

ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ МІЦНОСТІ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ ПРИ НЕСТАЦІОНАРНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Сметанкіна Н.В., д.т.н., пров. н.с.

Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України

Запропоновано метод розрахунку на міцність багатошарового дорожнього покриття на пружній основі. Поведінка шарів розглядається з урахуванням деформацій зсуву та інерції обертання нормального елемента у кожному шарі. Пружна основа моделюється згідно з гіпотезою Вінклера. Досліджено напружено-деформований стан дорожнього покриття з різними композиціями шарів.

Ключові слова: багатошарове дорожнє покриття, пружна основа, нестационарне навантаження.

Постановка проблеми. Для сучасних автомобільних доріг потрібні покриття, спроектовані і споруджені таким чином, щоб впродовж заданого терміну служби витримувати прогнозовані транспортні навантаження. Дорожній одяг є багатошаровою конструкцією, що лежить на ґрунті (основі). Необхідні експлуатаційні характеристики (міцність, зносостійкість, морозостійкість, теплоізоляційні та інші властивості) забезпечуються завдяки багатошаровості пакету конструкції. Обґрунтування конструкції дорожнього одягу базується на результатах методів аналізу напружено-деформованого стану покриття з урахуванням природних, конструктивних та експлуатаційних факторів.

Аналіз публікацій за темою дослідження. Існуючі методи проектування дорожнього одягу ґрунтуються на емпіричних, експериментальних і механіко-емпіричних методах [1]. Механіко-емпіричні методи засновані на оцінці прогину та зсуву шарів дорожнього одягу, тобто його відгуку на прикладене зовнішнє навантаження. Результати, які отримують при розрахунку, використовуються для встановлення допустимого рівня надійності конструкції згідно нормативної документації з проектування дорожнього одягу. В порівнянні з емпіричними методами застосування моделей і методів теорії пружності є більш достовірним і раціональним підходом до аналізу міцності шаруватих систем дорожнього одягу [2, 3].

Невирішеною проблемою залишається розробка ефективних методів дослідження динамічного відгуку багатошарового дорожнього покриття з підвищеними параметрами міцності при експлуатаційних навантаженнях.

Метою роботи є розробка уточненого методу розрахунку на міцність багатошарового дорожнього одягу нежорсткого типу.

Метод розв'язання. Будемо розглядати фрагмент дорожнього покриття як багатошарову прямокутну вільно оперту пластину, яка лежить на пружній основі (рис. 1). Конструкція складається з I ізотропних однорідних шарів сталі товщини h_i . Навантаження, яке передається транспортним засобом,

розглядається як динамічне навантаження, а основа моделюється однопараметричною основою Вінклера [4].

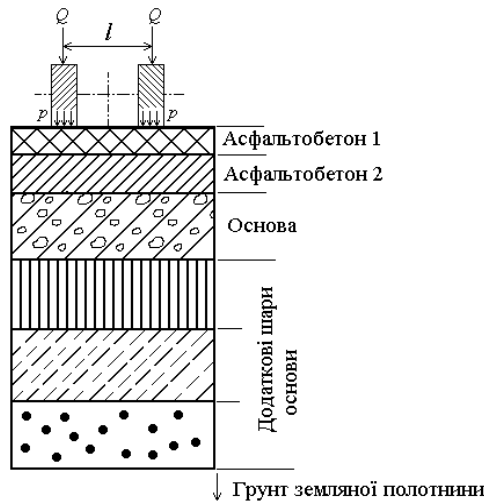


Рис. 1 – Фрагмент дорожнього одягу і схема навантаження

Контакт між шарами, а також між багатошаровою конструкцією і пружною основою виключає їх розшаровування і взаємне проковзування. Поведінка шарів покриття моделюється за допомогою рівнянь уточненої теорії першого порядку [5, 6]. Для пакета шарів справедлива гіпотеза ламаної лінії. З урахуванням цих кінематичних гіпотез переміщення точки i -го шару мають вигляд

$$u^i = u + \sum_{j=1}^{i-1} h_j \psi_x^j + (z - \delta_{i-1}) \psi_x^i, \quad v^i = v + \sum_{j=1}^{i-1} h_j \psi_y^j + (z - \delta_{i-1}) \psi_y^i, \quad w^i = w,$$

де $\delta_i = \sum_{j=1}^i h_j, \delta_{i-1} \leq z \leq \delta_i;$

h_i – товщина i -го шару; $u = u(x, y, t), v = v(x, y, t), w = w(x, y, t)$ – переміщення точки координатної поверхні в напрямку координатних осей; $\psi_x^i = \psi_x^i(x, y, t), \psi_y^i = \psi_y^i(x, y, t)$ – кути повороту нормального елемента в i -му шарі навколо координатних осей; t – час.

