

БУГАСЦЬ Н.В., к.т.н. (Український державний університет залізничного транспорту)

## Аналіз результатів розрахунків напруженого стану рейкошпальної основи залізничних колій промислового транспорту

*Наведено результати досліджень чисельними методами напруженого стану рейкошпальної основи залізничних колій промислового транспорту за допомогою моделей, які розроблені із застосуванням методу кінцевих елементів (МКЕ).*

*Розглянуті результати багатоваріантних розрахунків просторових напружено - деформованих станів баласту і земляного полотна в різних експлуатаційних умовах колій промислових підприємств.*

*В результаті проведених досліджень було рекомендовано використання різноманітних матеріалів для підвищення несучої здатності рейкошпальної основи в умовах промислових підприємств.*

**Ключові слова:** напружений стан рейкошпальної основи колій незагального користування.

### Вступ

Досвід експлуатації колій промислового транспорту та дослідження, які були виконані науково – дослідницькими організаціями [1,2] показали, що в специфічних умовах експлуатації промислового транспорту несуча здатність рейкошпальної основи існуючих конструкцій верхньої будови колії є недостатньою. Це призводить до швидкого розвитку несправностей, величина яких може швидко перевищувати значення, що допускається.

Між тим, найбільш застосовані в інженерних розрахунках методи визначення напруженого стану елементів рейкошпальної основи передбачають використання плоских розрахункових схем, що надмірно ідеалізує конструкцію цієї основи та дає, для умов колій незагального користування неточні значення.

### Аналіз досліджень і публікацій

Основи сучасних інженерних розрахунків елементів залізничної колії в цілому та зокрема розрахунків баласту та земляного полотна закладені в роботах Е.М. Бромберга, М.Ф. Веріго [3], О.П. Ершкова, В.І. Ангелейко [4], Г.М. Шахунянца [5] та інших видатних вчених.

На підставі досліджень проф. Е.І. Даниленка [6] в 2006 році була розроблена і затверджена вітчизняна редакція “Правил розрахунку залізничних колій на міцність і стійкість” [7]. Цей документ дозволяє виконувати розрахунки діючих напружень в баласті та на основній площадці земляного полотна, використовуючи концепцію “багатошарової підрейкової основи”.

Слід відзначити значний вклад в розрахунок моделей і методів розрахунків рейкошпальної основи, який був зроблений Е.С. Варизгіним [8].

В основу вищенаведених досліджень була покладена загальна розрахункова схема колії у вигляді рейок – балок, які спираються на суцільну пружну основу. Однак ряд авторів [2,9,10] вважають, що така схема надмірно ідеалізує колію та її існуючий стан та для умов промислового транспорту дає занижені результати.

О.М. Даренський в роботах [11 та інші] розробив моделі і методи розрахунків, які дозволяють враховувати дискретність підрейкової основи та нелінійність пружно – дисипативних характеристик рейкових опор.

### Визначення мети та задач дослідження

Метою роботи є дослідження чисельними методами напруженого стану рейкошпальної основи з використанням моделей і методів [11,12] який базується на розрахунковій просторовій схемі колії у вигляді балок, які спираються на дискретні рейкові опори – шпали.

### Основна частина

Для виявлення особливостей впливу спеціальних і спеціалізованих вагонів на напружений стан рейкошпальної основи в різних умовах експлуатації колій незагального користування залізниць (план, профіль, наявність нерівностей колії, вплив швидкостей руху і інші) були виконані багатоваріантні розрахунки. Як розрахункові були прийняті піввагони моделі 12-1000 з осьовим навантаженням 216 кН; думпкар ВС-60 з осьовим навантаженням 216 кН; шлаковоз з ковшем місткістю 11 м<sup>3</sup>, з осьовим навантаженням 211 кН; чавуновоз вантажо-

підйомністю 80 т і з осьовим навантаженням 353 кН; чавуновоз вантажопідйомністю 140 т, з осьовим навантаженням 521 кН, і візок для перевезення ізложниць И-120-5500 з осьовим навантаженням 466 кН.

