



- © І.П. Гамеляк, докт. техн. наук, професор (НТУ),
- © В.М. Даценко, канд. техн. наук, доцент (ДП “Дорцентр”)

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ЗА НЕСНОЮ ЗДАТНІСТЮ ПРИ КАПІТАЛЬНОМУ РЕМОНТІ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ

**Анотація.** Наведено результати визначення несної здатності та однорідності основи із дробленого щебеню, отриманого в результаті подрібнення старого цементобетонного покриття віброрезонансним методом.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, дорожній одяг, конструкція, несуча здатність, надійність.

**Аннотация.** Приведены результаты определения несущей способности и однородности основания из дробленого щебня, полученного в результате измельчения старого цементобетонного покрытия виброрезонансным методом.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, дорожная одежда, конструкция, несущая способность, надежность.

**Annotation.** The article presents the results of determining the carrying capacity and homogeneity of crushed gravel bases obtained by shredding old cement-concrete covering vibration resonance method.

**Keywords:** road, pavement, construction, load-bearing capacity, reliability.

### Вступ

Необхідність опублікування статті викликана тим фактом, що донині питання прийняття рішення про вид та капітальність ремонту чи реконструкції автомобільних доріг приймаються не за результатами детальних визначень несної здатності конструкцій дорожніх одягів, а на основі досвіду та розрахунків далеких від реального стану речей. У складних ситуаціях досвід може привести до невірних результатів, а розрахунки за застарілими методиками не можуть бути основою для отримання надійних результатів. На сьогодні в нормах України відсутні вимоги до обов'язково визначення несної здатності конструктивних шарів, що є однією з основних причин надзвичайно великої неоднорідності та малої надійності та довговічності українських доріг.

Дана робота виконана на замовлення Служби автомобільних доріг в Чернігівській області.

Випробування були виконані у серпні – вересні 2006 року з використанням методики штампових випробувань. Дана методика удосконалена і є на сьогодні час, незважаючи на порівняно невисоку продуктивність, однією з найбільш точних для визначення пружного прогину та відповідно модуля деформації та модуля пружності зернистих шарів та ґрунту земляного полотна.

Дослідження загалом складалось з декількох етапів:

- 1) збір даних про конструкцію дорожнього одягу;
- 2) проведення візуальних та інструментальних обстежень стану дорожнього одягу за міцністю та деформативністю;

- 3) камеральна обробка й аналіз отриманих результатів.

Результати досліджень стали основою для прийняття рішень при реконструкції автомобільної дороги Кіпті – Глухів – Бачівськ.

### Методика штампових випробувань

Перед випробуваннями установку готують до виїзду на місце випробувань: виконується тарування месдозы в контрольно-вимірювальній лабораторії (рис. 1), встановлюється тарувальна крива, яка характеризує залежність показів манометра месдозы від навантаження що прикладається, розраховується інтенсивність навантаження на штамп (в МПа).

Модуль пружності визначали за даними кривої загального осідання. Визначення деформативності при цьому, відповідно з основною схемою розрахунку, передбачає дію на конструкцію через жорсткий штамп однократного статичного навантаження, яке прикладається ступенями заданої величини 0,1 МПа, 0,3 МПа, 0,5 МПа та 0,6 (0,8) МПа з попереднім обтисненням навантаженням 0,5 МПа до повного затухання осідання від навантаження на кожному ступені.

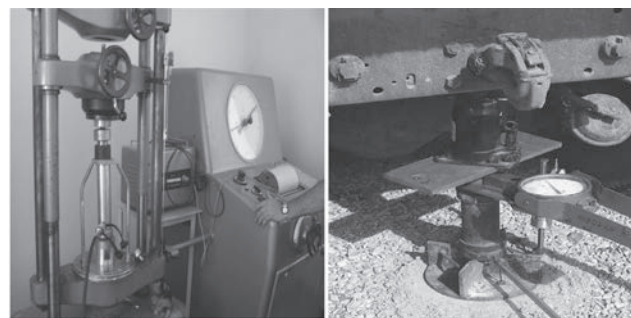


Рис. 1. Тарування месдозы (а) та установка жорсткого штампа перед випробуваннями (б)

Пружний прогин на ділянках вимірювали двома балками, що були розміщені з двох боків від штампа (рис. 2). У подальшому використовували одну балку конструкції МАДІ.



а) б)

**Рис. 2.** Вимірювання пружного прогину двома балками: установкою жорсткого штамп (а) та під колесами автомобіля (б)

Приклад результатів штампових випробувань на поверхні шару дробленого цементобетону на автодорозі Кіпті – Глухів – Бачівськ наведено на **рис. 3**.