Поведінка основи дорожнього одягу враховується при моделюванні пружної основи [4]. Пружна складова реакції основи подається як

$$q^{ynp} = -k_1 w^I(x, y),$$

де k_1 – коефіцієнт пружної основи, $w^I(x, y)$ – нормальний прогин поверхні основи.

При аналізі міцності дорожнього покриття основний інтерес становить реакція в зоні контакту колеса транспортного засобу з дорожнім покриттям. У загальному випадку площа контакту шини з покриттям представляється двома півколами і прямокутником [1, 2]. Припускається, що навантаження від колеса Q рівномірно розподілене по області контакту. Розмір зони контакту залежить

від величини контактної тиску шини на покриття p . У роботі [2] показано, що дану форму площі контакту можна привести до прямокутника з площею $0,5227 \times L^2$ і шириною $0,6 \times L$.

Аналіз результатів чисельних досліджень. Як приклад, проведено чисельні дослідження міцності фрагменту дорожнього одягу з різними композиціями шарів та розмірами в плані 500×1000 см. Параметри навантаження є такими: $p = 700$ кПа, $Q = 40$ кН, $L = 33$ см. Композиції шарів та їх механічні характеристики наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Композиції дорожнього одягу та механічні характеристики матеріалів шарів

№ композиції	Матеріал шару	Товщина, мм	Модуль пружності E , кПа	(i) Коефіцієнт Пуассона, ν
1	Асфальтобетон покриття	50	3 200 000	0,3
	Асфальтобетон основи	80	2 000 000	0,3
	Щебінь	300	350 000	0,35
	Пісок середньої величини	500	100 000	0,35
	Ґрунт земляної полотнини	∞	33 000	0,35
2	Асфальтобетон покриття	50	3 200 000	0,3
	Асфальтобетон основи	150	2 000 000	0,3
	Щебінь вапняний	230	350 000	0,35
	Пісок крупний	280	130 000	0,35
	Ґрунт земляної полотнини	∞	46 000	0,35
3	Асфальтобетон покриття	40	3 200 000	0,3
	Асфальтобетон основи	80	2 000 000	0,3
	Щебінь вапняний	300	350 000	0,35
	Пісок середньої величини	300	120 000	0,35
	Ґрунт земляної полотнини	∞	38 000	0,35

На рис. 2 показано вертикальні переміщення вздовж координати x , які обчислені на поверхні першого шару. Вздовж осі абсцис відкладається відстань від центральної точки площі навантаження a , а вздовж осі ординат – вертикальні переміщення w . У зоні контакту покриття з шиною вертикальні переміщення є найбільшими. Для композицій 1 і 3 прогини набувають однакових значень у точці, що знаходиться на відстані приблизно 75 см від центру навантаження. При зростанні відстані від центральної точки площі навантаження спостерігається монотонне зниження прогинів для всіх композицій.

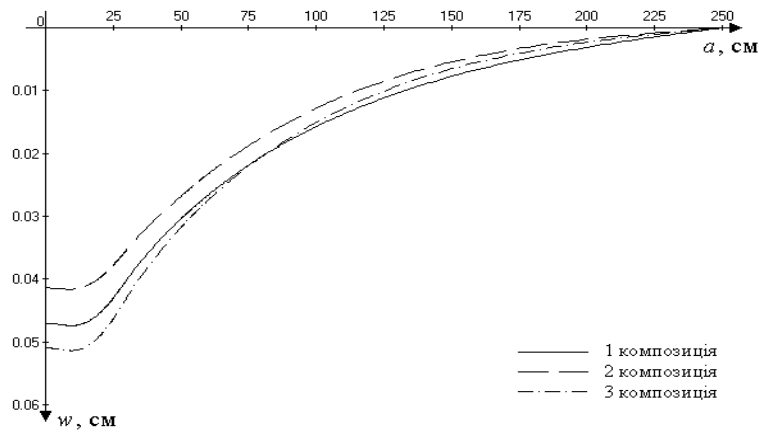


Рис. 2 – Змінення вертикальних переміщень вздовж покриття

Для цих же композицій на рис. 3 показано змінення напружень вздовж товщини пакету шарів в точці $x = A/2$, $y = B/2$, $A = 500$ см, $B = 1000$ см.

