

С. Й. Солодкий, І. Ю. Думич, Ю. В. Турба  
 Національний університет "Львівська політехніка"  
 кафедра автомобільних доріг та мостів

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ДОРОЖНІХ ОСНОВ ПІД БЕТОННІ ПОКРИТТЯ ІЗ МАТЕРІАЛІВ, УКРІПЛЕНИХ ЦЕМЕНТОМ

© Солодкий С. Й., Думич І. Ю., Турба Ю. В., 2019

Наведено результати експериментальних випробувань моделей бетонних покриттів на піскоцементних основах різної жорсткості в лабораторних умовах статичним і вібродинамічним навантаженням. За результатами експериментів складено рівняння регресії у вигляді залежностей прогинів, напружень і кількості циклів повторних навантажень від товщини плит покриття і жорстких основ. Встановлено, що за несучою здатністю 1 см плити бетонного покриття еквівалентний 1,8–2,0 см товщини піскоцементної основи. Такий висновок впливає із аналізу коефіцієнтів отриманих рівнянь регресії. Так, коефіцієнти при індексах товщин плит бетонних покриттів в 1,8–2,0 рази більші, ніж аналогічні коефіцієнти при індексах товщин плит піскоцементних основ. Така несна здатність жорстких основ проявляється тільки за оптимального співвідношення товщин плит основи та покриття, що становить 0,8–0,9.

**Ключові слова:** бетонні покриття, піскоцементні основи, рівняння регресії.

S. Y. Solodkyy, I. Yu. Dumych, Yu. V. Turba  
 Lviv Polytechnic National University  
 Department of Highways and Bridges

## EFFICIENCY OF ROAD BASES FOR CONCRETE PAVEMENTS FROM CEMENT STABILIZED MATERIALS

© Solodkyy S. Y., Dumych I. Yu., Turba Yu. V., 2019

Today, all the more significant share in the network of highways is occupied by roads with Portland cement concrete pavements. Materials stabilized with Portland cement are increasingly used under rigid pavements, therefore the problem of correct thickness of the basis is of a great importance. Soil cement and gravel-cement bases have considerable dispersion, which leads to a significant increase in the bearing capacity of concrete pavement. In the article the results of experimental tests of models of concrete pavements on the sand-cement basis of different stiffness in the laboratory conditions with static and vibrodynamical loading are given. For this purpose, a testing bench and experimental site of the pavement model at scale 1:3 was constructed at the laboratory of the Department of Highways and Bridges in Lviv Polytechnic National University. Test site consisted of six slabs measuring 2x1 m, connected by type of compression joints. For the two middle slabs the design was constantly changing. The thickness of the concrete slabs was 5, 7 and 9 cm, and the thickness of the sand-cement bases was 0, 5 and 10 cm. Regression equations are presented according to the results of static tests, as well as vibration-dynamical endurance tests, that characterize the dependence of deflections and stresses in the most intense sections of the pavement slabs and the number of cycles of repeated dynamic loads on the thickness of the slabs and the base. Dependences of deflections and stresses on the action of a static load on the thickness of the plates and foundations were sought in the form of first-order regression equations. It is established that the bearing capacity of 1 cm of concrete slab is equivalent to 1.8–2.0 cm thick sand-cement base. Such a conclusion follows from the analysis of the coefficients of the obtained regression equations. Thus, coefficients at the indexes of the thickness of concrete slabs are 1.8–2.0 times

**larger than the similar coefficients at the indexes of the slab thickness of the sand-cement bases. Such bearing capacity of rigid bases can be observed only for an optimal ratio between the thickness of the base and the pavement, which is 0.8-0.9.**

**Key words: concrete pavement, sand-cement bases, regression equation.**

**Вступ.** Сьогодні все вагомішу частку в мережі швидкісних автомагістралей займають дороги із цементобетонними покриттями. Питаннями розрахунку бетонних покриттів як плит на пружній основі займались багато вітчизняних і закордонних вчених. Проте, незалежно від результатів розрахунку, товщину бетонних покриттів переважно визначали конструктивно за досвідом експлуатації побудованих ділянок.

**Огляд наукових джерел і публікацій.** Професор В. Ф. Бабков [1] зазначає, що причиною такого не зовсім обґрунтованого проектування є недостатня вивченість роботи основ під бетонними плитами, що зумовлює недооцінювання їх впливу на несну здатність бетонних покриттів. Залежно від категорії дороги, стійкості верхньої частини земляного полотна і здатності його накопичувати пластичні або нерівномірні деформації, шари основи влаштовують з цементобетону низьких марок за міцністю ( $B_{tb1,0}$ – $B_{tb1,2}$ ); з асфальтобетону; з кам'яних матеріалів, вторинних продуктів виробництва та ґрунтів, укріплених цементом [2], органічними та комбінованими в'язучими; з щебню, шлаку або піску [3]. Сьогодні під бетонні дорожні покриття все ширше застосовують основи із матеріалів, укріплених цементом, що надає проблемі правильного призначення товщини основи особливої актуальності. Цементогрунтові і цементогравійні основи мають значну розподільну здатність, що приводить до істотного підвищення несної здатності бетонних покриттів. Проте, методика розрахунку бетонних покриттів на укріплених цементом основах і на неукріплених є однаковою, що призводить до значного завищення несної здатності конструкції покриття-основа. Врахування жорсткості основи під час розрахунку плити покриття відбувається шляхом введення в розрахунок модуля пружності і коефіцієнта Пуассона матеріалу основи [3].

