

ШТУЧНІ ТА ПІДЗЕМНІ ТРАНСПОРТНІ СПОРТУДИ

УДК 539.4:625.142.42:658.5

Кульбовський І.І., канд. техн. наук, Агарков О.В., канд. техн. наук

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ З РЕЙКАМИ НА КОЛІЯХ МЕТРОПОЛІТЕНУ ЯК ОДИН З ЧИННИКІВ ЯКОСТІ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ В МЕТРОПОЛІТЕНІ

Анотація. Встановлено зв'язок між якістю управління проектами в метрополітені та умовами взаємодії рухомого складу з рейками залізничної колії. Запропоновано математичну модель взаємодії рейок з колесами рухомого складу. Визначено всі складові тензору напружень, деформацій та переміщень для умови контактної взаємодії в прямих ділянках колії. Запропоновано шляхи подальшого використання отриманих результатів.

Ключові слова: рейка, колесо, оптимізація, управління проектами, метод скінченних елементів, контактна задача, математична модель, якість.

Аннотация. Установлена связь между качеством управления проектами в метрополитене и условиями взаимодействия подвижного состава с рельсами железнодорожного пути. Предложена математическая модель взаимодействия рельсов с колесами подвижного состава. Определены все составляющие тензора напряжений, деформаций и перемещений для условий контактного взаимодействия в прямых участках пути. Предложены пути дальнейшего использования полученных результатов.

Ключевые слова: рельс, колесо, оптимизация, управления проектами, метод конечных элементов, контактная задача, математическая модель, качество.

Abstract. The relationship between the quality of project management in terms of interaction and underground rolling stock and rails railway are established. A mathematical model of the wheel-rail interaction are proposed. Determine all the components of the tensor of stresses, strains and displacements for the conditions of contact interaction in the straight sections of track. Suggested the ways of further use of the results.

Keywords: subway, rail, optimization, wheel, project management, finite element method, the contact problem, mathematical model, quality.

Умови та характер взаємодії рейок з колесами рухомого складу безпосередньо впливає на довговічність контактуючих тіл. Для якісного управління проектами в метрополітені необхідно приймати заходи щодо подовження строків служби відповідальних елементів інфраструктури метрополітену. Для цього необхідно визначити фактори та ступінь їх впливу на процес зносу конструкції в процесі експлуатації.

Існують різні підходи до процесу визначення факторів та ступеня їх впливу на життєвий цикл елементів конструкцій. Для цього можна використовувати зібрані дані з діючих ділянок колії [1], проводити експериментальні дослідження на реальних об'єктах [2], проводити експериментальні дослідження на установках, що імітують роботу відповідних елементів конструкцій [3-5] або використовувати математичне моделювання [6-8].

Кожен із запропонованих методів має як свої переваги, так і недоліки. Збір даних з діючих ліній метрополітену має суттєвий недолік, оскільки він дозволяє аналізувати лише обмежену кількість експериментальних даних, не дозволяє враховувати вплив випадкових факторів, що виникають в процесі експлуатації, а також не дозволяє спрогнозувати вплив зміни окремих експлуатаційних факторів на загальну довговічність конструкції. Проведення експериментальних випробувань пов'язано із значними капітальними витратами на створення інфраструктури та підтримання її працездатності.

Математичне моделювання не потребує суттєвих капітальних витрат, дозволяє дослідити вплив окремо взятого експлуатаційного фактору на

загальну довговічність конструкції, а також скорочує витрати часу на проведення таких досліджень. Є в такого підходу і недолік, оскільки математична модель базується на теоретичних залежностях, які не завжди підтверджуються в експлуатаційних умовах, оскільки в математичній моделі не можливо врахувати вплив всіх експлуатаційних факторів. Однак, чим більше факторів враховує математична модель, тим точніше вона моделює реальні умови експлуатації. Тому моделювання роботи конструкцій за допомогою обчислювальної техніки на даний час набуло широкого використання, оскільки це пришвидшує стадію оптимізації їх роботи та зменшує собівартість виробництва.

Отже, використання математичного моделювання дозволяє покращити управління проектами в метрополітені за рахунок скорочення витрат на поточне утримання інфраструктури, шляхом визначення оптимальних умов роботи конструкцій в процесі експлуатації.

Виконаємо математичне моделювання взаємодії рейки з колесом рухомого складу в метрополітені.

