

УДК 625.14

**МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ШПАЛ ТИПУ СБ 3-0 МЕТОДОМ
СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

Канд. техн. наук В.Г. Вітольберг

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ШПАЛ ТИПА СБ 3-0 МЕТОДОМ
КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Канд. техн. наук В.Г. Витольберг

MODELING OF WORK CONCRETE SLEEPERS TYPE SB 3-0 FINITE ELEMENT METHOD

Cand. of techn. sciences V.G. Vitolberg

За допомогою метода скінчених елементів розроблено моделі шпал типу СБ 3-0, скріплень типу КПП-5 та баласту, які дозволяють визначити напружено-деформований стан шпал цього типу, в тому числі в особливих умовах експлуатації колій незагального користування.

Ключові слова: скінчені елементи, проміжне рейкове скріплення, залізобетонна шпала, баласт

При помощи метода конечных элементов разработаны модели железобетонных шпал типа СБ 3-0, скрепленный типа КПП-5 и баласта, которые позволяют определять напряженно-деформированное состояние этих элементов, в том числе в особых условиях эксплуатации путей необщего пользования.

Ключевые слова: конечные элементы, промежуточное рельсовое скрепление, железобетонная шпала, баласт.

Using the finite element method developed models of concrete sleepers type SB 3-0, fasteners type KPP-5 and ballast. Was modeled contact problem between the elements of the intermediate node bonds, as

well as the interaction of concrete tie ballast. The utilization of these models allows us to determine the stress-strain state of all the elements, including the special conditions of private usage.

Keywords: *finite elements, intermediate rail fasteners, concrete sleepers, ballast.*

Вступ. Математична модель просторової динамічної системи «екіпаж-колія» і її реалізація в програмній системі *Mathcad* дозволяє визначати просторові сили дії рухомого складу на колію, отримати значення навантажень від рейок на шпали у вертикальній і горизонтальній поперечній площинах [1, 2].

Проте, для визначення працездатності залізобетонних шпал та сфер їх застосування на ділянках залізниць незагального користування потрібно знати їх напружений стан.

Аналіз досліджень та публікацій. В цей час розрахунки залізобетонних шпал [3, 4, 5], які використовуються в інженерній практиці для визначення їх працездатності при високих осьових навантаженнях, обмежуються, як правило, визначенням напружень в підрейковій зоні при вертикальних навантаженнях. Рідше, в основному на стадії конструювання, виконуються розрахунки напружено-деформованого стану залізобетонних шпал з використанням розрахункової схеми у вигляді балки змінного (три ділянки) перетину, що спирається на суцільну пружну основу Вінклеровського типу. Тертя по нижній постелі і бічним граням, однобічність зв'язків шпал і баласту, нелінійність характеристик основи не враховуються. Дія горизонтальних поперечних сил замінюється дією зосереджених моментів, прикладених по середині підрейкової площадки [4, 6].

Таким чином, прийняті в даний час в практиці розрахунків напруженого стану залізобетонних шпал способи і моделі розрахунків мають високий ступінь ідеалізації і допущень, які можуть істотно викривляти реальний стан, давати занижені результати.

Постановка задачі. З урахуванням висловленого, в основу вибору методу і моделі розрахунку були прийняті наступні 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 достатньо складну форму, яка може істотно впливати на виникаючі в них напруги і деформації.

3. Залізобетонні шпали виготовляються заздалегідь напруженими. Попереднє напруження арматури складає 1170 МПа, загальна сила напруги всієї арматури – не менше 364 кН [4], 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 підкоряється нелінійному закону деформації з різними межами опору розтягуванню і стисненню.

6. Ґрунти основної площадки земляного полотна, як і баласт, мають нелінійні характеристики.

Основна частина. Цим положенням відповідає метод скінченних елементів (МСЕ) [7, 8], що є розвитком енергетичних методів розрахунків інженерних конструкцій.

Для вирішення задач тривимірного напруженого стану масивних конструкцій найбільш споживані скінченні елементи (СЕ) у вигляді тетраедра, призми, паралелепіпеда, мають по три невідомі вузлові переміщення в кожному вузлі і полілінійну апроксимацію переміщень u_x , u_y і u_z .

