

УДК 691.32

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.151.2015.69168>

## АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ І СКЛАДІВ БЕТОНУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ НА ПІДПРИЄМСТВАХ «УКРЗАЛІЗНИЦІ»

Д-р техн. наук А.А.Плугін, кандидати техн. наук О.В.Романенко, О.А.Калінін, О.А.Плугін, О.В.Афанасьєв, інж. А.І.Бабій

## АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ И СОСТАВОВ БЕТОНА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ «УКРЗАЛИЗНИЦЫ»

Д-р техн. наук А.А.Плугин, кандидаты техн. наук А.В.Романенко, О.А.Калинин, Ал.А.Плугин, А.В.Афанасьев, инж. А.И.Бабий

## ANALYSIS OF MATERIALS AND CONCRETE COMPOSITIONS FOR PRODUCTION OF CONCRETE SLEEPERS AT THE ENTERPRISES OF «UKRZALIZNITSA»

Doct. of techn. sciences A.A.Plugin, candidates of techn. sciences O.V.Romanenko, O.A.Kalinin, O.A.Plugin, O.V.Afanasiev, eng. A.I.Babiy

*Встановлено основні характеристики матеріалів, які застосовують для виготовлення залізобетонних шпал. Рекомендовано: застосовувати портландцемент ПЦ І-500Н з активністю, не меншою 36–39 МПа після пропарювання і 38–43 МПа у віці 2 діб; щебінь суміші фракцій 5–20 мм, виключивши застосування щебеню суміші фракцій 5–25 мм; продовжити дослідження із роздільного дозування заповнювачів – щебеню 10–20 і 5–10 мм, гранітного відсіву та піску. Виконано аналіз складів бетону залізобетонних шпал та їх впливу на енерговитрати при виробництві шпал. Встановлено, що застосування портландцементу високої активності та оптимальних складів бетону, в яких забезпечені оптимальні величини структурних характеристик бетону – коефіцієнтів розсунення зерен щебеню цементно-піщаним розчином і зерен піску цементним тістом (каменем), водоцементного відношення забезпечило зниження енерговитрат на тепловологісну обробку шпал на 45–80 %.*

**Ключові слова:** залізобетонна шпала, бетон, портландцемент, щебінь, пісок, склад бетону

*Установлены основные характеристики материалов, применяемых для изготовления железобетонных шпал. Рекомендовано: применять портландцемент ПЦ I-500Н активностью не менее 36–39 МПа после пропаривания и 38–43 МПа в возрасте 2 суток; щебень смеси фракций 5–20 мм, исключив применение смеси фракций 5–25 мм; продолжить исследования по раздельному дозированию заполнителей – щебня 10–20 и 5–10 мм, гранитного отсева, песка. Выполнен анализ составов бетона железобетонных шпал и их влияния на энергозатраты при производстве шпал. Установлено, что применение портландцемента высокой активности и оптимальных составов бетона, в которых обеспечены оптимальные величины структурных характеристик бетона – коэффициентов раздвижки зерен щебня цементно-песчаным раствором и зерен песка цементным тестом (каменем), водоцементного отношения обеспечило снижение на 45–80 % энергозатрат на тепловлажностную обработку шпал.*

**Ключевые слова:** железобетонная шпала, бетон, портландцемент, щебень, песок, состав бетона

*The basic characteristics of the materials which are used for the manufacture of concrete sleepers were determined. It is recommended: to use portlandcement PC I-500N with an activity of at least 36-39 MPa after steaming and 38-43 MPa at the age of 2 days, the broken stone with fraction 5-20 mm, excluding the usage of broken stone with fraction 5-25 mm, to continue the research of separate dosing of concrete fillers – broken stone 5-10 and 10-20 mm, granite screenings and sand.*

*The analysis of the compositions of concrete sleepers and their influence on energy consumption in the production of sleepers is done. It was found that the usage of portlandcement of high activity and optimal compositions of concrete, in which are*

*provided the optimal values of the structural characteristics of concrete – move apart coefficients of broken stone grains by cement-sand mortar and sand grains by cement paste (stone), the water-cement ratio provided the reduction for 45-80% of energy consumption for steaming of sleepers.*

**Keywords:** concrete sleeper, concrete, portlandcement, broken stone, sand, concrete composition

**Вступ.** Виробництво залізобетону, у т.ч. залізобетонних шпал, відноситься до найбільш енергоємних галузей будівельної індустрії. В загальному балансі підприємства витрата енергії на тепловологісну обробку (ТВО) звичайно досягає 60 %, а пропарювальні камери займають 40–60 % виробничих площ, фондівіддача яких у край низька – 30–55 %.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** Розробка і впровадження заходів із ресурсоенергозбереження у виробництві залізобетону, у т.ч. залізобетонних шпал, є актуальним завданням. В УкрДАЗТ спільно з КНУБА і заводами Укрзалізниці виконуються дослідження з ресурсоенергозбереження шляхом застосування оптимальних складів бетону з комплексними хімічними та мінеральними добавками, які дозволяють знизити температуру і тривалість ТВО аж до повної відмови від неї, знизити витрату цементу, запобігти корозію бетону від взаємодії реакційно здатних заповнювачів з лугами цементу. Це можливо лише у разі застосування якісних матеріалів для бетону і оптимальних складів бетону, тому обґрунтування вибору таких матеріалів і складів бетону є невід'ємною складовою загального завдання ресурсоенергозбереження.

