

АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ



УДК 625.7/8

- © С.А. Гладун, директор,
- © Ф.П. Гончаренко, канд. техн. наук, заст. головн. інж. (ДП “Укрдінпродор”)

ОБҐРУНТУВАННЯ КІЛЬКОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ ДОСТОВІРНОЇ ОЦІНКИ МІЦНОСТІ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Анотація. На основі проведених досліджень наведено методика визначення необхідної кількості вимірювань модуля пружності дорожнього одягу на ділянці автомобільної дороги для достовірної оцінки його міцності.

Ключові слова: автомобільна дорога, міцність дорожнього одягу, модуль пружності, проектування дорожнього одягу.

Аннотация. На основе проведенных исследований приведена методика определения необходимого количества измерений модуля упругости дорожной одежды на участке автомобильной дороги для достоверной оценки ее прочности.

Ключевые слова: автомобильная дорога, прочность дорожной одежды, модуль упругости, проектирование дорожной одежды.

Annotation. On the basis on conducted researches the methodology on determining the necessary amount of measures of voltage module of road clothes on road section for accurate assessment of its staying qualities.

Keywords: road, pavement strength, elastic modulus, pavement design.

Вступ

Дорожній одяг на існуючих дорогах відзначається високою неоднорідністю як в поперечному профілі, так і по довжині дороги. Тому, для розроблення оптимальної конструкції дорожнього одягу при його посиленні або розширенні на стадії реконструкції або капітального ремонту дороги, необхідне його детальне обстеження з використанням різних методів, інструментів і пристроїв.

Переважає більшість руйнувань дорожнього покриття виникає через недостатню міцність дорожнього одягу, зокрема через недостатній модуль пружності.

Без визначення модуля пружності на поверхні покриття існуючого дорожнього одягу, призначити надійну й ефективну конструкцію посилення останнього неможливо. Постає закономірне запитання, щодо необхідної кількості вимірювань для отримання достовірних результатів.

Основна частина

Практика проектування дорожнього одягу з використанням існуючих конструкцій у проектах реконструкції або капітального ремонту автомобільних доріг державного значення, показала, що в цих випадках, як правило, виникає багато проблем.

Насамперед, це пов'язано з тим, що більшість існуючих автомобільних доріг набули свого нинішнього стану, пройшовши шлях неодноразової трансформації від бруківки шириною 4–5 м до дороги з параметрами I категорії, відповідно, з перебудовою існуючого дорожнього одягу шляхом посилення, розширення проїзної частини та надання покриттю односкатного поперечного профілю.

При всіх цих трансформаціях використовувалися матеріали і технології, які існували на час виконання зазначених робіт. Як правило, дорожній одяг перебудовували окремими ділянками з використанням різних проектних рішень, різних матеріалів і різної товщини шарів дорожнього одягу.

В результаті, конструкція дорожнього одягу на існуючих дорогах відзначається високою неоднорідністю як в поперечному профілі, так і по довжині дороги. В окремих випадках, ділянки з вирівнювачим шаром із чорного щебеню та із грубозернистого асфальтобетону можуть змінювати одна одну через 30–50 м.

У той же час, в існуючих паспортах доріг наведена лише загальна інформація про конструкцію дорожнього одягу і, як правило, конструкція представлена однотипною на значній довжині дороги. Даних про зміни конструкції дорожнього одягу



Таблиця 1

Значення модуля пружності

Ліва проїзна частина			Права проїзна частина				
Точка вимірювання		Модуль пружності E, МПа	Середнє значення модуля пружності \bar{E} , МПа	Точка вимірювання		Модуль пружності E, МПа	Середнє значення модуля пружності \bar{E} , МПа
км	+(м)			км	+(м)		
404	000	298	271	404	000	194	173
404	117	297		404	094	170	
404	234	285		404	219	172	
404	355	243		404	329	173	
404	476	267		404	439	170	
404	588	277		404	543	80	
404	628	209		404	653	82	
404	726	209		404	756	80	
404	804	-		404	859	81	
404	937	-		404	917	182	
405	000	263		405	000	195	
405	168	276		405	018	201	
405	202	275		405	185	189	
405	260	251		405	336	184	
405	416	274		405	422	184	
405	419	285		405	567	204	
405	604	285		405	621	194	
405	649	283		405	691	169	
405	841	298		405	813	156	
405	859	299		405	910	154	
406	000	267		406	000	186	
406	203	276		406	146	192	
406	211	276		406	199	207	
406	357	281		406	316	216	
406	412	272		406	427	215	
406	441	229		406	592	169	
406	619	273		406	632	191	
406	662	310		406	659	207	
406	795	283		406	824	207	
406	879	256		406	911	199	

