

Роман С.В., канд. техн. наук

## ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ШВИДКІСНИХ РЕЖИМІВ МІСЬКИХ ВУЛИЦЬ І ДОРІГ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СТАНУ ЇХ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ

**Анотація.** Проведено дослідження процесу формування швидкісних режимів міських вулиць і доріг в специфічних умовах міських населених пунктів в залежності від стану вулиць і доріг та умов роботи їх дорожніх конструкцій.

**Ключові слова:** швидкісні режими міських вулиць і доріг, рівність проїзної частини.

**Аннотация.** Проведено исследование процесса формирования скоростных режимов городских улиц и дорог в специфических условиях городских населенных пунктов в зависимости от состояния улиц и дорог и условий работы их дорожных конструкций.

**Ключевые слова:** скоростные режимы городских улиц и дорог, ровность проезжей части.

**Annotation.** A study of the formation of high-speed modes of city streets and roads in the specific conditions of the urban areas, depending on the condition of the streets and roads and working conditions of road constructions.

**Key words:** speed modes of city streets and roads, evenness of the carriageway.

Доведено, що ефективність транспортної роботи міських вулиць і доріг найбільш доцільно оцінювати за їх швидкісними режимами [1 – 3].

Швидкість руху автомобілів є техніко-економічним показником, який миттєво реагує на зміну всіх без винятку факторів, які приймають участь у її формуванні.

Найбільший інтерес з точки зору експлуатації міських вулиць і доріг представляють дослідження закономірностей впливу стану їх проїзної частини на швидкісні режими вулиць і доріг. Такий інтерес перш за все продиктований необхідністю пошуку шляхів удосконалення методів обґрунтування системи дорожньо-ремонтних робіт в специфічних умовах міських населених пунктів

оскільки зазначені закономірності забезпечують основну вимогу часу, яка продиктована гострим дефіцитом фінансових та матеріально-технічних ресурсів – встановлюють прямі зв'язки між станом проїзної частини та тягово-швидкісними і паливно-економічними показниками роботи рухомого складу транспорту. Сьогодні основним критерієм відбору будь-якої системи ремонтно-експлуатаційних робіт повинен бути виключно мінімум середньорічних дорожньо-транспортних витрат.

Дослідженням швидкісних режимів доріг присвячено ряд робіт вітчизняних дослідників [1 – 5]. Переважну частину цих досліджень проводили в умовах служби доріг загального користування, частина з них була направлена на вирішення задач пов'язаних із безпекою руху та ін. Сьогодні дана задача для умов служби доріг загального користування практично вирішена. Науковцями отримано необхідні залежності, які покладені в основу впровадженої в системі Укравтодору системи управління станом покриттів (СУСП).

Досліджень які дозволили б встановити прямі зв'язки між станом проїзної частини і швидкісними режимами руху автомобілів в умовах міських населених пунктів не проводили.

Дана задача вирішувалася автором в межах дисертаційного дослідження, яке проводилося на базі Національного транспортного університету (НТУ) [6].

Багатьма дослідниками доведено, що інтегральним показником транспортного стану проїзної частини доріг є її рівність, до зміни якої в часі призводять практично всі процеси, які протікають в дорожній конструкції в період її експлуатації. Тому транспортно-експлуатаційний стан міських вулиць і доріг оцінювався показником рівності за показаннями поштовхоміра. Формування системи ділянок підконтрольної експлуатації проводили на основі математичних методів планування експерименту. До переліку основних специфічних вимог, яких прийнято було дотримуватися при формуванні системи ділянок підконтрольної експлуатації для дослідження швидкісних режимів руху автомобілів було віднесено:

- система ділянок підконтрольної експлуатації повинна включати міські вулиці і дороги різних груп (категорій);

- до системи ділянок підконтрольної експлуатації необхідно включати ділянки міських вулиць і доріг різних населених пунктів, які географічно розташовані в різних дорожньо-кліматичних зонах України;

- загальна протяжність ділянок повинна складати більше 600 – 700 м.;
- на ділянках повинні бути відсутні перехрестя, наземні пішохідні переходи та світлофорні об'єкти;
- ділянки вулиць і доріг повинні бути близькими до прямолінійних та горизонтальних і мати різний технічний стан проїзної частини.

Виконання цих вимог при формуванні систем ділянок забезпечує створення необхідні умови для збору статистичних даних та побудови математичних зв'язків між вхідними і вихідними параметрами процесу дослідження.

З метою остаточного формування систем ділянок підконтрольної експлуатації аналізували вулично-дорожні мережі м. Києва, Чернігова, Житомира, Вінниці. Під час аналізу були використані результати їх попередніх візуальних та інструментальних обстежень, які проводили з використанням ходової лабораторії НТУ. Також при формуванні системи ділянок використовували матеріали обстеження комісій міських комунальних дорожніх господарств, технічні паспорти вулиць і доріг та інформацію про заплановані їх ремонти.

Перелік дорожніх об'єктів групи А, які з урахуванням вищезазначених вимог було включено до системи піддослідних ділянок приведено в табл. 1.

