

УДК 625.767

Л. В. Гасенко
Т. П. Литвиненко

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНИХ БАГАТОШАРОВИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ВЕЛОСИПЕД- НИХ ШЛЯХІВ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Проведено узагальнене порівняння несучої здатності і деформативності різних типів покриття велосипедних доріжок на основі моделювання їх роботи методом скінченних елементів.

Ключові слова: метод скінченних елементів, велосипедні шляхи, дорожнє покриття.

Вступ

Застосування методу скінченних елементів (МСЕ) для розрахунку дорожнього одягу є досить перспективним напрямком проведення досліджень [1]. Цей метод дозволяє враховувати залежність механічних характеристик матеріалу від напружень, дає можливість прогнозувати розвиток тріщин у процесі служби покриття, відображати особливості розподілу тиску, прикладеного до покриття в залежності від типу протектору шини, а також отримувати інші важливі результати для задач, аналітичне рішення яких неможливе. Проте використання МСЕ висуває підвищені вимоги до кваліфікації дослідника у відношенні вводу вихідних даних, таких як геометричні розміри області, що розглядається, граничних умов на її межах, розмірів скінченних елементів (СЕ) та фізико-механічних характеристик складових матеріалів [2]. Немало важливим є фактор аналізу та врахування похибки розрахунку, особливо у тих випадках, коли точний розв'язок відсутній.

Із розвитком у останні десятиліття електронно-обчислювальної техніки, популярність МСЕ сприяла створенню ряду комерційних пакетів програм, серед яких в механіці можна відзначити NASTRAN, ANSYS, SCAD, Cosmos, ASKA, ЛИРА, MOHOMAX та інші, що використовуються для статичних, динамічних та інших розрахунків різноманітних конструкцій, які мають складну геометричну конфігурацію та нерегулярну фізичну структуру. Під час вирішення задач теорії пружності про багатошаровий напівпростір, використовують комп'ютерні програми такі, як BISTRO, BISAR, LAYMED, CHEVRON-5L, PAKADAPT, MTC-93 і АЛГОФОРТ.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій [1, 3 – 5] показав, що розрахунок дорожнього одягу проводиться з метою аналізу розподілу тиску від шини транспортного засобу до ґрунту основи, визначення деформацій у шарах дорожнього одягу, які виникають під час навантажень, прогнозування розвитку тріщин у складових покриття, що призводить до часткового чи повного його руйнування. Із все більшим накопиченням результатів таких досліджень, їх актуальність не зменшується, оскільки під час дорожнього будівництва постійно застосовують нові конструктивні складові, такі як армуючі елементи у асфальто-бетонних та щебених шарах, покриття на основі полімерів тощо.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Особливо необхідним є накопичення результатів розрахунку дорожнього одягу велосипедних шляхів, адже значення та характер навантаження від шин велосипедів дещо відрізняється від навантажень шин транспортних засобів (легкових і вантажних автомобілів тощо), що широко й досить давно експлуатують дороги.

Результати дослідження

Для чисельного моделювання напружено-деформованого стану (НДС) ділянки покриття велосипедної доріжки було обрано класичний інтерфейс програмного комплексу NASTRAN (NAsa STRuctural ANalysis) Femap 10.1.1 SC 32bit / 64 bit. Ця програма скінченно-елементного аналізу розроблена компанією MacNealSchwendler Software – MSC. Software Corporation, що являється визнаним лідером у даному напрямку. Перевагами використаної програми є:

- чисельні методи розріджених матриць, які використовуються при будь-якому типі розрахунків даної програми, значно підвищують швидкість підрахунків та мінімізують об'єм необхідної дискової пам'яті;
- можливість задавання фізико-механічних характеристик будь-яких матеріалів, в тому числі нелінійних діаграм їх роботи;
- можливість врахування навантажень різного типу походження (вібрації, статичні, динамічні чи температурні навантаження);
- широкий ряд опублікованих книг, статей і рекомендацій з інструкціями по користуванню даною програмою [6].

Під час досліджень використовувалась учбова демо-версія SDRC-FEMAP 8/1a S/N 000-00-00-DEMO-406F-00000000.

Створення скінченно-елементної моделі ділянки покриття для дослідження її НДС у пружній стадії роботи виконувалось в порядку, наведеному у таблиці 1.