Крім того, немає ніякої впевненості, що при будівництві були повністю виконані проектні рішення щодо конструкції дорожнього одягу. До того ж, нічого не відомо про стан земляного полотна в його робочому верхньому шарі.

Таким чином, можна констатувати, що для конструювання дорожнього одягу використовувати існуючі паспорти автомобільних доріг та проектні матеріали попередніх періодів практично неможливо.

Свого часу проектувальники Укрдпродору мали багато проблем з конструкцією дорожнього одягу на дорозі М-06 Київ – Чоп на окремих ділянках перегону Львів – Броди при реалізації спільного з Європейським банком реконструкції і розвитку інвестиційного проекту капітального ремонту зазначеної дороги. А все тому, що не були виконані детальні дослідження існуючої конструкції дорожнього одягу. За даними, які отримуються при виконанні буріння однієї свердловини на 300 м (відповідно з існуючими нормативами) запроектувати надійну конструкцію посилення можна тільки володіючи надзвичайними інтуїтивними здібностями.

Тому, для розроблення оптимальної конструкції дорожнього одягу при його посиленні або розширенні на стадії реконструкції або капітального ремонту дороги, необхідне детальне обстеження існуючого дорожнього одягу з використанням різних методів, інструментів і пристроїв.

по ширині і довжині дороги у зазначених паспортах практично немає.

Теоретично, при конструюванні дорожнього одягу на ділянках реконструкції чи капітального ремонту можна було б використовувати матеріали попередніх проектів. Але, як правило, вони уже списані і в архівах їх немає. Проте, навіть у тих рідких випадках коли зазначені проектні матеріали збереглися, вони не дають повної картини щодо конструкції дорожнього одягу у зв'язку з тим, що під час розробки зазначених проектів також не було достовірної інформації про параметри та конструкцію існуючого на той час дорожнього одягу.

Це досить трудомісткий і довготривалий процес. Вартість цих робіт немала, але часто вони не враховуються замовниками при складанні тендерної документації на визначення проектанта. Проте, без надійної діагностики існуючого стану дорожнього одягу, витрати на перебудову дорожнього одягу через помилкові проектні рішення у десятки і сотні разів можуть перевищувати витрати на детальне обстеження існуючого дорожнього одягу.

Тому, дуже важливо перед розробленням проектів реконструкції або капітального ремонту автомобільних доріг виконати передпроектні роботи, які



Таблиця 2

Розрахунки необхідної кількості вимірювань міцності дорожнього одягу

Показники	Ліва проїзна частина	Права проїзна частина
Середнє значення модуля пружності, \bar{E}	271	173
Дисперсія, D	495	1779
Середнє квадратичне відхилення, σ	22	42
Кількість виконаних вимірювань, K	28	30
Виправлене стандартне відхилення, S	24	108
Середня помилка спостережень, μ	5	20
Значення функції довірчої ймовірності, t	1,96	1,96
Допустима гранична похибка, ϵ	14	9
Необхідна кількість вимірювань, n	10	91

полягають у зборі та аналізі інформації про існуючий дорожній одяг.

Згідно з ДБН А.2.2-3-2014 [1] передпроектні роботи – це роботи, які можуть виконуватись до початку процесу проектування для визначення принципів об'ємно-просторових та містобудівних рішень. Саме на цьому етапі необхідно визначити стан дорожнього одягу, як одного з найважливіших та найдорожчих елементів автомобільної дороги.

При обстеженні дорожніх одягів, як правило, зустрічається весь спектр руйнувань: лушення, викришування, вибоїни, гребінка, зміщення, колійність, просідання, проломи, руйнування країв, руйнування деформаційних швів, тріщини загальні (поперечні), сітка тріщин, тріщини по лінії нахату (поздовжні), косі тріщини тощо.

