



УДК 625.8:658.519.2

• © А.С. Литвиненко, зав. лабораторії ґрунтів та земляного полотна (ДерждорНДІ)

ДОСВІД ПЕРЕДПРОЕКТНОГО АНАЛІЗУ, ЗА ДАНИМИ БАЗИ СУСП, СТАНУ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ З МЕТОЮ ЇЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ, РЕАБІЛІТАЦІЇ

(на прикладі частини дороги М-05 Київ – Одеса, км 17 – км 86)

Анотація. Наведено підхід, який дозволяє визначити категорію дороги застосовуючи статистичний аналіз даних бази СУСП.

Ключові слова: автомобільна дорога, система управління станом покриття, статистичний аналіз.

Аннотация. Приведен подход, который позволяет определить категорию дороги применяя статистический анализ данных базы СУСП.

Ключевые слова: автомобильная дорога, система управления состоянием покрытия, статистический анализ.

Annotation. The approach, which allows to determine the category of the road using a statistical analysis of the data base SUSP.

Key words: road, pavement management system, statistical analysis.

Вступ

В Україні діє Система управління станом покриття – СУСП. Ця система має базу даних, що постійно поповнюється новою інформацією й охоплює все більшу протяжність автомобільних доріг. У зв'язку із цим постає питання, як найбільш ефективно використати закладену в ній інформацію для вирішення практичних задач галузі у підвищенні надійності та якості дорожньої мережі, а водночас і відслідковувати динаміку зміни стану доріг протягом тривалого часу (практично постійно – протягом років і десятиріч). З цією метою пропонується більш широко застосовувати методи математичної статистики для аналізу конкретних показників стану дорожніх конструкцій, що ми і намагались показати на прикладі аналізу бази даних СУСП стосовно частини автомобільної дороги М-05 Київ – Одеса на ділянці км 17 – км 86.

Основна частина

Для передпроектного аналізу стану цієї ділянки дороги скористались електронними таблицями значень таких показників для обох напрямків руху:

E_{np} , МПа – модуль пружності на поверхні покриття;

L , см/км – “рівність” покриття за поштовхоміром;

N , од. (балів) – оцінки узагальненого пошкодження покриття;

За браком місця ці таблиці у роботі не наводяться.

За цими даними по довжині дороги були побудовані графіки залежності $E_{np} = f(L, \text{км})$; $l = f(L, \text{км})$; та $N = f(L, \text{км})$. На **рис. 1** наведені тільки графіки залежності $E_{np} = f(L, \text{км})$, в обох напрямках руху. Аналіз інших залежностей здійснювали аналогічним чином.

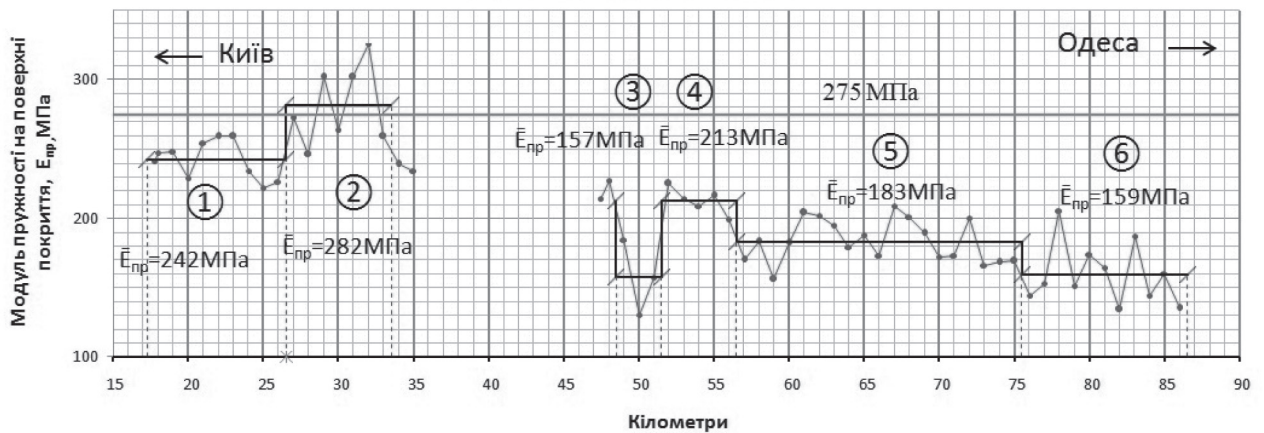
Як видно з даних **рис. 1 (а, б)**, в обох напрямках руху, на довжині цієї частини дороги за формальними ознаками можна виокремити по шість менших за протяжністю ділянок, (хоча їхні межі можуть і не збігатись між собою на різних напрямках). Для кожної із них розраховували відповідні їм значення статистичних параметрів розподілів модуля пружності такі як: його середнє значення на ділянці; значення середнього квадратичного відхилення, коефіцієнт варіації, показник точності статистичного розрахунку, який залежить від кількості вимірів на кожній ділянці. Ці дані наведені у **табл. 1** і **табл. 2**.

