

## ВПЛИВ МЕХАНІЗМУ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛЕМЕНТІВ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ РІЗНОГО ТИПУ

### INFLUENCE OF THE MECHANISM OF CONTACT INTERACTION OF ELEMENTS ON THE STRESSED AND DEFORMED CONDITION OF DIFFERENT TYPES OF ROAD PAVEMENTS



**Павленко Надія Володимирівна**, кандидат технічних наук, доцент, представник «Кредо-Діалог» в Україні, e-mail: pavlenko.nadya@gmail.com, +380958080608

ORCID 0000-0001-5746-6221



**Шуляк Іван Станіславович**, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожнього проектування, геодезії та землеустрою, e-mail: i.s.shuliak@gmail.com, +380506437690

ORCID 0000-0003-0609-731X

**Анотація.** Запропоновано рішення напружено-деформованого стану для дискретних матеріалів під дією рівномірно розподіленого навантаження ґрунтується на закономірну зміну поведінки дискретних шарів в залежності від коефіцієнту розподільчої здатності матеріалів самих шарів при виборі варіантів конструкцій дорожнього одягу на слабких або перезволожених ґрунтах земляного полотна.

В статті описано як в результаті аналізу поведінки різних типів покриттів маємо можливість для будь-яких конструкцій дорожніх одягів, в основі яких є незв'язні матеріали, встановити дійсне значення напружень зсуву і еквівалентного модуля пружності з урахуванням параметру розподільчої здатності дискретних матеріалів, що відповідає їх реальній поведінці під навантаженням. Також встановлено, що цементобетонне покриття є не тільки більш надійним і довговічним, скільки сприяє при значно менших товщинах конструкції розподіляти навантаження по глибині в кілька разів краще і більш рівномірно.

**Ключові слова:** КРЕДО РАДОН UA, автомобільна дорога, автоматизоване проектування, проект ремонту, дорожній одяг, посилення, конструювання, жорсткий дорожній одяг, модуль пружності, транспортний потік, методика розрахунку

**Вступ.** Огляд основних розрахункових схем і теоретичних основ в діючих нормативних документах [1, 2] показує, що конструкція дорожнього одягу розглядається як одношарова або багатшарова пружна система. Прийнята властивість суцільності властивостей, однорідності і лінійної пружності системи спотворює, а часто і приховує багато особливостей поведінки шарів під навантаженням. Реальна конструкція дорожнього одягу має властивості, які змінюються по глибині (структура шару, модуль шару, та ін.). Експериментально доведено, що поправки в рішення будуть тим значніше, чим більше розходження у властивостях сусідніх шарів [3].

Фактично, конструктивні шари не є ідеально пружними тілами, не мають лінійної залежності між напруженнями і деформаціями при навантаженні, мають специфічний розподіл напружень по глибині. Це недостатньо врахований факт, або взагалі не враховується теорією пружності, на якій ґрунтуються розглянуті методи розрахунку дорожніх одягів.

Теорія розрахунку нежорстких дорожніх одягів перехідного типу і діючі інструкції з розрахунку дорожніх одягів на міцність в багатьох країнах базуються на багаторічних наукових дослідженнях, багатій теоретичній і експериментальній базі. Перевага теорії розрахунку - мінімізація емпіричних даних, можливість на основі закономірностей деформування розраховуватися на міцність будь-якого конструктивного шару і конструкції в цілому. Однак на сьогоднішній день не всі механічні, фізичні особливості пов'язані зі структурою, контактуванням і характером розподілу навантаження в масиві вирішені остаточно і мають однозначність. Цей факт дає нам право говорити про недостатність врахування впливу структурних особливостей дискретних (незв'язних) шарів на напружено-деформований стан дорожнього одягу.

Однак відкритим і нерозглянутим залишається питання врахування особливості поведінки незв'язних шарів під навантаженням і специфічне розподіл напружень в таких шарах при розрахунках на міцність [3].

Аналіз існуючих методів розрахунку дорожніх одягів, їх теоретичної бази, сучасні наукові напрямки і необхідність врахування структурних особливостей зернистих матеріалів робить актуальним завдання оцінки напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу з різними типами покриття і впливом розподілу навантаження на шари з незв'язних матеріалів.

Актуальність даній тематиці також надає стрімкий розвиток зацікавленості та впровадження конструювання та розрахунку жорстких дорожніх одягів. Плита із цементобетону, що розподіляє навантаження від транспортного потоку має зовсім інші властивості і поведінку, ніж аналогічна конструкція із асфальтобетонним покриттям. Основне завдання проектувальника – обрати надійну конструкцію, підтвердити її розрахунками на міцність, забезпечивши тим самим довговічність автомобільної дороги, як об'єкту інформаційного моделювання.

