
ЗАЛІЗНИЧНІ СПОРУДИ ТА КОЛІЙНЕ ГОСПОДАРСТВО

УДК 625.143

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.147.2014.75341>

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЙКОШПАЛЬНОЇ ОСНОВИ ЗАЛІЗНИЦЬ НЕЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Д-р техн. наук О.М. Даренський, асист. А.М. Бадражан

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЬСОШПАЛЬНОГО ОСНОВАНИЯ ДОРОГ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Д-р техн. наук А.Н. Даренский, ассист. Н.В. Бугаец, А.М. Бадражан

MODELING OF THE RAIL AND TIE ROAD BASE NON-PUBLIC TRACKS THE FINITE ELEMENTS METHOD.

Dr. of techn. sciences A.N. Darenskiy, assistant N.V. Bugaec, Badragan A.M.

У статті розглянуто основні положення, допущення та принципи побудови моделі рейкошпальної основи за допомогою методу кінцевих елементів для умов залізниць незагального користування. Розроблена модель, у якій ураховані особливості експлуатації таких залізниць. Передбачена можливість моделювання елементів, які підвищують несучу здатність рейкошпальної основи.

Ключові слова: несуча здатність рейкошпальної основи, метод кінцевих елементів.

В статье рассмотрены основные положения, допущения и принципы построения модели рельсошпального основания с помощью метода конечных элементов для условий дорог необщего пользования. Разработана модель, в которой учтены особенности эксплуатации таких дорог. Предусмотрена возможность моделирования элементов, которые повышают несущую способность рельсошпального основания.

Ключевые слова: несущая способность рельсошпального основания, метод конечных элементов.

In the article the basic provisions, assumptions and principles of construction of models of rail-sleeper Foundation. Reasonable use of the finite element method for model development for the conditions of non-public roads. Substantiated the application of the modular principle for developing the model. Selected finite elements, which are used to simulate the rails, concrete and reinforcement of ties, including its pre-stressing, ballast, subgrade soils. The model provides for input of finite elements for modeling of the strengthening of the rail and tie Foundation with geotextiles, geogrids, geomembranes and others.

Keywords: bearing capacity of the rail and tie bases, finite element method.

Вступ. У цей час при розрахунках напруг у баласті і на основному майданчику земляного полотна використовується в основному або метод пружного клина, або пружного напівпростору [1]. Розрахунки виконуються, як правило, тільки на дію вертикальних сил.

Проте для умов колій незагального користування залізниць такі способи і моделі

розрахунків мають високий ступінь ідеалізації і допущень, які можуть істотно викривляти реальний стан, давати занижені результати [2].

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. В основу вибору методу і моделі розрахунку напружено-

деформованого стану рейкошпальної основи були взяті такі основні положення і допущення:

1. Рейки спираються на окремі опори – шпали, просторові сили взаємодії рейок і шпал мають пружно-дисипативний характер, у ряді випадків існує їх одностороння дія.

2. Залізобетонні шпали мають достатню складну форму, яка може істотно впливати на напруги і деформації, що виникають у рейкошпальній основі.

3. Залізобетонні шпали виготовляються заздалегідь напруженими. Попередня напруга арматури складає 1170 МПа, загальна сила напруги всієї арматури - не менше 364 кН [3], що необхідно враховувати при розрахунках.;

4. Між бічними і нижніми поверхнями шпал і баластом виникають як нелінійні пружні сили, так і сили зчеплення і тертя.

5. Матеріал баласту підпорядковується нелінійному закону деформації з різними межами опору розтягуванню і стисненню.

6. Ґрунти основного майданчика земляного полотна, як і баласт, мають нелінійні характеристики.

Цим положенням відповідає метод кінцевих елементів (МКЕ) [4], що є розвитком енергетичних методів розрахунків інженерних конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. МКЕ, завдяки інтенсивному розвитку засобів обчислювальної техніки, набув широкого розповсюдження і визнання, став одним з основних [4, 5]. Це обумовлено універсальністю підходів, що лежать в його основі. Тіло або конструкція, що деформується, розділяється на окремі елементи найпростішої форми, робота яких визначена. Напружено-деформований стан цих елементів з'єднується між собою так, щоб задовольнялися умови сумісної деформації й умови рівноваги.

Для розв'язання задач тривимірного напруженого стану найбільш споживані кінцеві елементи у вигляді тетраедра, призми, паралелепіпеда, мають по три невідомі вузлові переміщення в кожному вузлі і полінійну апроксимацію переміщень u_x , u_y і u_z .