**Мета і завдання дослідження** – аналіз матеріалів і складів бетону для ресурсоенергозбереження при виробництві залізобетонних шпал: визначення характеристик матеріалів і обґрунтування вибору тих із них,

що в найбільшому ступені сприятимуть ресурсоенергозбереженню; аналіз складів бетону на предмет їх подальшого удосконалення як заходу ресурсоенергозбереження.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Для виготовлення попередньо напружених залізобетонних шпал застосовують бетон класу за міцністю на стиск С32/40 (В40) з передаточною міцністю не менше 32 МПа, марок з морозостійкості та водонепроникності F200 і W6, відповідно. В проекті нового ДСТУ на шпали, який в теперішній час розробляється УкрДАЗТ, уведена також вимога до питомого електричного опору бетону, який повинен бути не менше 100 Ом×м.

Обсяги виробництва залізобетонних шпал, характеристики бетонної суміші й режимів ТВО, які забезпечують досягнення вказаних характеристик бетону (за станом на 2013 р.), наведені в табл.1 [1].

Із табл.1 видно, що річний обсяг випуску залізобетонних шпал підприємствами, що постачають шпали залізницям України, складає в середньому: ГнЗСЗБ – 462 тис. шт.; КрЗЗБШ – 482 тис. шт.; СтЗЗБШ – 92 тис. шт. Ці обсяги виробництва прийнято для економічних розрахунків ефективності заходів з ресурсоенергозбереження.

### **Основний матеріал досліджень**

В результаті вивчення заводської документації, а також лабораторних досліджень встановлено основні характеристики матеріалів, які застосовують для виготовлення залізобетонних шпал [1]. Характеристики

## Будівельні матеріали, конструкції та споруди

цементу наведені у табл.2, щебеню – у табл.3 і на рис.1, піску – у табл.4 і на рис.2.

Таблиця 1

Обсяги виробництва залізобетонних шпал,  
характеристики бетонної суміші й режимів тепловологісної обробки

Показник		Од. вимір.	Величина показника для заводів		
			ГнЗСЗБ <sup>1</sup>	КрЗЗБШ <sup>2</sup>	СтЗЗБШ <sup>3</sup>
Річний випуск шпал	2011	тис. шт.	543,3	529,968	108,06
	2012	"	508,39	517,28	115,72
	2013 (I-X)	"	279,25	332,42	42,79
Жорсткість бетонної суміші		с	14...20 (Ж2)	20...24	21...25
Тривалість віброущільнення бетону шпал		хвилин	Не менше 3...4 (до виділення на поверхні цементного молочка)	3	1,5...3
Режим ТВО: температура; (тривалість: попередньої витримки + підйому температури + ізотермічної витримки)		°С (годин)	50...55 (2+2+1...3)	45...60 (1+1...2+1...3)	до 80 (1+3+3)

<sup>1</sup> Гніванський завод спецзалізобетону; <sup>2</sup> Коростенський завод залізобетонних шпал;

<sup>3</sup> Старокостянтинівський завод залізобетонних шпал

Із табл.2. видно, що для виробництва залізобетонних шпал застосовують майже виключно портландцемент ПЦ І-500Н ДСТУ Б В.2.7-46 виробництва ПАТ «Волинь-цемент» (здолбунівський). Сучасний здолбунівський цемент відрізняється від цементу інших заводів найвищою активністю – 36,3–38,8 МПа після пропарювання і 37,8–43,3 МПа у віці 2 діб. Вміст трьохкальцієвого алюмінату в здолбунівському цементі складає 6,82–7,82 %, лужних оксидів в перерахунку на  $Na_2O$  – 0,61–0,86 %. Для виготовлення бетону шпал рекомендовано застосовувати портландцемент ПЦ І-500Н ДСТУ Б В.2.7-46 виробництва ПАТ «Волинь-цемент» або іншого виробника з не гіршими показниками активності.

Із табл.3, 4 і рис.1, 2 видно, що для виробництва залізобетонних шпал застосовують: як крупний заповнювач – щебінь гранітний, на ГнЗСЗБ – суміші фракцій 5–20 мм (середній розмір 17,5 мм), на КрЗЗБШ і СтЗЗБШ – суміші фракцій 5–25 мм; як дрібний

заповнювач – пісок кварцовий з модулем крупності 1,75–2,5 (середній розмір визначальної фракції 0,47 мм), а для збагачення (на ГнЗСЗБ) – гранітний відсів з модулем крупності 2,9–3,13 (середній розмір визначальної фракції 0,94 мм). Властивості щебеню та піску відповідають нормованим вимогам.