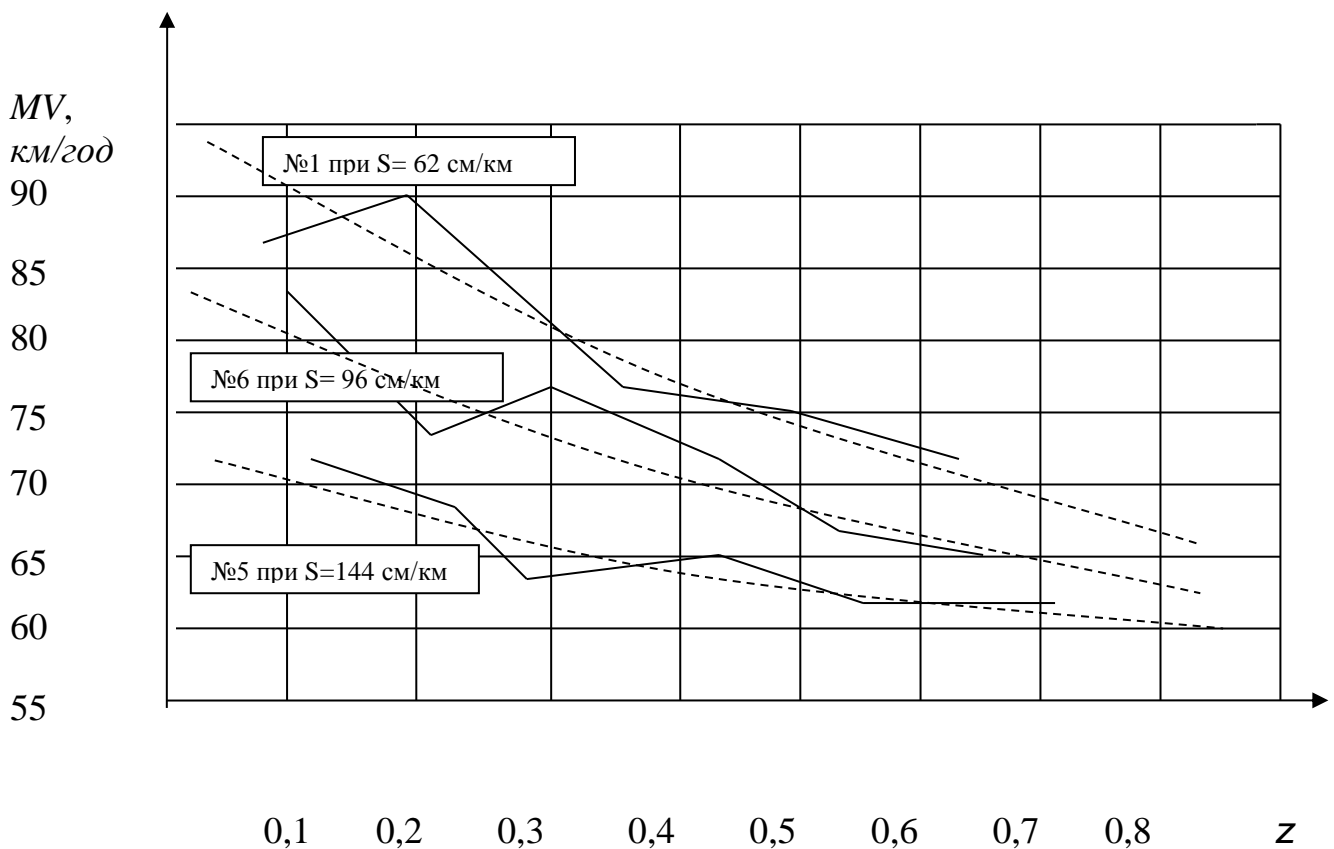
**Таблиця 1** – Система піддослідних ділянок підконтрольної експлуатації групи А

№ п/п	Назва міста	Назва вулиці	Середньозважений показник рівності проїзної частини $S_{c-36}$ , см/км
1	м. Київ	пр-т 50-ти річчя Жовтня (від вул. Гната Юри до Кільцевої дороги)	62
2	-//-	пр-т Червонозоряний (від Севастопольської площі до вул. Андрія Головка)	75
3	-//-	пр-т космонавта Комарова (від вул. Івана Лепсе до вул. Тимофія Строкача)	162
4	м. Чернігів	пр-т Миру (від вул. Котляревського до вул. Бойової)	124
5	м. Вінниця	вул. Данила Нечая (від вул. Енгельса до вул. Московської)	144
6	м. Житомир	вул. Київська (від вул. Східної до	96

