

УДК 625.76

Роман С.В., канд. техн. наук

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІНИ СОБІВАРТОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В МІСЬКИХ УМОВАХ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СТАНУ ВУЛИЦЬ І ДОРІГ

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

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

Аннотация. Проведено исследование процесса формирования себестоимости перевозок в специфических условиях городских населенных пунктах в зависимости от состояния улиц и дорог и условий работы их дорожных конструкций.

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

Annotation. A investigation of the formation of the cost of transportation to the specific conditions of the urban areas, depending on the condition of the streets and roads and working conditions of road constructions.

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

Найбільш ефективним в сучасних умовах підходом до обґрунтування дорожньо-ремонтних робіт є підхід, який базується на основі техніко-економічного аналізу робіт. При цьому, обов'язковою умовою і найбільш вагомою частиною проведення техніко-економічного аналізу дорожньо-ремонтних робіт є визначення і прогнозування зміни в часі собівартості автотранспортних перевезень на дорожніх об'єктах.

Собівартість автотранспортних перевезень є функцією великої кількості факторів різної природи, вивчення впливу яких ускладнюється надто великою різноманітністю їх комбінацій, а також тим, що кожен з окремих факторів може варіюватися на різних рівнях. Умовно всі фактори можна поділити на такі групи:

1) фактори, що характеризують конструкцію автомобіля (вага автомобіля, характеристики трансмісії, фактор обтічності та ін.);

2) фактори, що характеризують технічний стан автомобіля (справність робочих систем автомобіля – паливної, гальмівної, ходової, трансмісії та ін.);

3) фактори, що характеризують професійні здібності водія (професійна кваліфікація, стаж роботи, вік водія);

4) фактори, що характеризують економічну обстановку на міських вулицях та дорогах (інтенсивність та склад руху);

5) фактори, що характеризують дорожні умови (розміри геометричних елементів вулиць і доріг, плану та поздовжнього профілю, організація дорожнього руху на них, погодно-кліматичні умови, їх транспортно-експлуатаційний стан та ін.).

При побудові математичної моделі прогнозування собівартості перевезень фізичні значення факторів першої групи можуть бути прийняті за заводськими технічними характеристиками транспортних засобів.

Фактори, що характеризують технічний стан автомобіля та професійні здібності водія, є випадковими і мало вивченими, їх відносять до області експлуатації автомобіля, тому будемо вважати, що вони задані в оптимальних співвідношеннях, тобто в таких, які сприятливо впливають на реалізацію тягово-швидкісних якостей автомобілів.

Інтенсивність та склад руху на міських вулицях і дорогах враховують шляхом прямого їх обліку.

Підгрупи факторів, що характеризують геометричні параметри міських доріг та вулиць і організацію дорожнього руху, приймаємо постійними, оскільки нами розглядається період, упродовж якого вони не змінюються.

Вплив погодно-кліматичних умов на собівартість перевезень завжди має місце та є неконтрольованим. З метою його послаблення процес формування собівартості перевезень нами умовно розглядається за сприятливих погодно-кліматичних умов.

Основними показниками підгрупи факторів, які характеризують транспортно-експлуатаційний стан міських вулиць і доріг, є рівність їх проїзної частини та коефіцієнт зчеплення коліс із проїзною частиною.

Рівність проїзної частини впливає на процес реалізації тягово-швидкісних та паливно-економічних показників роботи автомобілів. Цей показник відносять до групи управляємих характеристик, який регулюється системою дорожніх ремонтно-відновлювальних робіт.

Відносно коефіцієнта зчеплення можна стверджувати, що при деяких його допустимих значеннях $\varphi_{дон} \geq 0,35$ вплив його на реалізацію тягово-швидкісних характеристик автомобілів практично перестає бути вагомим. На основі досліджень [1, 2], можна стверджувати, що значення φ міських доріг і вулиць в переважній більшості перевищує допустиме значення ($\varphi_{дон}$), тому у подальшому вплив цього фактора не розглядається.

Таким чином, основним управляємим фактором, який впливає на процес формування собівартості перевезень на міських вулицях і дорогах є показник рівності їх проїзної частини.