На ГнЗСЗБ в дослідному порядку здійснюють роздільне дозування фракцій щебеню 5–10 (середній розмір 8,8 мм) і 10–20 мм, піску, гранітного відсіву, фактично створюючи безперервну фракцію заповнювачів без визначальних окремих фракцій. Це призводить до згладжування екстремального характеру залежностей характеристик бетону від коефіцієнтів розсунення зерен щебеню цементно-піщаним розчином і зерен піску – цементним тістом (каменем), проте нівелює негативний вплив коливання фракційного складу заповнювачів і точності їх дозування.

Характеристики цементу, застосованого у 2013 р.  
для виробництва залізобетонних шпал

Показник		Од. вимір.	Величина показника для цементу виробника	
			ПАТ «Волинь-цемент» (Здолбунівський)	ПАТ «Євроцемент-Україна» (Балаклійський) <sup>1</sup>
Кількість цементу, застосованого для виробництва шпал	ПЦ І-500Н ДСТУ Б В.2.7-46	%	100	
	який відповідає вимогам до активності (міцності) за результатами випробувань ЗЛ	"	100	
	в якому вміст вільних оксидів $Na_2O$ , $K_2O$ перевищує 0,5%	"	100	
Нормальна густота цементного тіста	за паспортами виробника	%	25,75–26,0	25,0–25,75
	за результ. випробувань ЗЛ <sup>2</sup>	"	25,75–26,5	25,0–25,75
Активність після пропарювання	за паспортами виробника	МПа	40,3–46,5	33,8
	за результ. випробувань ЗЛ	"	36,3–38,8	30,7–34,4
Активність у віці 2-х діб	за паспортами виробника	"	37,8–43,3	21,6–23
Вміст трьохкальцієвого алюмінату $C_3A$	за паспортами виробника	"	6,82–7,28	
	за результ. випробувань НЛ <sup>3</sup>	"	7,82	
Вміст триоксиду сірки $SO_3$	за паспортами виробника	"	2,19–3,08	2,0–2,6
	за результ. випробувань НЛ	"		2,6
Вміст лужних оксидів в перерахунку на $Na_2O$	за паспортами виробника	%	0,59	0,62–0,63
	за результ. випробувань НЛ	"	0,61–0,86	0,83
Вміст хлорид-іонів	за паспортами виробника	"	0,008	0,0068–0,0074
	за результ. випробувань НЛ	"		0,06

<sup>1</sup> Застосовувався лише на ГнЗСЗБ в обсязі 4,7 % від всього цементу

<sup>2</sup> заводська лабораторія; <sup>3</sup> незалежна лабораторія

Таблиця 3

Характеристики щебеню, застосованого у 2013 р.  
для виробництва залізобетонних шпал

Показник для щебеню кар'єрів (родовищ)			Од. вимір.	Значення показника	
				за паспортами виробника	за результатами випробувань ЗЛ або НЛ
Вміст пилюватих, глинистих, мулистих часток у щебені фракції або суміші фракцій, постачальників	ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» <sup>1</sup>	5–10	%	0,5–0,8	1–1,5
		10–20	"	0,5–1	0,5–1,5
	Ладижинське кар'єроуправління <sup>1</sup>	5–20	"	0,8–0,9	1–2
	Пенізевицьке кар'єроуправління <sup>1;2;3</sup>	5–10 <sup>1</sup>	"	0–0,12	1–2
		5–25 <sup>2;3</sup>	"	0	1,5
	Самчинецьке кар'єроуправління <sup>3</sup>	5–25	"	0,8	2
	Хлистунівське	5–10	"	0,8	1,5–2

## Будівельні матеріали, конструкції та споруди

	кар'єроуправління <sup>1</sup>	5–20	"	0,7	1,5–2
Вміст ліщадних та пластинчастих зерен у щебені фракції або суміші фракцій	Гніванський <sup>1</sup>	5–10	%	18–22	17–18
		10–20	"	17,8–22	15–17
	Ладижинський <sup>1</sup>	5–20	"	21–23,5	17–21
	Пенізевицький <sup>1;2;3</sup>	5–10 <sup>1</sup>	"	9,7–15	10–20
		5–25 <sup>2;3</sup>	"	17	17
	Самчинецький <sup>3</sup>	5–25	"	32	19–27
	Хлистунівський <sup>1</sup>	5–10	"	10	17–18
		5–20	"	12–13	17–18
Марка дробимістю щебеню фракції або суміші фракцій	Гніванський <sup>1</sup>			1200	
	Ладижинський <sup>1</sup>			1200	
	Пенізевицький <sup>1;2;3</sup>			1400	
	Самчинецький <sup>3</sup>			1200	
	Хлистунівський <sup>1</sup>			1200	
Морозостійкість щебеню фракції або суміші фракцій	Гніванський <sup>1</sup>		циклів	300	
	Ладижинський <sup>1</sup>		"	200	
	Пенізевицький <sup>1;2;3</sup>		"	300	
	Самчинецький <sup>3</sup>		"	300	
	Хлистунівський <sup>1</sup>		"	300	
Показник потенційно-реакційної здатності (кількість аморфних різновидів кремнезему)	Гніванський <sup>1</sup>		ммоль/л	0	
	Ладижинський <sup>1</sup>		"	0	0
	Пенізевицький <sup>1;2;3</sup>		"	13,3	0
	Самчинецький <sup>3</sup>		"	0	
	Хлистунівський <sup>1</sup>		"	0	25
Насипна густина	Гніванський <sup>1</sup>	5–10	кг/м <sup>3</sup>	1330–1340	
		10–20	"	1380–1400	
	Ладижинський <sup>1</sup>	5–20	"	1375–1395	
	Пенізевицький <sup>1;2;3</sup>	5–10 <sup>1</sup>	"	1335–1390	
		5–25 <sup>2;3</sup>	"	1335–1420	
	Самчинецький <sup>3</sup>	5–25	"	1364–1425	
	Хлистунівський <sup>1</sup>	5–10	"	1340–1360	
		5–20	"	1390–1405	
Істинна густина зерен	Гніванський <sup>1</sup>		кг/м <sup>3</sup>	2700	
	Ладижинський <sup>1</sup>		"	2700	
	Пенізевицький <sup>1;2;3</sup>		"	2600–2710	
	Самчинецький <sup>3</sup>		"	2600–2700	
	Хлистунівський <sup>1</sup>		"	2700	
Вологість на момент постачання	Гніванський <sup>1</sup>	5–10	%		0,5–1,5
		10–20	"		1,5–2
	Ладижинський <sup>1</sup>	5–20	"		0,5–2
	Пенізевицький <sup>1;2;3</sup>	5–10 <sup>1</sup>	"		1–2,5
		5–25 <sup>2;3</sup>	"		0,5–2
	Самчинецький <sup>3</sup>	5–25	"		0,5
	Хлистунівський <sup>1</sup>	5–10	"		0,5–1
		5–20	"		0,5