Робити їх послідовне статистичне порівняння між собою, чи то попарно (критерій Стьюдента), чи то всіх разом (критерій Фішера) нема сенсу вже хоча б тому, що, навіть за формальними ознаками їх виокремлення, вони скоріше за все не належать до однієї генеральної сукупності, хоча це також було зроблено і знайшло своє підтвердження. У роботі ці розрахунки не наведені.

Більш цікавим є статистичне порівняння отриманих розподілів із можливим генеральним чи директивним (тобто заданим-проектним) розподілом прийнявши його за нормальний, навіть якщо він,



а) Київ-Одеса (прямий напрям)



б) Одеса-Київ (зворотний напрям)

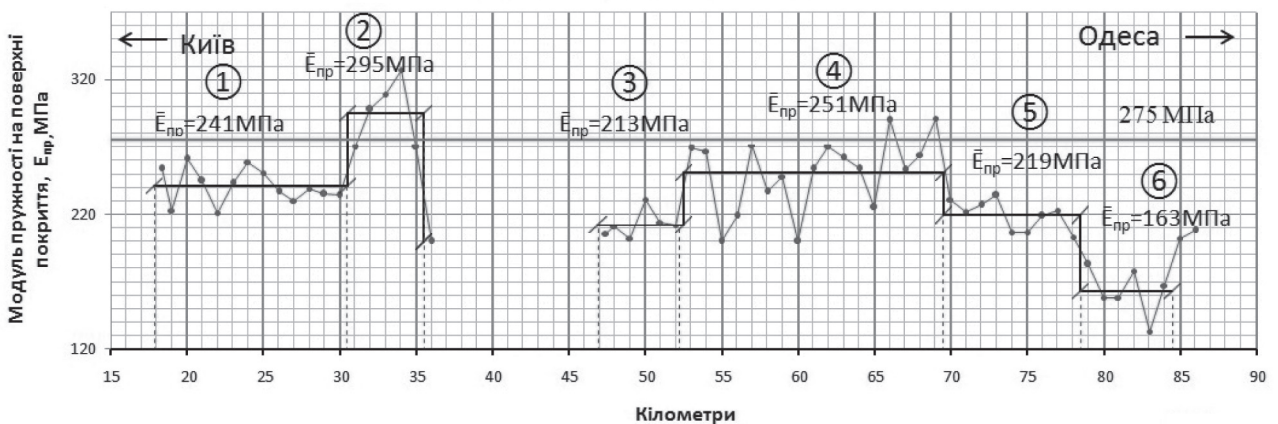


Рис. 1. Виділені ділянки значень модуля пружності на прямому проїзді (Київ – Одеса) та зворотному проїзді (Одеса – Київ)

Таблиця 1

Параметри статистичних розподілів значень модуля пружності на виділених ділянках прямого проїзду (Київ – Одеса)

№ ділянки	км – км	$E_{пр}$, МПа	S^2 , МПа	S , МПа	k_v , %	p , %	n , од
1	18 – 26	242	186	13,6	5,6	1,8	10
2	27 – 33	282	831	28,8	10,2	3,9	7
3	49 – 51	157	725	27,0	17,2	9,9	3
4	52 – 56	213	91	9,6	4,5	2,0	5
5	57 – 75	183	235	15,4	8,4	1,9	19
6	76 – 86	159	490	22,1	13,9	4,2	11

Таблиця 2

Параметри статистичних розподілів значень модуля пружності на виділених ділянках зворотного проїзду (Одеса – Київ)