Переважає більшість руйнувань виникає саме через недостатню міцність дорожнього одягу, зокрема через недостатній модуль пружності.

Для прикладу, в табл. 1 надані результати вимірювань модуля пружності дорожнього одягу на автомобільній дорозі М-05 Київ – Одеса на ділянці від км 404+000 до км 407+000, виконані дорожньою лабораторією ДП “Укрдпродор” у 2014 р. на етапі виконання передпроектних робіт.

Аналіз даних табл. 1 засвідчує досить великий розкид вимірних значень модуля пружності – від 80 МПа до 216 МПа для правої проїзної частини та від 209 МПа до 310 МПа для лівої проїзної частини.

Виходячи із сказаного вище, що без визначення модуля пружності на поверхні покриття існуючого дорожнього одягу призначити конструкцію посилення неможливо, постає закономірне запитання, щодо необхідної кількості вимірювань для отримання достовірних результатів.

Відповідно до п. Н.10.8 [2] “За результатами візуального обстеження й оцінки міцності дорожнього

одягу виділяють ділянки дороги, що характеризуються визначеним станом покриття і близькими за величиною вимірними прогинами дорожнього одягу. При виділенні характерних ділянок дороги необхідно, щоб кількість вимірів була достатньою для надійного оцінювання міцності. На окремих ділянках доріг можуть мати місце окремі локальні руйнування, пов'язані, наприклад, з перезволоженням ґрунтів земляного полотна і неукріплених шарів основи, які слід виділяти незалежно від їхньої довжини.

Для кожної з виділених характерних ділянок дороги величини l_p виписують у єдині статистичні ряди і визначають середнє арифметичне значення l_{cp} , середньоквадратичну помилку σ_l . Прогин l_q , що характеризує ділянку дороги із заданою надій-

ністю при даному числі точок $n > 12$ на ділянці у яких вимірюється прогин, визначається із залежності (Н7) [2]: $l_q = l_{cp} + t \sigma_l$, де t – коефіцієнт нормованого відхилення, що залежить від заданого рівня надійності і числа точок, на яких зроблені випробування (таблиця Н.3 [2]).

За обчисленим значенням прогину l_q і параметрами навантаження визначають фактичний модуль пружності одягу за формулою (Н.4 [2]).”

Аналіз вимог зазначеного п. Н.10.8 [2] показує, що виконуючи інструкції передбачені в ньому, практично неможливо відповісти на поставлене вище запитання щодо необхідної кількості вимірювань для достовірної оцінки його міцності і послідовних розрахунків підсилення дорожнього одягу.

У роботі [3] встановлено, що із збільшенням кількості вимірювань, коливання частот прогинів зменшуються і за 20-ти – 30-ти випробувань на 1 км, практично, стають неістотними. Незалежно від подальшого збільшення кількості вимірів і стану обстежуваних покриттів частоти прогинів коливаються в постійних межах, визначаючи положення достовірної кривої розподілу прогинів.

Дані зазначених випробувань свідчать про значну неоднорідність за прогином, а відповідно, і за міцністю обстежених дорожніх конструкцій. Проте, характер розподілу не залежить від стану покриттів і конструктивних особливостей обстежених дорожніх одягів.

Для отримання кривих розподілу прогинів дорожніх покриттів вираховувались показники асиметрії та ексцесу до їх помилок, які в усіх випадках не перевищували 3,9 [4]. Це дозволило вважати отримані розподіли як такі, що підкоряються закону нормального розподілу [5].



Враховуючи результати зазначених досліджень для відповіді на запитання щодо необхідної кількості вимірювань для достовірної оцінки його міцності і послідовних розрахунків підсилення дорожнього одягу доцільно застосувати відомі методи математичної статистики.

Необхідну і достатню кількість вимірювань міцності дорожнього одягу можна визначити за формулою:

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\varepsilon^2}, \quad (1)$$

де t – функція довірчої ймовірності, зокрема для довірчої ймовірності 0,95 (коефіцієнт надійності для доріг I-б категорії) значення $t = 1,96$;

σ – середнє квадратичне відхилення;

ε – допустима гранична помилка.