<sup>1</sup> застосовується ГнЗСЗБ; <sup>2</sup> застосовується КрЗЗБШ; <sup>3</sup> застосовується СтЗЗБШ

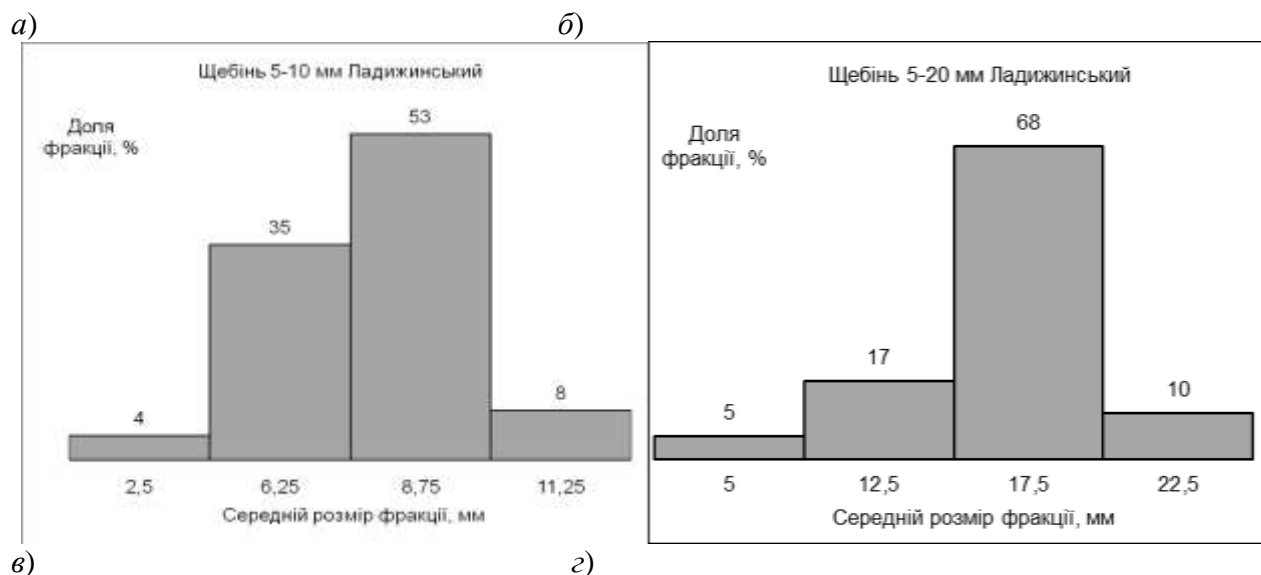
## Будівельні матеріали, конструкції та споруди

Рекомендовано виключити для виготовлення бетону шпал застосування щебеню суміші фракцій 5–25 мм і застосовувати суміш фракцій 5–20 мм, а також продовжити дослідження із роздільного дозування заповнювачів.

У 1990-2000-х рр. УкрДАЗТ було виконано аналіз технології виробництва залізобетонних шпал і складів бетону, застосовуваних Гніванським заводом спецзалізобетону (ГнЗСЗБ) [2], Київським дослідним заводом залізобетонних шпал [3], Коростенським заводом залізобетонних шпал (КрЗЗБШ) [4], Кременчуцьким заводом залізобетонних шпал [5], Старокостянтинівським заводом залізобетонних шпал (СтЗЗБШ) [6]. За результатами цього аналізу підприємствам було рекомендовано ряд заходів з підвищення якості бетону, у т.ч. застосовувати оптимальні склади бетону,

призначені згідно з розробленою методикою [7], в яких слід забезпечувати оптимальні величини структурних характеристик бетону – коефіцієнтів розсунення зерен щебеню цементно-піщаним розчином  $\alpha \rightarrow \alpha_{\text{опт}}$ , зерен піску цементним тістом (каменем)  $\mu \rightarrow \mu_{\text{опт}}$ , водоцементного відношення  $B/C \rightarrow B/C_{\text{опт}}$ .