Були отримані максимальні значення вертикальних і горизонтальних поперечних сил за програмою розрахунків дії екіпажів на колію [11].

Коефіцієнти динаміки вертикальних сил склали від 1,07 для піввагонів до 1,22 для візка для ізложниць И-120- 5500. Максимальне вертикальне навантаження від колеса на рейку була одержано для чавуновоза 140 т - 303,6 кН при коефіцієнті динамічності 1,17. Максимальні величини горизонтальних поперечних сил в круговій кривій знаходяться в межах від 34 кН для піввагонів до 72 кН для чавуновозів (табл. 1).

Таблиця 1

Розрахункові сили дії екіпажів на колію (максимальні значення)

№ варіанту розрахунку	Тип екіпажу	План лінії	Нерівність колії	Вертикальні сили (кН)		Горизонтальні сили (кН)
				$R_{упр}$	$K_d$	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Напіввагон мод.12-1000	Пряма	Вертикальна нерівність $l_{ny}=2$ м $\eta_y=0,03$ м	116,4	1,07	–
2.	Думпкар ВС-85			166,3	1,13	–
3.	Чавуновоз 140 т			301,2	1,17	–
4.	Візок для ізложниць И-120-5500			273,4	1,22	–
5.	Напіввагон мод.12-1000	Крива $R=350$ м $h=5$ мм	Горизонтальна нерівність $l_{nz}=4$ м $\eta_z=0,04$ м	112,6	1,04	34
6.	Думпкар ВС-85			161,8	1,10	45
7.	Чавуновоз 140 т			294,0	1,14	72
8.	Візок для ізложниць И-120-5500			258,7	1,16	41

Результати розрахунків просторових сил діючих на колію були використані для визначення об'ємного напруженого стану рейкошпальної основи методом кінцевих елементів. Результати розрахунків у вигляді діаграм ізополів головних напруг і деформацій в баластному шарі і ґрунтах земляного полотна і результуючих таблиць приведені, як приклад, на рис. 1. Узагальнені результати розрахунків у вигляді максимальних значень напруг дані в табл. 2.

Розрахунки показали, що для прийнятих екіпажів діючі максимальні напруження, як правило, значно менше рекомендованих допустимих, для щебеневого і шлакового баласту і перевищують, в окремих випадках, допустимі напруження, для гравійного баласту і піщано - гравійної суміші.

Проте, максимальні напруги на основній площадці земляного полотна, при осьових навантаженнях перевищуючих 300 кН, перевищують допустимі значення, для конструкцій колії без посилення

рейкошпальної основи. Таким чином, можна зробити висновок про те, що теоретичними розрахунками встановлена основна причина недостатньої, у ряді випадків несучої здатності рейкошпальної основи колій незагальної користування залізниць.

Розрахунки також показали, що посилення рейкошпальної основи геотекстилем, дає незначний ефект і може бути рекомендоване, тільки для поліпшення фільтруючих здібностей баласту і ґрунту.

Значно краще працює конструкція колії баластний шар якої посилений георешіткою, зниження діючих напружень на основній площадці може перевищувати 18%. Укладання піщано - щебеневого шару стабілізованого бітумом або поліфілізаторами знижує діючі на основній площадці напруження на 25 - 32%, проте в деяких випадках при високих осьових навантаженнях можливо деяке до 5% збільшення максимальних напружень за рахунок перерозподілу напружень і деформацій залізобетонних шпал.