№ ділянки	км – км	$E_{пр}$, МПа	S^2 , МПа	S , МПа	k_v , %	p , %	n , од
1	19 – 30	241	164	12,8	5,3	1,5	13
2	31 – 35	295	620	24,9	8,4	3,8	5
3	48 – 52	213	100	10,0	4,8	1,9	6
4	53 – 69	251	742	27,2	10,8	2,6	17
5	70 – 78	219	125	11,2	5,1	1,7	9
6	79 – 84	163	318	17,8	11,0	4,5	6



можливо, дещо і відрізняється від симетричного розподілу характерного для більшості як природних, так і технічних показників. Як справедливо зауважував Х. Шенк [1 с. 58]... “Проблема состоит не в том (как могут подумать некоторые математики и другие специалисты), что та или иная модель или метод возможно применяются неумело или неправильно. При современном состоянии инженерного эксперимента более серьезным является то обстоятельство, что статистические модели вообще не используются”. Таким чином на цьому етапі будемо вважати, що всі експериментальні вибірки є нормальними як і директивний розподіл, і це не буде впливати на остаточні висновки, про що стане зрозуміло нижче.

Так, як і у всіх інших наших дослідженнях [2], перед нами стоять питання, що ж прийняти за середину директивного розподілу і як призначити його середнє квадратичне відхилення, оскільки в усіх чинних раніше нормативних документах дорожньої галузі, в усякому разі достатньо прямо і прозоро, про це не йшлося, але завжди були певні вимоги щодо мінімальних значень показників, які контролювались.

Тож згідно з таблицею 3.7 [3 С. 34], для дороги категорії Іб (якою за геометричними параметрами є а/д Київ – Одеса) знаходимо значення $E_{np\ min} = 250$ МПа. Приймаємо, що це значення менше середнього значення не більше ніж на 10 %. Тоді $E_{np} = 250 / 0,9 = 278 \approx 275$ МПа, а середнє квадратичне відхилення при надійності 95 % дорівнює $\sigma_{0,95} = (275 - 250) / 1,644 \approx 15,21$ МПа, що досить непогано збігається з фактичними експериментальними значеннями цього показника (S), (табл. 1 і табл. 2).

Якщо тепер представити ці експериментальні розподіли значень модуля пружності разом із директивним розподілом у графічній формі (рис. 2 і рис. 3) згідно формули густини нормального розподілу:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma} \cdot \sqrt{2 \cdot \pi} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \cdot n \quad (1)$$

на яких нанесено ще й аналогічним чином розраховані середні значення цього показника для доріг інших категорій (I a – V), то вже неважко зробити певні висновки. Наприклад, такі:

- жодна із виділених у табл. 1 і табл. 2 ділянок дороги в обох напрямках руху повною мірою не відповідає вимогам до цього параметра для автомобільної дороги категорії І б;

- якщо обидві ділянки № 2 (в обох напрямках руху) за середніми значеннями модуля пружності навіть дещо перевищують директивне значення (табл. 3), то за середніми квадратичними відхиленнями (S) вони йому явно поступаються. А належними до директивного (генерального) розподілу можуть вважатись тільки такі, що одночасно за показниками і Стьюдента і Пірсона відповідають цим вимогам. Знак (–) означає, що вони цим вимогам не відповідають:

$$\ominus \begin{cases} t_e = 1,22 < t_T = 1,94 \\ \chi_e^2 = 21,54 > \chi_T^2 = 12,59 \end{cases}$$

$$m = 7 - 1 = 6 \text{ (прямий проїзд)}$$

$$\ominus \begin{cases} t_e = 2,94 > t_T = 2,13 \\ \chi_e^2 = 10,73 > \chi_T^2 = 9,49 \end{cases}$$