Матриці жорсткостей таких елементів приведені у ряді публікацій, наприклад [9, 10, 11]. Бібліотека скінченних елементів, вбудована в програмний комплекс [12], дозволяє виконувати моделювання залізобетонних шпал.

Таким чином, МСЕ відповідає викладеним вище вимогам, положенням і допущенням розрахунків просторового напружено-деформованого стану шпал в нелінійній постановці задачі з урахуванням виникаючих односторонніх сил моделі системи «екіпаж-колія».

Як комп'ютерна реалізація методу скінченних елементів в роботі був використаний програмний комплекс для розрахунків і проектування конструкцій "ЛІРА", версія 9.6 [13, 14, 15].

Контактна задача взаємодії усіх елементів скріплення вирішена за допомогою СЕ 265. Цей скінченний елемент об'єднує в спільну роботу суміжні вузли по поверхні підшви рейки і прокладки. За допомогою

цього СЕ між вузлами можна призначити 3 лінійні і 3 кутові зв'язки щодо осей X, Y, Z місцевої системи координат. В даному випадку в параметри жорсткості СЕ 265 входить одностороння жорсткість (тільки на стиснення) уздовж осі Z, перпендикулярної площини контакту, і жорсткості в площині контакту XOY, моделюючи в даному випадку тертя між нижньою гранню підшви рейки і підрейковою

прокладкою. Значення жорсткостей прокладок визначено в роботі раніше і залежить від рівня напруженого стану конструкції. Три зв'язки (на поворот щодо осей X, Y, Z), що залишилися, задано з «нульовою» жорсткістю, що аналогічно установці шарнірів. Розміщення ряду СЕ 265 в перетині при контакті підшви рейки та прокладки показано на рис. 1.



Рис. 1. Моделювання контакту підшви рейки з підрейковою прокладкою

В загальному випадку СЕ 265 – це двовузловий скінченний елемент односторонніх пружних зв'язків, дозволяє враховувати нерівні граничні (прямі і протилежні) зусилля в зв'язках, наприклад, граничне зусилля розтягування в зв'язку можна задавати нерівним зусиллю стиснення. При розрахунках в моделях в цих скінченних елементах визначаються зусилля в зв'язках, накладених уподовж відповідних осей системи. Знаки цих зусиль визначаються знаками різниць відповідних переміщень або поворотів.

Скінченні елементи 265 дозволили також виконати моделювання контакту між бічними гранями підшви рейки і ізолюючими

вкладишами та анкера (рис. 2). При цьому задавалася нескінченна одностороння жорсткість (тільки на стиснення) із зазором (щоб уникнути ефекту заклинювання підшви рейки при поворотах рейки) в напрямі перпендикулярному осі рейки. Залишені 5 зв'язків (лінійна вертикальна, лінійна горизонтальна у напрямі осі рейки, на поворот щодо осей X, Y, Z), задано з «нульовою» жорсткістю, що аналогічно установці шарнірів. Величина зазору була прийнята рівною 1 мм, що відповідає конструктивному зазору між бічними гранями підшви рейки і анкерами. Тільки після вибірки заданого зазору СЕ включається в роботу.

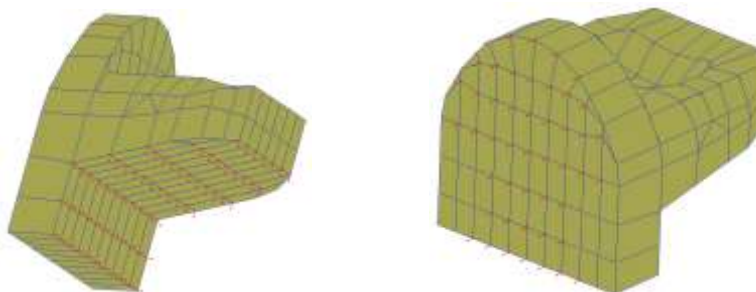


Рис. 2. Моделювання контактної задачі між боковими гранями підшви рейки і ізолюючого вкладиша та анкера

Підрейкова прокладка (рис. 3) моделювались з використанням SE 34 і SE 36 – універсальні просторові ізопараметричні шести і восьмивузлові скінченні елементи. При цьому коефіцієнт Пуассона, з урахуванням рифлений прокладок, приймався рівним 0.32÷0.41, а приведений модуль пружності прокладки визначався як

$$E = \frac{U_{np}^{дин} \cdot h}{F},$$

де $U_{np}^{дин}$ – жорсткість прокладки при її динамічному стисканні;

F – опорна площадка прокладки;

h – товщина прокладки.