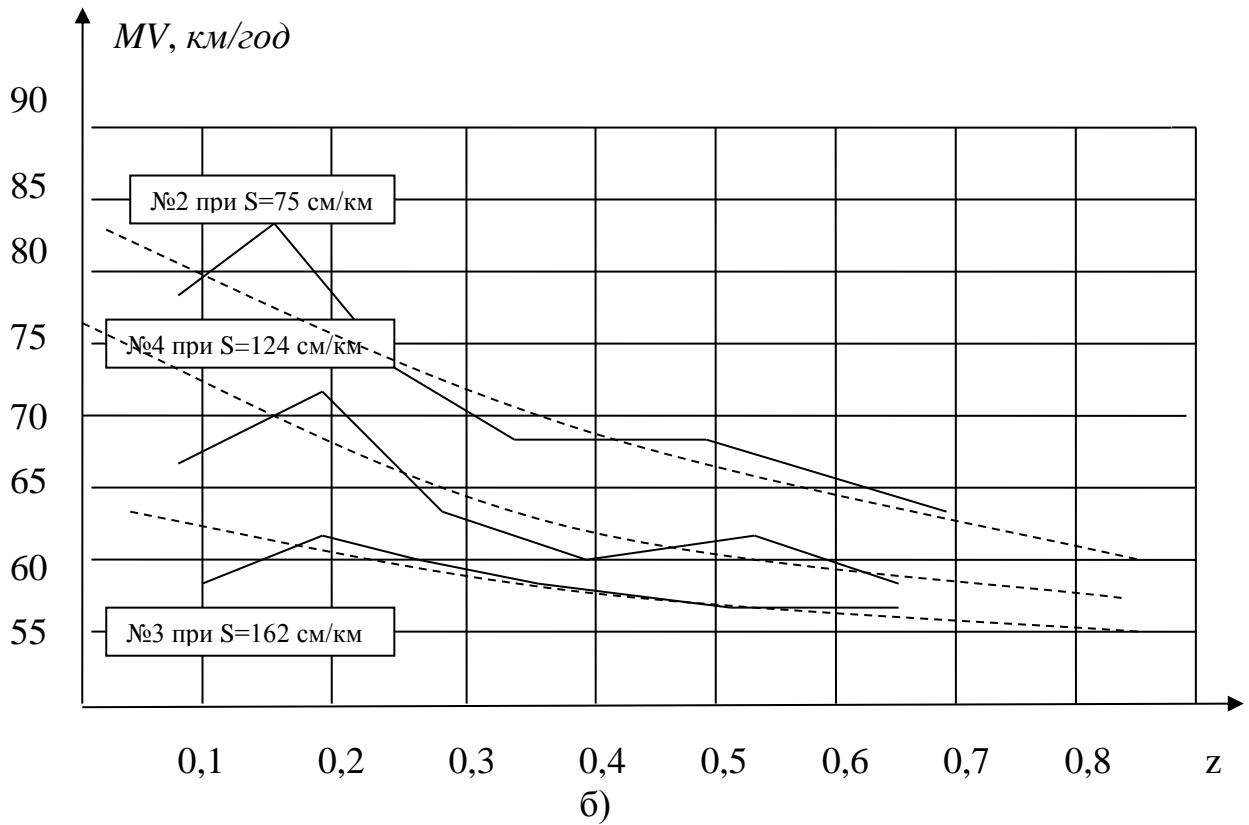
Оскільки дані піддослідні ділянки мають багатосмугову проїзну частину, то з урахуванням стохастичності процесу вибору смуги руху загальний показник рівності обчислювали як середньозважений  $S_{c-3B}$  по напрямку. Побудова математичних моделей для визначення  $S_{c-3B}$  для міських вулиць і доріг з різною кількістю смуг руху детально описана в [7].

Задача побудови математичних моделей швидкісних режимів руху автомобілів на міських вулицях і дорогах зводилася до визначення конкретних математичних зв'язків між показниками рівності і завантаженості рухом проїзної частини ділянок підконтрольної експлуатації та характеристиками розподілів миттєвих швидкостей руху автомобілів на них  $MV$  і  $\sigma_v$ .

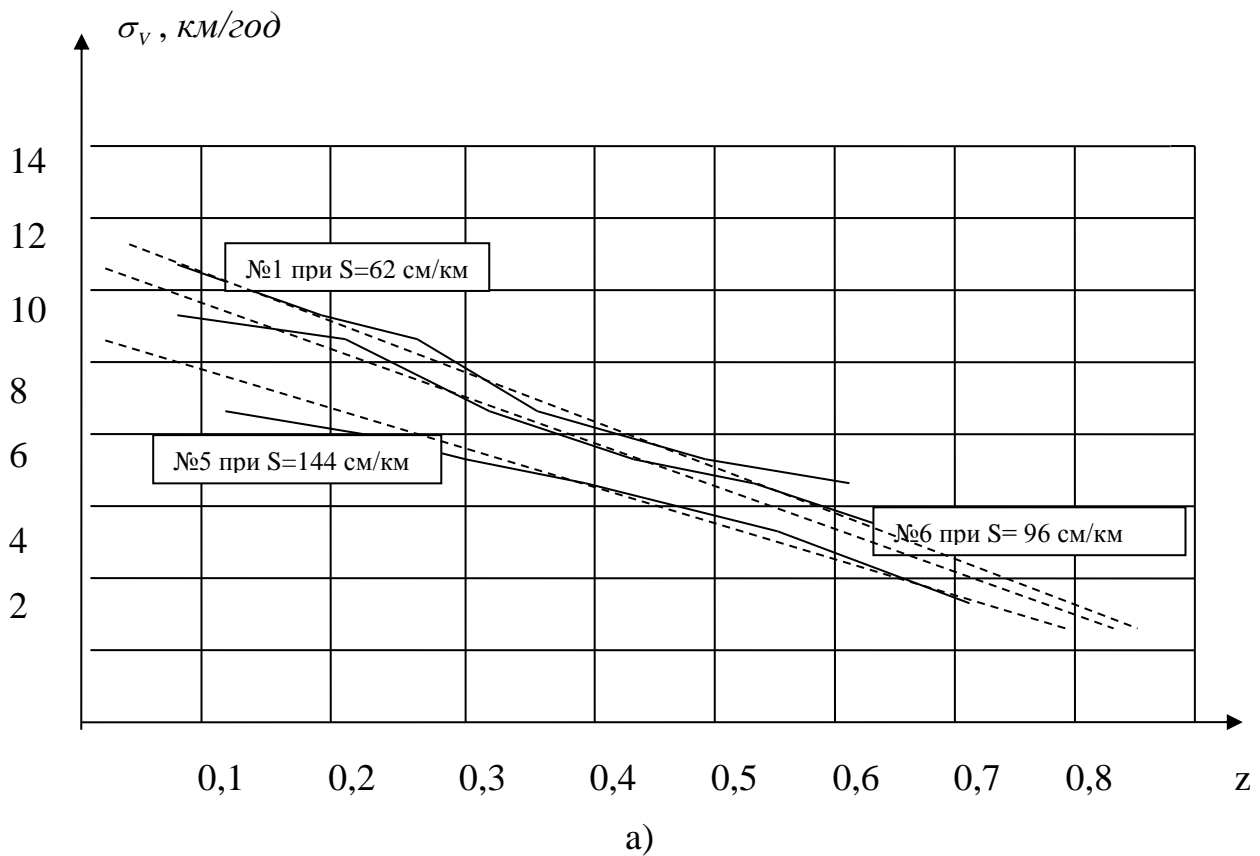
Загальний вигляд функцій  $MV^m = f(S, z)$  і  $\sigma_v^m = j(S, z)$ , де  $m$  – група міських вулиць і доріг, встановлювали на основі графічного представлення емпіричних даних про характеристики розподілів  $MV$  і  $\sigma_v$ . На рис. 1 і 2 як приклад представлені емпіричні зв'язки  $MV^A = f(S, z)$  і  $\sigma_v^A = j(S, z)$  за отриманими експериментальними даними.