$$m = 5 - 1 = 4 \text{ (зворотний проїзд)}$$

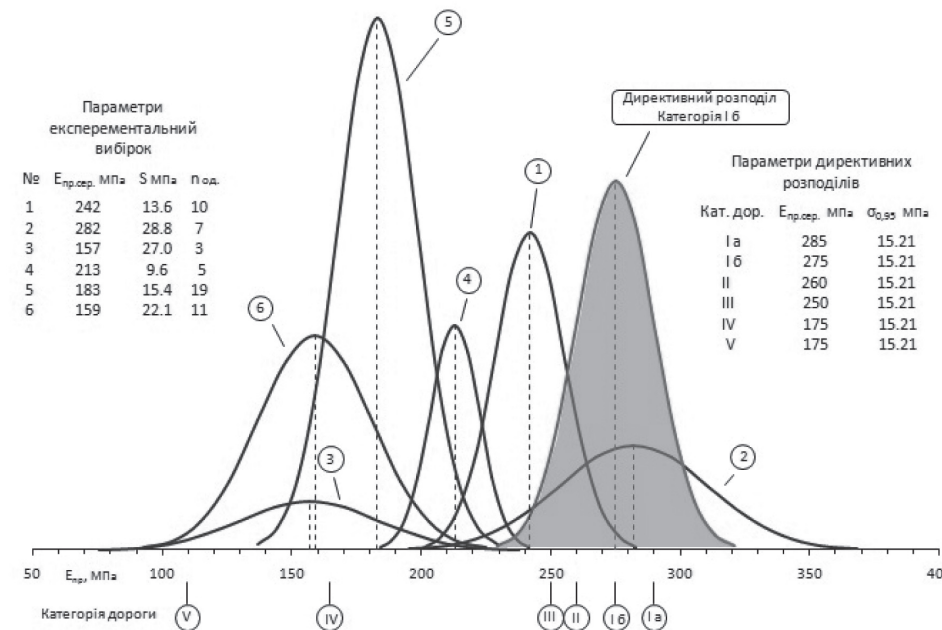


Рис. 2. Порівняння статистичних розподілів модуля пружності на поверхні покриття на виділених ділянках у напрямку Київ – Одеса

До аналогічних висновків приходимо і при статистичному порівнянні всіх інших експериментальних вибірок із директивним. Ці дані в роботі також не наведені за браком місця.

Але вже на основі візуального аналізу даних рис. 2 і рис. 3 бачимо, що як мінімум дві ділянки у прямому напрямку (№ 3 і № 6) і одна в зворотному напрямку (№ 6) відповідають за цим показником лише дорогам ІV (четвертої) категорії.

Інші ділянки за середніми значеннями модуля пружності на поверхні покриття знаходяться між вимогами до доріг ІІІ і ІV категорії і тільки одна ділянка зворотного проїзду

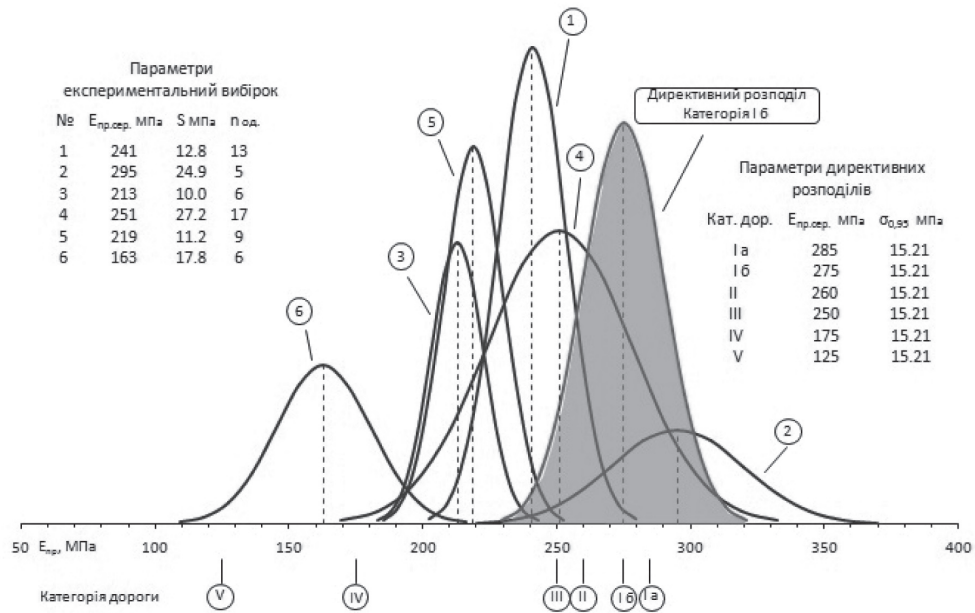


Рис. 3. Порівняння статистичних розподілів модуля пружності на поверхні покриття на виділених ділянках у напрямку Одеса – Київ