Вивчення природи процесу зміни стану проїзної частини міських вулиць і доріг дозволило зробити такі висновки. Деградація стану дорожніх одягів – це негативний процес, який є монотонно зростаючим у часі. Його протікання передусім пов'язане з процесами втомлювання в шарах дорожніх конструкцій, які зумовлені комплексною дією великої кількості факторів різної природи. Основними із них є: запас міцності дорожнього одягу по відношенню до існуючого руху та неоднорідність його міцнісних властивостей; вантажний режим роботи одягу; міцнісні властивості матеріалів; ґрунтово-гідрологічні і погодно-кліматичні умови його служби та ін. За результатами аналізу досліджень встановлено, що фізичну суть процесу зміни рівності проїзної частини доріг в часі найбільш повно розкриває математична модель, яку

розроблено для умов служби замських доріг і яку використано в розробленій під керівництвом проф. Кизими С.С. та впровадженій в системі Укравтодору системі управління станом покриттів (СУСП). Остання має вигляд

$$S(t) = S_0 + \alpha \cdot t \cdot \exp(c \cdot t), \quad (1)$$

де S_0 – початкове значення показника рівності проїзної частини, см/км;
 α – комплексний параметр, який враховує властивості дорожньої конструкції і умови її роботи, визначається як функціонал параметрів: K_{zm} – коефіцієнта запасу міцності дорожнього одягу; K_{μ} – коефіцієнта неоднорідності міцності одягу; h_{ze} – зведеної до асфальтобетону товщини верхніх зв'язних шарів одягу; τ – показника структурної міцності несучого дискретного шару одягу; δ , η – коефіцієнтів, які враховують дорожньо-кліматичну зону та тип місцевості за характером зволоження; N_p – інтенсивності руху в розрахункових осьових навантаженнях групи А₂; B_c – ширини смуги руху, м.;

q – показник середньорічного приросту руху на дорозі.

Враховуючи однакову природу процесу деградації рівності проїзної частини доріг у замських і в міських умовах, модель (1) використано нами в якості базової для міських умов. Специфічні міські умови, до яких передусім треба віднести наявність на проїзній частині вулиць і доріг люків колодязів інженерних мереж, запропоновано враховувати параметром k як функції щільності розташування колодязів на проїзній частині n , шт./км.

Математичний зв'язок $k = f(n)$ було встановлено на основі експериментальних досліджень. Результати проведених досліджень наведені в [3]. Отримана формула має вигляд:

$$k = 1,0 + 0,006 \cdot n. \quad (2)$$

З використанням (2) відкоригована базова модель (1)

$$S(t) = S_0 + (1 + 0,006 \cdot n) \cdot \alpha \cdot t \cdot \exp(c \cdot t). \quad (3)$$

Основна стаття витрат на автоперевезення, за даними автогосподарств, складається із вартості пального, витрат на гуму і ремонту. Інші витрати складають близько 10 – 20 % від суми попередніх [4]. Тому для визначення собівартості перевезень нами використана формула:

$$a = \gamma(p + r) + \frac{\beta}{V} + \frac{\delta}{l}, \quad (4)$$

де γ – коефіцієнт пропорційності між парковими витратами і витратами на пальне та гуму;

p, r – відповідно вартість витраченого автомобілем палива та зносу гуми;

V, l – відповідно швидкість руху і плече пробігу автомобіля;

β і δ – коефіцієнти, що характеризують організацію автогосподарств. За даними [5] їх приймають рівними $\beta \approx 0,9$, $\delta \approx 0,25$.

Собівартість перевезень в (4) представлена у вигляді двох складових. Перша – змінна, яка залежить від взаємодії автомобіля з проїзною частиною дороги і враховує в собі вплив її транспортно-експлуатаційного стану на собівартість перевезень, і друга, яка мало пов'язана з цією взаємодією, тому практично не впливає на зміну a .

Паркові витрати в (4) враховані коефіцієнтом пропорційності γ між сумою витрат на пальне та гуму, їх визначають за формулою:

$$\gamma = 1,745 + 0,0011 \cdot S. \quad (5)$$

Вплив рівності проїзної частини на собівартість перевезень у (4) враховано зміною параметрів V, p, r . Тому завдання побудови математичної моделі процесу з врахуванням проведеного аналізу практично зводиться до пошуку окремих залежностей:

$$V = j(S, z), \quad (6)$$

де z – коефіцієнт завантаженості проїзної частини рухом;

$$p = \psi(V, S), \quad (7)$$

$$r = \varphi(S). \quad (8)$$

Розглянемо окремо кожний із виразів.

Дослідженням впливу транспортно-експлуатаційного стану доріг на швидкісні режими руху автомобілів присвячено роботи багатьох учених, однак практично всі вони проводилися в умовах служби доріг загального користування. Формування цього процесу в умовах міських населених пунктів має ряд своїх особливостей, до яких можна віднести: систему організації дорожнього руху (обмеження швидкості руху автомобілів, наявність світлофорних об'єктів та нерегульованих пішохідних переходів); параметри геометричних елементів (багатосмуговість проїзної частини, наявність перехресть); склад руху (наявність у транспортних потоках пасажирського та іншого спеціального транспорту); високу насиченість інформаційного потоку, який активно впливає на водіїв тощо. Поставлена задача вирішувалася в межах дисертаційного дослідження автора [3].