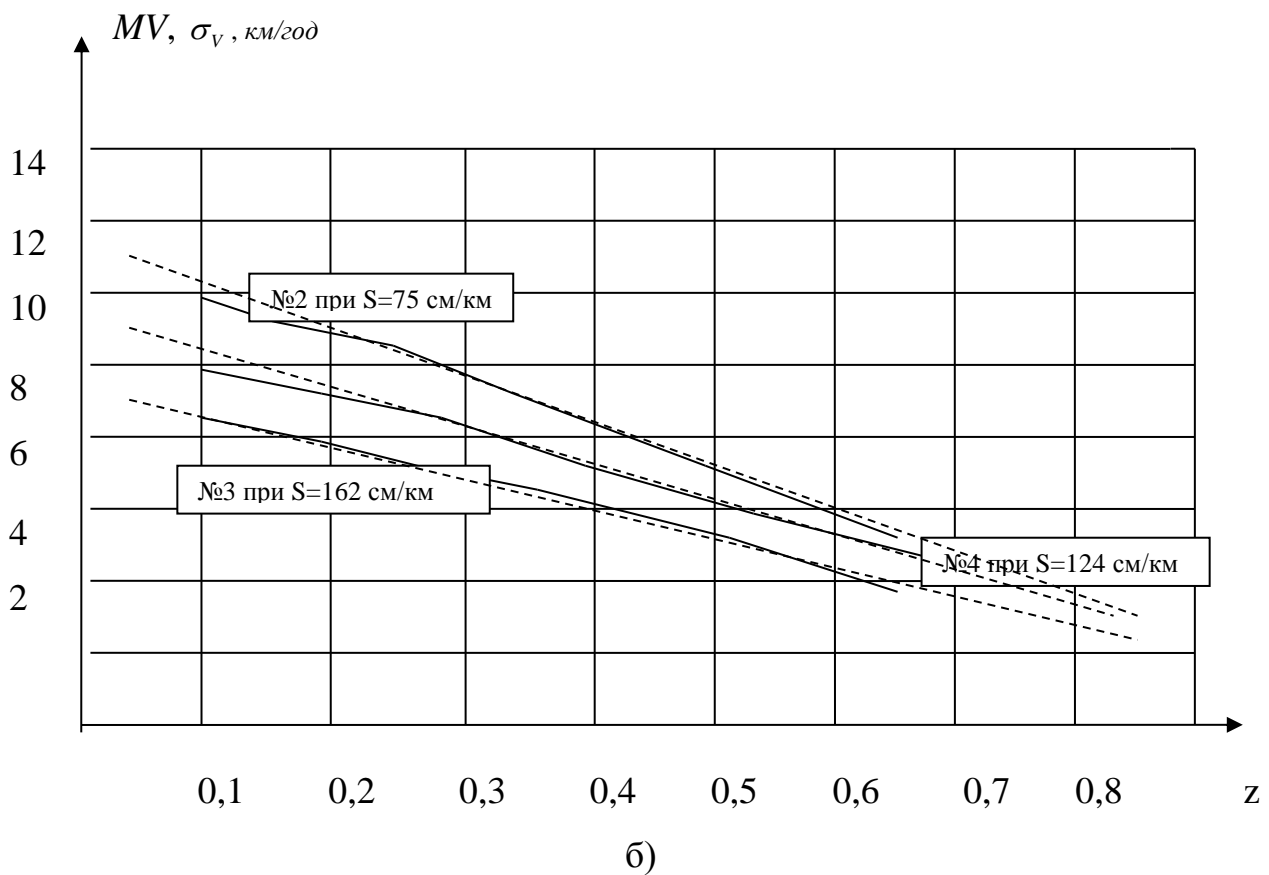


а)



