

ВІТОЛЬБЕРГ В.Г., к.т.н. (Український державний університет залізничного транспорту)

Чисельні дослідження напружено-деформованого стану залізобетонних шпал типу СБ 3–0 в умовах промислового транспорту

Виконано чисельні дослідження та аналіз змін напружено-деформованого стану залізобетонних шпал типу СБ 3–0 в різних умовах експлуатації промислового залізничного транспорту. Рекомендовані сфери застосування таких типів шпал та умови їх експлуатації.

Ключові слова: напружено-деформований стан, залізобетонна шпала, метод скінчених елементів, промисловий транспорт.

Постановка проблеми

Використання на залізничних коліях промислового транспорту ресурсозберігаючих конструкцій, прикладом якого є застосування залізобетонних шпал типу СБ 3–0 зі скріпленнями типу КПП-5, може дати значний економічний ефект. Однак застосування таких шпал в особливих умовах експлуатації струмується в наслідок відсутності науково обґрунтованих сфер раціонального їх використання.

Складовою таких досліджень повинні бути дослідження напружено-деформованого стану шпал типу СБ 3–0 в умовах високих осьових навантажень, кривих малих радіусів, колії зі заглибленою баластною призмою та інших.

Аналіз досліджень та публікацій

Прийняті в теперішній час в практичних інженерних розрахунках методи та способи визначення напружено-деформованого стану залізобетонних шпал базуються на використанні схеми шпали як балки змінного перерізу, що опирається на суцільну пружну основу [1, 2, 3, 4, 5], та розрахунки виконуються під дією статичних сил.

Але навантаження на шпалу майже цілком є динамічним, а статична складова цих навантажень складає незначну величину.

Крім того, спирання шпали на баласт і, як наслідок, схеми її роботи на згін значно змінюються під час експлуатації. Тому для шпал, як правило, не може бути постійної розрахункової схеми.

В роботах [6, 7, 8] запропоновані моделі і методи розрахунків сил, які діють на шпалу при обертанні спеціального та спеціалізованого рухомого складу, та моделі для розрахунків об'ємного напружено-деформованого стану залізобетонних шпал типу СБ 3–0 на базі методів скінчених елементів.

Метою досліджень є виявлення особливостей впливу спеціальних та спеціалізованих вагонів промислового транспорту на напружено-деформований стан залізобетонних шпал типу СБ 3–0 в різних умовах експлуатації.

Основна частина

Для виявлення особливостей впливу спеціалізованих і спеціальних вагонів на напружено-деформований стан залізобетонних шпал в різних умовах плану і профілю колії, у тому числі при вертикальних і горизонтальних нерівностях, були виконані багатоваріантні розрахунки. Нижче приведені, як приклад, результати розрахунків чотирьох варіантів дії на колію деяких видів рухомого складу промислового транспорту.

Як розрахункові були прийняті напіввагон моделі 12-1000 (осьове навантаження $P_{oc}=216$ кН), який широко застосовується при перевезенні сировини і готової продукції, думпкар ВС-85 ($P_{oc}=294$ кН), чавуновоз вантажопідйомністю 140 т ($P_{oc}=516$ кН) і візок для перевезення виливниць И-120-5500 ($P_{oc}=446$ кН). Розрахунки виконані для прямих ділянок колії і кругової кривої з радіусом 350 м і підвищенням зовнішньої рейки 5 мм. В прямій ділянці колії були прийнята до розрахунку вертикальна нерівність завдовжки 2 м і з максимальною глибиною 0,03 м, в круговій кривій – горизонтальна нерівність завдовжки 4 м з максимальною стрілою вигину 0,04 м. Вертикальна жорсткість рейкових опор у всіх варіантах розрахунків склала $5.3 \cdot 10^4$ кН/м, горизонтальна – 1.52 кН/м, що відповідає колії на залізобетонних шпалах СБ 3-0 з скріпленням типу КПП-5 після шести років його експлуатації. Коефіцієнт нерівнопружності рейкових опор був заданий рівним 1.12 у вертикальній площині і 1.15 в горизонтальній. Вертикальний знос рейок Р65 у всіх варіантах прийнятий рівним 3 мм.

В табл. 1 приведені максимальні значення вертикальних і горизонтальних поперечних сил, одержані в результаті розрахунків за програмою дії екіпажів на колію. При русі розрахункових екіпажів по прямих ділянках з вертикальною ізольованою нерівністю із швидкістю 10 км/год коефіцієнти

динаміки склали від 1.07 для піввагона до 1.22 для візка И-120-5500. Максимальне вертикальне навантаження від колеса на рейку була одержано для чавуновоза вантажопідйомністю 140 т – 303.6 кН при коефіцієнті динаміки 1.17.