Для переходу від пружного прогину поверхні покриття до загального модуля пружності дорожнього одягу використовували відому залежність:

$$E_{заг} = k \frac{pD(1 - \nu^2)}{l}, \text{ МПа}, \quad (1)$$

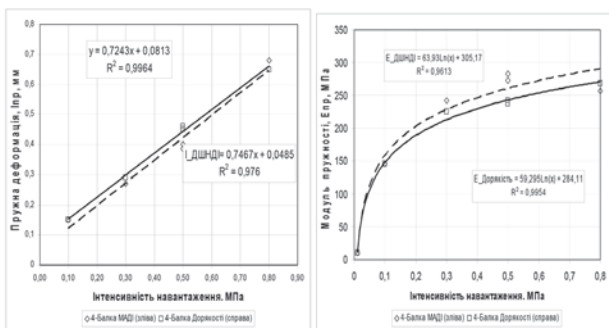
де  $k$  – коефіцієнт, який залежить від способу навантаження;

$p$  – тиск на контакт шини-покриття, кг/см<sup>2</sup> (з урахуванням вимірюваних і вирахованих значень параметрів  $p = Q/(2S)$ );

$Q$  – навантаження на задню вісь, кг;

$n$  – коефіцієнт Пуассона, який приймали рівним 0,3;

$l$  – пружний прогин поверхні покриття, мм.



**Рис. 3.** Приклад результатів штампів випробування на поверхні шару дробленого цементобетону на автодорозі Кіпті – Глухів – Бачівськ

Згідно з ВБН В.2.3-218-186 загальний модуль пружності при випробуванні здвоєним колесом визначають за формулою:

$$E_{заг} = \frac{Q \cdot (1 - \bar{\nu}^2)}{0,4 \cdot \pi \cdot D \cdot \omega}, \quad (2)$$

де  $\bar{\nu} \approx 0,5 \cdot (\nu_1 + \nu_2)$  – коефіцієнт Пуассона;

$Q$  – загальне навантаження на колесо, т;

$\omega$  – пружний прогин конструкції між балонами, м;

$D$  – діаметр умовного круглого гнучкого штамп, який передає навантаження на покриття.

Враховуючи, що загальне навантаження  $Q$  можна записати через добуток площі  $S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$  на інтенсивність навантаження  $p$  (тиск) після підстановки значень у формулу (2) отримуємо формулу для визначення загального модуля пружності дорожнього одягу при випробуванні колесом автомобіля:

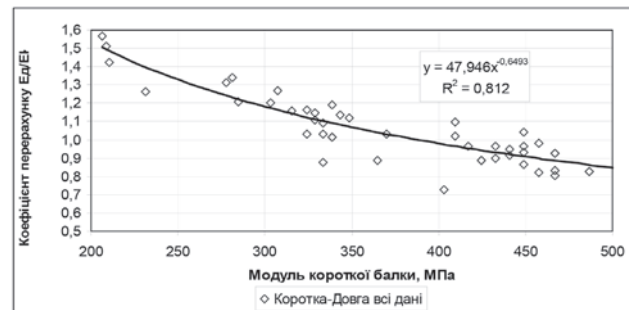
$$E_{заг} = \frac{pD(1 - \bar{\nu}^2)}{1,6 \cdot \omega}. \quad (3)$$

Наприклад, для випадку використання автомобіля МАЗ-5511 № 8089 маємо  $p = 0,43$  МПа та  $D = 38,1$  см, тоді  $E_{заг} = 0,56875 \cdot 0,43 \cdot 38,1 \cdot 10 / \omega = 93,178 / \omega$ , де  $\omega$  – пружний прогин в мм.

Заміри виконували прогиномірами МАДИ-ЦНИЛ (коротко базова балка співвідношення важелів 1:1, ціна поділки датчика 0,01 мм) і КП-204 (довго базова балка співвідношення важелів 1:2, ціна поділки датчика 0,001 мм). Для приведення результатів вимірювання короткою балкою до довгобазової (марки КП-204) можна використовувати залежність отриману при проведенні обстежень доріг за програмою TASCIS у 1999–2000 рр.

$$\omega_d = \omega_k K_{Д/К} = 0,1705 + 0,8437 \omega_k. \quad (4)$$

Звідки була отримана залежність для коефіцієнта приведення в залежності від модуля отриманого короткою балкою (**рис. 4**).



**Рис. 4.** Коефіцієнт приведення результатів вимірювань довгою та короткою балкою при випробуваннях під колесом автомобіля

Для одержання приведених до температури +10 °С значень прогину використовували методику ВСН 46-83, яка розширена та доповнена одним із авторів. При цьому приведені до розрахункового періоду прогин визначають за формулою:

$$\omega_0 = K_t \omega_\phi, \quad (5)$$

де  $K_t$  – коефіцієнт приведення до температури +10 °С;

$\omega_\phi$  – фактичне значення прогину.