Протягом 2000-10-х рр. ці заходи підприємствами в основному були виконані, у т.ч. було істотно підвищено стабільність якості матеріалів для бетону. Так, кількість заводів-виробників цементу була зменшена з 9 до 2 (практично до 1), які забезпечують найвищу активність після пропарювання 36–39 МПа і у віці 2 діб – 38–43 МПа. Сучасний високоактивний цемент відрізняється більш високою дисперсністю – середній розмір визначальних фракцій їх часток знизився від 30–50 до менше 10 мкм (рис.1) [7].



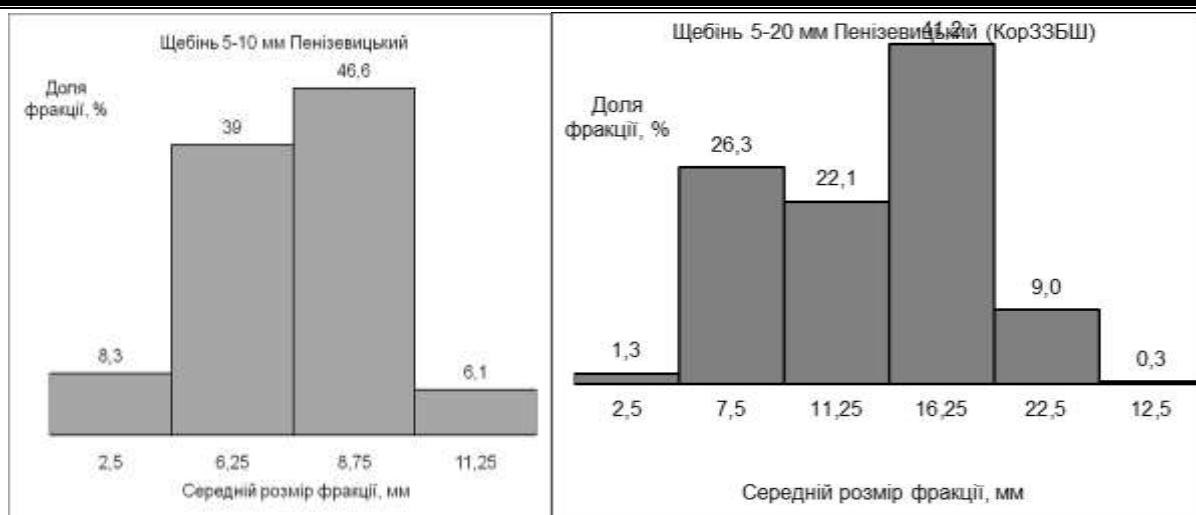


Рис.1. Гістограми розподілу за розмірами зерен щебеню, застосованого у 2014 р. для виробництва залізобетонних шпал:  
*а, б*– Ладизинського кар'єра; *в, г*–Пенізевицького кар'єра;  
*а, в*– фракції 5–10 мм; *б, г*– суміші фракцій 5–20 мм

У складі заходів з підвищення якості залізобетонних шпал підприємствами скориговано склади бетону. Ці склади за станом на 2013 р. наведені у табл.5, де для порівняння наведено також склад бетону залізобетонних шпал одного з підприємств країн Євросоюзу [1].

Виконано аналіз наведених у табл.5 складів бетону – визначено і порівняно оптимальні  $\alpha_{\text{опт}}$ ,  $\mu_{\text{опт}}$ ,  $V/C_{\text{опт}}$  і фактичні  $\alpha$ ,  $\mu$ ,  $V/C$  величини структурних характеристик бетону. Цей аналіз показав, що склади бетону близькі до оптимальних, відхилення фактичних величин структурних характеристик бетону від

оптимальних в основному не перевищує декількох відсотків. Ці відхилення в більшості випадків знаходяться у межах коливання властивостей заповнювачів або не відчуються у разі застосування роздільного дозування фракцій щебеню й піску (створенні безперервної фракції). Більше відхилення  $\mu$  для складів КрЗЗБШ відповідає формуванню декількох рядів часток цементу в прошарках між зернами заповнювачів і не спричиняє зниження міцності та кінетики її набору (може негативно вплинути на довготривалу повзучість і тріщиностійкість).

