

УДК 330.53.338.27

В.С. Степура, к.е.н.

ВИЗНАЧЕННЯ ВАРІАНТУ БУДІВНИЦТВА ДОРІГ НА ОСНОВІ ПОРІВНЯЛЬНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Національний авіаційний університет, м. Київ, sad@nau.edu.ua

При будівництві й реконструкції автомобільних доріг ефективність капітальних вкладень має вирішальне значення - вибір і економічне обґрунтування найбільш оптимального варіанту; вирішення соціально-економічних завдань у даному плановому періоді й генеральній перспективі; встановлення черговості й строків будівництва й реконструкції окремих ділянок; народногосподарську доцільність здійснення витрат. Аналіз літературних джерел свідчить про актуальність цієї проблеми.

Ключові слова: *інтенсивність руху, номінальні строки служби вкладень, рельєф, середня технічна швидкість, дорожнє покриття, одноразові і поточні витрати, порівняльна ефективність капітальних вкладень.*

Вступ. Сучасний стан дорожньої галузі зумовлює формування та вирішення трьох основних проблем, які в цілому визначають шлях розвитку дорожньої галузі в перспективі на декілька десятиліть:

1. Забезпечення номінальних строків служби вкладень в дороги, які забезпечують подальший розвиток і удосконалення інженерно-технічних і технологічних основ галузі.

2. Підвищення ефективності роботи автомобільних доріг, куди входять всі інженерно-економічні питання, техніко-економічні оцінки і аналізи, ефективність техніко-економічних обґрунтувань, зниження собівартості перевезень, підвищення швидкості руху, оптимізація дорожньої мережі та її стану.

3. Екологія автомобільних доріг, яка охоплює сукупність питань врахування і покращення результатів взаємодії дороги і рухомого складу автомобільного транспорту, забруднення навколишнього середовища та порушення екологічного балансу.

• • • • • **При обґрунтуванні виду виконуваних робіт, принципного напрямку траси автомобільної дороги між заданими пунктами з вибором основних проміжних пунктів на стадії проекту виконання робіт, розробки генеральних схем автомобільних доріг або схем районного планування встановлюють наступні технічні параметри варіантів;**

- довжини ділянок, прокладених на місцевості з різними характеристиками рельєфу;
- характеристики рельєфу місцевості кожної з ділянок;
- склад дорожнього руху;
- середні технічні швидкості автомобілів різних типів у транспортному потоці;
- урахування категорії дороги;
- тип дорожнього покриття.

При техніко-економічному обґрунтуванні варіантів у проектах реконструкції автомобільних доріг (капітального ремонту) встановлюють наступні параметри, що відображають стан існуючої дороги:

- інтенсивність і склад руху;
- швидкості руху автомобілів у транспортному потоці;
- кількісні показники про дорожньо-транспортні випадки;
- показники про кількість і якість земель, займаних при реконструкції;
- показники стану дорожніх одягів і покриттів.

Швидкості руху транспортних потоків, лінійні графіки коефіцієнтів аварійності, графіки ДТП і інші необхідні для порівняння і вибору варіантів автомобільних доріг відомості одержують на підставі методик, викладених у діючих нормативно-технічних документах і технічних вказівках, затверджених Мінрегіонбудом України.

Вирішення поставленого завдання. Середньозважене для варіанта значення технічної швидкості автомобіля j -го типу, визначають за формулою:

$$v_j = \frac{\sum_i v_{ij}}{\sum_i N_{ij}}, \quad (1)$$

де v_{ij} - швидкість автомобіля j -го типу на ділянці i ; N_{ij} - середньорічна добова інтенсивність руху на кожній з i ділянок з різними характеристиками рельєфу автомобілів j -го типу.

При обґрунтуванні відступів від ДБН В.2.3-4-2007 у частині ширини і числа смуг руху, варіанти ширини смуги призначають виходячи зі складу руху по дорозі, розрахункових швидкостей транспортних засобів і габаритних розмірів автомобілів. При змішаному складі транспортного потоку визначають розрахунком ширину смуги руху для кожного типу автомобілів. Для порівняння приймають варіанти ширини проїзної частини, що забезпечують можливість руху з розрахунковими швидкостями для сполучень наступних типів автомобілів:

легкового з легковим;

легкового з вантажним, що має найбільшу габаритну ширину.

При визначенні поперечного профілю із крайовими смугами їхню ширину необхідно включати до ширини проїзної частини для порівнюваних варіантів.

Розрахунки порівняльної економічної ефективності при обґрунтуванні ширини проїзної частини автомобільних доріг рекомендується вести в наступній послідовності:

- призначають варіант ширини проїзної частини. Для доріг із двома смугами руху розглядають варіанти, що передбачають збільшення ширини проїзної частини до 8-9 м. При цьому варто одночасно вирішувати питання про ширину узбіччя і крайових смуг. При перспективній інтенсивності понад 7 тис. авт./добу ширину проїзної частини дороги визначають одночасно з розрахунком числа смуг руху і ширини розподільчої смуги, орієнтуючись на положення ДБН В.2.3-4-2007;

- для кожного з варіантів уточнюють обсяги й вартість робіт, визначають середні швидкості транспортних потоків і розраховують ймовірне число ДТП;

- обчислюють показники одноразових і поточних витрат і виконують розрахунки порівняльної ефективності капітальних вкладень.