Для визначення  $K_t$  пропонується апроксимуюча формула:

$$K_t = A(h) - B(h) \ln t, \quad (6)$$

де  $t$  – температура поверхні покриття, °С, в діапазоні від +1 °С до +50 °С.



Таблиця 1

Порівняння результатів розрахунків при вимірюванні загального модуля пружності за різними методиками

Відстань, км	Спосіб визначення модуля пружності						Відношення
	Під колесом автомобіля			При штампових випробуваннях			
	Коротка	Довга	Середнє	Коротка	Довга	Середнє	
	$E_k$	$E_d$		$E_{ш_к}$	$E_{ш_д}$		
38 900	303,2	364,8	334,0	349,4	348,3	348,8	1,044
40 800	364,8	324,3	344,6	341,4	344,2	342,8	0,995
40 900	432,4	417,0	424,7	384,7	341,9	363,3	0,856
41 000	278,0	364,8	321,4	299,8	368,7	334,3	1,040
41 075	262,4	449,0	355,7	361,0	351,1	356,1	1,001

Таблиця 2

Результати статистичної обробки даних розрахунку загального модуля пружності на поверхні кожного шару дорожнього одягу

ПК положення	Загальний модуль пружності, МПа				
	по подрібненому ц/б	по чорному щебеню	по пористому а/б	по шільному а/б	по ЩМА
Середнє значення	165	276	371	437	600
Мінімальне	45	159	209	351	398
Макимальне	300	346	634	645	863
Розмах	255	187	425	294	465
СКВ	56,16	55,54	75,89	54,29	108,67
Коефіцієнт варіації	33,9	20,1	20,5	12,4	18,1

$A(h)$ ,  $B(h)$  – коефіцієнти, які залежать від товщини асфальтобетонного шару покриття і для випробування колесом автомобіля визначають за формулами:

$$\begin{aligned} A(h) &= 0,865 + 0,2371 \ln(h), \\ B(h) &= -0,0645 + 0,1085 \ln(h). \end{aligned} \quad (7)$$

#### Результати вимірювань

За уточненою методикою виконано обробку даних інструментальних обстежень. Результати статистичної обробки наведено у табл. 1.

Результати визначення однорідності ділянок автомобільної дороги за несною здатністю

Статистична обробка даних по ділянках з врахуванням підрядників, що виконували роботи наведена у табл. 2.

Штампові випробування дробленого цементобетону на автодорозі Кіпті – Глухів – Бачівськ показали що щебенування на ділянках із заляганням в якості основи слабких ґрунтів не вдається досягти загального модуля пружності 150 МПа (рис. 5). В результаті на ділянках з модулем пружності 50 –

100 МПа при проході будівельної техніки виникають проблеми із забезпеченням проїзду. Влаштування навіть 16 см чорного щебеню не дозволяє рухатися сучасним транспортним засобам з масою більше 20 т. Тому, враховуючи залягання на ділянці існуючого одягу за торфованих ґрунтів руйнування плит, які забезпечують розподіл напружень на достатній площі, не рекомендується.

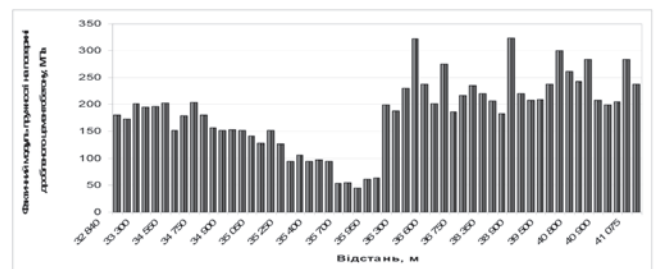


Рис. 5. Зміна загального модуля пружності на поверхні зруйнованого бетонного покриття на АД Кіпті – Глухів – Бачівськ



Щебенування в результаті розбивання існуючого покриття (жорсткого) на малі уламки дозволяє отримувати високоякісний основний кам'яний матеріал з модулем пружності шару більше 350 – 450 МПа. На поверхні ділянок із навіть недостатньо міцною основою та піщаним ґрунтом земляного полотна отримується загальний модуль пружності 200 – 250 МПа.

Отримані дані пошарового вимірювання несної здатності та однорідності дозволяють вирішувати ряд важливих задач, а саме:

- 1) оцінити якість будівництва в залежності від неоднорідності шарів, що розташовані нижче;
- 2) врахувати якість влаштування шарів різними підрядниками;
- 3) розрахувати надійність конструкції дорожнього одягу після здачі в експлуатацію.

