

УДК 624.21:691.5

ЦЕМЕНТНІ ТА ПОЛІМЕРЦЕМЕНТНІ ДРІБНОЗЕРНИСТІ БЕТОНИ ДЛЯ ПРОКЛАДНОГО ШАРУ БЕЗБАЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА ІЗ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ

Д-р техн. наук А.А. Плугін, кандидати техн. наук С.В. Мірошніченко, О.А. Калінін,
інж. Н.М. Паргала, асп. С.Г. Нестеренко,
інж. В.В. Перестюк, А.В. Никитенко

ЦЕМЕНТНЫЕ И ПОЛИМЕРЦЕМЕНТНЫЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ ДЛЯ ПРОКЛАДНОГО СЛОЯ БЕЗБАЛЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ

Д-р техн. наук А.А. Плугин, кандидаты техн. наук С.В. Мирошниченко, О.А. Калинин,
инж. Н.Н. Паргала, асп. С.Г. Нестеренко,
инж. В.В. Перестиук, А.В. Никитенко

CEMENT AND POLYMER-CEMENT FINE CONCRETE FOR CUSHIONING LAYER OF BALLASTLESS BRIDGE DECK OF REINFORCED CONCRETE PLATES

Doct. of techn. sciences A.A. Plugin, cand. techn. sci. S.V. Miroshnichenko,
cand. techn. sci. O.A. Kalinin, engineer N.M. Partala, postgraduate S.G. Nesterenko,
engineer V.V. Perestiuk, A.V. Nikitenko

Проведено аналіз придатності сучасних сухих будівельних сумішей промислового виробництва для улаштування прокладного шару безбаластного мостового полотна металевих залізничних мостів. Розроблено склади цементних і полімерцементних розчинів і дрібнозернистих бетонів для прокладного шару.

Ключові слова: залізничний міст, безбаластне мостове полотно, прокладний шар, полімерцементний розчин, розтікання, рання міцність.

Выполнен анализ применимости сухих строительных смесей промышленного производства для устройства прокладного слоя безбалластного мостового полотна металлических железнодорожных мостов. Разработаны составы цементных и полимерцементных растворов и мелкозернистых бетонов для прокладного слоя.

Ключевые слова: железнодорожный мост, безбалластное мостовое полотно, прокладной слой, полимерцементный раствор, растекаемость, ранняя прочность.

The applicability of dry construction mixtures of industrial production for the cushioning layer of ballastless bridge deck of metal railway bridges was performed. The compositions of cement and polymer-cement mortars and fine concrete for cushioning layer have been developed.

Keywords: railway bridge, ballastless bridge deck, cushioning layer, polymer-cement mortar, spreadability, early strength.

Вступ. На залізницях України експлуатується значна кількість металевих мостів з безбаластним мостовим полотном на залізобетонних плитах БМП. Більшість з них укладені на дерев'яно-гумовому прокладному шарі. Це застаріле конструктивно-технологічне рішення обумовлює передчасний вихід плит із

ладу і необхідність заміни дерев'яних елементів кожні 7–10 років. Крім того, за останніми даними УкрДАЗТ і МГУПС переважним є жорсткий спосіб прикріплення плит до балок, який забезпечується прокладним шаром із матеріалів, подібних цементному бетону [1–5].

На початку використання безбаластного мостового полотна саме як такий прокладний шар застосовували цементно-піщаний розчин. При виготовленні такого прокладного шару плити укладали на тимчасові незнімні дерев'яні або фанерні прокладки, встановлені по осі балок під кожною підрейковою площадкою, притискали до прокладок високоміцними шпильками і рух потягів відкривали. Заливання розчину здійснювали без припинення руху поїздів через отвори у плитах в дерев'яну опалубку, попередньо встановлену по краям балок. Експлуатація такого прокладного шару показала, що при його товщині понад 40–50 мм він забезпечував щільний контакт між плитою та балкою, довго зберігався у доброму стані та захищав верхній пояс балки від корозії, а у плитах не утворювались тріщини та інші дефекти. Однак при товщині 20–30 мм прокладний шар швидко руйнувався. Це пояснюється тим, що у 1970–80-х рр. розчин виготовляли без пластифікуючих добавок і для досягнення його необхідної текучості підвищували кількість води, що зменшувало міцність і довговічність прокладного шару. Також часто спостерігалось руйнування прокладного шару через неповне заповнення порожнечі під плитою.

УкрДАЗТ запропонований залівний полімеркомпозиційний прокладний шар, який забезпечує набагато більшу довговічність плит БМП і мостового полотна в цілому [6; 7]. Проте технологія його улаштування залишалась недосконалою, оскільки передбачала використання досить складної опалубки і потребувала збільшення тривалості «вікон» у порівнянні з дерев'яно-гумовим прокладним шаром. Крім того, недоліком всіх полімерних композицій, як за рецептурою УкрДАЗТ, так і промислового виробництва, є висока вартість.

Останні десятиріччя на ринку з'явився широкий діапазон сухих будівельних сумішей промислового виробництва для будівельних розчинів – цементно-піщаних, полімерцементних і т.п. [8–12]. Їх застосування для залівного прокладного шару здається досить привабливим, бо вони можуть дозволити проводити роботи без збільшення тривалості «вікон», підвищити надійність і довговічність конструкції безбаластного мостового полотна.

Метою роботи є розробка складів цементного та полімерцементного дрібнозернистого бетону для прокладного шару під

збірним та збірно-монолітним залізобетонним безбаластним мостовим полотном.

Аналітичний огляд матеріалів, придатних для улаштування прокладного шару. Для прокладного шару можуть бути придатні суміші, що мають високе розтікання. Із наявних на ринку сухих будівельних сумішей єдиними, що призначені для конструкційного ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій і одночасно мають високе розтікання, виявлені суміші торгівельних марок Emako та Sika. Їх придатність для улаштування прокладного шару підтверджується російськими інструктивними документами.

Високе розтікання мають суміші для самовирівнювальних підлог торгівельних марок Ceresit, Knauf, Thomsit, Полипласт, Токан і т.д. Ці суміші виготовляють на основі гіпсу або портландцементу. Суміші на основі гіпсу призначені для застосування всередині приміщень і для прокладного шару непридатні. Застосування для прокладного шару вказаних сумішей на основі цементу вимагає окремого дослідження і обґрунтування. Виконано аналіз складів (рецептур) готових до застосування сухих будівельних сумішей на основі портландцементу, які характеризуються високими показниками розтікання, міцності, швидкості її набору, а деякі марки – і морозостійкості та які застосовують переважно для улаштування самовирівнюючих підлог [8–12]. Результати аналізу наведені у табл. 1, у правому стовпчику якої зроблено висновки про доцільність застосування компонентів у складах для прокладного шару.

Методи досліджень. Склад дрібнозернистого бетону або розчину для прокладного шару попередньо розраховували за методикою УкрДАЗТ із забезпеченням оптимальних величин коефіцієнту розсунення зерен піску $\mu_{\text{опт}}$ і водоцементного відношення $(В/Ц)_{\text{опт}}$:

$$\mu_{\text{опт}} = 2,1 \times (1 + N_{\text{ц}} \times D_{\text{ц}} / D_{\text{п}})^3 - 1,1, \quad (1)$$

де $N_{\text{ц}}$ – кількість рядів часток цементу у прошарках між зернами піску;

$D_{\text{ц}}, D_{\text{п}}$ – середній розмір часток визначної фракції цементу та піску, відповідно, мм.

Будівельні матеріали, конструкції і споруди

Таблиця 1

Склади сухих будівельних сумішей промислового виробництва з високим розтіканням

Компоненти		Вміст компонентів, мас.ч., і добавок, % від маси цементу у складах на основі		Призначення	Недоліки при застосуванні у складі для прокладного шару	Доцільність застосування у складі для прокладного шару
		портланд-цементу	портланд-цементу і глиноземистого цементу			
Мінеральні в'язучі	Портландцемент ПЦ І-500	1	1	Основне в'язуче	Усадка	+
	Глиноземистий цемент	–	0,17–0,62	Прискорення твердіння і запобігання усадки	Можуть знижувати довговічність	–
	Гідратне вапно	–	0,07–0,3			–
	Гіпс або ангідрит	–	0,07–0,35			–
Наповнювачі	Кварцове, вапнякове або доломітове борошно, крейда	0,17-0,25	0,33–1,05	Запобігання усадки	–	+
Активні мінеральні добавки	Зола винесення або метакаолініт	0-0,2	–			
Заповнювач	Кварцовий пісок 0,1–0,63 мм	1-2	0,83–2,23	Заповнювач	–	+
Функціональні добавки	Суперпластифікатор	0,15–2,8		Збільшення розтічності, зниження В/Ц	–	+
	Стабілізуюча, водоутримуюча – ефіри целюлози або крохмалю	0,01–0,06		Запобігання розшарування розтічних сумішей	–	+
	Уповільнювач тужавлення – винна або лимонна кислота	–	0,2–0,3	Уповільнення тужавлення глиноземистого цементу	–	–
	Прискорювачі твердіння та інші добавки-електроліти	0,1–4		Прискорення твердіння	–	+
	Антиспінювач	0,1–0,3		Запобігання утворення бульбашок і «кратерів»	–	–
	Розширювальна	0–4	–	Запобігання усадки	–	–
	Редиспергований полімерний порошок РПП	0,5–8		Збільшення розтічності, прискорення твердіння	Може знижувати довговічність	+
Фібра	Скловолокно, поліамідне або поліпропіленове волокно довжиною 2–3 мм	0–0,1		Збільшення тріщинотійкості у тонких шарах	Знижує розтічність	+

Витрату піску Π , цементу \mathcal{C} і води B , кг/м^3 , у номінальному складі визначили таким чином:

$$\Pi = 1 / (\mu_{\text{опт}} \Pi_{\text{ус}}^{\Pi} / \rho_{\text{нас}}^{\Pi} + 1 / \rho_{\text{іст}}^{\Pi}); \quad (2)$$

$$\mathcal{C} = (1 - \Pi \times (1 / \rho_{\text{іст}}^{\Pi} + W_{\text{вп}}^{\Pi} / \rho^B)) / [(B / \mathcal{C})_{\text{іст}} / \rho^B + 1 / \rho_{\text{іст}}^{\mathcal{C}}]; \quad (3)$$

$$B = (B / \mathcal{C})_{\text{іст}} \times \Pi W_{\text{вп}}^{\Pi}, \quad (4)$$

де $\Pi_{\text{ус}}^{\Pi}$ – пустотність піску;

$\rho_{\text{нас}}^{\Pi}$, $\rho_{\text{іст}}^{\Pi}$, ρ^B , $\rho_{\text{іст}}^{\mathcal{C}}$ – насипна та істинна густина піску, густина води, істинна густина цементу, відповідно, кг/м^3 ;

$W_{\text{вп}}^{\Pi}$ – водопотрібність піску;

$(B / \mathcal{C})_{\text{іст}}$ – оптимальна істинна величина водоцементного відношення.

Витрату піску π і води b , кг/м^3 , у виробничому складі (з урахуванням вологості піску W^{Π}) визначили таким чином:

$$\pi = \Pi \times (1 + W^{\Pi}); \quad b = B - \Pi W^{\Pi}. \quad (5)$$

Кількість добавки суперпластифікатора визначали експериментально, а інших добавок – за табл. 1.

Порядок приготування сумішей і виготовлення зразків такий. В ємкість для приготування розчину вливали потрібну кількість води, в яку вводили хімічні та полімерні добавки і перемішували їх до стану візуально однорідної суспензії. В суспензію при постійному перемішуванні вводили попередньо перемішані до візуальної однорідності цемент, наповнювач та пісок. Всю суміш перемішували до візуальної однорідності протягом не менше 5 хв. Після перемішування визначали розтічність суміші за віскозіметром Сутгарда (рис. 1) і заповнювали нею форми зразків-балочок розміром $160 \times 40 \times 40$ мм. Для досягнення потрібної розтічності суміші не менше 17 см виготовляли нову порцію суміші із збільшеною витратою води. За твердінням зразків спостерігали до часу кінця тужавлення, яке визначали на дотик. Після розпалублення визначали середню міцність зразків, а через 1, 3, 7 і 28 діб твердіння – міцність розчину на згин і стиск. Для прокладного шару визначали придатними склади, що мають розтікання не менше 17 см, а міцність на стиск через 1 добу твердіння – не менше 5 МПа.



Рис. 1. Визначення розтічності суміші за віскозіметром Сутгарда

Результати досліджень. Розроблені склади цементних і полімерцементних розчинів і дрібнозернистих бетонів і результати дослідження їх властивостей наведені у табл. 2.

Найбільш ефективну кількість добавки суперпластифікатора 0,6 % від маси цементу визначили за графіком рис. 2, отриманим в результаті експериментальних досліджень.

Склади цементних і полімерцементних розчинів і дрібнозернистих бетонів
для прокладного шару та їх основні властивості

Компоненти, характеристики властивостей	Од. вимір.	Витрата компоненту, величина характеристики складу №							
		1	1a	2	2a	3	3a	4	4a
Портландцемент ПЦ І-500	мас.ч.	1	1	1	1	1	1	1	1
Наповнювач – вапнякове борошно	«	–	–	0,5	0,5	–	–	–	–
Пісок кварцовий $M_{кр}=1,1$	«	0,549	0,549	0,824	0,824	0,611	0,611	–	–
Пісок кварцовий $M_{кр}=2,1$	«	–	–	–	–	–	–	1,176	1,176
Вода (В/Ц)	«	0,285	0,351	0,427	0,594	0,372	0,422	0,34	0,353
Суперпластифікатор С-3	%	0,6	0,6	0,9	0,9	–	–	–	–
Прискорювач твердіння – хлорид кальцію	«	1	1	1,5	1,5	–	–	–	–
Стабілізатор – крохмаль модифікований	«	0,03	0,03	0,045	0,045	–	–	–	–
Полівінілацетатна емульсія (сухої речовини)	«	1	1	1,5	1,5	–	–	–	–
Багатокомпонентна комплексна хімічна добавка	«	–	–	–	–	5	5	5	5
Розтічність	см	0	17	0	17,5	13,5	22	14,5	17,5
Розшарування		ні	ні	ні	ні	ні	ні	ні	ні
Кінець тужавлення	год	пон.2	пон.2	пон.4	пон.4	3–4	3–4	0,5–0,67	0,5–0,67
Середня густина	кг/м ³	1890	1860	1930	1840	1910	1840	1930	1880
Міцність на згин через:									
1 добу	МПа	10	8			9	8	8	8
3 доби	«			7	5				
7 діб	«	16	14	9	8	14	13	14	13
28 діб	«	13,5	12,5	16	12				
Міцність на стиск через:									
1 добу	«	16	13			15,3	10,6	9,2	7,4
3 доби	«			8,5	6,8				
7 діб	«	34,2	31	21,2	13,1	25,5	24	25	24,3
28 діб	«	43,8	44,5	30,3	20,6				

Висновки і рекомендації. Розроблено склади цементного і полімерцементного дрібнозернистого бетону для прокладного шару безбаластного мостового полотна, що влаштовуються заливним способом. Полімерцементний склад 1a характеризується розтіканням 17 см і міцністю на стиск через

1 добу твердіння 12 МПа, цементний склад 3a – розтіканням 22 см та міцністю на стиск через 1 добу твердіння 10,6 МПа. Розроблені в УкрДАЗТ склади разом з дослідженими складами промислового виробництва рекомендовані для впровадження на залізницях України [13].

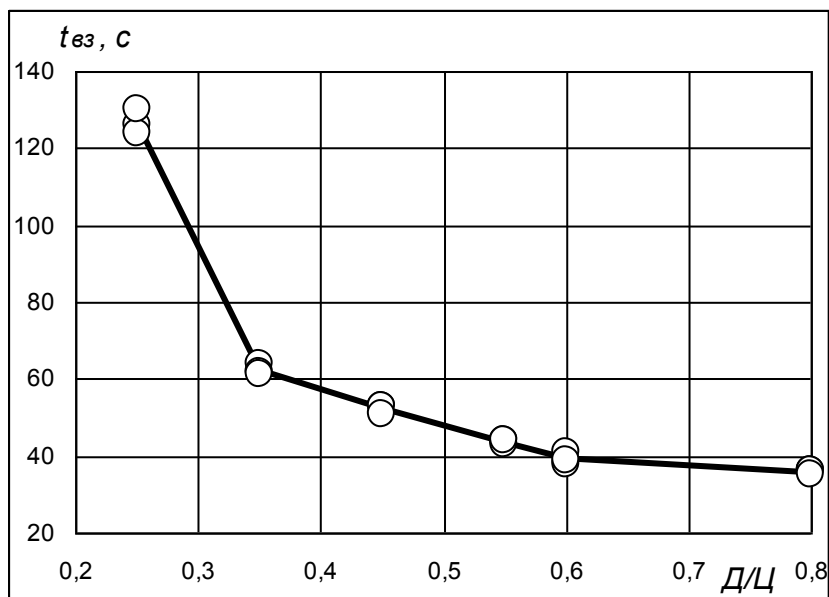


Рис. 2. Графік експериментальної залежності умовної в'язкості цементної суспензії за віскозіметром ВЗ-1 $t_{вз}$, с від витрати добавки суперпластифікатора С-3 (СП-1) Д/Ц, % від маси цементу

Список використаних джерел

1. Систематизація пошкоджень залізобетонних плит безбалластного мостового полотна залізничних мостів [Текст] / А.А. Плугін, С.В. Мірошніченко, О.А. Забіяка, Г.О. Линник, А.І. Бабенко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 109. – С. 120-130.
2. Дослідження напруг і деформацій у плитах безбалластного мостового полотна [Текст] / С.В. Мірошніченко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип.109. – С. 113-119.
3. К вопросу исследования трещиностойкости железобетонных плит безбалластного мостового полотна [Текст] / С.В. Мирошниченко, А.Н. Плугин, А.А. Плугин, И.Г. Корниенко // Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн. зб. наук.праць. – К.: ДП НДІБК, 2009. – Вип. 72. – С. 457-464.
4. Аналіз впливу потенціалів від струмів витоку на утворення тріщин в плитах безбалластного мостового полотна на електрифікованих ділянках залізниць [Текст] / А.А. Плугін, О.А. Забіяка, Г.О. Линник // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 115. - С. 75-82.
5. Инструкция по применению и проектированию безбалластного мостового полотна на железобетонных плитах на металлических пролетных строениях железнодорожных мостов [Текст]. – СПб., 2005.
6. ЦП 0137 Інструкція з укладання та експлуатації безбалластного мостового полотна (БМП) на залізобетонних плитах [Текст]. – Харків: УкрДАЗТ, 2006.
7. ЦП 0224 Рекомендації із забезпечення тріщиностійкості плит безбалластного мостового полотна [Текст]. – Харків: УкрДАЗТ, 2010.
8. Семинар по применению целлюлозных загустителей Vermosoll в строительных смесях, Москва, 18 апреля 2000 г. / Akzo Nobel Surface Chemistry AB, SE-44485, Стенунсгуд, Швеция. – 19 с.
9. Захарченко, П.В. Сучасні композиційні будівельно-оздоблювальні матеріали [Текст] / П.В. Захарченко, Е.М. Долгий, Ю.О. Галаган, О.М. Гавриш [та ін.]. – К.: КНУБА, 2005. – 512 с.
10. Дворкін, Л.Й. Метакаолін в будівельних розчинах і бетонах [Текст] / Л.Й. Дворкін, Н.В. Лушнікова, Р.Ф. Рунова, В.В. Троян. – К.: КНУБА, 2007. – 216 с.
11. Емельянова, И.А. Современные строительные смеси и оборудование для их приготовления [Текст] / И.А. Емельянова, О.В. Доброходова, А.И. Анищенко. – Харьков: Тимченко, 2010. – 146 с.

12. Мінеральна суміш, що самоущільнюється, для гідроізоляційного покриття [Текст]: патент 93322 UA МПК С04В 41/65, С04В 103/65, С04В 24/00, С04В 14/00, С04В 28/00 / Т.О. Костюк, М.Г. Салія, Д.О. Бондаренко, Ю.М. Ізбаш; заявник Т.О. Костюк, М.Г. Салія, Д.О. Бондаренко, Ю.М. Ізбаш, заявл. 29.01.2009; опубл. 25.01.2011, Бюл. №2.

13. Рекомендації з улаштування полімеркомпозиційного прокладного шару під збірним та збірно-монолітним залізобетонним безбаластним мостовим полотном [Текст] / ЦП УЗ. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – 15 с.

Плугін Андрій Аркадійович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, Українська державна академія залізничного транспорту. Тел./факс (057) 771 46 91, E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua.

Мірошніченко Сергій Валерійович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд. Тел.: (057) 730-10-64, E-mail: smirosh70@yandex.ru.

Калінін Олег Анатолійович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, УкрДАЗТ. Тел.: (057) 730-10-68, E-mail: oleg.kalinin.63@mail.ru.

Партала Наталія Миколаївна, інженер, зав. лабораторії кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, УкрДАЗТ. Тел.: (057) 771 46 91, E-mail: natabim@mail.ru.

Нестеренко Сергій Григорович, аспірант кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд, УкрДАЗТ. Тел.: (097) 905 00 17, E-mail: nesterenko-sg@mail.ru.

Перестиук Володимир Володимирович, інженер, Tines S.A., м. Краків, Польща; Тел.: (067) 192 07 64, E-mail: w.perestiuk@tines.com.ua.

Никитенко Альона Валеріївна, студентка будівельного факультету УкрДАЗТ. Тел.: (095) 476 54 84, E-mail: nikitenko-av@gmail.com.

Plugin Andrii, doct. of techn. sciences, professor, head of building materials, constructions and buildings department, Ukrainian State Academy of Railway Transport (UkrSART); Tel./fax (+38 057) 771 46 91, Tel. (+38 057) 730 10 63, E-mail: plugin_aa@kart.edu.ua.

Miroshnichenko Sergii, cand. of techn. sciences, docent of building materials, constructions and buildings department, UkrSART; Tel. (+38 057) 730 10 64, E-mail: smirosh70@yandex.ru.

Kalinin Oleg, cand. of techn. sciences, docent of building materials, constructions and buildings department, UkrSART; Tel. (+38 057) 730 10 68, E-mail: oleg.kalinin.63@mail.ru.

Partala Natalia, engineer, head of laboratory of building materials, constructions and buildings department, UkrSART; Tel. (+38 057) 771 46 91, E-mail: natabim@mail.ru.

Nesterenko Sergii, postgraduate of building materials, constructions and buildings department, UkrSART; Tel. (+38 097) 905 00 17, E-mail: nesterenko-sg@mail.ru.

Perestiuk Volodimir, engineer, Tines S.A, Krakov, Poland; Tel. (+38 067) 192 07 64, E-mail: w.perestiuk@tines.com.ua.

Nikitenko Aliona, student of building faculty, UkrSART; Tel. (+38 095) 476 54 84, E-mail: nikitenko-av@gmail.com.