. Дані результати свідчать про підвищення довговічності покриттів при використанні полімербетону на основі метилметакрилату з відсівом.

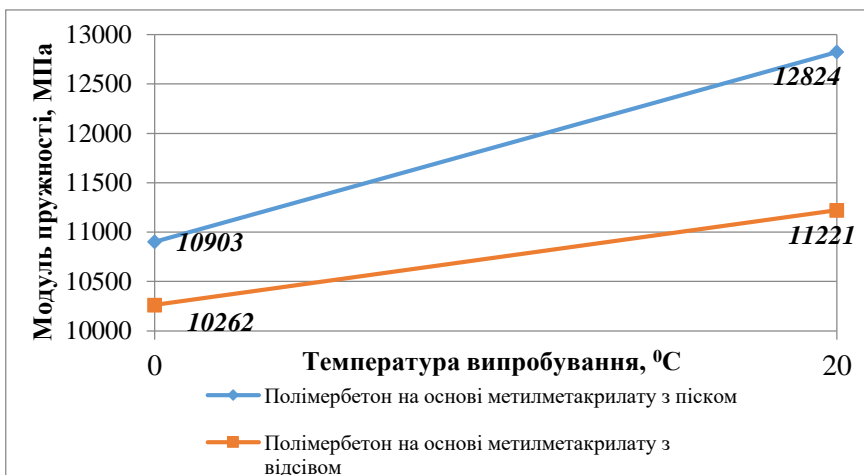


Рис. 3. Визначення модуля пружності зразків на основі метилметакрилату залежно від температури випробування

Висновки. Виконані дослідження продемонстрували високий потенціал застосування тонкошарових покриттів на основі метилметакрилату для використання в конструкціях мостових споруд. Експериментальні випробування, проведені в рамках досліджень, підтвердили ефективність таких покриттів у забезпеченні довговічності та стійкості мостових конструкцій до впливу агресивних факторів зовнішнього середовища. Результати досліджень вказують на значне покращення експлуатаційних характеристик, зокрема, підвищення корозійної стійкості, водонепроникності та зносостійкості покриттів на основі метилметакрилату.

Отримані дані надають підстави для подальших наукових розробок та вдосконалення технологій застосування таких покриттів в будівництві мостових споруд. Розвиток цієї тематики відкриває нові можливості для

створення ефективних матеріалів, які здатні забезпечити високу надійність та довговічність інфраструктурних об'єктів, зокрема, мостів. Перспективи використання метилметакрилатових покриттів у будівництві можуть призвести до значних економічних вигод за рахунок зменшення витрат на технічне обслуговування та ремонт мостових конструкцій, що в свою чергу сприятиме зниженню загальних витрат на інфраструктурні проекти.

Таким чином, отримані результати є вагомим підґрунтям для подальших досліджень та розробки нових технологій, які можуть бути інтегровані у сучасні практики будівництва, а також сприяти вдосконаленню існуючих підходів у збереженні та модернізації інженерних споруд.

References

1. Asphalt pavements on bridge decks / European Asphalt Pavement Association. 2013. 33 p.
2. Retooling manufacturing: bridging design, materials, and production / National Research Council (U.S.). Board on Manufacturing and Engineering Design, National Research Council (U.S.). Committee on Bridging Design and Manufacturing, National Research Council (U.S.). National Materials Advisory Board. National Academies Press. 2004. p. 124.
3. Bridge Deck Analysis, Second Edition / Eugene J O'Brien, Damien L Keogh, Alan O'Connor. CRC Press. 2014. p. 352.
4. Bridge Deck Analysis / Damien L. Keogh. 1999. p. 290.
5. The Modern Asphalt Pavement / Clifford Richardson. Nabu Press. 2010. p. 617.
6. Guidelines for Concrete Mixtures Containing Supplementary Cementitious Materials to Enhance Durability of Bridge Decks / American Association Of State Highway. Transportation Research Board National Research. NCHRP Report 566. p. 130.
7. Long-Term Performance of Polymer Concrete for Bridge Decks - A Synthesis of Highway Practice / Fowler, David W., Whitney, David W. Transportation Research Board. 2011. p. 76.
8. Bridge deck waterproofing: Non-U4 concrete finishes / A. Calder, R. Jordan, V.Scorey and S. Powell. p. 86.
9. DBN B.2.3-22:2009 Bridges and pipes. Basic design requirements.
10. M 42.1-37641918-781:2020 Methods for calculating the durability of thin-layer pavement on a reinforced concrete slab of the roadway of highway bridges.
11. DSTU B B.2.7-170: 2008 Concretes. Methods for determining the average density, moisture content, water absorption, porosity, and water resistance

Література

1. Асфальтобетонні покриття на мостових переходах / Європейська асоціація асфальтобетонних покриттів. 2013. Ст. 33.
2. Переоснащення виробництва: проектування, матеріали та виробництво мостів / Національна дослідницька рада (США). Рада з питань виробництва та інженерного дизайну, Національна дослідницька рада (США). Комітет з питань поєднання дизайну та виробництва, Національна дослідницька рада (США). Національна консультативна рада з матеріалів. National Academies Press. 2004. Ст. 124.
3. Аналіз мостових конструкцій, друге видання / Юджин О'Брайен, Дем'єн Л. Кеог, Алан О'Коннор. CRC Press. 2014. p. 352.
4. Аналіз мостового полотна / Дем'єн Л. Кеог. 1999. p. 290.
5. Сучасне асфальтове покриття / Кліффорд Річардсон. Nabu Press. 2010. Ст. 617.
6. Настанови щодо бетонних сумішей, що містять додаткові цементуючі матеріали для підвищення довговічності мостових полотен / Американська асоціація державних автодоріг. Національні дослідження Ради транспортних досліджень. Звіт NCHRP 566. Ст. 130.
7. Довгострокові характеристики полімербетону для мостових перекриттів - узагальнення практики будівництва автодоріг / Фаулер, Девід В., Уїтні, Девід В. Рада транспортних досліджень. 2011. Ст. 76.
8. Гідроізоляція мостового полотна: Оздоблення бетоном, що не містить U4 / А. Колдер, Р. Джордан, В. Скорі та С. Пауелл. Ст. 86.
9. ДБН В.2.3-22:2009 Мости та труби. Основні вимоги проектування.
10. М 42.1-37641918-781:2020 Методика розрахунку тонкошарового покриття на залізобетонній плиті проїзної частини автодорожніх мостів на довговічність.
11. ДСТУ Б В.2.7-170:2008 Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності