

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ НЕСУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ПЛАНУВАЛЬНИКА БАЛАСТНОЇ ПРИЗМИ СПЗ-5/UA

У статті наведено результати аналітичних та експериментальних досліджень напружено-деформованого стану (НДС) несучих елементів конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA. Аналітичні дослідження виконані з використанням методу скінченних елементів (МСЕ). Їх результати використані при проведенні ходових динамічних випробувань на міцність. На основі аналізу отриманих розрахункових та експериментальних даних виконано оцінку міцності конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA при дії навантажень, які відповідають різним експлуатаційним режимам.

Ключові слова: конструкція планувальника баластної призми, напружено-деформований стан, метод скінченних елементів, ходові динамічні випробування на міцність, експлуатаційний режим

В статье приведены результаты аналитических и экспериментальных исследований напряжённо-деформированного состояния (НДС) несущих элементов конструкции планировщика балластной призмы СПЗ-5/UA. Аналитические исследования выполнены с использованием метода конечных элементов (МКЭ). Их результаты использованы при проведении ходовых динамических испытаний на прочность. На основе анализа полученных расчётных и экспериментальных данных выполнена оценка прочности конструкции планировщика балластной призмы СПЗ-5/UA под действием нагрузок, соответствующих разным эксплуатационным режимам.

Ключевые слова: конструкция планировщика балластной призмы, напряжённо-деформированное состояние, метод конечных элементов, ходовые динамические испытания на прочность, эксплуатационный режим

In the article the results of analytical and experimental studies of the stressed-and-strained state of load-bearing elements of structure of ballast prism planner of SPZ-5/UA are presented. The analytical research is performed using the finite element method (FEM). Its results are used during realization of performance dynamic tests on durability. On the basis of analysis of the calculation and experimental data obtained the estimation of durability of construction of ballast prism planner SPZ-5/UA under the action of loads corresponding to the different operating modes is executed.

Keywords: construction of ballast prism planner, stressed-and-strained state, finite element method, performance dynamic tests on durability, operating modes

Планувальник баластної призми – колійна машина, призначена для планування і перерозподілу свіжовідсипаного баласту за всіх видів ремонту та поточного утримання залізничної колії, а також при її будівництві [1].

Загальний вигляд планувальника баластної призми СПЗ-5/UA виробництва ВАТ «Каховський завод електрозварювального обладнання» зображено на рис. 1.



Рис. 1. Планувальник баластної призми СПЗ-5/UA

Планувальник баластної призми СПЗ-5/UA має три режими роботи: робочий, самохідний і

транспортний. У робочому (технологічному) режимі машина виконує технологічні завдання; самохідний режим дозволяє машині рухатися, як окремою транспортною одиницею (зі швидкістю до 80 км/год) і буксувати причіп максимальною масою до 270 т; у транспортному режимі планувальник баластної призми СПЗ-5/UA рухається у складі потягу зі швидкістю до 100 км/год.

Дослідження напружено-деформованого стану (НДС) несучої конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA проводилося за п'ятьма видами навантажень:

- навантаження від сил власної ваги несучої конструкції та встановленого на неї обладнання у транспортному режимі (режим статичного навантаження з урахуванням коефіцієнту динаміки);
- робочий режим «А» (робота двох бічних і двох центральних плугів);

- робочий режим «B» (робота одного бічного і двох центральних плугів);
- робочий режим «C» (робота одного бічного плуга);
- робочий режим «D» (робота двох центральних плугів).

До сил тиску, діючих у робочих режимах, належать повздовжні сили на різак F_r , сили на крила F_p і сили на центр плуга F_s . У табл. 1 показано значення цих сил за робочими режимами.

Таблиця 1

Значення повздовжніх сил тиску, діючих на робочі органи машини у робочих режимах

Робочий режим	Сили тиску на робочі органи машини СПЗ-5/UA, кН		
	F_r	F_p	F_s
«A»	2·20	2·10	0
«B»	1·25	1·15	2·5
«C»	1·40	0	0
«D»	0	0	2·25

На рис. 2 показані місця прикладення повздовжніх сил тиску на робочі органи планувальника баластної призми СПЗ-5/UA.

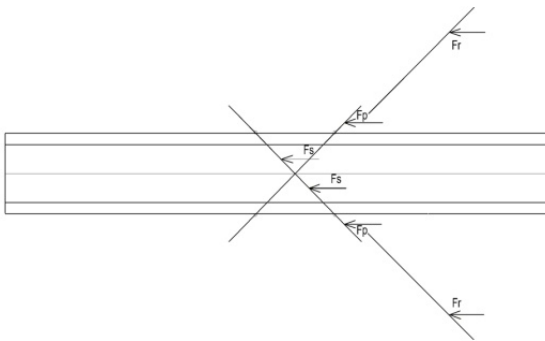


Рис. 2. Схема розташування місць прикладення повздовжніх сил тиску на робочі органи

Метою дослідження НДС несучої конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA за методом скінченних елементів (МСЕ) є:

1. перевірка відповідності конструкції умовам міцності;
2. визначення місць встановлення тензометричних датчиків для проведення ходових міцнісних випробувань машини;

Окрім того, за результатами розрахунку несучої конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA за МСЕ були визначені ста-

тичні напруження $\sigma_{ст}$ з послідуною оцінкою коефіцієнту запасу втомлювальної міцності n_{σ} .

Для проведення досліджень несуча конструкція досліджуваної машини була змодельована скінченними елементами – трьох- і чотирьох вузловими пластинками (рис. 3). Товщини пластинок обиралися відповідно до розмірів поперечних перерізів елементів конструкції.

Рама планувальника баластної призми СПЗ-5/UA складається з двох основних повздовжніх балок 1 з профілю НЕВ 300, двох кінцевих балок, що входять до складу буферних брусів 2 та трьох проміжних поперечних балок 3 з труби 200×300×10 EN10210, двох поперечних балок 4 з труби 200×100×10 EN10210. Зокрема, модель вміщує буксові вузли, зображені під номером 5.

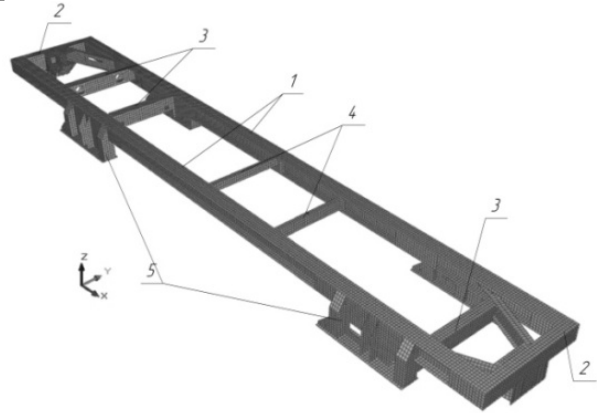


Рис. 3. Скінченно-елементна модель рами планувальника баластної призми СПЗ-5/UA

Граничні умови задачі реалізовувалися за допомогою введення до місць спирання рами вертикальних зв'язків скінченної жорсткості, причому сумарна жорсткість одного комплекту зв'язків скінченної жорсткості була взята рівною жорсткості одного комплекту ресорного підвішування.

Для прикладу, на рис. 4. зображено схема навантаження скінченно-елементної моделі рами планувальника баластної призми СПЗ-5/UA силами власної ваги та встановленого на неї обладнання.

Проілюструємо дослідження НДС несучої конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA за МСЕ у вигляді графіків розподілу за конструкцією рами головних σ_1 і еквівалентних напружень за енергетичною теорією міцності Губера-Мізеса-Генкі. На рис. 5 – 6 ці графіки наведені для режиму статичного навантаження.

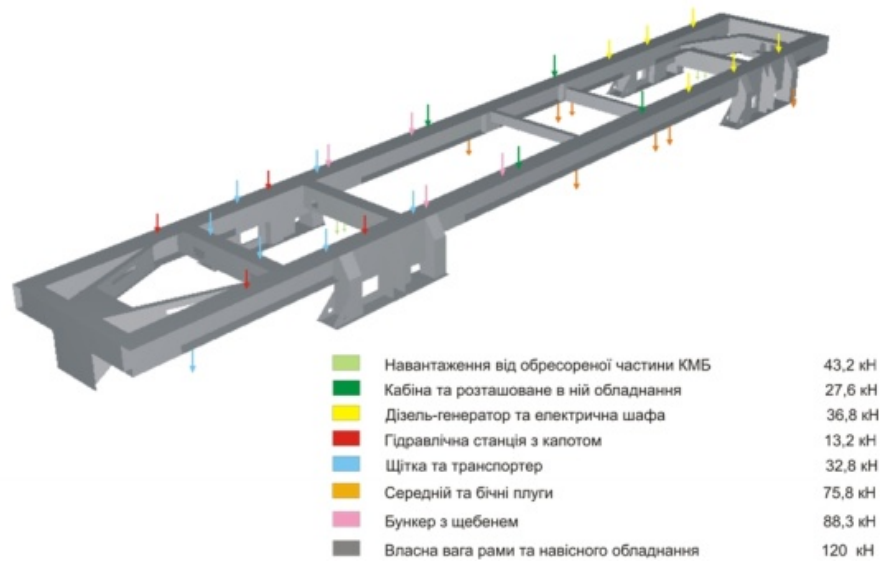


Рис. 4. Схема навантаження скінченно-елементної моделі рами планувальника баластної призми СПЗ-5/UA силами власної ваги та встановленого на неї обладнання

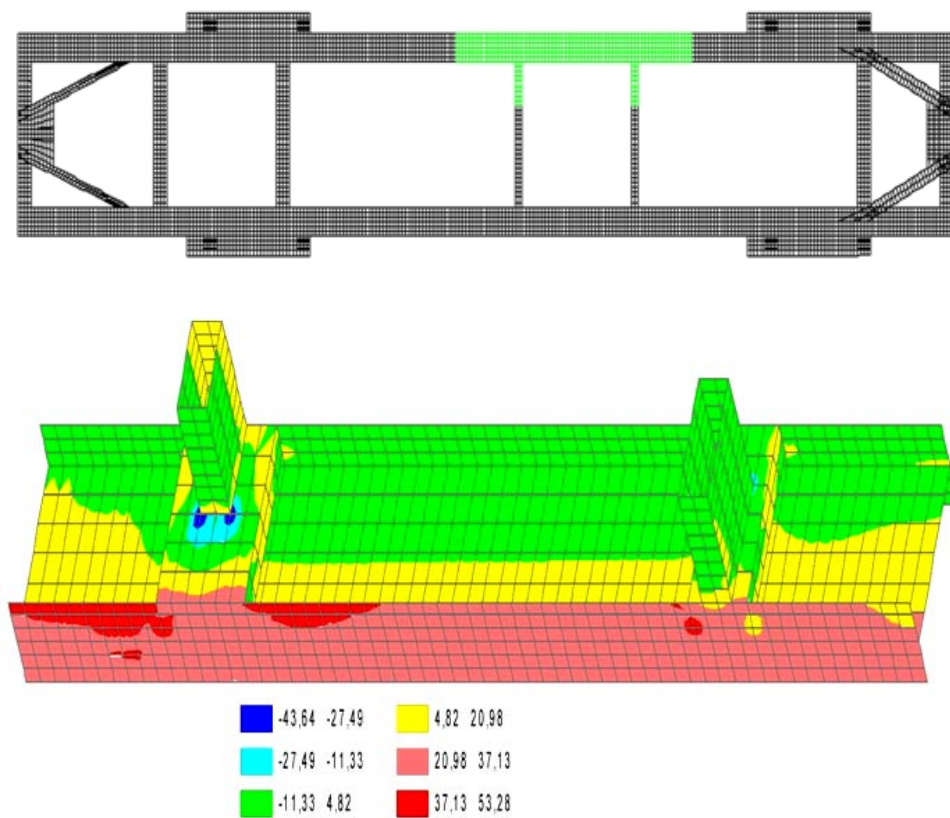


Рис. 5. Поля головних напружень σ_1 у центральній частині несучої рами.
Режим статичного навантаження (МПа)

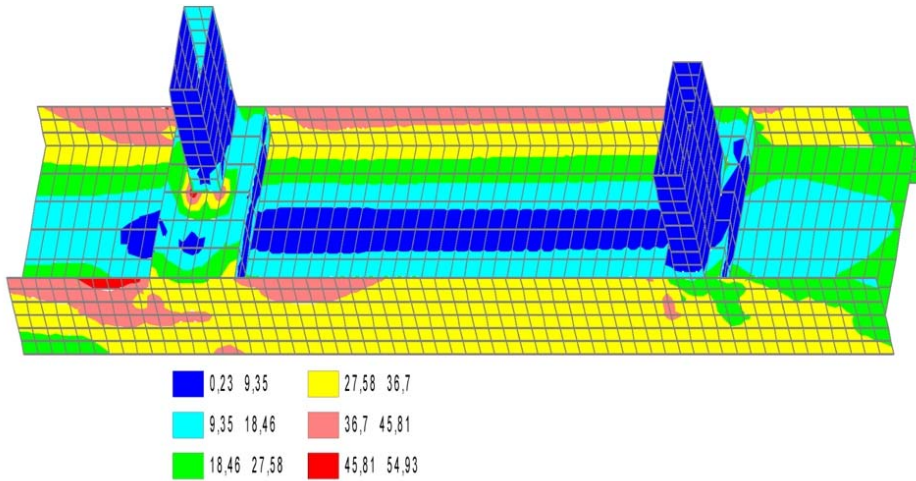


Рис. 6. Поля еквівалентних напружень у центральній частині несучої рами.
Режим статичного навантаження (МПа)

На рис. 7 – 8 наведено графіки розподілу за конструкцією рами головних σ_1 і еквівалентних напружень для робочого режиму «D» експлуатації планувальника баластної призми

СПЗ-5/UA. Наводиться саме робочий режим «D», тому що при ньому були отримані найбільші значення напружень серед усіх можливих робочих режимів.

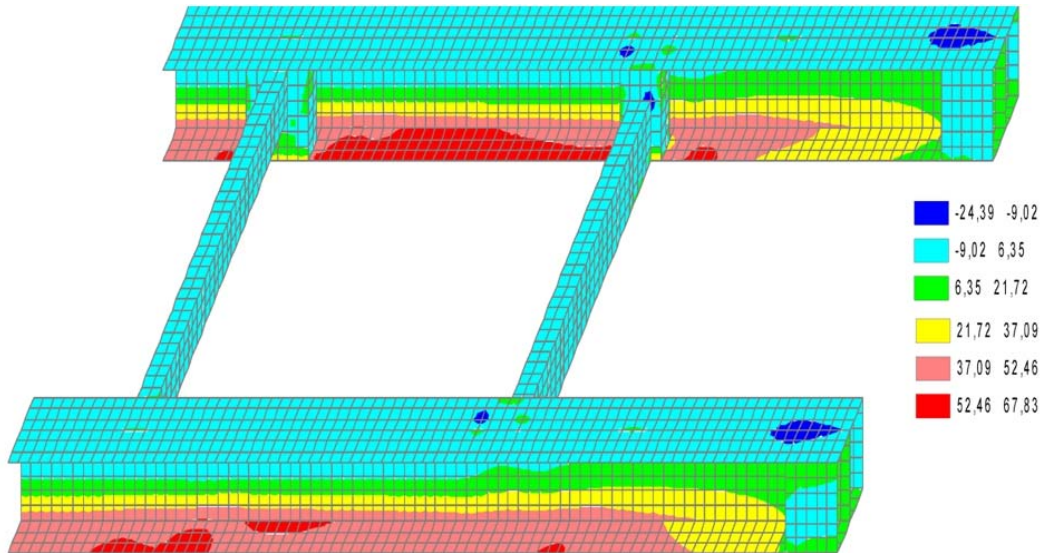


Рис. 7. Поля головних напружень σ_1 у центральній частині несучої рами. Робочий режим «D» (МПа)

Дослідження НДС несучої конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA від дії статичного навантаження показало, що середня частина конструкції є найбільш навантаженою частиною, що видно з рис. 5 – 6. Зона максимальних напружень розташована у полиці основної несучої поздовжньої балки, поряд із місцем підвішування середнього плуга у транспортному положенні. У зоні концентрації напружень максимальне значення еквівалентних напружень за теорією міцності Губера-Мізеса-Генкі з урахуванням коефіцієнту динаміки, який приймався рівним $k = 1,5$ [3], складає близько 82,5 МПа, що є значно нижчим за допус-

тимі напруження, що становлять 155 МПа [2, 3].

У робочих режимах найбільші значення напружень спостерігалися у місцях кріплення бічних і середніх плугів. Саме робочий режим «D», при якому працюють два центральних плуги, виявився найбільш несприятливим для конструкції з поміж інших робочих режимів. Значення головних напружень σ_1 у режимі «D» досягли 68 МПа, еквівалентних напружень – 72 МПа. Як видно з рис. 7 – 8, зоною максимальних напружень є центральна частина рами між поперечними балками кріплення середніх плугів.