Дослідження швидкісних режимів руху автомобілів проводили у два етапи. I-й етап полягав у перевірці прийнятої гіпотези про близькість розподілу швидкостей руху автомобілів у поперечних перетинах міських вулиць і доріг до нормального. Перевірка експериментальних даних за λ -критерієм Колмагорова підтвердила прийнятну гіпотезу. Виходячи з цього, на II-у етапі визначали характеристики розподілів миттєвих швидкостей руху автомобілів MV і σ_V і будували математичні вирази їх зміни в залежності від рівності проїзної частини та рівня завантаженості ділянок рухом z . Конкретний вигляд функцій $MV^m = f(S, z)$ і $\sigma_V^m = f(S, z)$, де m - група міських вулиць і доріг (А, Б, В), встановлювали на основі кореляційного аналізу. При апроксимуванні зв'язків $MV^m = f(S, z)$ і $\sigma_V^m = j(S, z)$ встановлено, що емпіричним даним найкраще відповідають залежності виду $MV^m = MV_0^m \cdot \exp(-b^m \cdot z)$ і $\sigma_V^m = \sigma_0^m - k^m \cdot z$ відповідно. За результатами оброблення даних були отримані математичні моделі (9) – (11) для визначення параметрів швидкісних режимів руху автомобілів на міських вулицях і дорогах різних груп:

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

(9)

$$\left. \begin{aligned}
 MV^B &= 91,09 \cdot \exp[-0,0023 \cdot S_{cs} - (0,555 - 0,0021 \cdot S_{cs}) \cdot z] \\
 \sigma_V^B &= (13,43 - 0,0372 \cdot S_{cs}) \cdot \left(1 - \frac{z}{1,1}\right)
 \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

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

(11)

де S_{cs} - середньозважений показник рівності міських вулиць і доріг з багатосмуговою проїзною частиною.

Математичні моделі для визначення S_{cs} для міських вулиць і доріг з різною кількістю смуг руху наведені в [3].

Вартість витраченого автомобілем палива визначають за формулою

$$p = K \cdot Q \cdot c, \quad (12)$$

де K – коефіцієнт, який враховує збільшення витрат автомобілями палива при зменшенні відстані між перехрестями;

Q , c – витрати палива, л/км та його вартість за 1 літр відповідно.

За даними [6] вплив відстані між перехрестями на витрати автомобілями палива практично перестає бути вагомим при $L > 600$ м. З проведених раніше досліджень відомо, що витрати палива при зменшенні відстані між перехрестями з 600 до 200 м збільшуються близько на 30 %. Використовуючи ці крайові умови і приймаючи закономірність зміни p від відстані між перехрестями за лінійну, формула для визначення K має вигляд

$$K = 1,6 - 10^{-3} \cdot l, \quad (13)$$

де l – відстань між перехрестями, м. При $l > 600$ м, приймають $K=1$.

Для побудови математичного зв'язку між показниками паливної економічності роботи автомобілів та рівністю проїзної частини міських доріг

використаємо відому із теорії автомобіля формулу, в якій витрати палива на одиницю пробігу автомобіля пов'язані з поточною ефективною потужністю, яку витрачає їх двигун. Формула має вигляд

$$Q = \frac{N_e \cdot g_e}{V \cdot \rho_n}, \text{ літр./км} \quad (14)$$

де N_e – поточна ефективна потужність двигуна, кВт ; g_e – поточні питомі витрати палива, г/е.к.с.год ; V – швидкість руху автомобіля, в км/год ; ρ_n – об'ємна вага пального, г/літр .

В [7] детально описано процес побудови математичних моделей прогнозування витрат економічно-розрахунковим автомобілем палива в літрах/100км у залежності від середньозваженого показника рівності проїзної частини міських вулиць і доріг та рівня завантаженості їх рухом. Останні мають вигляд:

- для міських вулиць і доріг групи А

$$Q_e^A = \left[\begin{aligned} &(-1,022 \cdot \ln S_{cs} + 5,203) \cdot z^2 + (2 \cdot 10^{-5} \cdot S_{cs}^2 - 6 \cdot 10^{-4} \cdot S_{cs} - 0,1226) \cdot z + \\ &+ 5 \cdot 10^{-5} \cdot S_{cs}^2 - 0,0039 \cdot S_{cs} + 10,88 \end{aligned} \right]; \quad (15)$$