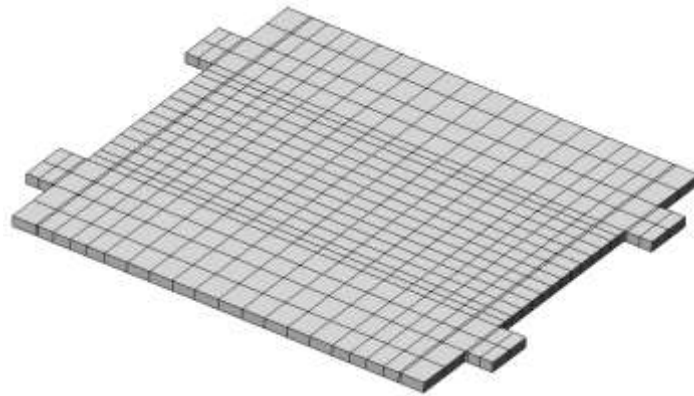


Рис. 3. Моделі підрейкової прокладки

При моделюванні залізобетонної шпали (рис. 4.) були використано три типи скінченних елементів: SE 34, SE 36 і SE 10. В параметри жорсткості SE 34 і SE 36, про які вже мовилося вище, в даному випадку були включені модуль

пружності, коефіцієнт Пуассона і густина бетону. SE 10 – це універсальний стержньовий елемент, який модулює роботу арматури з урахуванням зусиль попереднього натягнення.

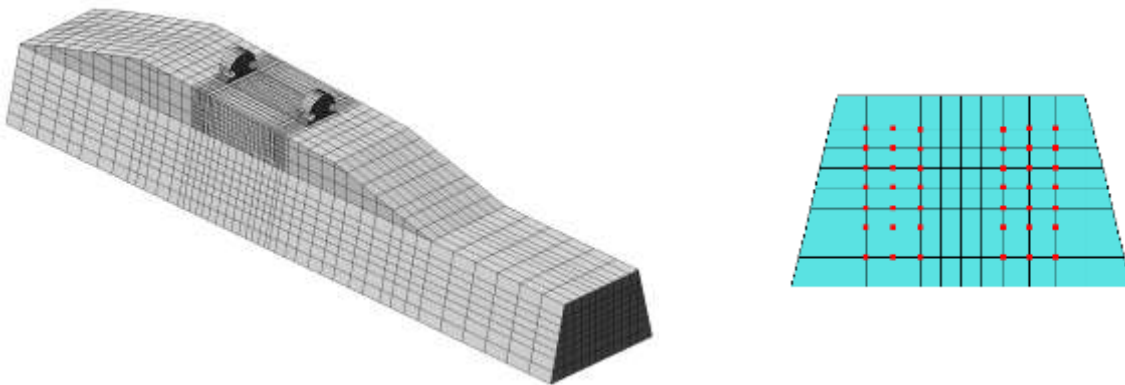


Рис. 4. Модель залізобетонних шпал СБ 3-0

Баласт моделювався із застосуванням трьох типів SE (рис. 5.):

– SE 274 – фізично нелінійний об'ємний шестивузловий ізопараметричний елемент ґрунту (довільна трикутна призма);

– SE 274 – фізично нелінійний об'ємний восьмивузловий ізопараметричний елемент ґрунту (довільний гексаедр);

– СЕ 56 – одновузловий скінченний елемент пружних зв'язків (для моделювання земляного полотна).

СЕ 274 і СЕ 276 призначені для моделювання односторонньої роботи, в даному випадку, баласту на стиснення з урахуванням зсуву. В параметрах жорсткості цих СЕ задаються:

- модуль деформації баласту по гілці первинного завантаження;
- коефіцієнт Пуассона;
- коефіцієнт переходу до модуля деформації по вітці вторичного навантаження;
- зчеплення баласта;
- гранична напруга при розтягуванні;
- кут внутрішнього тертя баласту;
- гранична напруга стискання.