Але в даний час є проблема, пов'язана з тим, що мало уваги приділяється розрахункам дорожніх одягів жорсткого типу, а саме їх вплив на зсувні процеси в незв'язних шарах основи та ґрунтах земляного полотна.

Для обліку, в якійсь мірі, специфіки поведінки зернистих шарів під навантаженням в методи розрахунку вводять поправочні коефіцієнти, перш за все у формі коефіцієнтів запасу міцності. Саме тому коефіцієнти запасу міцності на зрушення в малозв'язних матеріалах і на поверхні ґрунту робочого шару найбільші. Однак, це не вихід з положення, так як не завжди відома величина похибки при визначенні головних напружень в зернистому або незв'язному шарі і, відповідно, достовірність величини напружень зсуву в шарах основи і ґрунтів не визначена.

В результаті роботи проведено аналіз розрахункових схем, опрацьовані досліджень різних авторів, розрахунки на міцність типових конструкцій та досвід експлуатації дорожніх одягів різних типів з метою обґрунтування прийняття оптимальної розрахункової схеми конструкції дорожнього одягу при розрахунках на зсув в ґрунтах земляного полотна.

**Математичне моделювання.** Використаємо в якості порівняння роботи ґрунтів основи дорожнього одягу параметр «с», який називається «коефіцієнт розподілу напружень» або «коефіцієнт розподільної здатності». Його величина впливає на швидкість згасання по глибині нормальних напружень  $\sigma_z$  під центром об'єкта ділянки. При «с» = 1 формули 1-3 збігаються з рішенням задачі про напружений стан півпростору з монолітного матеріалу. При «с» < 1 згасання напруг сповільнюються. З літературних експериментальних даних виходить, що напруги в дискретних середовищах зменшуються по глибині в 2-3 рази повільніше, ніж в разі, якщо матеріал монолітний [4].

Розрахунок напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу перехідного типу включає в себе введення вихідних даних в удосконалене теоретичне рішення [4], представлене основними залежностями:

$$\sigma_z = -q\delta \int_0^{\infty} (c\alpha + 1)e^{-c\alpha} J_1(\alpha\delta) d\alpha; \quad (1)$$

$$\sigma_r = -\frac{q\delta}{2} \int_0^{\infty} \left\{ \nu + (1 + \nu)c^2 + [\nu - (1 + \nu)c^2] \right\} e^{-c\alpha} J_1(\alpha\delta) d\alpha; \quad (2)$$

$$u_{z \max} = q\delta \frac{1 - \nu^2}{cE_1} \int_0^{\infty} R(\alpha) J_1(\alpha\delta) \frac{d\alpha}{\alpha}, \quad (3)$$

де  $q$  – рівномірно розподілене навантаження, МПа;  $\delta$  – постійна інтегрування;  $c$  – коефіцієнт розподільчої здатності матеріалу;  $Z$  – глибина розташування конструктивного шару, см;  $\alpha$  – параметр інтегрування;  $J_1$  – функція Бесселя першого ступеню першого порядку;  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона.

**Практична частина.** В опорі матеріалів і в теорії пружності [5] доведено, що здатність розподілення навантаження залежить від добутку модуля на куб товщини.

Необхідна товщина цементобетонного покриття зазвичай більше сумарної товщини асфальтобетонних шарів, а товщина всієї конструкції жорсткого дорожнього одягу - навпаки, менша, ніж нежорсткого типу. Це доведений факт і пояснюється він наступним. Покриття з цементобетону набагато краще розподіляє тиск на розташовану під ним основу, ніж асфальтобетонне покриття тієї ж товщини, оскільки модуль цементобетону набагато більше модуля асфальтобетону і властивості більш однорідні за рахунок монолітності. Але внаслідок відмінності в модулях, напруження від розтягування при згині в цементобетоні більше, ніж в асфальтобетонному покритті тієї ж товщини. В результаті, щоб уникнути появи тріщин від розтягування при згині, доводиться влаштовувати досить товсте цементобетонне покриття, хоча це і є зайвим з точки зору його високої розподільчої здатності.