Таблиця 4

Характеристики піску, застосованого у 2013 р.  
для виробництва залізобетонних шпал

Показник для піску родовищ (постачальників)		Од. в имір.	Значення показника	
			за паспортами виробника	за результатами випробувань ЗЛ або НЛ
Модуль крупності	ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» (гранвідсів) <sup>1</sup>		2,5	2,9–3,13
	ТОВ «Полісся-Профіт» <sup>1</sup>		2	1,92–2,32
	ВКП «Явір-Інвест» – Горинь-Крупецького <sup>1</sup>		1,8–2	1,75–2,25
	Ігнатпільського <sup>2</sup>		1,5–2	

## Будівельні матеріали, конструкції та споруди

	Славутського <sup>2;3</sup>		1,5–2,5	
Вміст пилюватих і глинистих часток	Гніванського (гранвідсіву) <sup>1</sup>	%	1,5–2	1–1,5
	ТОВ «Полісся-Профіт» <sup>1</sup>	"	1,96	0,5–1,5
	Горинь-Крупецького <sup>1</sup>	"	0,7–1,1	1–2
	Ігнатпільського <sup>2</sup>	"	4	
	Славутського <sup>2;3</sup>	"	4	
Вміст органічних домішок	Гніванського (гранвідсіву) <sup>1</sup>	%	0	
	ТОВ «Полісся-Профіт» <sup>1</sup>	«	0	
	Горинь-Крупецького <sup>1</sup>	"	0	
	Ігнатпільського <sup>2</sup>	"	4	
	Славутського <sup>2;3</sup>	"	4	
Показник потенційно-реакційної здатності (кількість аморфних різновидів кремнезему)	Гніванського (гранвідсіву) <sup>1</sup>	ммоль/л	0	0
	ТОВ «Полісся-Профіт» <sup>1</sup>	"		23
	Горинь-Крупецького <sup>1</sup>	"	27	26,4–35
	Ігнатпільського <sup>2</sup>	"		
	Славутського <sup>2;3</sup>	"		
Насипна густина	Гніванського (гранвідсіву) <sup>1</sup>	кг/м <sup>3</sup>		1310–1355
	ТОВ «Полісся-Профіт» <sup>1</sup>	"		1300–1315
	Горинь-Крупецького <sup>1</sup>	"		1245–1270
	Ігнатпільського <sup>2</sup>	"		1420–1440
	Славутського <sup>2;3</sup>	"		1165–1260

Впровадження цих заходів дозволило підвищити якість шпал, знизивши вихід шпал 2 сорту або браку та кількість рекламаций, а також

досягти значного ресурсоенергозбереження за рахунок скорочення режиму ТВО та зниження її температури (табл.6).

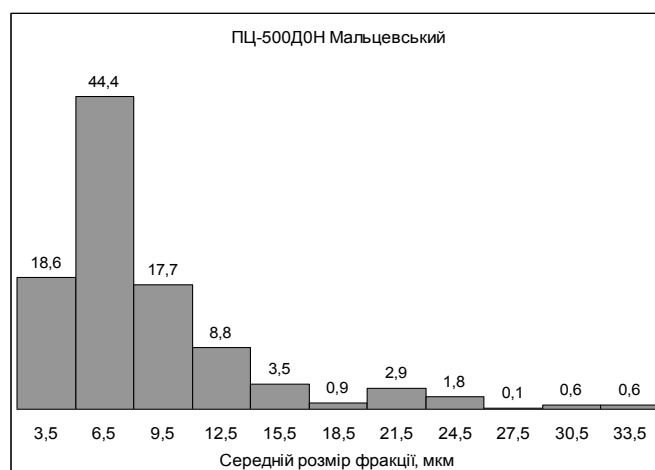
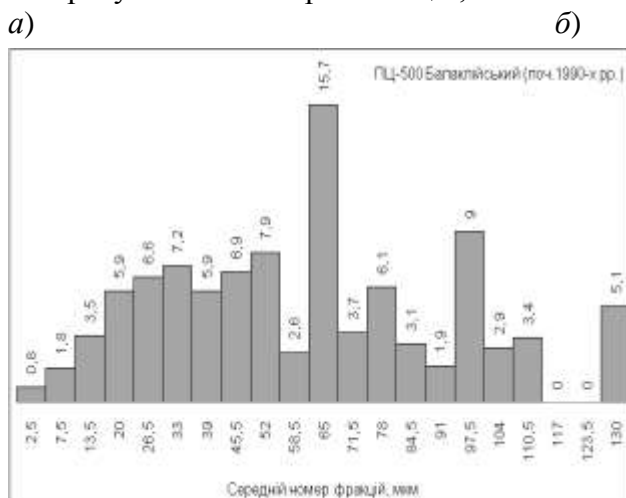


Рис.3. Гістограми розподілу (у % за масою) часток бездобавочного портландцементу марки 500 за розмірами: а– ПЦ-500 виробництва 1990-х рр. Балаклійського цементно-шиферного комбінату (за даними УкрДАЗТ); б– ПЦ-500 ДОН сучасного виробництва Мальцевського цементного заводу (за даними ПГУПС)



## Будівельні матеріали, конструкції та споруди

1 Таблица 5 –Результати аналізу складів бетону залізобетонних шпал,  
застосовуваних підприємствами у 2013–14 рр.