Таблиця 1

Розрахункові сили впливу екіпажів на колію (максимальні значення)

№ варіанту розрахунку	Тип екіпажа	План лінії	Нерівність колії	Вертикальні сили (κH)				Горизон- тальні сили (κH)
				Ліва рейка		Права рейка		
				$R_{вл}$	K_{ϕ}	$R_{впр}$	K_{ϕ}	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Напіввагон мод.12-1000	Пряма	Вертикальна нерівність $l_{ny}=2\text{ м}$ $\eta_y=0.03\text{ м}$	115.8	1.07	116.4	1.07	–
2	Думпкар ВС-85			165.2	1.13	166.3	1.13	–
3	Чавуновоз гр. 140 т			303.6	1.17	301.2	1.17	–
4	Візок для виливниць И-120-5500			271.8	1.22	273.4	1.22	–
5	Піввагон мод.12-1000	Крива $R=350\text{ м}$ $h=5\text{ мм}$	Горизонтальна нерівність $l_{nz}=4\text{ м}$ $\eta_z=0.04\text{ м}$	110.1	1.02	112.6	1.04	34
6	Думпкар ВС-85			158.3	1.07	161.8	1.10	45
7	Чавуновоз гр. 140 т			288.4	1.12	294.0	1.14	72
8	Візок для виливниць И-120-5500			254.0	1.13	258.7	1.16	41

В круговій кривій в межах горизонтальної нерівності коефіцієнти вертикальних динамічних сил виявилися рівними від 1.02 (для піввагона) до 1.16 (для візків И-120-5500). Для всіх розрахункових вагонів відзначено перевантаження зовнішньої рейкової нитки в межах 1-2 %.

Максимальні величини горизонтальних поперечних сил при русі вагонів із швидкістю 10 км/год по горизонтальній нерівності в круговій кривій рівні від 34 кН для піввагонів до 72 кН для чавуновоза.

Результати розрахунків просторових сил, діючих на рейки використовувалися для визначення об'ємного напружено-деформованого стану елементів верхньої будови колії. На рис.1 наведено, як приклад, напружений стан залізобетонної шпали типу СБ 3-0 у вигляді діаграм ізополів і еквівалентних напружень по прийнятих осях глобальної сітки координат при русі чавуновоза вантажопідйомністю 140 т. Узагальнені результати розрахунків у вигляді максимальних еквівалентних значень напружень в шпалах (з урахуванням попереднього напруження) та на баласті приведені в табл. 2.

Максимальні величини горизонтальних поперечних сил при русі вагонів із швидкістю 10 км/год по горизонтальній нерівності в круговій кривій рівні від 34 кН для піввагонів до 72 кН для чавуновоза.

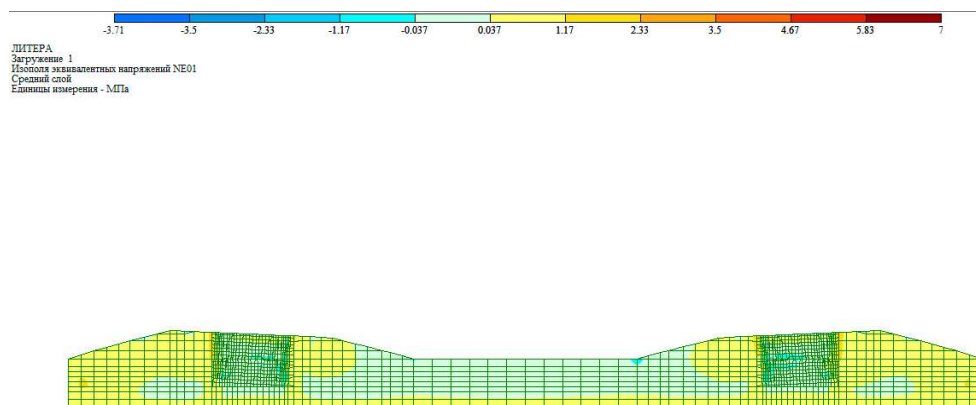
Результати розрахунків просторових сил, діючих на рейки використовувалися для визначення об'ємного напружено-деформованого стану елементів верхньої будови колії. На рис.1 наведено, як приклад, напружений стан залізобетонної шпали типу СБ 3-0 у вигляді діаграм ізополів і еквівалентних напружень по прийнятих осях глобальної сітки координат при русі чавуновоза вантажопідйомністю 140 т. Узагальнені результати розрахунків у вигляді максимальних еквівалентних значень напружень в шпалах (з урахуванням попереднього напруження) та на баласті приведені в табл. 2.