### Висновки

1. Випробувані ділянки ПК 62 – ПК 65 та ПК 93 – ПК 95 характеризуються недостатньою несною здатністю (середній загальний модуль пружності на поверхні покриття становить 133 МПа та 113 МПа), хоча ділянки є достатньо однорідними (коефіцієнт варіації відповідно 15,3 % та 19,0 %). У точках максимального перезволоження  $E_{заг} = 93$  МПа. Це свідчить про проблеми із забезпеченням несної здатності при експлуатації та можливі проблеми при русі технологічного транспорту масою більше 10 т по даних ділянках автомобільної дороги.

2. Ділянка від ПК 365+50 до ПК 359+50 потребує заміни ґрунту в межах не менше активної зони, так як загальний модуль пружності змінюється від 45 МПа до 63 МПа, що недостатньо для забезпечення несної здатності конструкції в цілому. Розрахунки показують, що в основі знаходиться слабкий ґрунт, скоріш за все торф'янистий, з модулем деформації 5 МПа. Тому необхідні більш детальні геологічні обстеження цієї ділянки.

3. Для ліквідації слабких ділянок можливі такі варіанти рішень: 1) зняття конструктивних шарів до меж активної зони із заміною слабких ґрунтів земляного полотна на привозні, які характеризуються більшою міцністю. 2) осушення ґрунту земляного полотна за рахунок влаштування прикромочного дренажу на достатньому для відведення води рівні. 3) підвищення несної здатності без розбору конструкції шляхом розподілу геотекстильного матеріалу типу Тайпар SF 77 з послідуєчим розподілом по поверхні 15 см білого щебеню або щебеневої суміші. 4) просочування дробленого бетонного шару бітумною емульсією з посипкою кам'яним дріб'язком фр. 3 – 6 мм.

4. Випробувані ділянки № 10 - 12 характеризується навпаки досить значною несною здатністю ( $E_{заг} = 183 - 323$  МПа та  $E_{заг} = 200 - 284$  МПа), що перевищує характерні значення для типових крупно уламкових скельних порід (160 – 250 МПа).

5. Середнє значення несної здатності становить 233 МПа для ділянки №3 та 240 МПа для ділянки №4 при достатньо низькому значенні коефіцієнта

варіації, відповідно 19,0 % та 14,4 %. Для порівняння, для щебеневого шару коефіцієнт варіації звичайно в два три рази більший і складає 25 – 40 %. Наприклад, для асфальтобетону коефіцієнт варіації змінюється в межах 7 – 20 %.

6. Розрахункове значення загального модуля пружності на поверхні шару із дробленого цементобетону (табл. 5) при використанні резонансного методу при рівні надійності 0,95 (коефіцієнт Стюдента рівний 1,71) становить 157 МПа та 181 МПа відповідно на ділянках 5 – 8 та 10 – 12, що є достатнім для влаштування асфальтобетонних шарів основи та покриття.

Фактично вперше в Україні проведено пошарові систематичні обстеження несної здатності конструкції дорожнього одягу окремої автомобільної дороги при її реконструкції. Подібні дослідження є поширеною практикою ремонтів доріг закордоном. Так в Німеччині, Франції, Великобританії не дозволяється виконувати роботи по влаштуванню основи поки не буде досягнуто значення модуля пружності на рівні додаткової основи 150 МПа.

Проведені обстеження дороги Кіпті – Глухів – Бачівськ були виконані в серпні – листопаді 2006 року. Дослідження в осінній період 2006 р. виконувалися при температурах від +30 °С до +5 °С. У відповідності з ВБН В.2.3-218-186 необхідно приведення отриманих даних до розрахункової температури +10 °С.

Отримані характеристики однорідності є основою для прогнозування поведінки конструкції дорожнього одягу при експлуатації, деградації елементів конструкції та розрахунку витрат на ремонт.

Отримані дані дозволяють виконати розрахунок надійності конструкції дорожнього одягу за несною здатністю згідно із запропонованою методикою.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Інструкція по проектуванню дорожніх одягів нежесткого типу // ВСН 46-83. – М.: Транспорт, 1985. – 110 с.
2. Мерзликин А.Е., Гамеляк И.П. Испытание конструкций дорожных одежд для оценки эффективности применения дисперсно-армированного асфальтобетона // Конструирование, расчет и испытание дорожных одежд : Тр. Союздорнии. – М., 1990. – С. 17–25.
3. Белан А.А., Радовский Б.С. Определение модуля упругости при обследовании дорожных одежд // Автомобильные дороги. – 1980. – № 5. – С. 6–7.
4. Гамеляк И.П., Лаптева Н.С. Неоднородность дорожнього одягу за критерієм зсуву в ґрунті земляного полотна // Автомоб дороги і дор. буд-во. – 1997. – Вип. 54. – С. 85–91.
5. Лантух-Лященко А.І. Теоретичні засади визначення надійності мостів // Вісник ЦНЦ ТАУ. – 2000. – С. 15–17.