При моделюванні будемо використовувати метод скінченних елементів. Цей метод [9] було створено для розв'язання складних рівнянь теорії пружності і будівельної механіки, однак на даний час він знайшов широке використання і в вирішенні кола не пов'язаних із механікою деформівного твердого тіла задач.

Серед переваг цього методу можна назвати такі як врахування поведінки фізично та геометрично нелінійних матеріалів, можливість враховувати геометрію конструкції будь-якої складності, візуалізація отриманих даних, що полегшує задачу інженера з аналізу отриманих результатів.

Задача взаємодії рейки з колесом рухомого складу метрополітену розв'язувалася в пружній квазістатичній постановці. Профіль поверхні кочення бандажа колеса рухомого складу було виконано за кресленням ЗАТ «МІНТЕК» (аналог ДМетІ ВР). Профіль поверхні кочення рейки відповідав типу Р50 [10]. Задача розв'язувалася в пружній постановці. Механічні властивості матеріалів колеса і рейки наступні: модуль Юнга $E = 2.1 \cdot 10^5$ Н/мм², коефіцієнт Пуассона $\mu = 0.3$. Навантаження на вісь рухомого складу приймалося рівним 150 кН.

На рисунку 1 представлено геометричну модель взаємодії рейки з колесом рухомого складу. Довжина рейки приймалася рівною 600 мм, що дорівнює відстані між осями двох суміжних шпал. Кількість скінченних елементів складала 47222, кількість вузлів сітки – 70121. Взаємне положення колеса рухомого складу і рейки на рисунку 1 характерно для руху в прямій ділянці колії.

В результаті розрахунку було отримано всі складові тензору напружень, деформацій та переміщень.

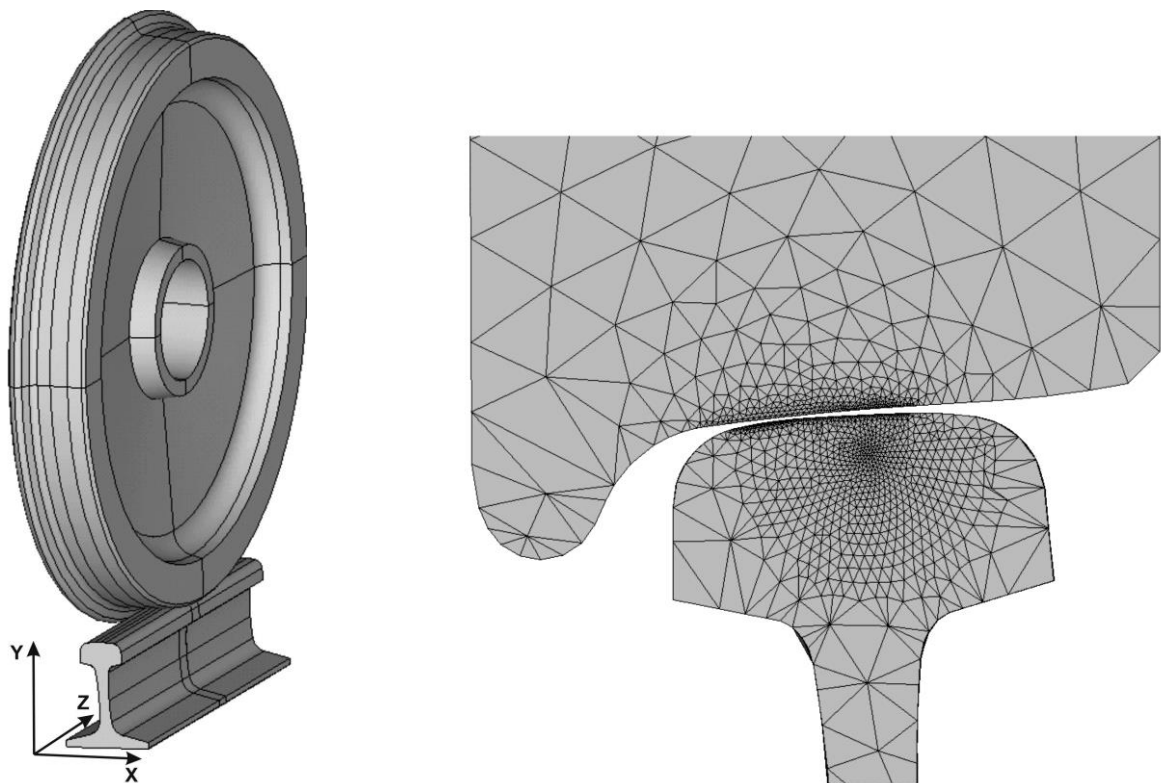


Рисунок 1 – Геометрична модель (зліва) та скінченноелементна сітка в районі контакту (справа)