- для міських вулиць і доріг групи Б

$$Q_e^B = (3 \cdot 10^{-5} \cdot S_{cs}^2 + 0,005 \cdot S_{cs} + 0,35) \cdot z + 0,008 \cdot S_{cs} + 10,126; \quad (16)$$

- для міських вулиць і доріг групи В

$$Q_e^B = (0,005 \cdot S_{cs} + 10,678) \cdot \exp[(7 \cdot 10^{-4} \cdot S_{cs} - 0,031) \cdot z]. \quad (17)$$

В табл. 1 наведено значення коефіцієнтів приведення автомобілів різних вагових груп до економічно-розрахункового.

Витрати на гуму в (1.4) залежать від умов, які визначають інтенсивність її зносу. Загальна формула для визначення вартості амортизації гуми має вигляд

$$r = c' \cdot r_{\text{відн}}, \quad (18)$$

де c' – вартість амортизації гуми на 1км її пробігу в хороших умовах;
 $r_{\text{відн}}$ – коефіцієнт, який враховує збільшення відносного зносу гуми при погіршенні рівності проїзної частини міських вулиць і доріг.

Вартість амортизації гуми c' на 1км її пробігу в хороших умовах визначають за формулою

$$c' = \frac{c'' \cdot n}{L_{\text{норм}}}, \quad (19)$$

де $c'' \cdot n$ – вартість комплекту гуми транспортного засобу;
 $L_{\text{норм}}$ – середня норма пробігу комплекту гуми.

Таблиця 1 – Значення групових коефіцієнтів приведення транспортних засобів різних вагових груп до економічно-розрахункового автомобіля

Категорія транспортного засобу та його вагова група		Розмір коефіцієнта приведення - ξ_u
Легкові автомобілі	Малі	1,0
	Середні	1,31
Вантажні автомобілі	Легкі	1,61
	Середні	2,80
	Важкі	2,38
	Напівпричепи	4,99
Автобуси	Середні	2,17
	Важкі	3,28
Тролейбуси	-	3,46

З аналізу довідкової літератури, а також звітних даних автогосподарств [8] зробили висновок, що із погіршенням рівності проїзної частини до незадовільної – $S \approx 250$ см/км, відносний знос гуми збільшується близько в 1,45 рази. Приймаючи пряmolінійну залежність збільшення відносного зносу гуми з погіршенням рівності проїзної частини, після певних математичних перетворень математична формула для його визначення приймає вигляд

$$r_{\text{відн}} = 1 + 0,0018 \cdot S. \quad (20)$$

Підставивши (19) і (20) в (18), формула для визначення вартості амортизації гуми в залежності від рівності проїзної частини міських вулиць і доріг прийме вигляд

$$r = \frac{c' \cdot n}{L} \cdot (1 + 0,0018 \cdot S). \quad (21)$$

Таким чином, із врахуванням формул (4), (5), (12), (14), (21), (3) а також математичних моделей (9) – (11) та (15) – (17), економіко-математична модель для прогнозування собівартості перевезень економічно-розрахункового автомобіля на міських вулицях і дорогах різних груп в залежності від стану,