**Мета та завдання дослідження.** Для обґрунтованого встановлення товщини бетонних покриттів на укріплених цементом основах і товщини основ необхідні експериментальні дослідження роботи таких покриттів в умовах дії повторних динамічних навантажень, тобто випробувань на витривалість. За дії на бетонні покриття повторних динамічних навантажень їх витривалість, як кількість циклів від початку експлуатації до появи тріщин, істотно залежить від типу основи, а за застосування укріплених цементом основ – від співвідношення товщин плит покриття та основи і від наявності зчеплення між ними. Укріплені цементом основи знижують товщину покриття внаслідок сприйняття частини згинального моменту плитою основи. Для дослідження економічної ефективності укріплених цементом основ необхідні експериментальні модельні і натурні випробування покриттів на основах різної жорсткості.

**Експериментальні дослідження.** Для вирішення цих проблем у лабораторії кафедри автомобільних доріг та мостів Національного університету “Львівська політехніка” побудовано випробувальний стенд і дослідну ділянку моделі покриття в масштабі 1:3, що складалась із шести плит розміром 2×1 м, об'єднаних за типом швів стиску. Для двох середніх плит постійно змінювали конструкцію, тобто був реалізований двофакторний експеримент на трьох рівнях. Товщина плит покриття становила 5,7 і 9 см, а товщина піскоцементних основ – 0, 5 і 10 см. Бетон покриттів до моменту випробувань мав міцність на стиск 30–33 МПа, а на розтяг при згині – 4,0, 4,5 МПа, а піскоцемент основи (пісок дрібний плюс 8 % цементу М400) відповідно 4,0–5,0 і 1,2–1,5 МПа. Загалом було випробувано 9 конструкцій покриттів статичним і вібродинамічним навантаженням. Статичні навантаження величиною 20кН створювали за допомогою гідравлічного домкрата і прикладали в центрі плити (позиція 2, рисунок), а також на два штампи, віддалі між якими становила 60 см.

Прогини на позиції 1 (середина вільного краю плити), на позиції 2 (центр плити) і позиції 3 (середина защемленого краю) заміряли за допомогою індикатора годинникового типу точністю 0,01 мм. Згинальні моменти на цих позиціях визначали за кривизною зігнутих перерізів. Статичні навантаження прикладали тільки в пружній стадії. Після статичних випробувань виконували

випробування на витривалість вібродинамічним навантаженням за допомогою спеціальної віброустановки, що створювала максимальне навантаження на два штампи. Випробування кожної конструкції покриття вели до моменту появи тріщини в найбільш напруженому перерізі (середина вільного краю плити) із фіксацією кількості циклів повторних навантажень від початку випробувань.



План лабораторної ділянки покриття  
(цифрами показано номери позицій)

**Оброблення результатів випробувань.** За результатами статичних випробувань, а також вібродинамічних випробувань на витривалість складаємо рівняння регресії, що характеризують залежність прогинів і напружень в найбільш напружених перерізах плит покриття і кількості циклів повторних динамічних навантажень від товщини плит покриття та основи. Залежності прогинів і напружень за дії статичного навантаження від товщини плит покриття і основи шукаємо у вигляді рівнянь регресії першого порядку:

$$\bar{y} = B_0 + B_1 H_1 + B_2 H_2. \quad (1)$$

Коефіцієнт рівнянь регресії знаходимо за допомогою матричного рівняння, що відповідає методу найменших квадратів:

$$B = (X^T X)^{-1} X^T y, \quad (2)$$

де  $X^T X$  – матричний добуток вихідної і транспонованої матриці;  $X^T y$  – матричний добуток транспонованої матриці і дослідних значень функції відклику.

У результаті перетворень і підрахунків отримуємо значення невідомих коефіцієнтів рівнянь регресії для найбільш напружених позицій плити покриття за дії статичного навантаження. Для прогинів центра плити (позиція 2) за навантаження  $P=20$  кН у центрі рівняння регресії має вигляд:

$$y_2 = 0,72 - 0,43 + H_1 - 0,23H_2. \quad (3)$$

Для прогинів середини вільного краю плити (позиція 1) за навантаження  $P=20$  кН на два штампи рівняння регресії таке:

$$y_1 = 0,66 - 0,034H_1 - 0,014H_2. \quad (4)$$

Для напружень розтягу при згині, що діють вздовж плити, за навантаження на два штампи в середині вільного краю плити рівняння регресії має вигляд:

$$\sigma_{1y} = 3,10 - 0,19H_1 - 0,09H_2. \quad (5)$$

Те саме для напружень центра плити, що діють впоперек покриття:

$$\sigma_{2x} = -1,44 + 0,10H_1 + 0,06H_2. \quad (6)$$

У наведених рівняннях 3–6 товщина плит вимірюється в см, прогини – в мм, напруження – в МПа. Залежність кількості циклів повторних динамічних навантажень від початку випробувань до утворення тріщини на краю покриття від товщини плит покриття і основи шукаємо у вигляді рівняння регресії другого порядку:

$$\lg N = B_0 + B_1 H_1 + B_2 H_2 + B_{11} H_1^2 + B_{22} H_2^2 + B_{12} H_1 H_2. \quad (7)$$