Таблиця 1

Порядок проведення скінченно-елементного аналізу моделі покриття

№ стадії	Назва стадії чисельного дослідження	Короткі роз'яснення щодо стадії чисельного дослідження
1	Вибір системи координат та створення геометрії моделі	Створення просторової об'ємної фігури моделі у декартовій системі координат (з урахуванням пошарового складу моделі з різних матеріалів)
2	Введення властивостей матеріалів	Задавання значень модуля пружності Юнга E , коефіцієнта поперечних деформацій ν і закону деформування (σ - ϵ) згідно діючих нормативних документів
3	Вибір типу скінченних елементів (СЕ) та розбиття моделі на СЕ	Заповнення створеної об'ємної фігури СЕ типу Hex Mesh (гексаедр), розмір яких залежав від часу створення об'ємної СЕ сітки, необхідного дискового простору для проведення ПК розрахунку, точності та збіжності отриманих результатів
4	Задавання граничних умов та формування системи навантажень	Вибір площин та прикладення до них опорних закріплень чи навантажень із вказанням їх величин і типу виникнення (статичне, розподілене тощо)
5	Перевірка коректності розробленої моделі	Контроль якості, симетричності та кількості об'єднань співпадаючих вузлів СЕ решітки
6	Вибір типу та проведення СЕ аналізу	Вибір параметрів та проведення нелінійного аналізу із врахуванням заданих діаграм роботи матеріалів
7	Аналіз отриманих результатів розрахунків	Формування результатів розрахунку для практичного використання: графіків розподілу напружень та деформацій

Габаритні розміри всіх моделей покриття приймалися 1×1 метр. Були проведені розрахунки моделей із різною товщиною шарів. Вузли СЕ на підшві моделі обмежували в переміщеннях по трьом осям (x , y , z), а вузли СЕ на бокових поверхнях обмежували тільки по осях x та y . Розміри ребер СЕ лежали в межах від 2 до 4 см. Навантаження прикладали рівномірне нормальне до площадки, розташованої посередині верхньої поверхні моделі. Розміри цієї площадки приймалися 3×10 см. Величина навантаження бралась згідно [5] – мінімальне статичне навантаження на колесо велосипеда. На рисунку 1 показана модель тришарового покриття.

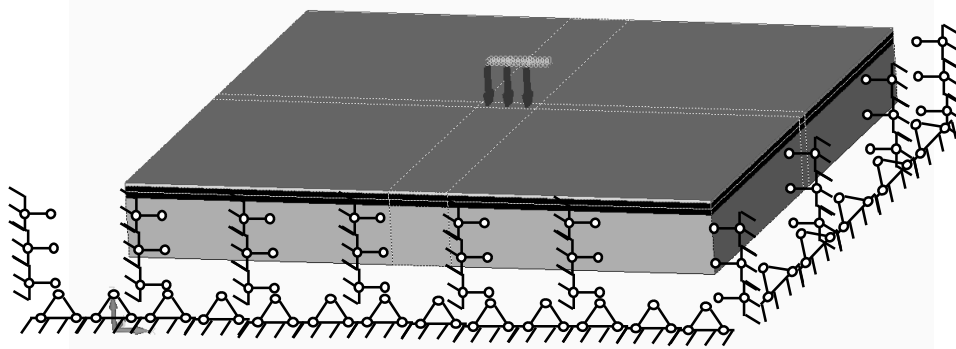


Рис. 1. Геометрична модель тришарового покриття велосипедної доріжки

Моделюванню підлягали п'ять найпоширеніших типів покриття велосипедних шляхів (див. табл. 2), що обрані на основі аналізу існуючих типів покриттів [3]. У таблиці 2 також наведені вихідні основні фізико-механічні характеристики матеріалів, з яких виконується покриття.

Таблиця 2

Вихідні дані для проведення розрахунків: тип та пошаровий склад із необхідними фізико-механічними характеристиками шарів покриття велосипедних доріжок

№ п/п	Тип покриття велосипедних доріжок				
	1	2	3	4	5
Назва покриття	Асфальт звичайний	Асфальт із введенням гумової крихти	Монолітний чи збірний бетон	Покриття на основі полімерів	Штучні: камінь, гравій, пісок
Пошаровий склад покриття (фізико-механічні характеристики шарів)	Асфальт ($E=5 \times 10^4$ МПа $\nu = 0,25$) Щебінь ($E = 200$ МПа $\nu = 0,22$)	Асфальт із гумовим заповнювачем ($E=1,5 \times 10^4$ МПа $\nu = 0,35$) Щебінь ($E = 200$ МПа $\nu = 0,22$)	Бетон ($E=2 \times 10^4$ МПа $\nu = 0,17$) Щебінь ($E = 200$ МПа $\nu = 0,22$)	Пісок ($E = 100$ МПа $\nu = 0,33$) Бітум ($E = 110$ МПа $\nu = 0,45$) Армуюча металофібра ($E=2 \times 10^5$ МПа $\nu = 0,3$) Бетон ($E=2 \times 10^4$ МПа $\nu = 0,17$)	Камінь ($E=7 \times 10^4$ МПа $\nu = 0,15$) або Гравій ($E = 200$ МПа $\nu = 0,22$) або Пісок ($E = 100$ МПа $\nu = 0,33$)

На рисунку 2 показано загальний вигляд моделі дорожнього одягу після проведення розрахунку – розподіл головних напружень на верхній поверхні моделі.