Таблиця 3

Вихідні дані для статистичного порівняння розподілів E_{np} ділянок № 2 із директивним

Проїзд	E_{np} , МПа	S^2	S , МПа	k_p , %	p , %	n , од.
Прямий	282	831	28,8	10,2	39	7
Зворотний	295	620	24,9	8,4	38	5
Директивний розподіл	275	231	15,2	5,5	—	($n = 13$)

(№ 4) майже відповідає вимогам до доріг третьої категорії, але має занадто велике значення середнього квадратичного відхилення $S = 27,2 \geq 15,2$ МПа. Таким чином і вона, в цілому, не відповідає цим вимогам. Причина такого стану дорожнього покриття за модулем пружності на поверхні дорожнього одягу буде показана у нашій наступній роботі, де дається оцінка інженерно-геологічних умов розглянутих ділянок дороги.

Тепер перейдемо до аналізу даних СУСП стосовно “рівності” дорожнього покриття [4, С. 3 таблиця 2]. У табл. 4 і табл. 5 наведені параметри статистичних розподілів на виділених за цим показником ділянках, вздовж прямого і зворотного проїзду.

При їх порівнянні з можливим директивним розподілом виникає та ж сама проблема – необхідність призначення середнього значення директивного розподілу і його середнього квадратичного відхилення, тобто – більш конкретних проектних вимог до цього показника для різних категорій доріг. Так згідно [5 с. 190] ... “За нижнюю границю размеров неровностей нужно принимать 40 мм, а более мелкие неровности относятся к шероховатости”. Таким чином десять таких нерівностей на один кілометр (40 см/км) можна прийняти за нижню межу рівності при їх вимірюванні поштовхоміром. При односторонній довірчій ймовірності з більшого боку коли

99 % всіх вимірів менше $l_{max} = 90$ см/км і середньому значенні статистичного розподілу $\bar{l} = 70$ см/км отримуюмо $\sigma_{0.99} = (90 - 70) / 2,326 = 8,6$ см/км, що значно менше за фактичні вибіркові значення $S = 9,0 - 28,6$ см/км (табл. 4 і табл. 5). Це ж дуже добре можна прослідкувати і на графіку $L = f(L, \text{км})$ (у роботі не наводиться за браком місця).

При порівнянні фактичних статистичних розподілів цього показника на виділених ділянках із директивним у графічній формі (рис. 4 і рис. 5) згідно з формулою (1), видно, що тільки ділянка № 3 (км 61 – км 77) у прямому напрямку, та ділянки № 1 (км 17 – км 29) і № 4 (км 59 – км 66) у зворотному напрямку, за середніми значеннями більш менш відповідають “рівності” покриття для дороги першої категорії, але за середнім квадратичним відхиленням (S) і вони загалом не відповідають цим вимогам (табл. 6).

$$\ominus \begin{cases} t_{\theta} = 1,22 < t_{\tau} = 1,94 \\ \chi_{\theta}^2 = 21,54 > \chi_{\tau}^2 = 12,59 \\ m = 7 - 1 = 6 \text{ (прямий проїзд)} \end{cases}$$

$$\ominus \begin{cases} t_{\theta} = 2,94 < t_{\tau} = 2,13 \\ \chi_{\theta}^2 = 10,73 > \chi_{\tau}^2 = 9,49 \\ m = 5 - 1 = 4 \text{ (зворотний проїзд)} \end{cases}$$



Таблиця 4

Параметри статистичних розподілів показника “рівності” на виділених ділянках прямого проїзду (Київ – Одеса)

№ ділянки	км – км	l , см/км	S^2	S , см/км	k_p , %	p , %	n , од
1	18 – 36	97	276	16,6	17,1	3,9	19
2	47 – 60	100	150	12,2	12,3	3,3	14
3	61 – 77	75	399	20,0	26,7	6,5	17
4	78 – 85	125	210	14,5	11,6	4,1	8