Для визначення невідомих коефіцієнтів використовуємо метод найменших квадратів із подальшим записом нормальних рівнянь у матричній формі. Значення кількості циклів повторних навантажень за різних комбінацій товщин плит покриттів і піскоцементних основ приймаємо за результатами експериментальних випробувань моделей покриттів у лабораторії. Отримане рівняння регресії має вигляд:

$$lgN = -6,3 + 1,88H_1 + 1,1H_2 - 0,074H_1^2 - 0,045H_2^2 - 0,055H_1H_2. \quad (8)$$

Перевіряли всі отримані рівняння регресії на адекватність за критерієм Фішера.

### Висновки

1. Аналіз отриманих рівнянь регресії свідчить, що коефіцієнти при індексах товщин плит покриттів в 1,8–2,0 рази більші за коефіцієнти при індексах товщин плит основ. Отже, використовуючи результати експериментальних випробувань моделей бетонних покриттів на жорстких основах статичним і вібродинамічним навантаженням, встановлюємо, що 1 см плити бетонного покриття еквівалентний за несною здатністю приблизно 1,8–2,0 см плити піскоцементної основи.

2. Якщо врахувати, що 1 см товщини бетонного покриття за вартістю еквівалентний 2,4–2,5 см піскоцементної основи, то застосування таких основ економічно вигідно. Проте, як свідчать експерименти, суттєво збільшувати товщину жорстких основ не варто, оскільки існує оптимальне співвідношення товщин плит покриття та основи, і за результатами випробувань на витривалість товщина піскоцементної основи повинна становити 0,8–0,9 товщини покриття без будь-яких прошарків між ними [4].

1. Бабков В. Ф. *Некоторые вопросы расчета толщины бетонных покрытий и оснований // Цементный бетон в дорожном строительстве.* – М.: Дориздат, 1980. – С. 173–199. 2. *Настанова з влаштування шарів дорожнього одягу з кам'яних матеріалів: ДСТУ-Н В.2.3-39:2016.* – [Чинний від 2017-04-01]. – К.: ДП “УкрНДНЦ”, 2017. – 48 с. – (Національний стандарт України). 3. *Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування: ГБН В.2.3-37641918-557:2016.* – [Чинний від 2017-04-01]. – К.: Міністерство інфраструктури України, 2016. – 71 с. – (Національний стандарт України). 4. Думич І. Ю. *Вплив товщини цементогрунтових основ на несучу здатність бетонних дорожніх покриттів / І. Ю. Думич, Ю. В. Турба, С. Й. Солодкий // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. Серія: Теорія і практика будівництва.* – 2018. – № 904. – С. 55–58.

### References

1. Babkov, V. F. (1980). *Nekotoryye voprosy rascheta tolshchiny betonnykh pokrytiy i osnovaniy [Some issues of calculating the thickness of concrete coatings and bases]. Tsementnyy beton v dorozhnom stroitel'stve – Cement concrete in road construction, pp. 173–199. Moscow: Dorizdat [in Russian].* 2. *Nastanova z vlashtuvannya shariv dorozhn'oho odyahu z kam'yanykh materialiv [Guide to arranging layers of road materials made of stone materials]. (2017). DSTU-N B V.2.3-39:2016 from 1<sup>th</sup> April 2017. Kiev: National standard of Ukraine [in Ukrainian].* 3. *Avtomobil'ni dorohy. Dorozhniy odyah zhorstkyy. Proektuvannya [Automobile roads. Road clothes rigid. Designing]. (2016). GBN V.2.3-39:37641918-557:2016 from 1<sup>th</sup> April 2017. Kiev: National standard of Ukraine [in Ukrainian].* 4. Dumych, I. Yu., Turba, Yu. V., and Solodkyy, S. Y. (2018). *Vplyv tovshchyny tsementogruntovykh osnov na nesuchy zdatnist' betonnykh dorozhnikh pokryttiv [Influence of thickness of cement-ground bases on bearing capacity of concrete road surfaces]. Visnyk Natsional'noho universytetu “L'vivs'ka politekhnika”. Seriya: Teoriya i praktyka budivnytstva – Herald of Lviv Polytechnic National University. Series: Theory and Building Practice (№904), Lviv: Lviv Polytechnic National University, pp. 55–58 [in Ukrainian].*