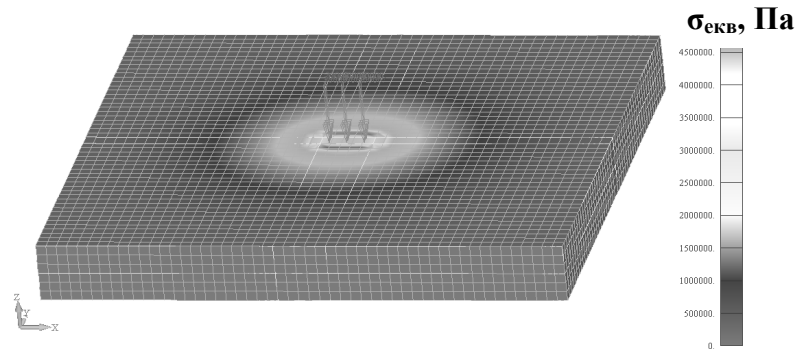


Рис. 2. Розподіл головних напружень на верхній поверхні моделі покриття №3

Під час аналізу напружено-деформованого стану моделей дорожнього одягу основними вважали наступні характеристики: вертикальні σ_z та горизонтальні σ_x чи σ_y напруження, а також вертикальні w_z та горизонтальні w_y та w_x переміщення. На рисунку 3 зображено, як виглядають функції $\sigma_z(z)$, $\sigma_x(z)$, $\sigma_y(z)$ та $w_z(z)$, $w_x(z)$, $w_y(z)$ у товщі по осі симетрії моделі, нормальній до верхньої поверхні зразка, для різних типів покриття.

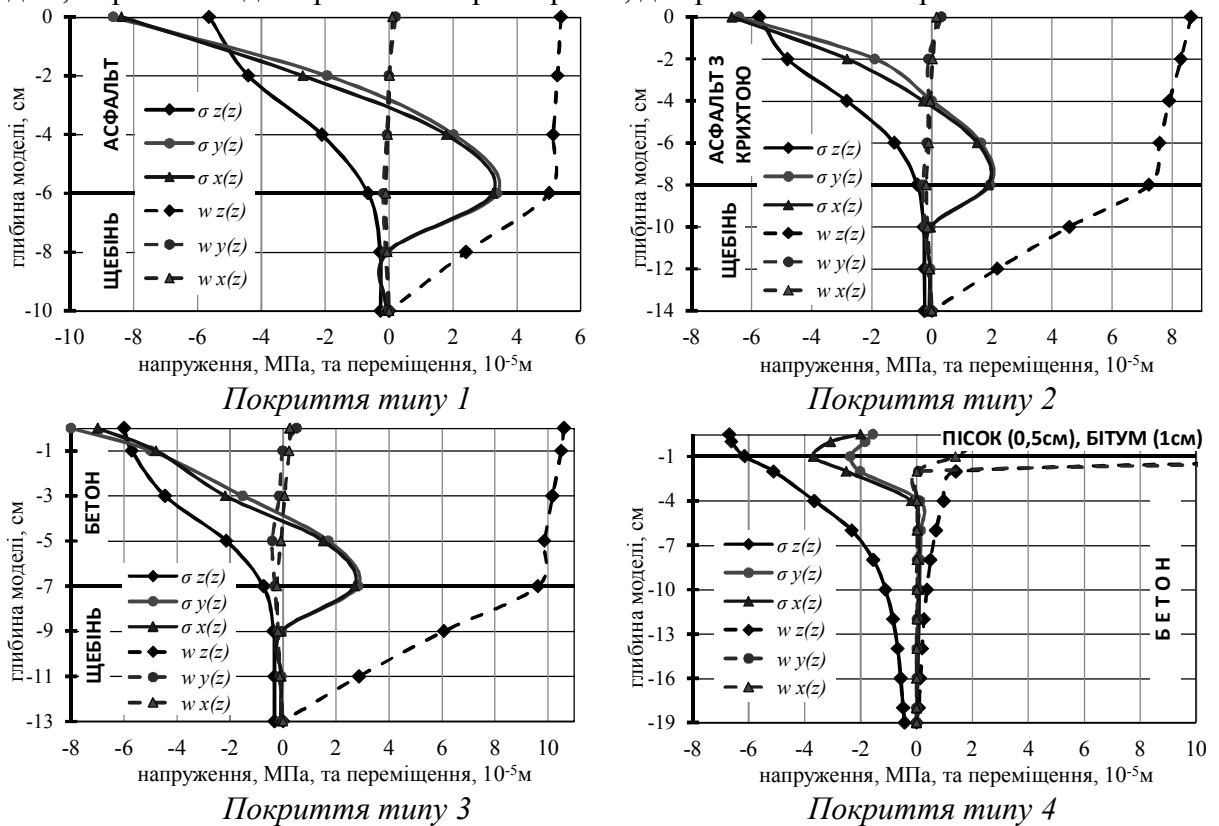


Рис.3. Графіки розподілу напружень та переміщень у товщі моделей дорожнього одягу. Завжди контролювались напруження на підшві моделі, щоб вони не перевищували розрахункового опору ґрунтів основи. У разі невиконання цієї умови проводилось збільшення товщини шарів моделі та повторний розрахунок. До таблиці 3 занесені оптимальні товщини шарів покриття аналізованих типів.

