

# АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ



УДК 625.7/8

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

## ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО МОДУЛЯ ПРУЖНОСТІ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ У ПРОЕКТАХ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

**Анотація.** На основі проведених досліджень наведено методику визначення розрахункового модуля пружності існуючих дорожніх одягів у проектах реконструкції та капітального ремонту автомобільних доріг із метою проектування надійної конструкції підсилення зазначеного дорожнього одягу за мінімальної його вартості.

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

**Аннотация.** На основе проведенных исследований приведена методика определения расчетного модуля упругости существующих дорожных одежд в проектах реконструкции и капитального ремонта автомобильных дорог с целью проектирования надежной конструкции усиления упомянутой дорожной одежды при минимальной ее стоимости.

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

**Annotation.** Based on the research methodology of determining the estimated elastic modulus of existing pavements projects reconstruction and repair of roads to design robust design reinforcing the pavement at the minimum of its value.

**Keywords:** road, pavement strength, elastic modulus, engineering design pavement reinforcement.

### Вступ

Автомобільна дорога — це складна інженерна лінійна споруда, призначена для руху транспортних засобів з високими показниками швидкості, безпеки, комфорту та економічності. Проте, користувачі роблять висновки про якість дороги насамперед за рівністю покриття, інформативним забезпеченням дороги та рівнем безпеки. Саме від цих чинників, в основному, залежить “комфортність” руху дорогами.

Тому сьогодні проектувальники зобов’язані проектувати дорожній одяг, а особливо дорожнє покриття так, щоб за мінімально можливої вартості їх якість відповідала тим високим зразкам, які спостерігаються у розвинутих Європейських країнах.

При проектуванні дорожнього одягу з використанням існуючих конструкцій у проектах реконструкції або капітального ремонту зазвичай виникає багато проблем, насамперед тому, що дорожній одяг на існуючих дорогах по їх довжині має як істотні відмінності за конструкцією, так і за міцністю.

Тому надзвичайно важливо прийняти оптимальне рішення щодо розрахункового значення модуля пружності існуючого дорожнього одягу. Якщо за розрахун-

кове призначити середнє значення модуля пружності на ділянці, то після підсилення на половині довжини ділянки міцність дорожнього одягу виявиться недостатньою і досить швидко на покритті з’являться різноманітні деформації, а потім взагалі відбудуться незворотні руйнування. Якщо ж за розрахункове призначити мінімальне значення модуля пружності, то практично на всій довжині ділянки міцність дорожнього одягу виявиться невинувато завищеною, а відповідно, невинувато завищеною виявиться і його вартість.

### Основна частина

Відповідно до вимог п. 8.1.5 ДБН В.2.3-4:2007 [1] “Дорожній одяг необхідно проектувати з урахуванням надійності, яка забезпечує безвідмовну роботу конструкції протягом встановленого нормативного терміну служби. Кількісним показником коефіцієнта надійності є відношення довжини міцних ділянок без пошкоджень і деформації до загальної довжини ділянки дороги на останній рік наміченого строку служби.

При відповідному техніко-економічному обґрунтуванні нормативний строк служби дорожнього одягу необхідно приймати рівним строку служби дорожнього



одягу між капітальними ремонтами. При цьому необхідно враховувати темпи приросту інтенсивності і змін складу руху та завантаженості транспортних засобів у перші 5 років експлуатації дороги”.

Відповідно до зазначеного пункту, автомобільні дороги залежно від категорії повинні мати коефіцієнт надійності  $K_n$  згідно з даними, що наведені у **табл. 1**.

**Таблиця 1**

**Значення коефіцієнтів надійності для доріг різних категорій**

Категорія дороги	I-а	I-б – II	III	IV	V
Коефіцієнт надійності $K_n$	0,97	0,95	0,90	0,85	0,75

У **табл. 2** наведені 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 році.

Аналіз даних **табл. 2** 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.

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

У роботах [2, 3] автори обґрунтували необхідну кількість вимірювань модуля пружності дорожнього одягу на ділянці автомобільної дороги для достовірної оцінки його міцності та для ідентифікації відрізків на зазначеній ділянці з рівнозначною міцністю дорожнього одягу. Проте, питання щодо значення розрахункового модуля пружності для прийняття оптимальних рішень щодо конструкції підсилення дорожнього одягу на кожному відрізку дороги все ще залишається відкритим.