При визначенні поточних витрат по варіантах варто виходити зі швидкостей руху потоків автомобілів, обумовлених виразом $v = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot v_{nm}$ (2)

де v_{nm} - середня швидкість руху транспортного потоку, обчислена за даними табл. 1 з урахуванням категорії дороги, типу дорожнього покриття, характеру рельєфу місцевості й складу транспортного потоку, км/год; τ_1 - коефіцієнт, що враховує вплив ширини проїзної частини:

Таблиця 1

Середня технічна швидкість вантажних, легкових автомобілів і автобусів на дорогах різного типу

Категорія дороги	Тип дорожнього покриття	Середня технічна швидкість, км/год								
		Рівнинний рельєф			Пересічений рельєф			Гірський рельєф		
		Вантажні	Автобуси	Легкові	Вантажні	Автобуси	Легкові	Вантажні	Автобуси	Легкові
I.	Вдосконалене капітальне	65	70	100	60	65	90	50	55	80
II.	Те саме	55	60	80	50	55	75	40	45	60
III.	Те саме	50	55	70	40	50	60	35	35	50
III.	Вдосконалене полегшене	45	50	60	35	45	55	30	30	45
III.	Тверде, перехідне	35	40	50	30	35	45	25	25	40
IV.	Вдосконалене полегшене	35	40	45	30	35	40	25	25	35
IV.	Тверде, перехідне	30	35	40	25	30	35	20	20	30
IV.	Нижчого типу	25	30	35	22	25	30	17	17	25
V.	Вдосконалене полегшене	30	30	40	25	25	35	20	20	30
V.	Тверде, перехідне	25	25	35	22	22	30	17	17	25
V.	Нижчого типу	20	20	30	18	18	25	14	14	20

при $B_{ш} < 7,5$ м, $\tau_1 = 1,43 - 0,375 B_{ш} + 0,416 B_{ш}^2$; при $B_{ш} > 7,5$ м, $\tau_1 = 0,77 + 0,0307 B_{ш}$;
 $B_{ш}$ - ширина проїзної частини, м; τ_2 - коефіцієнт, що враховує вплив ширини узбіч: $\tau_2 = 0,603 + 0,175 B_{уз} + 0,019 B_{уз}^2$; $B_{уз}$ - ширина узбіч, м; τ_3 - коефіцієнт, що враховує вплив числа смуг руху на швидкість транспортного потоку:

Число смуг руху	1	2	3	4	5	6	7	8
τ_3	0,50	1,00	1,05	1,13	1,16	1,20	1,21	1,22

При визначенні кількості ДТП на 1 млн. авт.-км (a_p) обчислення ведуть за формулами:
 - для доріг з двома смугами руху (аварій/млн. авт.-км)

$$a_p = \left[0,146 \cdot 10^{-3} \cdot N_p - 0,633 \cdot 10^{-5} \cdot (\varepsilon \cdot N_p)^2 + 0,140 \cdot 10^{-7} \cdot (\varepsilon \cdot N_p)^3 \right] \cdot M_d; \quad (3)$$

- для доріг з числом смуг руху понад дві:

$$a_p = \left\{ 0,90 + 0,9424 \cdot 10^{-5} \cdot N_p \right\} M_d; \quad (4)$$

де N_p - інтенсивність руху розрахункового року, авт/добу; ε - коефіцієнт переходу від середньорічної добової до розрахункової годинної інтенсивності ($\varepsilon = 0,076$); M_d - коефіцієнт, враховуючий вплив елементів автомобільних доріг на аварійність:

$$M_d = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \dots, \quad (5)$$

де K_1 - враховує вплив ширини проїзної частини доріг при кількості смуг руху до чотирьох (при числі смуг руху 4 і більше, його приймають рівним 1,0);

$$K_1 = 428,015 B_{ш}^{3,169} + 0,317; K_2 - \text{враховує зміну ширини узбіч: } K_2 = 3,831 - 1,527 B_{уз} + 0,193 B_{уз}^2;$$

K_3 - враховує зміну числа смуг руху:

Число смуг руху	1	2	3	4	5	6	7	8
K_3	0,80	1,00	1,50	0,85	1,00	0,42	0,55	0,30

У разі необхідності визначають і інші часткові коефіцієнти: видимість дороги, радіус кривих, пересічення на одному рівні, відстань від населених пунктів і інші.

Оптимальну конструкцію дорожнього одягу з числа варіантів з однаковими транспортно-експлуатаційними показниками вибирають по мінімуму сумарних приведених дорожніх витрат, що визначаються в залежності від часу здійснення витрат.