**Рисунок 1** – Графічне представлення емпіричного зв'язку  $MV^A = f(S, z)$ : а) для дорожніх об'єктів №1, 5, 6; б) для дорожніх об'єктів №2, 3, 4





**Рисунок 2** – Графічне представлення емпіричного зв'язку  $\sigma_v^A = j(S, z)$ : а) для дорожніх об'єктів №1, 5, 6; б) для дорожніх об'єктів №2, 3, 4

З рис. 1 видно, що залежності математичних чекань розподілів швидкостей руху автомобілів від рівня завантаженості проїзної частини рухом на ділянках підконтрольної експлуатації мають монотонно спадаючий характер. Аналогічний характер зв'язку  $MV^m = f(S, z)$  спостерігається також і на ділянках підконтрольної експлуатації інших груп міських вулиць і доріг. Для апроксимації математичного зв'язку  $MV^m = f(S, z)$  обрали експоненціальну залежність, оскільки вона найбільше відповідає характеру зміни параметра

$$MV^m = MV_0^m \cdot \exp(-b^m \cdot z), \quad (1)$$

де  $MV_0^m, b^m$  – параметри, які визначаються за експериментальними даними.

Щодо аналізу рис. 2, математичний зв'язок  $\sigma_v^A = j(S, z)$  має чітко виражений лінійний характер. Для його апроксимації обрали залежність виду

$$\sigma_v^m = \sigma_0^m - k^m \cdot z, \quad (2)$$

де  $\sigma_0^m, k^m$  – параметри функції.

Очевидно, що фактичні значення параметрів  $MV_0^m$ ,  $b^m$  (1) та  $\sigma_0^m$  і  $k^m$  (2) залежать від групи міських вулиць і доріг та мають кореляційні зв'язки з середньозваженим показником рівності їх проїзної частини  $S_{cs}$ . Відповідно з цим послідовність побудови математичних моделей процесу дослідження була такою:

- за отриманими статистичними даними, окремо для кожної ділянки, виконували математичну апроксимацію емпіричних зв'язків  $MV_n^m = F(z)$  і  $\sigma_{v,n}^m = G(z)$ , де  $n$  – номер ділянки підконтрольної експлуатації;

- використовуючи отримані значення параметрів (1) і (2), окремо для кожної ділянки будували графіки їх зміни в залежності від середньозважених показників рівності їх проїзної частини;

- за отриманими графіками встановлювали загальний вигляд функцій зміни шуканих параметрів та здійснювали їх математичну апроксимацію;

- виконуючи заміну параметрів (1) –  $MV_{0;n}^m$  і  $b_n^m$  та (2) –  $\sigma_{0;n}^m$  і  $k_n^m$  на знайдені математичні вирази їх зміни, отримували шукані математичні моделі процесу дослідження окремо для кожної групи міських вулиць і доріг.

Результати розрахунків наведені в табл. 2.

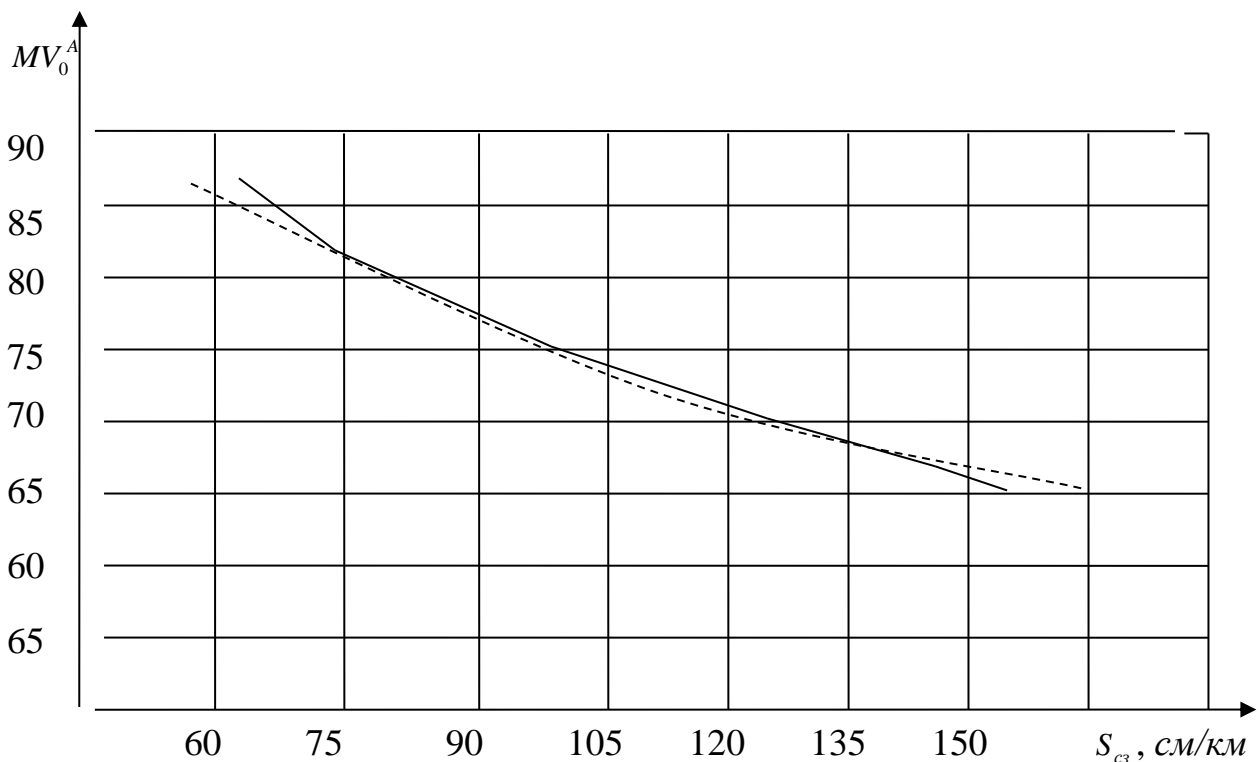
**Таблиця 2** – Результати побудови функціональних залежностей  $MV_n^m = F(z)$