Відповідно до п. 4.6.4 СОУ 45.2-00018112-042:2009 [4] “у випадку, коли на поперечниках визначалися безпосередньо значення модулів пружності одягу, фактичний модуль пружності дорожнього одягу ділянки дороги в цілому обчислюють за формулою:

$$E_{\phi} = \frac{100n}{R + t_{\beta} \sqrt{nM - R^2}},$$

де  $n$  – кількість поперечників, шт;

$t_{\beta}$  – нормоване відхилення, значення якого приймають для доріг I та II категорії  $t_{\beta} = 1,45$ ; для доріг III і нижче категорій  $t_{\beta} = 1,282$ ;

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{100}{E_i}, \quad (2)$$

$$M = \sum_{i=1}^n \left( \frac{100}{E_i} \right)^2, \quad (3)$$

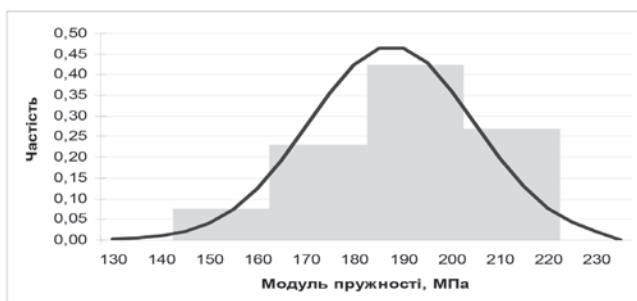
де  $E_i$  – значення статичного модуля пружності у поперечнику, МПа”.

Проте, практика показала, що в окремих випадках застосування формули (1) не дає можливості призначити оптимальне значення розрахункового модуля пружності. Зокрема, як впливає з даних **табл. 2**, на відрізку дороги км 404+000 – км 405+000 значення модуля пружності, визначеного за формулою (1), менше мінімального значення, зафіксованого на зазначеному відрізку на км 404+543 (76 МПа < 80 МПа). Тобто, для відрізка дороги км 404+000 – км 405+000 методика, передбачена СОУ 45.2-00018112-042:2009, виявилась некоректною.

Ще слід звернути увагу на те, що у відповідності до ДБН В.2.3-4:2007, автомобільні дороги залежно від категорії повинні мати значення коефіцієнта надійності  $K_n$ , що наведені в **табл. 1**, але у формулі (1) значення нормованого відхилення  $t_{\beta}$  диференційовано тільки для доріг I та II категорії  $t_{\beta} = 1,45$  та для доріг III і нижче категорій  $t_{\beta} = 1,282$ . Наведене протиріччя між зазначеними нормативними документами необхідно усунути.

Крім того в СОУ 45.2-00018112-042:2009 не роз’яснена і незрозуміла фізична суть формули (1), на основі чого інженери могли би усвідомлено аналізувати та приймати оптимальні рішення при визначенні розрахункового модуля пружності існуючого дорожнього одягу.

За даними випробувань міцності дорожнього одягу (**табл. 2**) виконана статистична обробка результатів, з урахуванням того, що розподіл міцності дорожнього одягу по довжині ділянки дороги підкоряється закону нормального розподілу [1]. Для цього модулі пружності згруповані за розрядами (за величиною) і побудована крива розподілу частот модуля пружності (**рис. 1**).



**Рис. 1. Розподіл модулів пружності**

Для прийняття рішення щодо визначення розрахункового модуля пружності необхідно ввести нове поняття – величина обернена до коефіцієнта надійності дорожнього одягу, яку можна назвати індексом ненадійності:

$$K_{nn} = 1 - K_n. \quad (4)$$

Відповідно, автомобільні дороги залежно від категорії повинні мати індекс ненадійності  $K_{nn}$  згідно даними **табл. 3**.



Значення модуля пружності

Ліва проїзна частина						Права проїзна частина							
Точка вимірювання		Модуль пружності $E_f$ , МПа	Середнє значення модуля пружності $\bar{E}$ , МПа	Середнє квадратичне відхилення $\sigma$	Фактичний модуль пружності $E_f$ , МПа (СОУ 45.2-00018112-042:2009)	Розрахункове значення модуля пружності $(\bar{E}-1,2\sigma)$ , МПа	Точка вимірювання		Модуль пружності $E_f$ , МПа	Середнє значення модуля пружності $\bar{E}$ , МПа	Середнє квадратичне відхилення $\sigma$	Фактичний модуль пружності $E_f$ , МПа (СОУ 45.2-00018112-042:2009)	Розрахункове значення модуля пружності $(\bar{E}-1,2\sigma)$ , МПа
км	+(м)						км	+(м)					
404	000	298	261	31	216	224	404	000	194	138	48	76	81
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	<b>80</b>				
404	628	<b>209</b>					404	653	82				
404	726	<b>209</b>					404	756	80				
404	804	250					404	859	81				
404	937	270					404	917	182				
405	000	263	279	14	259	262	405	000	195	183	17	159	163
405	168	276					405	018	201				
405	202	275					405	185	189				
405	260	<b>251</b>					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	<b>154</b>				
406	000	267	272	20	244	249	406	000	186	199	14	179	182
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	<b>229</b>					406	592	<b>169</b>				
406	619	273					406	632	191				
406	662	310					406	659	207				
406	795	283					406	824	207				
406	879	256					406	911	199				



Таблиця 3

Значення індексу ненадійності для доріг різних категорій

Категорія дороги	Ia	Iб – II	III	IV	V
Коефіцієнт ненадійності, $K_{\text{нн}}$	0,03	0,05	0,10	0,15	0,25

Зокрема, для дороги Iб категорії, відповідно до даних табл. 3, значення індексу ненадійності дорівнює 0,05.