Середнє квадратичне відхилення σ є квадратним коренем з дисперсії D , що характеризується розсіюванням випадкової величини біля середнього значення модуля пружності \bar{E} та визначається за формулою:

$$D = \sum (E_i^2 \cdot P_i) - \bar{E}^2, \quad (2)$$

де E_i – кожне із груп значень модуля пружності;

P_i – відповідна кількість кожної із груп значень у частках одиниці.

Для визначення допустимої граничної похибки ε спочатку необхідно знайти виправлене стандартне відхилення S з урахуванням малого обсягу вимірювань:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (E_i - \bar{E})^2}{K - 1}}, \quad (3)$$

де K – кількість вимірювань (попередніх).

Середню помилку спостережень μ розраховують за формулою:

$$\mu = \frac{S}{\sqrt{K}}. \quad (4)$$

Звідси допустима похибка вимірювань:

$$\varepsilon = t \cdot \mu. \quad (5)$$

На практиці, величину допустимої похибки вимірювань ε можна призначати, як для більшості інженерних розрахунків, рівною 5 % від середнього значення модуля пружності \bar{E} .

Таким чином, отримані всі дані для визначення необхідної кількості вимірювань міцності дорожнього одягу за формулою (1).

Розрахунки для наведеної ділянки дороги зведені в табл. 2.

Аналіз даних табл. 2 показує, що на автомобільній дорозі М-05 Київ – Одеса на ділянці від км 404+000 до км 407+000, з метою отримання достовірних результатів, для лівої проїзної частини

достатньо навіть 10 вимірів міцності дорожнього одягу, а для правої проїзної частини необхідно виконати 91 вимір, або в середньому не менше 30 вимірів на 1 км.

Слід відмітити, що ці результати збігаються з висновками, зробленими в роботі [3], що із збільшенням кількості вимірювань, коливання частот прогинів (міцності) зменшуються і за 20-ти – 30-ти випробовувань на 1 км практично стають неістотними.

Із даних табл. 1 і табл. 2 видно, що на етапі передпроектних робіт для лівої проїзної частини виконано 28 вимірювань. Отже, отримані результати міцності дорожнього одягу є достовірними і вони можуть бути використані для визначення розрахункового модуля пружності та прийняття проектних рішень з його підсилення на стадії проектування. У той же час, не дивлячись, що для правої проїзної частини виконано 30 вимірювань, цього недостатньо. На стадії проектування необхідно ще виконати не менше 61 вимірювання. Це було враховано при розробленні робочих проектів “Корегування проектно-кошторисної документації капітального ремонту автомобільної дороги державного значення Київ – Одеса на ділянках км 402+500 – км 405+000, км 405+000 – км 407+000, км 407+000 – км 409+000, Одеська область”.

Висновки

Запропонована методика визначення необхідної кількості вимірювань міцності дорожнього одягу на ділянці автомобільної дороги для достовірної оцінки його міцності з метою наступного конструювання і розрахунків необхідного підсилення апробована на реальних об'єктах і показала свою прийнятність для практичного застосування.

Зазначену методику необхідно використовувати на стадії виконання передпроектних робіт для розроблення тендерної документації та на етапі інженерних вишукувань для розроблення проектно-кошторисної документації на реконструкцію або капітальний ремонт автомобільних доріг загального значення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Державні будівельні норми України. Склад та зміст проектно-кошторисної документації на будівництво. ДБН А.2.2-3-2014. – К.; Мінрегіон України, 2014. – 25 с.
2. Відомчі будівельні норми України. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. ВБН В.2.3-4-218-186-2004. – К. Державна служба автомобільних доріг України “Укравтодор”, 2004. – 176 с.
3. Апестин В.К., Шак А.М., Яковлев Ю.М. Испытания и оценка прочности нежестких дорожных одежд. – М. “Транспорт”, 1977. – 102 с.
4. Апестин В.К., Дудаков А.И., Шак А.М. О рациональном объеме испытаний нежестких дорожных одежд. – “Труды Гипродорнии”, 1975. Вып. 10. – С. 83 – 92.
5. Леонтьев Л.Н. Техника статистических вычислений. – М. “Лесная промышленность”, 1966. – 175 с.