Таблиця 5

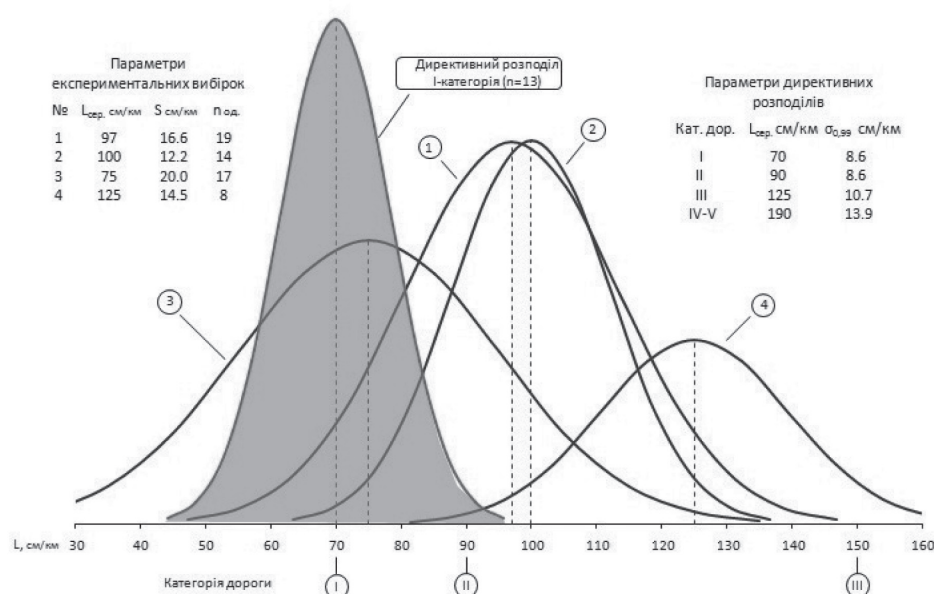
Параметри статистичних розподілів показника “рівності” на виділених ділянках зворотного проїзду (Одеса – Київ)

№ ділянки	км – км	l , см/км	S^2	S , см/км	k_p , %	p , %	n , од
1	17 – 24	67	818	28,6	42,5	15,0	8
2	25 – 36	96	504	22,4	23,3	6,5	13
–	47 – 50	–	–	–	–	–	4
3	51 – 58	99	108	10,4	10,5	3,7	8
4	59 – 66	76	213	14,6	19,0	6,7	8
5	67 – 72	112	81	9,0	8,0	3,3	6
–	73 – 75	–	–	–	–	–	3
6	76 – 83	113	181	13,4	11,9	4,2	8

Таблиця 6

Вихідні дані для статистичного порівняння розподілів показника “рівності” покриття за поштовхоміром для ділянок № 3 (прямий проїзд) і № 4 (зворотний проїзд)

Проїзд	l , см/км	S^2	S , см/км	k_p , %	p , %	n , од
Прямий	75	399	20,0	26,7	6,5	17
Зворотний	76	213	14,6	19,0	6,7	8
Директивний розподіл	70	74	8,6	12,3	–	(13)



З даних рис. 4 і рис. 5 також видно, що більшість ділянок цієї частини дороги (в обох напрямках руху) за показниками рівності, який вимірюється з використанням поштовхоміра, не відповідають навіть вимогам до дороги другої категорії та тільки дещо кращі ніж дороги третьої категорії.

Якщо ж розглянути стан покриття за оцінкою його узагальненого пошкодження в обох напрямках руху $\bar{N}_{од}$, табл. 7 і табл. 8, то найперше, що привертає увагу так це дуже великі значення коефіцієнтів варіації (k_p , %).

Рис. 4. Порівняння статистичних розподілів показника “рівності” покриття по виокремлених ділянках у напрямку Київ – Одеса



Таблиця 7

Параметри статистичних розподілів показника оцінки узагальненого пошкодження покриття на виділених ділянках прямого проїзду (Одеса – Київ)

№ ділянки	км – км	N, од	S ²	S, од	k, %	p, %	n, од
1	18 – 36	10,9	21,4	4,6	42,2	9,7	19
2	47 – 52	18,5	15,1	3,9	21,0	8,6	6
3	53 – 62	11,3	35,8	6,0	52,9	16,7	10
4	63 – 86	10,6	16,9	4,1	38,8	7,9	24

Таблиця 8

Параметри статистичних розподілів показника оцінки узагальненого пошкодження покриття на виділених ділянках зворотного проїзду (Київ – Одеса)