№ ділянки	Середньозважений показник рівності проїзної частини, $S_{cs}$ , см/км	Функціональні залежності $MV_i^m = F(z)$ для ділянок підконтрольної експлуатації
1	2	3
Міські вулиці і дороги групи А		
1	62	$MV_1^A = 88,16 \cdot \exp(-0,446 \cdot z)$
2	75	$MV_2^A = 84,12 \cdot \exp(-0,40 \cdot z)$
3	162	$MV_3^A = 61,50 \cdot \exp(-0,103 \cdot z)$
4	124	$MV_4^A = 70,52 \cdot \exp(-0,237 \cdot z)$
5	144	$MV_5^A = 65,62 \cdot \exp(-0,169 \cdot z)$
6	96	$MV_6^A = 78,0 \cdot \exp(-0,33 \cdot z)$
Міські вулиці і дороги групи Б		
7	64	$MV_1^B = 80,41 \cdot \exp(-0,428 \cdot z)$
8	89	$MV_2^B = 76,41 \cdot \exp(-0,374 \cdot z)$
9	122	$MV_3^B = 67,12 \cdot \exp(-0,285 \cdot z)$
10	148	$MV_4^B = 64,2 \cdot \exp(-0,238 \cdot z)$

**Кінець таблиці 2**

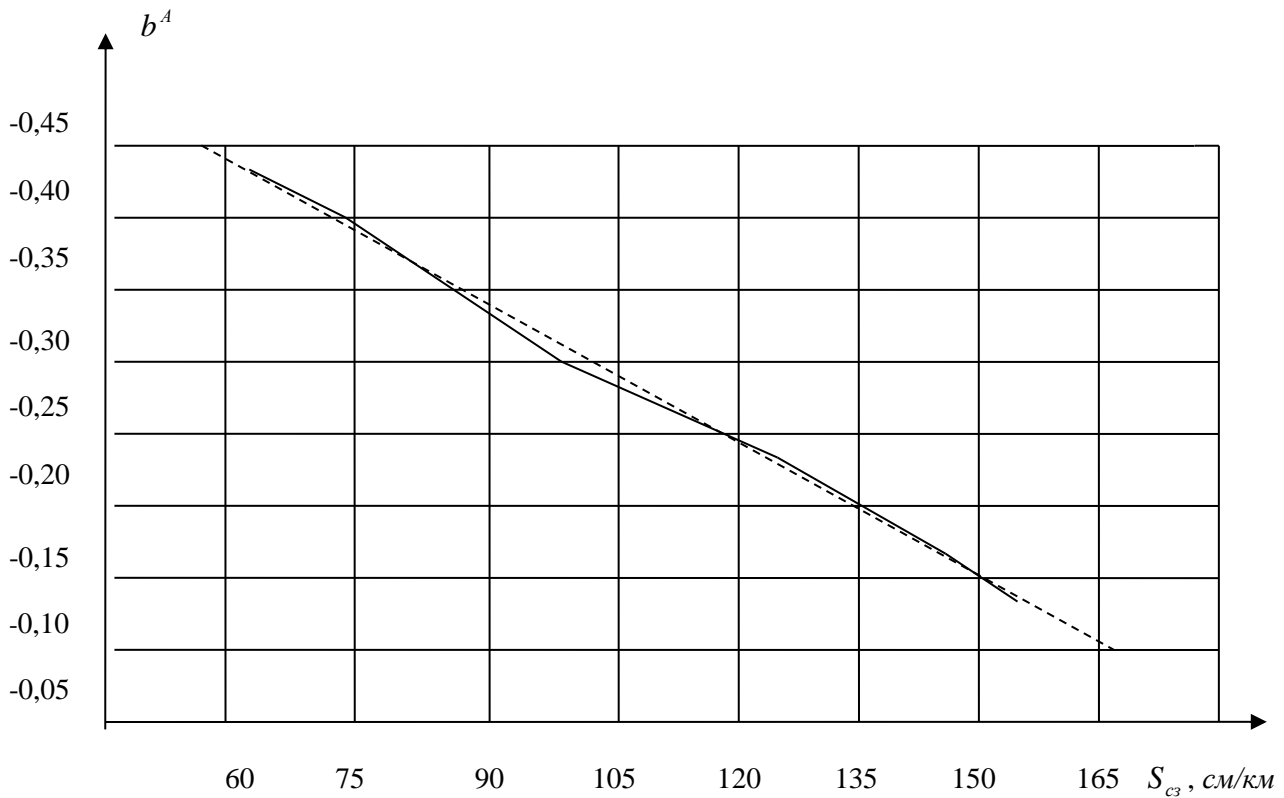
1	2	3
11	183	$MV_5^B = 60,41 \cdot \exp(-0,172 \cdot z)$
12	214	$MV_6^B = 54,46 \cdot \exp(-0,101 \cdot z)$
13	234	$MV_7^B = 54,38 \cdot \exp(-0,061 \cdot z)$
Міські вулиці і дороги групи В		
14	104	$MV_1^B = 71,64 \cdot \exp(-0,695 \cdot z)$
15	126	$MV_2^B = 63,24 \cdot \exp(-0,584 \cdot z)$
16	158	$MV_3^B = 62,16 \cdot \exp(-0,565 \cdot z)$
17	194	$MV_4^B = 57,25 \cdot \exp(-0,484 \cdot z)$
18	224	$MV_5^B = 49,82 \cdot \exp(-0,341 \cdot z)$
19	253	$MV_6^B = 47,42 \cdot \exp(-0,301 \cdot z)$
20	278	$MV_7^B = 46,85 \cdot \exp(-0,271 \cdot z)$
21	312	$MV_8^B = 43,25 \cdot \exp(-0,182 \cdot z)$
22	342	$MV_9^B = 37,51 \cdot \exp(-0,101 \cdot z)$