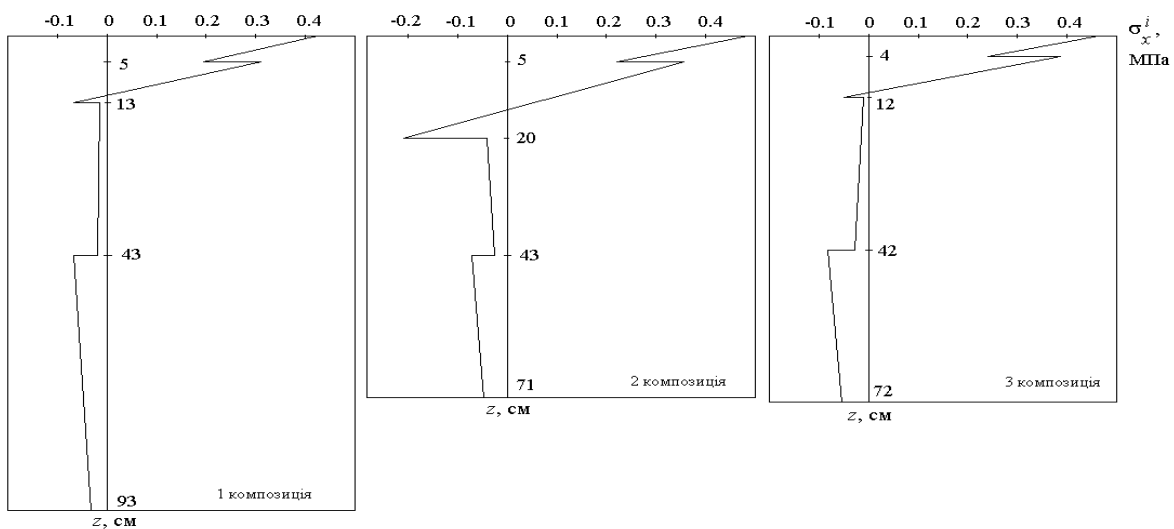


Рис. 3 – Змінення напружень вздовж товщини пакету шарів

Чисельні дослідження показали, що для всіх розглянутих композицій напруження не перевищують допустимих значень.

Висновки й перспективи подальших досліджень. Таким чином, розроблено метод розрахунку напружено-деформованого стану дорожніх покриттів при нестационарних навантаженнях. Дорожнє покриття розглядається як багатошарова прямокутна вільно оперта пластина, що лежить на пружній основі. Поведінка шарів покриття моделюється за допомогою рівнянь уточненої теорії першого порядку, а пружна основа деформується згідно гіпотези Вінклера. Проведено чисельні дослідження залежності вертикальних переміщень покриття від відстані від центру навантаження фрагменту дорожнього одягу і побудовано епюру напружень вздовж товщини пакету шарів.

Результати роботи можуть бути використані при проектуванні багатошарових дорожніх покриттів під дією імпульсних навантажень, які моделюють вплив транспорту, що рухається.

Список використаних джерел

1. Muhammad N.S. Non-linear finite element analysis of flexible pavements/ N.S. Muhammad, B.C. Bodhinayake // Advances in Engineering Software. – 2004. – Vol. 34. – P. 657–662.
2. Liu C. Response of rigid pavements due to vehicle-road interaction / C. Liu, B.F. McCullough, H.S. Oey // ASCE J. Transport. Engng. – 2000. – Vol. 126, № 3. – P. 237–242.
3. Kim S.M. Dynamic stress response of concrete pavements to moving tandem-axle loads / S.M. Kim, M.C. Won, B.F. McCullough // Transportation Research Record. J. of the Transportation Research Board.– 2002.– Vol. 1809. – P. 32–41.
4. Kerr A.D. Elastic and viscoelastic foundation models / A.D. Kerr // J. Applied Mechanics. Transactions of the ASME. –1964. – V. 31, Ser.E, 3. – P. 139-148.
5. Shupikov A.N. Non-stationary vibration of multilayer plates of an uncanonical form. The elastic immersion method / A.N. Shupikov, N.V. Smetankina // Int. J. Solids Structures.– 2001.– Vol. 38, № 14.– P. 2271-2290.
6. Сметанкина Н.В. Нестационарное деформирование, термоупругость и оптимизация многослойных пластин и цилиндрических оболочек / Н.В. Сметанкина. – Харьков: Изд-во «Міськдрук», 2011.– 376 с.

Аннотация

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ НАГРУЖЕНИИ

Сметанкина Н.В.

Предложен метод расчета на прочность многослойного дорожного покрытия на упругом основании. Поведение слоев рассматривается с учетом деформаций сдвига и инерций вращения нормального элемента в каждом слое. Упругое основание моделируется согласно гипотезе Винклера. Исследовано напряженно-деформированное состояние дорожного покрытия с различными композициями слоев.

Ключевые слова: многослойное дорожное покрытие, упругое основание, нестационарная нагрузка.

Abstract

DYNAMIC STRENGTH ANALYSIS OF ROAD COVERS AT NON-STATIONARY LOADING

N. Smetankina

The strength calculation method for a multilayer road cover on the elastic foundation is offered. The behavior of layers is considered taking into account shear strains and rotation inertia of the normal element in each layer. The elastic foundation is modeled according to the Winkler hypothesis. The stress-strained state of the road cover with various compositions of layers is analyzed.

Keywords: multilayer road cover, elastic foundation, non-stationary loading.