Матриці жорсткостей таких елементів наведені у ряді публікацій, наприклад [6]. Бібліотека кінцевих елементів, вбудована в програмний комплекс [7], дає змогу виконувати моделювання практично будь-яких конструкцій.

При розв'язанні нелінійних задач МКЕ (нелінійна пружність, геометрична нелінійність) використовується варіаційна постановка задачі, тобто, як і в лінійному випадку, використовується принцип можливих переміщень.

Способи розв'язання систем нелінійних диференціальних рівнянь у МКЕ оснований на їх лінеаризації кроковим методом за схемою відомого в прикладній математиці методу диференціювання за параметром (метод продовження).

Задачі з односторонніми зв'язками описуються, як правило, кусково-лінійною залежністю. Характерною особливістю такої залежності є наявність розриву похідної. В МКЕ для розв'язання таких задач використовується метод Брігера.

Визначення мети та задачі дослідження. Таким чином, МКЕ відповідає викладеним вище вимогам, положенням і допущенням розрахунків просторового напружено-деформованого стану колії в нелінійній постановці задачі з урахуванням виникаючих односторонніх сил моделі системи "екіпаж - колія".

Метою роботи є створення комп'ютерної моделі залізничної колії з використанням МКЕ для досліджень роботи рейкошпальної основи в особливих умовах експлуатації доріг незагального користування.

Основна частина дослідження. Як комп'ютерна реалізація методу кінцевих елементів у роботі був використаний програмний комплекс для розрахунків і проектування конструкцій "ЛІРА", версія 9,6 [8, 9].

В основу моделювання колії МКЕ був покладений модульний принцип [10], при якому модуль складається з двох відрізків рейок, довжина яких може бути рівна 1300, 1100 або 1000 мм (для решітки з епюрою шпал 1600, 1850 і 2000 шт/км), і двох залізобетонних шпал, до яких рейки прикріплюються проміжними скріпленнями типу КБ. Залежно від характеру поставленої задачі і необхідної точності розрахунків, загальна модель колії може складатися з одного, двох, трьох і більше модулів. Модулі з'єднуються між собою або з прилеглими ділянками колії за допомогою граничних умов кожного модуля – згинаючі і крутні моменти і поперечні сили, які

прикладені у вузли, розташовані в нейтральній осі перерізу рейки по його кінцях.

Передача навантажень від колісних пар може виконуватися в будь-якому модулі через грані кінцевих елементів (КЕ), розташованих на поверхні кочення і на внутрішніх робочих гранях головки рейки. Передбачається можливість вертикального завантаження рейок з будь-яким ексцентриситетом. Площі майданчиків контакту між поверхнею кочення колеса, робочою гранню його реборди і відповідними поверхнями рейки встановлюються залежно від їх зносу.

При моделюванні залізобетонної шпали було використано три типи кінцевих елементів. У параметри жорсткості КЕ 34 і КЕ 36, це універсальні просторові ізопараметричні і восьмивузлові кінцеві елементи, в характеристики яких включені модуль пружності, коефіцієнт Пуассона і щільність бетону. КЕ 10 – універсальний стрижневий елемент модулює роботу арматури, у тому числі зусиль попереднього натягнення.

Моделі баластного шару, земляного полотна й елементи їх посилення складені з таких кінцевих елементів:

1. Фізично нелінійні об'ємні 6-вузлові ізопараметричні КЕ ґрунту (довільна трикутна призма, тип КЕ № 274) і фізично нелінійні об'ємні 8-вузлові ізопараметричні КЕ ґрунту (довільний гексаedr, тип КЕ № 276). Дані КЕ призначені для моделювання односторонньої роботи ґрунту на стиснення з урахуванням зсуву. У параметри жорсткості цих КЕ входять: модуль деформації шару ґрунту; коефіцієнт Пуассона; питома вага (вага частинок ґрунту); питома зчеплення; розрахунковий опір ґрунту при розтягуванні; розрахунковий опір ґрунту при стисненні; кут внутрішнього тертя ґрунту. Для кожного шару ґрунту ці характеристики відрізняються і задаються окремо.