Порівняємо розраховані в програмі CREDO РАДОН UA [6] напруження, що виникають в жорсткій і в нежорсткій конструкціях дорожнього одягу при приблизно однаковій їх капітальності. Як приклад нежорсткого дорожнього одягу приймемо наступну конструкцію, таблиця 1:

**Таблиця 1** – Конструкція нежорсткого дорожнього одягу  
**Table 1** – The design of non-rigid pavement

Но мер п/п	Назва матеріалу конструкції	Розрахункова товщина шару, см	Загальний модуль пружності по шарам, Езаг, МПа
1	Щебеневомастиковий асфальтобетон ЩМА-20 на бітумі БМПА 60/90-53	5.0	530
2	Асфальтобетон щільний на бітумі БНД 60/90, Тип А, Марка I	6.0	445
3	Асфальтобетон щільний на бітумі БНД 60/90, Тип А, Марка I	10.0	336
4	Щебенево-піщані суміші, укріплені цементом М20	18.0	185
5	Щебенево-піщана суміш С5	20.0	114
6	Пісок середньої крупності	34.0	67
7	Суглинок легкий пілуватий	-	30

В якості прикладу жорсткого дорожнього одягу приймемо конструкцію, наведену в таблиці 2.

**Таблиця 2** – Конструкція жорсткого дорожнього одягу  
**Table 2** – The design of rigid pavement

Но мер п/п	Назва матеріалу конструкції	Розрахункова товщина шару, см	Загальний модуль пружності по шарам, Езаг, МПа
1	Важкий бетон класа Bbtb 3.6	26.0	-
2	Піски дрібні, укріплені цементом М40	16.0	185
3	Щебенево-піщана суміш С5	20.0	97
4	Пісок середньої крупності	15.0	47
5	Суглинок легкий пілуватий	-	30

Детальний розрахунок напруженого стану проводився авторами огляду виходячи з точного рішення теорії пружності для багат шарової середовища при одних і тих же розрахункових характеристиках шарів (наведених в таб. 1, 2) [7] для нормативного статичного навантаження на вісь 115 кН (тиск в шинах 0,80 МПа, діаметр штампа 34,5 см). Розрахункова добова кількість прикладень на смугу приведенного навантаження на початковий рік служби становить 994 авт/добу. В якості матеріалу для статті наведені дві типові конструкції дорожнього одягу, але аналіз та розрахунки були виконані з певним кроком товщин матеріалів, змін властивостей основи, обробляючи масив даних. Однак для даного матеріалу достатньо дві типові конструкції.

Розрахунок конструкції дорожнього одягу нежорсткого типу дав наступні результати:

- Напруження на розтяг в шарах із асфальтобетонним покриттям —  $\sigma_r=0,946$  МПа;
- Вертикальне навантаження на ґрунт основи —  $\sigma_z=0,00583$  МПа (з урахуванням розподільчої здатності «с»)

Розрахунок конструкції дорожнього одягу жорсткого типу дав наступні результати:

- Напруження розтягу в цементобетонному покритті —  $\sigma_r=1,298$  МПа;
- Вертикальне навантаження на ґрунт основи —  $\sigma_z=0,00576$  МПа (з урахуванням розподільчої здатності «с»).

Ми отримали при оцінці напруженого стану, що жорсткий дорожній одяг розподіляє тиск на ґрунт земляного полотна краще, хоча його товщина на 4 см менше, ніж жорсткого по покриттю, але загальна товщина конструкції менше на 16 см. Однак напруження від розтягу при згині в цементобетоні в 1,4 рази більше, ніж в асфальтобетоні, при тому, що вони мають приблизно однакову міцність на згин. При влаштуванні покриття з асфальтобетону необхідно збільшити шар з піску (дренуючий шар) в 2 рази, як найкращого матеріалу, розподіляє рівномірно напруги і є найбільш незв'язним і однорідним.

Даний огляд не охоплює усі можливі конструктивні особливості. Має бути порівняння цементобетонних шарів на асфальтобетонній основі, вплив армування та його особливості на розподіл несучої здатності конструкції. І після повного аналізу можна буде рекомендувати впровадження конструкцій із цементобетонним покриттям не лише з економічної точки зору, але й з підтвердженням на розрахунках підвищеної несучої здатності [8].

#### Висновки

Проаналізувавши результати розрахунків на міцність на зсув в ґрунтовій основі конструкції, робимо висновок про доцільність у використанні на практиці конструкцій дорожнього одягу із цементобетонним покриттям у випадках, коли мова йде про розподіл навантаження на товщину на слабких або зволжених ґрунтах земляного полотна, адже раціональність конструкції дорожнього одягу в межах діючих норм по запасу міцності має бути витримана. При міцності заповнювача однаковим кам'яним матеріалом 6-12 МПа, при однакових умовах, на одному ґрунті основи конструкції ведуть себе зовсім по-різному під час моделювання навантаження, що дає право рекомендувати цементобетонне покриття як покриття з кращими розподільчими властивостями для отримання однакових напружень зсуву в незв'язних матеріалах основи.