За даними табл. 2 побудована кумулятивна крива розподілу модулів пружності дорожнього одягу на автомобільній дорозі М-05 Київ – Одеса на ділянці від км 404+000 до км 407+000 (рис. 2).

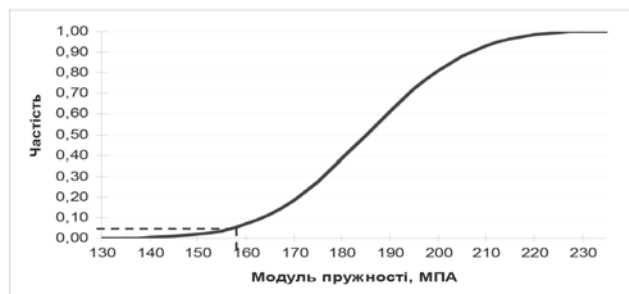


Рис. 2. Кумулятивна крива розподілу модулів пружності

Дані рис. 2 можна використати для визначення розрахункового значення модуля пружності існуючого дорожнього одягу. Для цього необхідно провести горизонтальну пряму через точку осі ординат на рівні, що відповідає значенню індексу ненадійності для відповідної категорії дороги (у нашому випадку – для дороги Iб категорії) до перетину з кумулятивною кривою і з точки перетину опустити вертикальну пряму до перетину з віссю модулів пружності абсцис (на рис. 2 зазначені прямі показано пунктирною лінією). Отримане значення і є модулем пружності дорожнього одягу, який необхідно призначати як розрахунковий для розрахунку конструкції підсилення дорожнього одягу при реконструкції або капітальному ремонті автомобільної дороги.

Визначення за допомогою запропонованого графоаналітичного методу розрахункового значення модуля пружності існуючого дорожнього одягу базується на фізичній суті та математичних закономірностях теорії імовірності. Ця методика дозволяє проектувати надійну конструкцію підсилення дорожнього одягу за мінімальної його вартості. Проте, на практиці не завжди доцільно для кожного відрізка будувати відповідні графіки.

Для спрощення методики визначення розрахункового значення модуля пружності існуючого дорожнього одягу пропонується застосовувати формулу, яка заснована на тих же математичних закономірностях і фізичній суті, що і зазначений графоаналітичний метод:

$$E_p = \bar{E} - a\sigma, \quad (5)$$

де  $\bar{E}$  – середнє арифметичне значення модуля пружності дорожнього одягу на ділянці дороги (математичне очікування), МПа;

$a$  – безрозмірний коефіцієнт пропорційності, величина якого пов'язана з категорією дороги;

$\sigma$  – середнє квадратичне відхилення модуля пружності дорожнього одягу.

З урахуванням вимог п. 8.1.5 ДБН В.2.3-4:2007 [1], значення коефіцієнта пропорційності  $a$ , залежно від категорії дороги, пропонується призначати згідно даними табл. 4.

Таблиця 4

Значення коефіцієнтів пропорційності для доріг різних категорій

Категорія дороги	Ia	Iб – II	III	IV	V
Коефіцієнт пропорційності, $a$	1,25	1,20	1,10	1,00	0,90

Розрахункове значення модуля пружності для відрізків автомобільної дороги М-05 Київ – Одеса на ділянці від км 404+000 до км 407+000, визначене за формулою (5), наведено у табл. 2. Аналіз показує, що отримані значення розрахункових модулів пружності коректні для всіх відрізків зазначеної ділянки автомобільної дороги.

#### Висновки

Запропонована методика визначення розрахункового модуля пружності для розрахунку конструкції підсилення дорожнього одягу при реконструкції або капітальному ремонті автомобільних доріг.

Зазначену методику необхідно використовувати на етапі розроблення проектної документації на стадії проект, робочий проект та робоча документація (згідно з ДБН А.2.2-3-2014 “Склад та зміст проектної документації на будівництво”) на реконструкцію або капітальний ремонт автомобільних доріг.

Визначення розрахункового значення модуля пружності існуючого дорожнього одягу за запропонованою методикою дозволить проектувати надійну конструкцію підсилення зазначеного дорожнього одягу за мінімальної вартості підсилення.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. ДБН В.2.3-4:2007. – К.: Мінрегіон України, 2012. – 91 с.
2. Гладун С.А., Гончаренко Ф.П. Обґрунтування кількості вимірювань для достовірної оцінки міцності дорожнього одягу // Автошляховик України. – 2015. – № 1–2. – С. 42–45.
3. Гладун С.А., Гончаренко Ф.П. Застосування критерію суттєвості розбіжностей для ідентифікації ділянок доріг з рівнозначною міцністю дорожнього одягу // Автошляховик України. – 2015. – № 4. – С. 26–29.
4. Стандарт Укравтодору. Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх одягів: СОУ 45.2-00018112-042:2009. – К.: Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2009. – 46 с.