Таблиця 2

Максимальні розрахункові напруження в елементах верхньої будови колії (МПа)

№ варіанта розрахунку	Тип екіпажа	План лінії	Напруження в шпалі $\sigma_{ш}$	Напруження в баласті $\sigma_б$
1	2	3	4	5
1	Напіввагон мод.12-1000	Пряма	-11,9	-0.141
2	Думпкар ВС-85		-12,99	-0.182
3	Чавуновоз гр. 140 т		-17,59	-0.343
4	Візок И-120-5500		-15,99	-0.315
5	Напіввагон мод.12-1000	Крива R=350 м	-12,18	-0.162
6	Думпкар ВС-85		-13,79	-0.234
7	Чавуновоз гр. 140 т		-19,17	-0.376
8	Візок И-120-5500		-17,30	-0.232

1)



2)

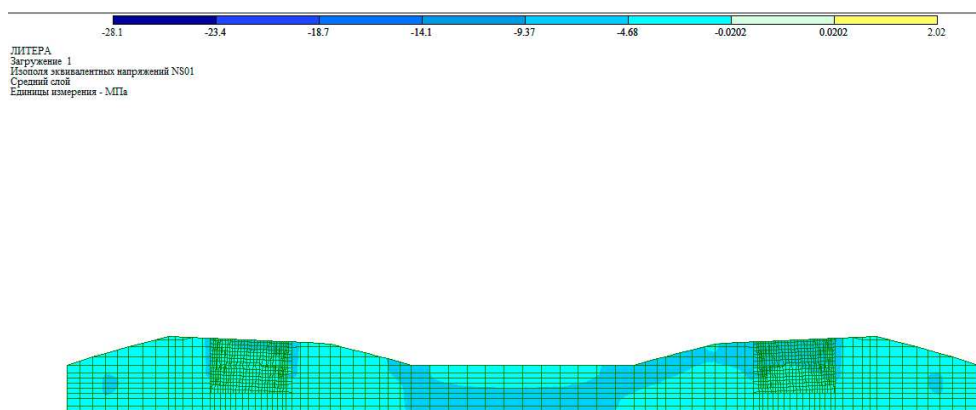


Рис. 1. Ізополі еквівалентних напружень в шпалах:

1 – чавуновоз вантажопідйомністю 140 т, пряма; 2 – чавуновоз 140 т, крива R=350 м

Розрахунки показали, що стискаючі напруження в залізобетонній шпалі під підкладкою складають від - 3,3 МПа (піввагон, пряма) до -11.02 МПа (чавуновоз, крива). Еквівалентні напруження, з урахуванням напружень попереднього натягнення, досягають рівня - 17.3÷-19.17 МПа при русі по кривій візка И-120-5500 і

чавуновоза 140 т. На розподілі просторових напружень в шпалі істотний вплив надає перевантаження зовнішньої рейки в кривій і перерозподіл навантажень на шпалу від прокладки і анкерів в результаті дії в кривій горизонтальних поперечних сил.

Набуті розрахунками значення напружень в баласті досягають рівня $-0.315 \div -0.323$ МПа для візків И-120-5500 і $-0.343 \div -0.376$ МПа для чавуновозів. З урахуванням широкого вживання на коліях промислового транспорту як баласт щебеню із слабких гірських порід або шлаків, такий рівень напружень в баласті явно перевищує його несучу здатність. Для ділянок з осьовими навантаженнями більше 300 кН потрібно усилювати баластну призму укладанням геотекстилю або георешіток, омоноличуванням баласту в'язучими на бітумній або полімерній основах або укладанням підбаластних плит. Таке посилення баласту позитивно вплине і на роботу шпал.

В табл. 3 наведені результати розрахунків еквівалентних (з урахуванням попереднього

напруження) значень напружень, діючих в перетині по середині підрейкової площадці та в перетині по середині шпали при руху екіпажу по прямій ділянці колії та кругової кривої з радіусом 350 м при швидкості від 5 до 30 км/год. Порівняння цих результатів з розрахунковими значеннями допустимими напруженнями за умов витривалості шпал (допустимі стискаючі напруження – 17,84 МПа) то по умовам тріщиностійкості шпал (допустимі розтягуючі напруження – 1,5 МПа) показує, що шпали типу СБ 3-0 цілком роботоздатні при обертанні рухомого складу з осьовими навантаженнями до 300 кН в прямих та кривих ділянках колії з радіусами не менше 350 м при швидкості, яка може бути реалізована на коліях незагального використання. При осьових навантаженнях до 450 кН міцність шпал забезпечується в прямих ділянках колії при швидкості руху до 15 км/год. При осьовому навантаженні більше 450 кН укладання шпал СБ 3-0 не рекомендовано.