Представимо деякі з результатів розрахунку. На рисунку 2 приведено площадку контакту колеса з рейкою. Як видно, площадка контакту має форму еліпсу, розміри напіввісей 7.89 мм у поздовжньому напрямку та 2.79 мм у поперечному напрямку. Площадка контакту зміщена до внутрішньої грані головки рейки. Максимальний тиск на поверхні контакту становить 1658 МПа.

На рисунку 3 представлено розподіл еквівалентних напружень в зоні контакту. Максимальне еквівалентне напруження складає близько 1000 Н/мм², що значно перевищує границю текучості (для нетермозміцнених рейок границя

текучості складає 480 Н/мм^2). Максимальні еквівалентні напруження виникають не на поверхні зони контакту, а нижче цієї поверхні

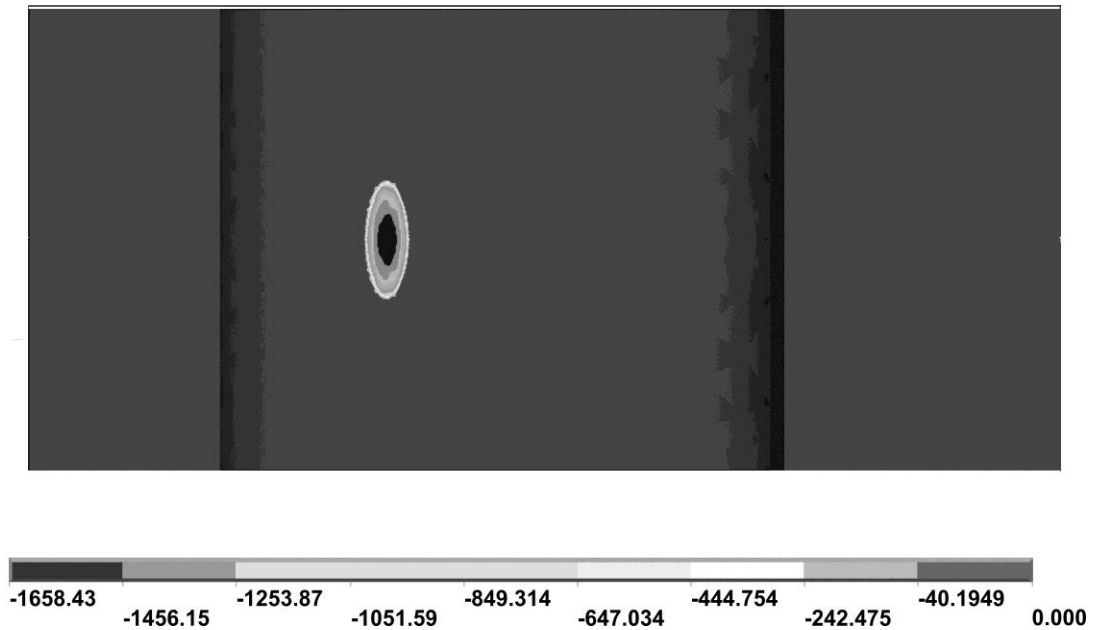


Рисунок 2 – Графічне відображення розподілення контактного тиску на поверхні рейки.