Характеристики складу та структури бетону		Од. вимір.	Величини для підприємств			
			ГнЗСЗБ	КрЗЗБШ	СтЗЗБШ	Євр <sup>1</sup>
Витрата компонентів на 1 м <sup>3</sup> бетону	Цемент	кг	435...450	445...460	464	380
	Щебінь 5–20 (5–25) <sup>2</sup>	"	1178...1247	1175...1185	1250	
	Щебінь 10–20 (8–16) <sup>3</sup>	"	(877) <sup>4</sup>			718
	Щебінь 5–10 (2–8) <sup>3</sup>	"	0...100 (370) <sup>4</sup>			517
	Гранвідсів	"	96...200			
	Пісок	"	443...515	657...664	585	680
	Вода	л	140...155	154...163	160	122
Оптимальні величини структурних характеристик	$\alpha_{\text{опт}}$		1,20	1,17	1,17	1,26
	$\mu_{\text{опт}}$		1,09	1,09	1,09	1,09
	$B/C_{\text{опт}}$		0,3	0,3	0,3	0,3
Фактичні величини структурних характеристик	$\alpha$		1,09...1,25	1,27	1,27	1,30
	$\mu$		1,10...1,16	1,41...1,49	1,17	1,15
	$B/C$		0,31...0,34	0,35	0,35	0,32
Відхилення фактичних величин від оптимальних	$\Delta\alpha$	%	–9,8...3,3	5,4...8,4	7,9	3,2
	$\Delta\mu$	"	0,8...5,8	29...36	6,4	5,0
	$\Delta B/C$	"	4,4...14,8	15...18	15	6,7

<sup>1</sup> Підприємство європейської країни;

<sup>2</sup> на КрЗЗБШ і СтЗЗБШ; <sup>3</sup> на підприємстві країни Європейського союзу;

<sup>4</sup> як альтернатива щебеню 5–20 у разі роздільного дозування фракцій

Таблица 6

Режими тепловологісної обробки залізобетонних шпал

Режим ТВО на підприємстві		у 1990-2000-х рр.		у 2013 р.		Економія град×год, %
		(год) град <sup>1</sup>	град×год	(год) град	град×год	
ГнЗСЗБ (1998)	min	(2+2+4) 80°C	460	(2+2+1) 50°C	160	65
	max	(2+3+5) 100°C	720	(2+2+3) 55°C	280	61
КрЗЗБШ (2000)	min	(2+3+4) 80°C	510	(1+1+1) 45°C	97,5	80
	max			(1+2+3) 60°C	280	45
СтЗЗБШ (2008)		(1+3+4) 70°C	435	(1+3+3) 80°C	410	5,7 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> (тривалість попередньої витримки + підйому температури + ізотермічної витримки, год) температура ізотермічної витримки, °C

<sup>2</sup> Менша економія, досягнута СтЗЗБШ, пояснюється необхідністю більш раннього розпалублення шпал

Із табл.6 видно, що у порівнянні з 1990-2000-ми рр. підприємства впровадили набагато менш витратні режими ТВО залізобетонних шпал. Відзначена економія досягнута за рахунок застосування більш активного цементу, а також заповнювачів більш високої якості та

## **Будівельні матеріали, конструкції та споруди**

складів бетону, близьких до оптимальних. Менша економія, досягнута Старокостянтинівським ЗЗБК, обумовлена необхідністю більш раннього розпалублення шпал.

Таким чином, підприємствами впроваджено оптимальні склади бетону і в максимальному ступені реалізовано потенціал наявних матеріалів і складів бетону для підвищення якості шпал і забезпечення ресурсоенергозбереження. Подальше удосконалення складів бетону з метою підвищення якості шпал і ресурсоенергозбереження можливе за рахунок застосування комплексних добавок, що містять суперпластифікатор, прискорювачі твердіння, активні мінеральні добавки.

### **Висновки і перспективи подальших досліджень**

1. Середній річний обсяг випуску залізобетонних шпал ГнЗСЗБ 462 тис. шт., КрЗЗБШ 482 тис. шт. і СтЗЗБШ – 92 тис. шт. прийнято для економічних розрахунків ефективності заходів з ресурсоенергозбереження.

2. Встановлено основні характеристики матеріалів, які застосовують для виготовлення залізобетонних шпал.

3. Для виготовлення залізобетонних шпал рекомендовано застосовувати

- портландцемент ПЦ І-500Н з активністю, не меншою 36,3–38,8 МПа після пропарювання і 37,8–43,3 МПа у віці 2 діб;

- щебінь суміші фракцій 5–20 мм, виключивши застосування щебеню суміші фракцій 5–25 мм;

- продовжити дослідження із роздільного дозування заповнювачів – щебеню 10–20 і 5–10 мм, гранітного відсіву та піску.

4. Виконано аналіз складів бетону залізобетонних шпал та їх впливу на енерговитрати при виробництві шпал. Встановлено, що застосування портландцементу високої активності та оптимальних складів бетону, в яких забезпечені оптимальні величини структурних характеристик бетону – коефіцієнтів розсунення зерен щебеню цементно-піщаним розчином і зерен піску цементним тістом (каменем), водоцементного відношення забезпечило зниження енерговитрат на тепловологісну обробку шпал на 45–80 %.

5. Для подальшого зниження енерговитрат рекомендовано дослідити вплив комплексних добавок, які включають суперпластифікатор, прискорювачі твердіння й активні мінеральні добавки, на кінетику твердіння цементного каменю і бетону та впровадити комплексні добавки у виробництво шпал.