№ ділянки	км – км	N, од	S ²	S, од	k, %	p, %	n, од
1	18 – 20	2,3	1,3	1,2	49,5	28,6	3
2	21 – 23	9,7	6,3	2,5	26,0	15,0	3
3	24 – 36	3,0	2,2	1,5	49,1	13,6	13
4	49 – 72	9,2	32,0	5,7	61,8	12,6	24
5	73 – 80	2,6	3,7	1,9	73,2	25,8	8
6	81 – 83	14,3	2,3	1,5	10,6	6,2	3
7	84 – 87	6,0	3,3	1,8	30,4	15,2	4

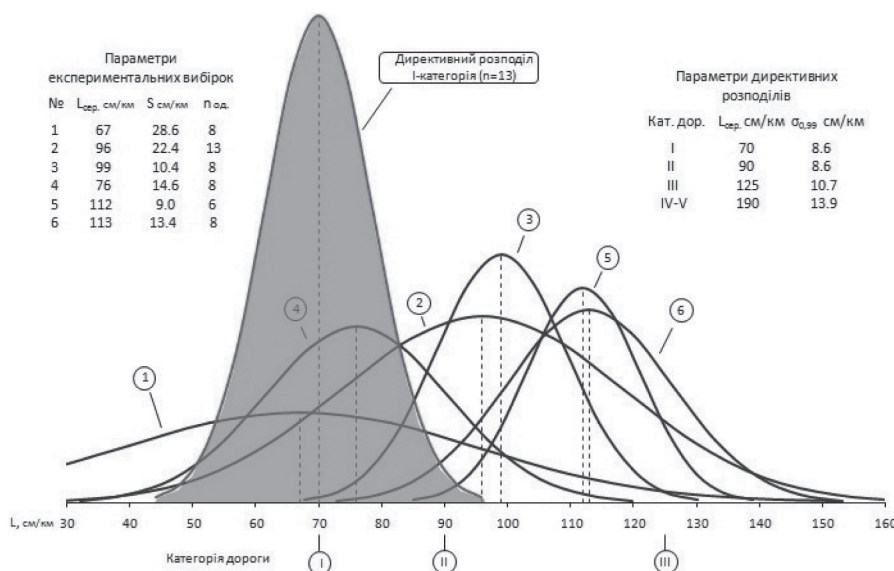


Рис. 5. Порівняння статистичних розподілів показника “рівності” покриття на виділених ділянках у напрямку Одеса – Київ

Такі значення цих коефіцієнтів характерні для дуже змінних як у часі, так і просторі природних факторів чи процесів, що дуже погано регулюються, та таких, що мають невеликі значення показників із різкими і великими їх відхиленнями. У зв'язку із тим, що цей показник оцінюється досить довільно, тут не розглядається можливість його статистичного аналізу і пропонується навіть відмовитись від його використання, тим більше, що не існує будь-яких нормативних вимог до цього показника.

Висновки

1. Передпроектний статистичний аналіз таких показників як модуль пружності та “рівність” покриття за даними СУСП дозволяє досить об'єктивно визначити по довжині автомобільних

доріг ділянки, які потребують у подальшому, більш ретельного їх дослідження, як за елементами подовжнього профілю і плану траси, так і за інженерно-геологічними умовами та умовами зволоження.

2. Враховуючи, що в процесі виконаного аналізу в першу чергу порівнювались середні значення досліджуваних показників. Неважко бачити, що при переході до їх розрахункових значень, хоча б шляхом зменшення середніх значень на величину середнього квадратичного відхилення, загальна ситуація із станом цієї частини дороги буде виглядати ще більш складною, і саме це треба враховувати при прийнятті подальших проектних рішень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента / Перевод с англ. – М.: Изд. “Мир”, 1972.
2. Литвиненко А.С. Ще до питання нормування ступеня ущільнення та контролю якості ущільнення ґрунтів земляного полотна автомобільних доріг // Дороги і мости: Зб. наукових праць. – 2010. – Вип. 12. – К.: ДерждорНДІ. – С. 90 – 101.
3. ВБН В.2.3-218-186-2004. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. – К.: Укравтодор, 2004.
4. ДСТУ 3587-97. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану. – К.: Держстандарт України, 1997.
5. Операционный контроль качества земляного полотна и дорожных одежд. – М.: Транспорт, 1985.