Таблиця 2

## Максимальні розрахункові напруження в рейкошпальній основі (кПа)

Характеристики основи	Тип рухомого складу								
	Думпкар 60			Чавуновоз 140т			Шлаковоз 11м <sup>3</sup>		
	В баластній призмі, кПа	На поверхні основної площадки, кПа	На поверхні основної площадки в середині прольоту шпали, кПа	В баластній призмі, кПа	На поверхні основної площадки, кПа	На поверхні основної площадки в середині прольоту шпали, кПа	В баластній призмі, кПа	На поверхні основної площадки, кПа	На поверхні основної площадки в середині прольоту шпали, кПа
Без посилення	-61,9	-40,8	-35,8	-113,5	-66,2	-55,8	-57,7	-38,2	-32,5
Геотекстиль	-62,9	-40,5	-35,3	-113	-65,8	-55,2	-57,7	-38,1	-31,2
Георешітка	-74,3	-35,4	-32,1	-134	-55,1	-48,7	-69,1	-32,8	-27,6
Піщано – щебенева суміш з бітумом	-62	-41,3	-31,5	-112	-67,5	-48,8	-57,6	-40,1	-27,8
Піщано – щебенева суміш з полімером	-62,3	-39,6	-28,2	-112	-63,5	-37,2	-57,9	-42,8	-22,5
Георешітка + геомембрана + стабілізований баластний шар	-71,4	-29,2	-28,7	-129	-49,3	-43,7	-66,1	-29,5	-24,6

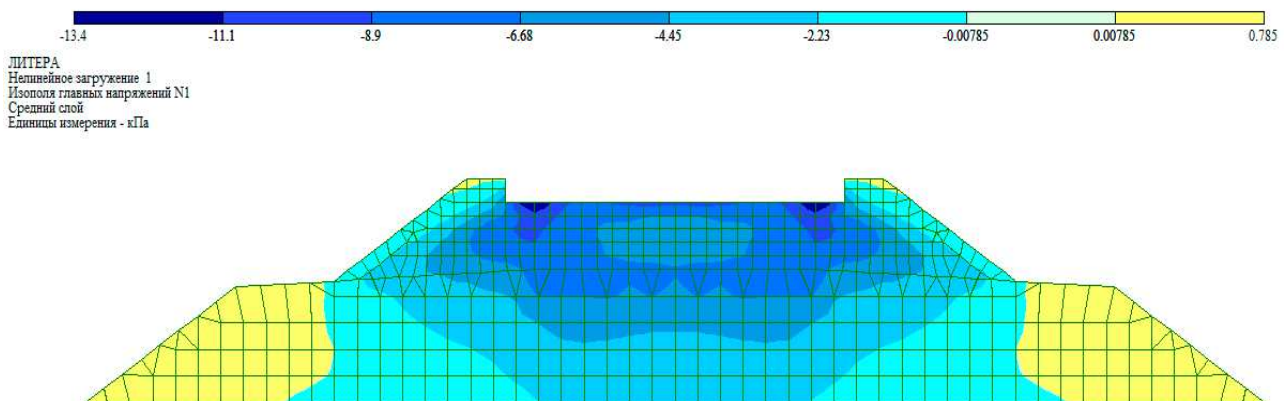


Рис. 1. Напружений стан баластної призми без посилення

Найкращим чином показали себе комбіновані способи посилення укладанням стабілізуючого піщано - щебеневого шару з геомембраною на піщаній подушці і георешіткою в баластному шарі. Зниження напружень в цьому випадку може складати 30 - 35%.

Розрахунок конструкції колії із заглибленим баластом, посиленням георешіткою показав приблизно ті ж результати.

## Висновки

1. Виконані багатоваріантні розрахунки просторових напружено - деформованих станів баласту і земляного полотна в різних експлуатаційних умовах колій промислового транспорту, при дії спеціальних і спеціалізованих вагонів. Розрахунки показали, що в умовах експлуатації колій незагального користування діючі напруження в щебеновому і шлаковому баласті, як правило, менше рекомендованих допустимих.

2. При обертанні рухомого складу з осьовими навантаженнями більше 300 кН, несуча здатність ґрунтів земляного полотна явно недостатня і в цих випадках потрібне посилення рейкошпальної основи.

3. Використовування георешіток, піщано-щебневих сумішей стабілізованих бітумом і поліфілізаторами, комбінованих варіантів значно знижує рівень напружень і може бути рекомендоване для використання в умовах колій незагального користування.