2. Універсальний просторовий 8-вузловий КЕ (КЕ № 36). Даний КЕ призначений для розрахунку на міцність масивних просторових конструкцій. У параметри жорсткості цих КЕ входять: приведений модуль пружності; коефіцієнт Пуассона, питома вага. У розрахунковій схемі ці КЕ застосовуються для моделювання шпал. У задачі цієї групи КЕ входить передача підрейкових реакцій на основу баластної призми. За рахунок

згинальної жорсткості шпал зусилля на основу баластної призми передаються нерівномірно – по нелінійній епюрі.

3. Одновузлові КЕ пружного зв'язку (КЕ № 51). Ці КЕ застосовуються для ведення пружного зв'язку по напрямку однієї з глобальних або локальних осей вузла. У розрахунковій схемі ці кінцеві елементи дають змогу змодельовати роботу пружного перерізу ґрунту по площинах поперечного перерізу цього фрагмента насипу. У параметри жорсткості цих КЕ входять осьова жорсткість (кН/м) і напрям.

4. Універсальний прямокутний КЕ оболонки (КЕ № 41). Цей КЕ призначений для розрахунку на міцність тонких пологих оболонок з жорсткістю на вигин. У розрахунковій схемі ці кінцеві елементи дають змогу змодельовати роботу георешіток або геотекстилю. У параметри жорсткості цих КЕ входять модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, питома вага і товщина оболонки.

5. Геометрично нелінійні універсальні чотирикутні КЕ оболонки. Ці КЕ призначені для визначення напружено-деформованого стану тонких пологих геометрично нелінійних мембран. У розрахунковій схемі за допомогою цих КЕ моделюється геомембрана.

Загальна кількість вузлів розрахункової схеми склала 19118, елементів – 21436. Усі елементи об'єднуються між собою жорстко у вузлах. Розрахункова товщина шару земляного полотна 4,8 м, ширина основного майданчика земляного полотна – 7,6 м (рисунки).

На підставі аналізу можливих способів посилення рейкошпальної основи був зроблений висновок про те, що для умов колій незагального користування найдоцільнішими є способи його посилення із застосуванням геотекстилю, геомембран, георешіток, шару щебеневобітумної емульсії, щебеневобітумного шару, стабілізованого поліфілізаторами, і їх комбінації.

Прийняті в розрахунках значення цих параметрів наведені в таблиці.

Оскільки характеристики ґрунтів змінюються при їх ущільненні від дії навантажень рухомого складу, вага верхньої будови колії і власне вага ґрунту прийняті різними (наведені в таблиці).

Таблиця

Характеристики ґрунтів, що розглядаються

Матеріал	E, МПа	ν	K_e	R_0 , кН/м ²	R_t , кПа	F_i	σ_p	C, кПа	Товщина шару, мм
Бетон шпали	32,460	0,18	-	-	-	-	-	-	-
Щебневий баласт	160,000	0,35	3	21,5746	0,098066	30	196,133	1,96133	-
Піщана подушка	100,000	0,3	3	16,6713	0,098066	34	196,133	0,980665	-
Ґрунти 1-й шар	50	0,33	3	0,016671	0,007845	20	98,066	0,007845	
Ґрунти 2-й шар	40	0,33	3	0,016671	0,007845	20	98,066	0,007845	
Ґрунти 3-й шар	30	0,33	3	0,016671	0,007845	20	98,066	0,007845	
Георешітка	467,000	0,4	-	20,000	-	-	-	-	150
Геотекстиль	4,000	0,27	-	10,000	-	-	-	-	100
Щебінь посилений бітумом	170,000	0,45	3	16,671	0,1	20	980,66	1,0	
Щебінь посилений поліфілізаторами	280,000	0,45	3	16,671	1,0	20	980,66	1,0	-
Геомембрана	116,500	0,3	-	-	-	-	-	-	300