### **Список використаних джерел**

1. Проведення досліджень з використання хімічних добавок для зниження енергоємності виробництва залізобетонних шпал і розробка ДСТУ на шпали залізобетонні попередньо напружені для залізниць колії 1520 і 1435 мм: Звіт з НДР / УкрДАЗТ. – Харків, 2014. – г/д №6/5-2013. – ДР№0114U006551. – Етап 1. – 34 с.; Етап 2. – 259 с.

2. Исследования основных производственных факторов, определяющих расходы цемента при изготовлении железобетонных конструкций: Отчет о НИР / А.Н.Плугин, О.А.Калинин, А.А.Плугин и др. – Харьков, 1998. – 40 с.

3. Рекомендації з виготовлення залізобетонних шпал у відповідності до ТУ У 01116472.021-97(для Київського експериментального заводу залізобетонних шпал) / ХарДАЗТ. – Харків, 2000. – 58 с.

4. Рекомендації з удосконалення технології виробництва залізобетонних шпал у відповідності з ТУ У 01116472.021 (для Коростенського заводу залізобетонних шпал) / ХарДАЗТ. – Харків, 2001. – 123 с.

## **Будівельні матеріали, конструкції та споруди**

---

5. Заключення щодо відповідності вимогам ТУ У 01116472.021 шпал залізобетонних попередньо напружених із зменшеною кількістю арматури для залізниць колії 1520 мм, що виробляються ЗАТ Кременчуцький ЗЗБШ-2 / ХарДАЗТ. –Харків, 2001. – 45 с.

6. Дослідження причин виникнення тріщин у плитах безбаластного мостового полотна і розробка методичних рекомендацій із забезпечення їх тріщиностійкості. Етап 2 Обстеження технології виготовлення, натурних досліджень плит БМП при експлуатації і теоретичних досліджень механізму тріщиноутворення в плитах БМП: Звіт з НДР / УкрДАЗТ. – г/д №6/12-2008. – Харків, 2008. – 126 с.

7. Методика визначення оптимального складу високоміцного, тріщиностійкого і водонепроникного бетону для конструкцій і споруд залізничного транспорту // ЦП 0224 Рекомендації із забезпечення тріщиностійкості плит безбаластного мостового полотна / УкрДАЗТ; ЦП УЗ. – Київ: Укрзалізниця, 2010. – С.15–21.

---

Плугін Андрій Аркадійович, д-р техн. наук, професор, зав. кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Української державної академії залізничного транспорту. Тел. +38 057 730 10 63; тел./факс +38 057 771 46 91. E-mail: plugin\_aa@kart.edu.ua

Романенко Олександр Валерійович, канд. техн. наук, доцент кафедри БМКС УкрДАЗТ. Тел. +38 057 730 10 65. E-mail: roma\_kharkov83@mail.ru

Калінін Олег Анатолійович, канд. техн. наук, доцент, зав. галузевої науково-дослідної лабораторії підрейкових основ і спецзалізобетону УкрДАЗТ. Тел. +38 057 730 10 68. E-mail: oleg.kalinin.63@mail.ru

Плугін Олексій Андрійович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри БМКС УкрДАЗТ. Тел. +38 057 730 10 68. E-mail: plugin07@rambler.ru

Афанасьєв Олександр Валерійович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри БМКС УкрДАЗТ. Тел. +38 057 730 10 65. E-mail: s-ja@bk.ru

Бабій Анатолій Іванович, інженер, головний технолог ПрАТ «Гніванський завод спецзалізобетону». Тел. +38 043 553 45 83. E-mail: [babiy72anatoliy@gmail.com](mailto:babiy72anatoliy@gmail.com)

Plugin Andrey.A., doct. of techn.sciences ofBuilding Materials, Constructions and Buildings Department Ukrainian State Academy of Railway Transport

Contact tel: +38 057 730 10 63, +38 057 771 46 91. E-mail: plugin\_aa@kart.edu.ua

RomanenkoAlexanderV.candidates of techn. sciences ofBuilding Materials, Constructions and Buildings Department Ukrainian State Academy of Railway Transport

Contact tel: +38 057 730 10 65, E-mail: roma\_kharkov83@mail.ru

Kalinin Oleg A.candidates of techn. sciences ofBuilding Materials, Constructions and Buildings Department Ukrainian State Academy of Railway Transport

Contact tel: 38 057 730 10 68, E-mail: oleg.kalinin.63@mail.ru

Plugin Alexey A. candidates of techn. sciences ofBuilding Materials, Constructions and Buildings Department Ukrainian State Academy of Railway Transport

Contact tel: 38 057 730 10 68, E-mail: plugin07@rambler.ru

Afanasiev AlexanderV.candidates of techn. sciences ofBuilding Materials, Constructions and Buildings Department Ukrainian State Academy of Railway Transport

Contact tel: +38 057 730 10 65, E-mail: s-ja@bk.ru

BabiyAnatoly I.,engineer, chieftechnologistof PJSC "Hnivansky specialconcretefactory"Contact tel: +38 043 553 45 83, E-mail: babiy72anatoliy@gmail.com