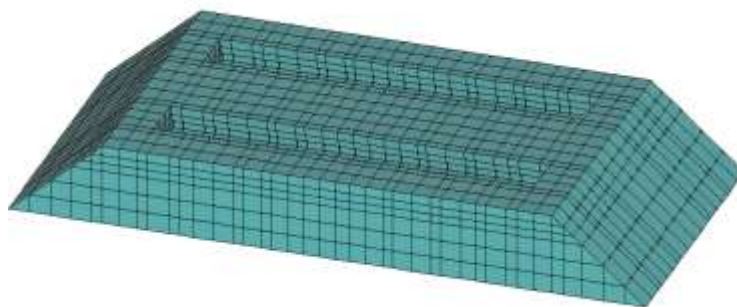


Рис. 5. Модель баласта

Контактна задача взаємодії поверхонь шпали (підшви і бічної поверхні) з баластом також вирішена за допомогою СЕ 265, властивості якого були розглянуті вище. В даному випадку в параметри жорсткості СЕ 265 входить одностороння жорсткість (тільки на стиснення) уздовж місцевої осі Z , завжди направленої перпендикулярно площини контакту, і жорсткості в площині самого

контакту XOY , що моделює тертя між поверхнею шпали і баластом.

Висновки. Таким чином, розроблені моделі, які на відміну від існуючих, дозволяють досліджувати об'ємний напружено-деформований стан залізобетонних шпал типу СБ 3-0 в умовах роботи колій як на магістральних залізницях, так і в особливих умовах експлуатації залізничних колій незагального користування.

Список використаних джерел

1. 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.
2. Darenkiy A., Vitolberg V. Results of researches by the numeral methods of vertical influences on the way of carriages of industrial transport at the railroad ties SB 3-0 // ТЕКА – Vol.12. – №4. – Р. 36-40.
3. Даніленко, Е.І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом [Текст]: підручник для вищих навчальних закладів; у 2х томах / Е.І. Даніленко. – К.: Інпрес, 2010. – Том 2. – 456 с.
4. Железобетонные шпалы для рельсового пути [Текст] / А.Ф. Золотарский, Б.А. Евдокимов, Л.Г. Исаев, Л.Г. Крысанов [и др.]; под ред. А.Ф. Золотарского. – М.: Транспорт, 1980. – 270 с.
5. Шахунянц, Г.М. Железнодорожный путь [Текст]: монография / Г.М. Шахунянц. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.
6. Исследование работ железобетонных шпал на промышленном железнодорожном транспорте [Текст]: сб. трудов / под. ред. Б.А. Евдокимова. – М.: Стройиздат, 1982. – 132 с.
7. Городецкий, А.С. Компьютерные модели конструкций [Текст] / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: Факт, 2005. – 343 с.

8. Клованич, С.Ф. Метод конечных элементов в нелинейных расчетах пространственных железобетонных конструкций [Текст] / С.Ф. Клованич, Д.И. Безушко. – ОНМУ, 2009. – 89 с.
9. Зенкевич, О.К. Метод конечных элементов в технике [Текст] / О.К. Зенкевич. – М.: МИР, 1975. – 541 с.
10. Метод конечных элементов в проектировании транспортных сооружений [Текст] / А.С. Городецкий, В.И. Заварицкий, А.А. Рассказов, А.И. Лантух-Ляшенко. – М.: Транспорт, 1981. – 142 с.
11. Шайдуров, В.В. Многосеточные методы конечных элементов [Текст] / В.В. Шайдуров. – М.: Наука, 1989. – 349 с.
12. Программный комплекс “ЛИРА - Windows” III 1-8 [Текст]. – К.: НИИ АС, 1997. – 254 с.
13. 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.
14. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций ЛИРА версия 9.0: Кн. 2. Путеводитель [Текст]: руководство пользователя. – К.: НИИ АС, 2002. – 189 с.
15. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций ЛИРА версия 9.0: Кн. 3. Примеры расчета и проектирования [Текст]: руководство пользователя. – К.: НИИ АС, 2002. – 99 с.

Рецензент д-р техн. наук, професор О.М. Даренський

Вітольберг Володимир Геннадійович, канд. техн. наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Української державної академії залізничного транспорту. Тел.: 730-10-60.

Vitolberg Vladimir Gennadievich, cand. of techn. science Department «Road and track facilities» Ukraine State of Railway Transport Tel.: (057) 730-10-60