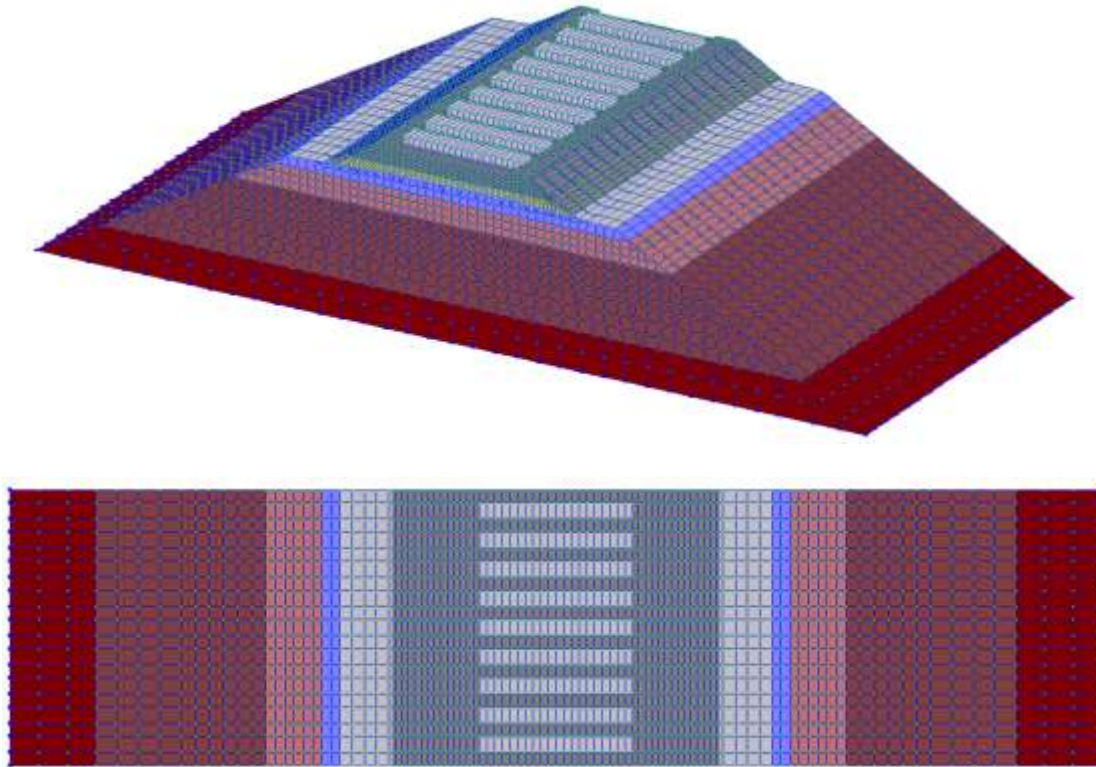


Рис. Розрахункова модель рейкошпальної основи

Висновки з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку. Таким чином, створена комп'ютерна модель, яка дає змогу визначати напружено-

деформований стан рейкошпальної основи, у тому числі при його посиленні з використанням сучасних методів.

Список використаних джерел

1. Содержание балластной призмы железнодорожного пути [Текст] / под. ред. Е.С. Варызгина. – М.: Транспорт, 1978. – 142 с.
2. Ангелейко, В.И. О предпосылках для разработки наставления по расчету верхнего строения пути [Текст] / В.И. Ангелейко // Техника железных дорог. – 1949. – № 6. – С. 12-24.
3. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов [Текст]: учеб. для вузов / В.И. Феодосьев. – 9-е изд., перераб. – М.: Наука, 1996. – 512 с.
4. Городецкий, А.С. Компьютерные модели конструкций [Текст] / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: Факт, 2005. – 343 с.
5. Шимкович, Д.Г. Расчет конструкций в NSC / NASTRAN for Windows. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 448 с.
6. Зенкевич, О.К. Метод конечных элементов в технике [Текст] / О.К. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
7. Программный комплекс “ЛИРА - Windows” III 1-8 [Текст]. – К.: НИИ АС, 1997.
8. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций ЛИРА версия 9.0: Кн. 1. Основные теоретические и расчетные положения [Текст]: руководство пользователя. – К. : НИИ АС, 2002. – 147 с.
9. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций ЛИРА версия 9.0: Кн. 2. Путеводитель [Текст]: руководство пользователя. – К.: НИИ АС, 2002. – 189 с.

10. Даренський, О.М. Теоретичні та експериментальні дослідження роботи залізничних колій промислового транспорту [Текст]: монографія / О.М. Даренський. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 204 с.

Даренський Олександр Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 19-89, 10-59.

Бугаєць Наталія Володимирівна, асистент кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел. 10-59.

Бадражан Андрій Михайлович, магістрант Інституту підвищення кваліфікації Української державної академії залізничного транспорту.

Darenskiy Alexander Nikolaevich, dr. of techn. sciences, professor of department "Road and Track facilities" Ukrainian State Academy of Railway Transport (19-89, 10-59).

Bugaec Natalya Vladimirovna, assistant of department "Road and Track facilities" Ukrainian State Academy of Railway Transport (10-59).

Badrazhan Andrey Mihaylovich, master student of Master Training Institute of Ukrainian State Academy of Railway Transport.