#### Список використаних джерел

1. Путь и путевое хозяйство промышленных железных дорог [Текст] : учебн. пособие / В.Ф. Яковлев, Б.А. Евдокимов, В.Э. Парунакян, А.Н. Перцев. – М., 1990.- 341с.
2. Яковлев В.Ф. Специальные конструкции пути промышленных железных дорог [Текст]: монография / В.Ф. Яковлев.- Л.: ЛИИЖТ, 1981.- 43с.
3. Вериго М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / М.Ф. Вериго, В.Н. Данилов, Е.М. Бромберг, М.А. Фришман – М.: Трансжелдориздат.- 1956. - С. 280.
4. Ангелейко В.И. Вывод основных уравнений для расчета рельса в горизонтальной и вертикальной плоскостях [Текст] : монография / В.И. Ангелейко. –Харьков : ХИИТ, 1958.- 38 с.
5. Шахунянц Г.М. Расчеты элементов верхнего строения пути на прочность [Текст] : учебник / Г.М. Шахунянц. – М. : МИИТ, 1939.- 154 с.
6. Даніленко Е.І. Вибір раціональних параметрів пружності для вітчизняних скріплень на залізобетонних шпалах [Текст] / Е.І. Даніленко, М.Д. Костюк, О.М. Жученко // Збірник наукових праць КУЕТТ, серія “Транспортні системи і технології” – 2003.- № 1-2. –С. 4-17.
7. Правила розрахунків залізничної колії на міцність в стійкість [Текст]: Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін.- К.: Транспорт України.-2006.-168 с.
8. Содержание балластной призмы железнодорожного пути [Текст] / под. ред. Е.С. Варызгина.- М.: Транспорт, 1978.- 142с.
9. Першин С.П. Вертикальная жесткость пути и его надежность [Текст] / С.П. Першин // Путь и путевое хозяйство.-1996.-№8.-С.8-10.
10. Волошко Ю.Д. Расчет рельса как балки на дискретных упругих опорах со случайными характеристиками [Текст] / Ю.Д. Волошко // Труды ДИИТ.- 1977.- № 196/19. -С. 93-98.
11. Даренський О.М. Теоретичні та експериментальні дослідження роботи залізничних колій промислового транспорту: монографія [Текст] / О.М. Даренський // Харків: УкрДАЗТ. – 2011.- С. 204.
12. Бугаєць Н.В. Вплив експлуатаційних характеристик промислових залізниць на змінення коефіцієнта постілі шпал [Текст] / Н.В. Бугаєць // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2012. – № 9 (180) Ч.2 – С. 254–257.

**Бугаєць Н.В. Аналіз результатів розрахунків напруженого стану рельсошпального основи залізничних шляхів промислового транспорту.** Приведены результаты исследований численными методами напруженного состояния рельсошпального основания железнодорожных путей промышленного транспорта посредством моделей, которые разработаны с применением метода конечных элементов (МКЕ).

Рассмотрены результаты многовариантных расчетов пространственных напруженно – деформированных состояний балласта и земляного полотна в различных эксплуатационных условиях путей промышленных предприятий.

В результате проведенных исследований было рекомендовано использование различных материалов для повышения несущей способности рельсошпального основания в условиях промышленных предприятий.

**Ключевые слова:** рельсошпальное основание, пути необщего пользования, вертикальные силы.

**Bugaec N.V. The analysis of the calculation results of rail and sleeper subgrade stress condition of industrial transport railways.** The results of researches made by the numerical methods of rail and sleeper subgrade stress condition of industrial transport railways by means of models developed with the use of finite-element method (FEM) have been presented.

The results of multiple calculations of ballast and roadbed three-dimensional stress and strain state in different operation conditions of industrial enterprise tracks have been considered.

Calculations showed that for the accepted crews operating maximal tensions, as a rule, considerably less recommended assumed, for a ballast a macadam and shlakovogo and exceed, on occasion, the assumed tensions for a gravel ballast and sandy-gravel mixture.

The use of different materials to increase the efficiency of rail and sleeper subgrade in the conditions of industrial enterprises has been recommended as a result of the conducted researches.

**Key words:** rail and sleeper subgrade, private railway, vertical force.

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

Поступила 19.03.2015г.