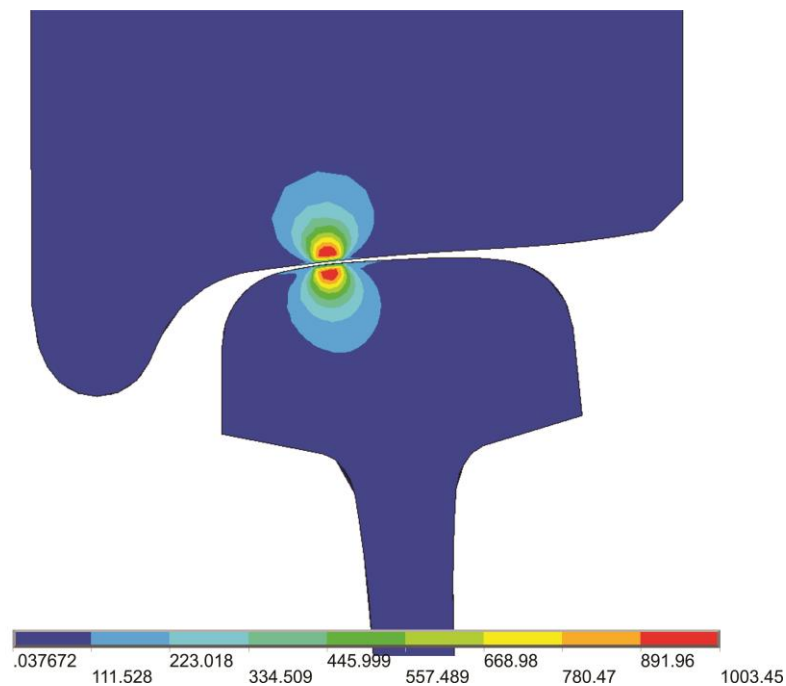


Рисунок 3 – Графічне відображення розподілення еквівалентних напружень в зоні контакту

На рисунку 4 представлено розподілення дотичних напружень τ_{xy} за перерізом колеса і рейки. Максимальне додатне значення дотичних напружень складає 454 Н/мм^2 , максимальне від'ємне значення складає -375 Н/мм^2 .

На рисунку 5 представлено розподіл еквівалентних деформацій в контактній зоні. Як видно з рисунку максимальне значення відносних еквівалентних деформацій складає 0.0048.