Далі будували функціональні залежності  $MV_0^m = h(S_{cs})$  і  $b^m = g(S_{cs})$ .  
Рішення про вибір загального виду функції приймали на основі графічного представлення емпіричних зв'язків " $MV_{0,n}^m - S_{cs}$ " і " $b_n^m - S_{cs}$ " (див. рис. 3 і 4)



**Рисунок 3** – Графічне представлення емпіричного зв'язку " $MV_{0,n}^A - S_{cs}$ "





**Рисунок 4** – Графічне представлення емпіричного зв'язку " $b_n^A - S_{c3}$ "

Результати побудови функціональних залежностей  $MV_0^m = h(S_{c3})$  і  $b^m = g(S_{c3})$  наведені в табл. 3.

**Таблиця 3** –Результати побудови функціональних залежностей  $MV_0^m = h(S_{c3})$  і  $b^m = g(S_{c3})$

№ п/п	Група міських вулиць і доріг	Математичний зв'язок шуканих параметрів	
		$MV_0^m = j(S_{c3})$	$b^m = g(S_{c3})$
1	А	$MV_0^A = 110,2 \cdot \exp(-0,0036 \cdot S_{c3})$	$b^A = 0,654 - 0,00338 \cdot S_{c3}$
2	Б	$MV_0^B = 91,09 \cdot \exp(-0,0023 \cdot S_{c3})$	$b^B = 0,555 - 0,0021 \cdot S_{c3}$
3	В	$MV_0^B = 87,7 \cdot \exp(-0,00234 \cdot S_{c3})$	$b^B = 0,875 - 0,00223 \cdot S_{c3}$

Так для математичної апроксимації " $MV_{0,n}^A - S_{c3}$ " використали функцію (1), а для апроксимації " $b_n^A - S_{c3}$ " лінійну функцію виду

$$b^A = l^A - c^A \cdot S_{c3}, \quad (3)$$

де  $l^A$  і  $c^A$  – параметри кореляційної залежності.

Аналогічний характер зв'язків  $MV_0^m = h(S_{cs})$  і  $b^m = g(S_{cs})$  спостерігали і для ділянок підконтрольної експлуатації груп Б і В.

Виконавши підстановку математичних виразів табл. 3 в (1), формули для визначення математичного чекання розподілу швидкостей руху автомобілів на міських вулицях і дорогах різних груп у залежності від рівності їх проїзної частини та рівня завантаженості рухом приймають вигляд

$$MV^A = 110,2 \cdot \exp[-0,0036 \cdot S_{cs} - (0,654 - 0,00338 \cdot S_{cs}) \cdot z], \quad (4)$$

$$MV^B = 91,09 \cdot \exp[-0,0023 \cdot S_{cs} - (0,555 - 0,0021 \cdot S_{cs}) \cdot z], \quad (5)$$

$$MV^B = 87,7 \cdot \exp[-0,00234 \cdot S_{cs} - (0,875 - 0,00223 \cdot S_{cs}) \cdot z]. \quad (6)$$

Побудову функціональних залежностей  $\sigma_v^m = j(S, z)$  проводили за аналогічною схемою. За результатами розрахунків математичні вирази для визначення середньоквадратичного відхилення швидкостей руху автомобілів від їх середніх значень на міських вулицях і дорогах приймають вигляд

$$\sigma_v^A = (16,79 - 0,0477 \cdot S_{cs}) \cdot \left(1 - \frac{z}{1,1}\right), \quad (7)$$

$$\sigma_v^B = (13,43 - 0,0372 \cdot S_{cs}) \cdot \left(1 - \frac{z}{1,1}\right), \quad (8)$$

$$\sigma_v^B = (11,96 - 0,0316 \cdot S_{cs}) \cdot \left(1 - \frac{z}{1,1}\right). \quad (9)$$