Таблиця 3

Розрахункові значення напружень в шпалах СБ 3-0 (МПа)

План лінії	Швидкість руху, км/год	Тип рухомого складу							
		Напіввагон модель 12-1000		Думпкар ВС-85		Чавуновоз 140т		Візок И-120-5500	
		Діючі в шпалах напруження, МПа							
		σ_{nc}	$\sigma_{сш}$	σ_{nc}	$\sigma_{сш}$	σ_{nc}	$\sigma_{сш}$	σ_{nc}	$\sigma_{сш}$
Пряма	5	-11.46	-6.61	-12.39	-4.71	-16.42	+1.45	-15.03	-0.43
	10	-11.61	-6.52	-12.53	-4.62	-16.69	+1.69	-15.24	-0.22
	15	-11.76	-6.40	-12.68	-4.44	-	-	-	-
	30	-11.91	-5.89	-12.99	-3.82	-	-	-	-
Крива R=350м	5	-11.60	-5.58	-12.87	-3.12	-17.35	+3.84	-15.80	+1.64
	10	-11.79	-5.35	-13.08	-2.27	-17.76	+4.44	-16.14	+2.16
	15	-11.97	-5.09	-13.28	-2.63	-	-	-	-
	30	-12.18	-4.36	-13.79	-1.64	-	-	-	-

Висновки

1. Виконані багатоваріантні розрахунки просторового напруженого стану шпал СБ 3-0 в різних експлуатаційних умовах колій промислового транспорту.

2. Залізобетонні шпали типу СБ 3-0 працездатні при укладанні в прямі та криві ділянки колії з радіусами 350 м та більше, по яким обертається рухомий склад з осьовим навантаженням до 300 кН при швидкостях, які можуть бути фактично реалізовані. При осьових навантаженнях до 450 кН шпали СБ 3-0 рекомендується укладати тільки в прямі ділянки, швидкість руху на яких до 15 км/год. Укладання цих шпал на ділянках колії, по яких

обертається рухомий склад з осьовими навантаженнями більш ніж 450 кН, не рекомендується.

3. Поява в колії горизонтальних нерівностей викликає збільшення діючих еквівалентних напружень в 1,3-1,6 рази в залізобетонних шпалах та 1,1-1,5 рази в баласті, в порівнянні з ділянками колії з вертикальними нерівностями при однакових геометричних характеристиках цих нерівностей.

4. Для ділянок з осьовими навантаженнями більше 300 кН потрібно використання посиленої баластної призми. Як заходи посилення баласту може бути розглянуто укладання геотекстиля або георешіток, омоноличування баласту в'язучими, укладання підбаластних плит.

Література

1. Правила технічної експлуатації міжгалузевого промислового залізничного транспорту України [Текст]. – К.: Міністерство транспорту України від 27 листопада 2000, № 654. – 72с.
2. Железнодорожный путь и станции промышленных предприятий [Текст]: учебник / В.И. Ангелейко, В.К. Дмитриев, А.Н. Перцев, Л.М. Чуб. – К., 1988. – 320с.
3. Исследование работ железобетонных шпал на промышленном железнодорожном транспорте [Текст]: сб. трудов / под. ред. Б.А. Евдокимова. – М.: Стройиздат, 1982. – 132с.
4. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь [Текст]: монография / Г.М. Шахунянц. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.
5. Даніленко Е.І. Залізнична колія / Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом / Підручник для вищих навчальних закладів (у 2х томах) [Текст]: Е.І. Даніленко – Київ, Імпрес, 2010. – Том 2. – 456 с.
6. Даренський О.М. Теоретичні та експериментальні дослідження роботи залізничних колій промислового транспорту: монографія [Текст] / О.М. Даренський, - Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 204 с.
7. Даренський О.М. Визначення приведеної вертикальної жорсткості рейкової нитки при використанні розрахункової схеми як балки на пружних опорах з випадковими характеристиками [Текст] / О.М. Даренський, Н.В. Бугаєць, В.Г. Вітольберг // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2010. – № 115. – С. 151-162.
8. Вітольберг В.Г. Моделювання роботи залізобетонних шпал типу СБ 3-0 методом скінчених елементів [Текст] / В.Г. Вітольберг // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2014. – № 148, ч.2. – С. 175-180.

Витольберг В.Г. Численные исследования напряженно-деформированного состояния железобетонных шпал типа СБ 3–0 в условиях промышленного транспорта. Выполнены численные исследования и анализ изменения напряженно-деформированного состояния железобетонных шпал типа СБ 3–0 в различных условиях эксплуатации промышленного железнодорожного транспорта. Рекомендованы сферы применения таких типов шпал и условия их эксплуатации.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, железобетонная шпала, метод конечных элементов, промышленный транспорт.

Vitolberg V.G. Numerical investigations of stress-strain state of SB 3-0 reinforced concrete sleepers in the conditions of industrial transport. Numerical studies and analysis of stress-strain state of SB 3-0 reinforced concrete sleepers in various operating conditions of industrial railway transport have been performed. The spheres of these types of sleepers application and the conditions of their operation have been recommended.

Key words: stress-strain state, concrete sleepers, finite element method, industrial transport.

Рецензент д.т.н., професор Даренський О.М. (УкрДУЗТ)

Поступила 16.03.2015г.