властивостей дорожніх конструкцій та умов їх служби *грн./маш.км* приймає вигляд

$$\left. \begin{aligned}
 a_e^m [S_{c3}(t), z] &= \gamma [S_{c3}(t)] \cdot \{K(l) \cdot c \cdot Q_e^m [S_{c3}(t), z] + r_e [S_{c3}(t)]\} + \frac{\beta}{MV^m [S_{c3}(t), z]} + \frac{\delta}{l}; \\
 \gamma [S_{c3}(t)] &= 1,745 + 0,0011 \cdot S_{c3}(t); \\
 K(l) &= 1,6 - 10^{-3} \cdot l, \quad l \leq 600 \text{ м. При } l > 600 \text{ м приймають } K = 1; \\
 S_{c3}(t) &= \frac{\sum_{i=1}^m [S_i(t) \cdot \% N_i]}{100}; \\
 S_i(t) &= S_0 + k_i \cdot \alpha \cdot t \cdot \exp(c \cdot t); \\
 k_i &= 1 + 0,006 \cdot n_i; \\
 \alpha &= \frac{0,57 \cdot (7,62 - B_c) \cdot \eta \cdot \delta \cdot t}{(h_{36} - 2)^{0,6} \cdot K_n \cdot \sqrt{(K_{3M} - 0,7)^3 \cdot \tau}} \cdot \exp \left[\begin{array}{l} 0,87 \cdot (K_{3M} - 0,7) - \\ - 0,023 \cdot h_{36} + 4,5 \cdot 10^{-4} \cdot N_p \end{array} \right]; \\
 c &= 0,02 + 0,0035 \cdot q; \\
 r_e [S_{c3}(t)] &= \frac{c'' \cdot 4}{L_{норм}} \cdot [1 + 0,0018 \cdot S_{c3}(t)]; \\
 z &= \frac{N_{з.л.}}{P_{max}}; \\
 &\text{– для міських вулиць і доріг групи А} \\
 Q_e^A [S_{c3}(t), z] &= \left\{ \begin{array}{l} [-1,022 \cdot \ln S_{c3}(t) + 5,203] \cdot z^2 + \left[\begin{array}{l} 2 \cdot 10^{-5} \cdot S_{c3}^2(t) - \\ - 6 \cdot 10^{-4} \cdot S_{c3}(t) - 0,1226 \end{array} \right] \cdot z + \\ + 5 \cdot 10^{-5} \cdot S_{c3}^2(t) - 0,0039 \cdot S_{c3}(t) + 10,88 \end{array} \right\}; \\
 &\text{– для міських вулиць і доріг групи Б} \\
 Q_e^B [S_{c3}(t), z] &= [3 \cdot 10^{-5} \cdot S_{c3}^2(t) + 0,005 \cdot S_{c3}(t) + 0,35] \cdot z + 0,008 \cdot S_{c3}(t) + 10,126; \\
 &\text{– для міських вулиць і доріг групи В} \\
 Q_e^B [S_{c3}(t), z] &= [0,005 \cdot S_{c3}(t) + 10,678] \cdot \exp \left\{ \left[7 \cdot 10^{-4} \cdot S_{c3}(t) - 0,031 \right] \cdot z \right\};
 \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Висновки

Результати дослідження дозволили встановити математичні зв'язки між собівартістю автотранспортних перевезень та параметрами і показниками, які характеризують властивості та умови роботи дорожніх конструкцій міських вулиць і доріг. Таким чином, це забезпечило можливість прогнозування зміни собівартості перевезень в залежності від реалізації конкретних управляючих дій, а саме різних видів та варіантів дорожньо-ремонтних робіт для підвищення

їх обґрунтованості у процесі формування міськими дорожніми господарствами програм ремонтів.

Розроблена економіко-математична модель покладена в основу методики техніко-економічного обґрунтування програм ремонтно-відновлювальних робіт на вулично-дорожніх мережах міських населених пунктів.

Література

1. Андреев С.І. Прогнозування зчпних якостей проїзної частини доріг / Андреев С.І., Охрименко В.Д. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : зб. наук. праць : Вип. 44. – К. : КАДІ, 1988. – С. 24 – 25.
2. Павлюк Д.О. Визначення залежності коефіцієнта зчеплення від швидкості / Павлюк Д.О., Кизима С.С., Андреев С.І. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : зб. наук. праць : Вип. 42. – К. : КАДІ, 1988. – С. 99 – 101.
3. Роман С.В. Удосконалення методів обґрунтування ремонтно-експлуатаційних робіт на вулично-дорожніх мережах міських населених пунктів : дис. на здобуття наукового ступеню канд. техн. наук: спец. 05.22.11 / Роман Сергій Вікторович. – К., 2009. – 240 с.
4. Варенцов И.Б. Эмпирическая формула себестоимости перевозок / Варенцов И.Б. // Организация автомобильных перевозок и безопасности движения : труды МАДИ : Вып. 12. – М. : Транспорт, 1975. – С. 80 – 82.
5. Кизима С.С. Исследование изменение ровности нежестких дорожных одежд в условиях УССР как показателя их качества : дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.22.10 «Автомобильные дороги» / Кизима С.С. – К., 1975. – 249 с.
6. Шилова Т.А. Обоснования мероприятий по улучшению условий движения на улично-дорожных сетях городов с учетом расхода топлива : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.23.14 «Строительство автомобильных дорог» / Шилова Т.А. – К., 1987. – 149 с.
7. Роман С.В. До прогнозування витрат автомобілями палива в залежності від стану проїзної частини в умовах дорожніх мереж міських населених пунктів / Роман С.В., Кизима С.С. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : зб. наук. праць : Вип. 86. – К. : НТУ, 2012. – С. 88 – 99.
8. Справочник инженера-автомобилиста автомобильного транспорта : [справочник] : под ред. проф. Голованенка С.Л. – К. : Техника, 1991. – 351 с.