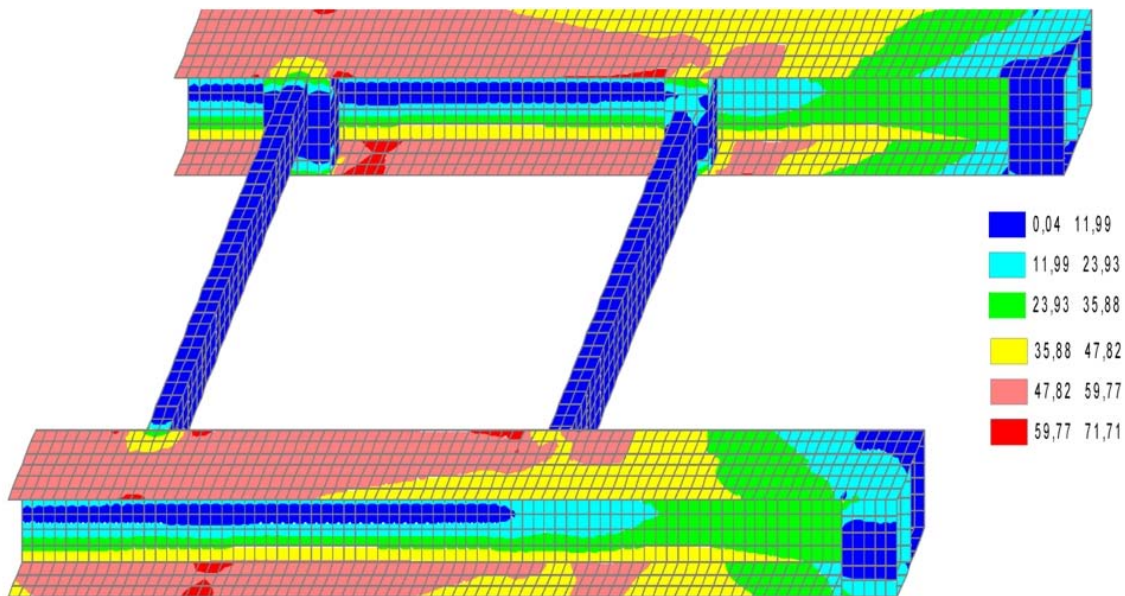


Рис. 8. Поля еквівалентних напружень у центральній частині несучої рами. Робочий режим «D» (МПа)

Результати, отримані у ході дослідження НДС конструкції при дії різних експлуатаційних режимів, зведені до порівняльної табл. 2.

Таблиця 2

Максимальні напруження у несучій конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA (у місці кріплення центральних і бічних плугів)

Режим експлуатації	Значення напружень, МПа		
	Головні σ_1	Еквівалентні за теорією Губера-Мізеса-Генкі	Допустимі $[\sigma]$
Статичний	53	55	155
Транспортний	79,5	82,5	155
«A»	51	51	155
«B»	62	61	
«C»	56	55	
«D»	68	72	

Галузевою науково-дослідною лабораторією динаміки та міцності рухомого складу (ГНДЛ ДМРС) Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна були проведені ходові динамічні випробування на міцність дослідної машини планувальника баластної призми СПЗ-5/UA. Метою випробувань були перевірка відповідності конструкції дослідного зразка машини СПЗ-5/UA та її міцнісних показників вимогам Технічного завдання, нормативних документів, що визначають умови безпеки руху та експлуатації. Ходові динамічні випробування на міц-

ність були проведені згідно програми-методики, розробленої на підставі Технічного завдання і [4].

Міцнісні випробування планувальника баластної призми СПЗ-5/UA проводилися на перегоні зі швидкостями до 100 км/год у транспортному режимі. На несучу раму дослідного зразка машини були встановлені тензометричні резистори у місцях виникнення найбільших напружень. Найбільш навантажені ділянки несучої конструкції були встановлені згідно вищенаведеного дослідження НДС конструкції дослідної машини за МСЕ.