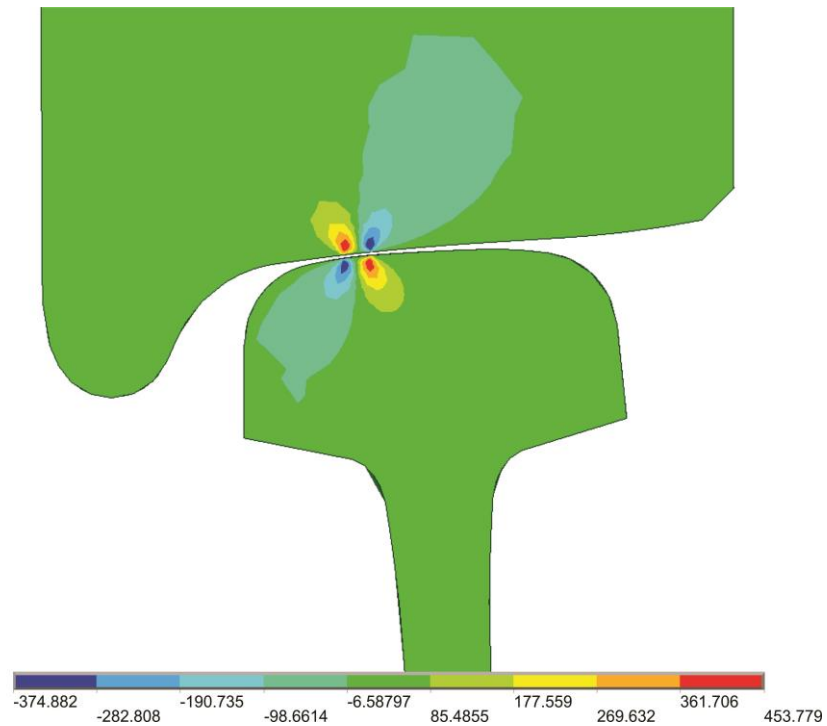


Рисунок 4 – Графічне відображення дотичних напружень τ_{xy} в зоні контакту

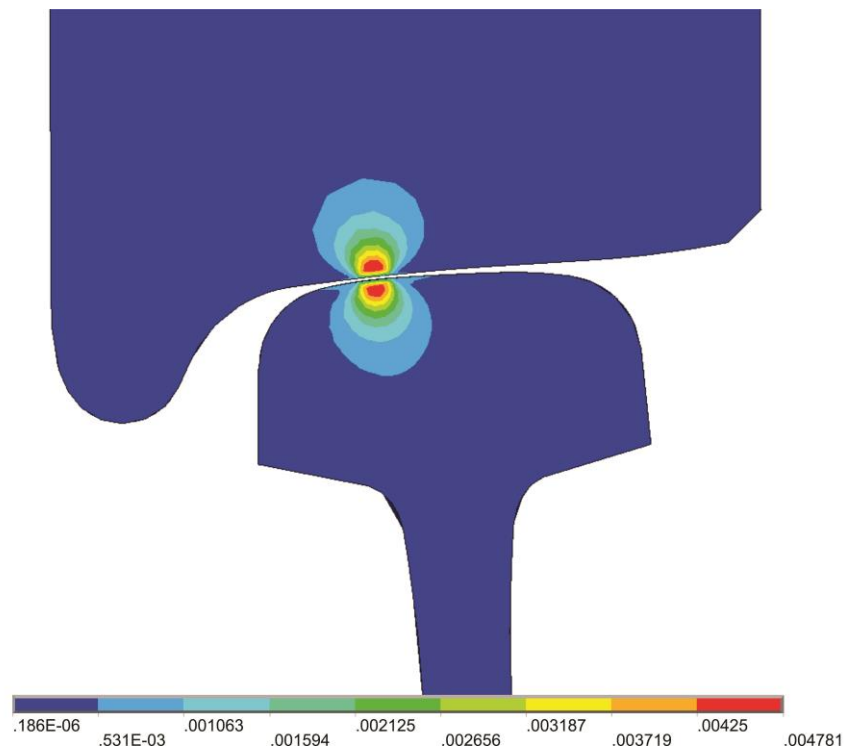


Рисунок 5 – Графічне відображення еквівалентних деформацій в зоні контакту

Висновки

Отже, в результаті розрахунку контактної задачі отримано значення складових напружень і деформацій в контактних поверхнях, визначено місце та форму контактної взаємодії. Отримані дані дозволяють в подальшому розраховувати строк служби представлених елементів конструкцій, а також запропонована модель може бути використана як базова для порівняння впливу різних експлуатаційних факторів на довговічність елементів конструкцій, що розглядаються.

Використання математичного моделювання в інженерній практиці дозволяє покращити управління проектами в різних галузях виробництва, зокрема, запропонований підхід дозволяє покращити управління проектами в метрополітені шляхом оптимізації взаємодії рейок з колесами рухомого складу.

Література

1. Коган А.Я. Об оценке повреждаемости рельсов контактно-усталостными дефектами / А.Я. Коган., А.Ю. Абдурашидов // Путь и путевое хозяйство. – 2009. – № 12. – С. 14 – 15.
2. Лысюк В.С. Изменить профили рельсов и колес / В.С. Лысюк // Путь и путевое хозяйство. – 2008. – № 3. – С. 22 – 25.
3. Clayton P. Surface initiated fatigue of pearlitic and bainitic steels under water lubricated rolling/sliding contact / P. Clayton, X. Su // Wear. – 1996. – 200. – P. 63 – 73.
4. Garnham J. E. The early detection of rolling-sliding contact fatigue cracks / J. E. Garnham, J. H. Beynon // Wear. – 1991. – 144. – P. 103 – 116.
5. Garnham J. E. Very early stage rolling contact fatigue crack growth in pearlitic rail steels / J. E. Garnham, C. L. Davis // Wear. – 2011. – 271. – P. 100 – 112.
6. Ringsberg J.W. Life prediction of rolling contact fatigue crack initiation / J.W. Ringsberg // Int. J. Fatigue. – 2001. – 23. – P. 575 – 586.
7. Seo JungWon. Numerical stress analysis and rolling contact fatigue of White Etching Layer on rail steel / JungWon Seo, Seokjin Kwon, HyenKue Jun, DongHyeong Lee // International Journal of Fatigue. – 2011. – 33. – P. 203 – 211.
8. Mehmet Ali Arslan. 3-D Rail-Wheel contact analysis using FEA / Mehmet Ali Arslan, Oguz Kayabasi // Advances in Engineering Software. – 2012. – 45. – P. 325 – 331.
9. Стренг. Г. Теория метода конечных элементов / Г. Стренг, Дж. Фикс/ М: Издательство «Мир». – 1977 г. – 351 с.
10. Рейки звичайні для залізниць широкої колії : ДСТУ 4344:2004 – [Чинний від 2005–10–01]. – К. : Держспоживстандарт України 2005. – 28 с. : *табл.* – (Національні стандарти України).