### Перелік посилань

1. ГБН В.2.3-37641918-559: 2019 Дорожній одяг нежорсткий. Проектування. – К.: Міністерство інфраструктури України, 2019. – 61 с.
2. ГБН В.2.3-37641918-557:2016 Дорожній одяг жорсткий. Проектування. – К.: К.: Міністерство інфраструктури України, 2016. – 71 с.
3. Кандауров И.И. Механика зернистых сред и ее применение в строительстве.- М.: Стройиздат, 1966. – 319 с.
4. Павленко Н.В., Ряпухін В.М., Плевако В.П. Напружений і деформований стани дорожніх одягів перехідного типу з дискретних матеріалів // Науковий вісник будівництва / Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2008. – Вип.47. – С.161-171.
5. С. П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. Пластинки и оболочки, М., Наука, 1966, 635с.
6. <https://credo-ua.com/product/credo-radon/>
7. Мерзликин А. Е., А. К. Приварников. Об использовании адаптивных программ интегрирования при решении прикладных задач теории многослойных оснований. Новое в проектировании конструкций дорожных одежд. Труды СоюздорНИИ. М., 1988, с. 22 – 36.
8. Радовский Б.С. Цементобетонные покрытия в США - конструкции, Автомобильные Дороги, 2015, № 2, с. 48-60.

### INFLUENCE OF THE MECHANISM OF CONTACT INTERACTION OF ELEMENTS ON THE STRESSED AND DEFORMED CONDITION OF DIFFERENT TYPES OF ROAD PAVEMENTS

**Pavlenko Nadiia Volodimirivna**, Ass. Prof., Cand., Eng. Sc., representative of «Credo-Dialogue» in Ukraine, e-mail: pavlenko.nadya@gmail.com, +380958080608, ORCID 0000-0001-5746-6221

**Shuliak Ivan Stanislavovych**, Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Associate Professor of the Department of Road Design, Geodesy and Land Management, e-mail: i.s.shuliak@gmail.com, +380506437690, ORCID 0000-0003-0609-731X

**Abstract.** The proposed solution of stress-strain state for discrete materials under the action of evenly distributed load is based on a natural change in the behavior of discrete layers depending on the coefficient of distribution of materials of the layers themselves when choosing options for pavement structures on weak or wet soils.

In the article it is described how as a result of the analysis of behavior of various types of coverings we have an opportunity for any designs of pavements which are based on incoherent materials, to establish actual value of shear stresses and equivalent modulus of elasticity taking into account the parameter of resolution of discrete materials. real behavior under load. It is also established that the cement-concrete coating is not only more reliable and durable, but also helps to distribute the load in depth several times better and more evenly at much smaller structural thicknesses.

**Keywords:** CREDO RADON UA, road, computer-aided design, repair project, road pavement, strengthening, construction, rigid pavement, elasticity module, a transport stream, calculation method, information support, dynamic or static loading.

### References

1. GBN B.2.3-37641918-559: 2019 Non-rigid road clothes. Designing. - Kyiv: Ministry of Infrastructure of Ukraine, 2019. - 61 p.
2. GBN B.2.3-37641918-557: 2016 Rigid road clothes. Designing. - Kyiv: Kyiv: Ministry of Infrastructure of Ukraine, 2016. - 71 p.
3. Kandaurov II Mechanics of granular media and its application in construction.- М.: Stroyizdat, 1966. – 319 p.
4. Pavlenko NV, Ryapukhin VM, Plevako VP Stressed and deformed condition of road clothes of transitional type from discrete materials // Scientific herald of construction / Kharkiv: KhDTUBA, KhOTV ABU. - 2008. - Vip.47. - P.161-171.
5. SP Tymoshenko, S. Voinovsky-Krieger. Plates and shells, M., Science, 1966, 635 p.
6. <https://credo-ua.com/product/credo-radon/>
7. Merzlikin AE, AK Privarnikov. On the use of adaptive integration programs in solving applied problems of the theory of multilayer bases. New in the design of pavement structures. Proceedings of SoyuzdorNII. M., 1988, p. 22 - 36.
8. Radovsky BS Cement Concrete Coatings in the USA - Structures, Roads, 2015, № 2, p. 48-60.