Коефіцієнт запасу втомлювальної міцності розраховувався за відомим виразом [5]:

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma}\sigma_a + \Psi_{\sigma}\sigma_m},$$

де σ_{-1} – межа витривалості гладкого лабораторного зразка за симетричного циклу для базової довговічності;

σ_m – середнє значення циклу напружень. Приймалося рівним значенню напруження, отриманому згідно розрахунку конструкції за МСЕ від дії статичного навантаження $\sigma_{ст}$, тобто $\sigma_m = \sigma_{ст}$;

σ_a – номінальне значення амплітуди циклу зміни напружень;

Ψ_{σ} – коефіцієнт чутливості й асиметрії циклу;

K_{σ} – сумарний коефіцієнт, який враховує вплив концентрації напружень, масштабного і технологічного факторів.

Схема розташування тензометричних датчиків, розроблена на основі дослідження НДС несучої конструкції за МСЕ, показана на рис. 9.

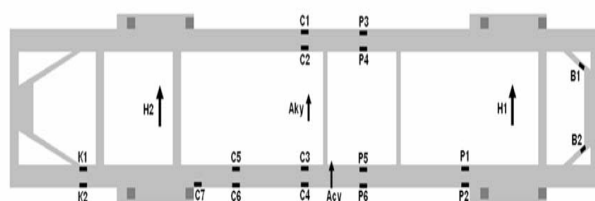


Рис. 9. Схема розташування тензометричних датчиків на несучій рамі дослідної машини

У зведеній табл. 3 наведено значення коефіцієнтів запасу втомлювальної міцності за найбільш навантаженими елементами несучої конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA для транспортного режиму.

Таблиця 3

Коефіцієнти запасу втомлювальної міцності у найбільш навантажених елементах несучої конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA. Транспортний режим

Датчик	$\sigma_{ст}$, МПа	v , км/год	n
1	2	3	4
C1	48	35...45	5,66
		46...55	3,89
		56...65	3,44
		66...75	3,48
		76...85	3,56
		86...95	3,49
		96...105	3,75
C2	31	35...45	4,30
		46...55	4,06
		56...65	4,98
		66...75	3,84
		76...85	3,44
		86...95	6,23
		96...105	5,53

1	2	3	4
C4	38	35...45	3,58
		46...55	3,70
		56...65	3,88
		66...75	2,84
		76...85	3,09
		86...95	3,94
		96...105	4,53
P4	33	35...45	4,62
		46...55	5,15
		56...65	6,47
		66...75	3,77
		76...85	4,81
		86...95	6,94
		96...105	6,52
P5	33	35...45	4,94
		46...55	4,82
		56...65	6,33
		66...75	4,47
		76...85	4,00
		86...95	7,00

Оцінка міцності несучої конструкції планувальника баластної призми СПЗ-5/UA для робочих режимів експлуатації проводилася за допустимими напруженнями, для транспортного режиму навантаження – за допустимими напруженнями та коефіцієнтами втомлювальної міцності.

Втомлювальна міцність несучої рами дослідної машини вважається забезпеченою, якщо в усьому діапазоні швидкостей, для яких проводилися випробування, отримані значення коефіцієнтів запасу втомлювальної міцності не перевищують нормативного значення, яке згідно [2, 3] приймалося $[n] = 1,5$.

В результаті обробки експериментальних даних мінімальне значення коефіцієнту запасу втомлювальної міцності 2,84 було отримано для точки C4, що не менше нормативного значення.

Отримані результати дають право стверджувати, що несуча конструкція планувальника баластної призми СПЗ-5/UA має значний запас міцності. Такі результати вказують на можливість оптимізації конструкції несучої рами досліджуваної машини.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Соломонов, С. А. Путьевые машины [Текст] / С. А. Соломонов. – М.: Желдориздат, 2000. – 726 с.
2. Машины путьевые. Нормы и требования безопасности, эргономики, санитарно-гигиенические и природоохранные. Основные положения. РД 32.65-96 [Текст] / ВНИИЖТ МПС РФ. – М., 1996.
3. Нормы прочности металлоконструкций путьевых машин. ОСТ 32.62-96 [Текст] / ВНИИЖТ МПС РФ. – М., 1996.
4. Система испытаний подвижного состава. Организация и порядок проведения приёмочных и сертификационных испытаний тягового подвижного состава. ОСТ 32.53-96 [Текст] / ВНИИЖТ МПС РФ. – М., 1996.
5. Тимошенко, С. П. Сопротивление материалов [Текст] : т. II / С. П. Тимошенко. – М.: Наука, 1965. – 480 с.

Надійшла до редколегії 06.01.20110
Прийнята до друку 12.01.2010.