Із врахуванням (4) – (9) математичні моделі формування швидкісних режимів міських вулиць і доріг приймають вигляд

$$\left. \begin{aligned} MV^A &= 110,2 \cdot \exp[-0,0036 \cdot S_{cs} - (0,654 - 0,00338 \cdot S_{cs}) \cdot z] \\ \sigma_v^A &= (16,79 - 0,0477 \cdot S_{cs}) \cdot \left(1 - \frac{z}{1,1}\right) \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} MV^B &= 91,09 \cdot \exp[-0,0023 \cdot S_{cs} - (0,555 - 0,0021 \cdot S_{cs}) \cdot z] \\ \sigma_v^B &= (13,43 - 0,0372 \cdot S_{cs}) \cdot \left(1 - \frac{z}{1,1}\right) \end{aligned} \right\}, \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} MV^B &= 87,7 \cdot \exp[-0,00234 \cdot S_{cs} - (0,875 - 0,00223 \cdot S_{cs}) \cdot z] \\ \sigma_v^B &= (11,96 - 0,0316 \cdot S_{cs}) \cdot \left(1 - \frac{z}{1,1}\right) \end{aligned} \right\}. \quad (12)$$

Результати оцінки точності отриманих моделей доводять, що розподіл відносних похибок від апроксимації швидкісних режимів руху автомобілів на міських вулицях і дорогах математичними моделями (10) – (12) близький до нормального, з центрами розподілу близькими до 0. Розраховані значення параметрів розподілів відносних похибок представлені в табл. 4.

**Таблиця 4** – Результати оцінки точності математичних моделей (10) – (12)

Група міських вулиць і доріг	Центр розподілу відносних похибок математичних моделей, %	Імовірні границі можливих значень математичного чекання відносних похибок при $P_\delta = 0,95$	Діапазон практично можливих похибок математичних моделей, %
А	+0,04 %	$-0,98\% < M\bar{\Delta}^A < +1,06\%$	$-6,0\% < \Delta^A < +6,08\%$
Б	-0,78 %	$-1,03\% < M\bar{\Delta}^B < -0,53\%$	$-9,6\% < \Delta^B < +8,04\%$
В	+0,84%	$-0,78\% < M\bar{\Delta}^B < -2,46\%$	$-8,76\% < \Delta^B < +10,44\%$

### Висновки

Проведені дослідження дозволили встановити такі закономірності:

1) Розподіл миттєвих швидкостей транспортних засобів при різних значеннях рівності проїзної частини в діапазоні від 50 до 250 см/км добре апроксимується (з  $P_\delta > 0,95$ ) нормальним законом для всіх груп міських доріг.

2) З погіршенням рівності проїзної частини математичне чекання швидкостей руху транспортних засобів зменшується за експоненціальним законом, а середньоквадратичне відхилення – за законом близьким до лінійного. Ця закономірність зберігається для всіх груп міських доріг.

3) При певних значеннях рівності проїзної частини математичні чекання швидкостей руху отримують певні, близькі до постійних, значення, характерні для кожної з груп доріг, а середньоквадратичні відхилення для всіх груп вулиць і доріг досягають величини, близької до нуля. Таким чином, рух на вулиці чи дорозі вироджується у колонний. Ці значення показників рівності кожної групи

вулиць і доріг доцільно вважати критичними. Подальше погіршення рівності проїзної частини за межу критичної приводить до формування заторів, спочатку локальних, а потім – загальних.

Можна вважати за робочу гіпотезу, що відмінність значень критичної рівності проїзної частини для різних груп міських вулиць і доріг зумовлена комплексним впливом специфіки складу руху на них і рівня завантаженості рухом їх проїзної частини.

Отримані математичні моделі (10) – (12) використані для розробки методу техніко-економічного обґрунтування програм дорожніх ремонтно-відновлювальних робіт в міських умовах.

### Література

1. Кизима С.С., Артеменко А.В. Влияние эксплуатационных факторов на скоростной режим магистральных улиц // Изв. вузов. Сер. Стр-во и архитектура. – 1988. – № 1 – С. 101–106.
2. Романов А.Г. Дорожное движение в городах: закономерности и тенденции. – М. : Транспорт, 1984. – 80 с.
3. Роман С.В., Нечитайло В.В., Кизима С.С.. Дослідження впливу дорожніх факторів на швидкісні режими міських автомагістралей // Містобудування та територіальне планування. – Вип. 26. – К. : КНУБА, 2007. – С. 249 – 258.
4. Бабков В.Ф., Афанасьев М.Б., Васильев А.П. Дорожные условия и режимы движения автомобилей. – М. : Транспорт, 1967. – 224 с.
5. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. – М. : Транспорт, 1977. – 303 с.
6. Роман С.В. Удосконалення методів обґрунтування ремонтно-експлуатаційних робіт на вулично-дорожніх мережах міських населених пунктів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми» / Роман С.В. – К., 2009. – 20 с.

Роман С.В. Дослідження процесу розподілу руху по смугах багатосмугових міських магістралей / О.І. Богданов, С.В. Роман, С.С. Кизима // Містобудування та територіальне планування : зб. наук. праць : Вип. 23. – К. : КНУБА, 2006. – С. 21–30.