Таблиця 3

Результати розрахунків: узагальнене порівняння типів покриття велосипедних доріжок

№ п/п	Тип покриття велосипедних доріжок				
	1	2	3	4	5
Назва покриття	Асфальт звичайний	Асфальт із введенням гумової крихти	Монолітний чи збірний бетон	Покриття на основі полімерів	Штучні: камінь, гравій, пісок

Склад покриття	Асфальт – 6 см Щебінь – 4 см	Асфальт із гумовим заповнювачем – 8 см Щебінь – 6 см	Бетон – 7 см Щебінь – 6 см	Пісок – 0,5 см Бітум – 1 см Армуюча металофібра – Ø1 мм Бетон – 18 см	Камінь – 19 см або Гравій – 19 см або Пісок – 19 см
Напруження на підшві покриття, кПа	195	175	197	191	180
Розрахунковий опір ґрунтів основи R_0 , кПа (суглинок)	200				

Висновки

За результатами чисельного моделювання напружено-деформованого стану ділянки покриття велосипедної доріжки у програмному комплексі скінченно-елементного аналізу NASTRAN визначено оптимальні товщини шарів найпоширеніших типів покриття велосипедних шляхів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мерзליкин А.Е. Моделирование упругого однородного и двухслойного полупространства применительно к задачам по расчету дорожных одежд методом конечных элементов / А.Е. Мерзликин, Н.В. Капустников // Дороги и мосты. Омск: СибАДИ, 2011. – № 1(25). – С. 63 – 72.
2. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов. М.: Мир, 1977. – 349 с.
3. Литвиненко Т. П. Дорожные покрытия, которые могут применяться при строительстве велосипедных дорожек / Т. П. Литвиненко, Л. В. Смилянец // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – Пермь, 2013. – № 2. – С. 103 – 115.
4. Автомобільні дороги: ДБН В.2.3-4:2007. – [Чинний від 2008 – 03 – 01]. – К: Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с.
5. Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів: ДБН В. 2. 3 – 5 – 2001. – [Чинний від 2001 – 10 – 01]. Київ: Держбуд України, 2001. – 50 с.
6. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. – М.: ДМК, 2003. – 448 с.

Рекомендована кафедрою автомобільних доріг, геодезії, землеустрою та сільських будівель

Стаття надійшла до редакції _____ 2015

Гасенко Ліна Володимирівна — аспірант кафедри автомобільних доріг, геодезії, землеустрою та сільських будівель, e-mail: lin02011@meta.ua;

Литвиненко Тетяна Петрівна — к.т.н., доцент, заст. завідувача кафедри автомобільних доріг, геодезії, землеустрою та сільських будівель.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава.

L. V. Gasenko
T. P. Lytvynenko

INVESTIGATION OF ELASTIC MULTILAYER MODELS FOR CALCULATING THE BICYCLE ROUTES □ PAVEMENT BY FINITE ELEMENT METHOD

Poltava National Technical Yuriy Kondratyuk University

Is conducted the generalized comparison of bearing capacity and deformability of different types of bicycle paths □ coverage based on their modeling by the finite element method.

Keywords: finite element method, bicycle paths, road surface.

Gasenko Lina Volodymyrivna - Post-Graduate Student the Chair of roads, geodesy, land engineering and rural buildings, e-mail: lin02011@meta.ua.

Lytvynenko Tetyana Petrivna - Ph.D., Associate Professor, Deputy Head the Chair of roads, geodesy, land engineering and rural buildings.

Л. В. Гасенко
Т. П. Литвиненко

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ МНОГОСЛОЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ВЕЛОСИПЕДНЫХ ПУТЕЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

Проведено обобщенное сравнение несущей способности и деформативности различных типов покрытия велосипедных дорожек на основе моделирования их работы методом конечных элементов.

Ключевые слова: метод конечных элементов, велосипедные пути, дорожное покрытие.

Гасенко Лина Владимировна — аспирант кафедры автомобильных дорог, геодезии, землеустройства и сельских зданий, e-mail: lin02011@meta.ua.

Литвиненко Татьяна Петровна — к.т.н., доцент, заместитель заведующего кафедрой автомобильных дорог, геодезии, землеустройства и сельских зданий.