Коли одноразові витрати можуть здійснюватися багаторазово і не збігатися за часом, а поточні витрати змінні в часі, показником найкращого варіанту є мінімум приведених витрат (P_{np}) за строк порівняння варіантів

$$D_{id} = \hat{E}_{id} \cdot \hat{A}_i \sum_1^{t_c} \frac{1}{(1 + \hat{A}_{ij})^y} + \sum_1^{t_c} \frac{C_i}{(1 + \hat{A}_{ij})^y}, \quad (6)$$

де K_{np} - приведені до одного базового моменту часу одноразові витрати по даному варіанту; E_H - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень; E_{HP} - нормативний коефіцієнт порівняльної ефективності капітальних вкладень C_i - поточні витрати по даному варіанті в t -му році; (t_c - строк порівняння варіантів у роках); t - число років між базовим роком і роком здійснення витрат.

При невеликому числі варіантів (2-3) і при умові, що в кожному з порівнюваних варіантів одноразові витрати протягом строку роблять тільки один раз - на його початку, розосередження витрат протягом періоду будівництва не враховуються, терміни служби об'єктів у всіх варіантах однакові, а поточні витрати не міняються по роках, то показником найкращого варіанта буде мінімум річних приведених витрат визначених за формулою:

$$D_{id}^{\delta^k} = \hat{A}_i \cdot \hat{E} + \tilde{N}, \quad (7)$$

де K - одноразові витрати по варіанту; C - річні поточні витрати по варіанту; або мінімум річних приведених витрат обчислених за спрощеною формулою:

$$D_{id}^{\delta^k} = \hat{E} + \hat{O}_i \cdot \tilde{N}, \quad (8)$$

де $T_n = 1/E_n$ - нормативний строк окупності додаткових капітальних вкладень за рахунок економії на поточних витратах;

або можливе послідовне порівняння витрат за наступними формулами:

$$A = \frac{\tilde{N}_1 - \tilde{N}_2}{\tilde{E}_2 - \tilde{E}_1}; \dot{O} = \frac{\tilde{E}_2 - \tilde{E}_1}{\tilde{N}_1 - \tilde{N}_2}, \quad (9)$$

де E - коефіцієнт порівняльної ефективності; T - строк окупності додаткових капітальних вкладень економією на поточних витратах; K_1, K_2 - одночасні витрати по порівнюваних варіантах; C_1, C_2 - поточні витрати по порівнюваних варіантах.

Якщо $E > E_n$ або $T < T_n$, то додаткові одноразові витрати, а отже, і більш капіталомісткий варіант ефективні.

У випадку розбіжності строків здійснення одноразових витрат по варіантах або їхньому багаторазовому характері порівняння забезпечується приведенням до одного базового моменту часу.

По варіантах з більш ранніми строками впровадження в дію витрат, що розраховуються згідно формули (6), зменшуються на приведеній до базового року розмір економічного ефекту, одержуваного протягом додаткового періоду функціонування введених у дію об'єктів. Аналогічно враховують економічний ефект від введення окремих пускових об'єктів.

При порівнянні варіантів з неоднаковими транспортно-експлуатаційними показниками до складу сумарних приведених витрат включають також витрати на проїзд автомобілів, що залежать від швидкості руху.

Швидкість руху транспортних потоків при техніко-економічному порівнянні варіантів дорожніх одягів рекомендується визначати наступним розрахунком:

$$V_{\delta} = v[V_{\dot{O}} - f(A_{\delta}, S, N_{\dot{O}})], \quad (10)$$

де v - показник, що враховує зміну швидкостей руху при різному експлуатаційному стані дорожнього покриття протягом року під впливом природно-кліматичних факторів;

$$v = 365^{-1} \sum_{\delta}^j \delta_{\delta} g_i; \quad (11)$$

Стан покриття	Ожеледь	Вологе	Зі сніжним покривом	Сухе
g_i	0,65	0,85	0,80	1,00

m_i - число днів експлуатації з різним станом дорожнього покриття протягом календарного року;

g_i - коефіцієнти зниження швидкості при різному стані дорожнього покриття: V_{nm} - середня швидкість транспортного потоку; E_v - модуль пружності дорожнього одягу; S - рівність дорожнього покриття; N_{bp} - інтенсивність безпечного руху; $f(E_v, S, N_{bp})$ - середня технічна швидкість автомобілів для вдосконаленого капітального типу дорожнього покриття з урахуванням характеристик місцевості;

$$f(E_v, S, N_{\dot{O}}) = \delta[0,5N_1\psi_{\dot{O}}\alpha_s\varphi(t_1) + \beta_s] \quad (12)$$

δ - коефіцієнт, що характеризує вплив міцності дорожнього одягу на швидкість руху;

α_s і β_s - коефіцієнти, що характеризують вплив експлуатаційного стану дорожнього одягу на швидкість руху

N_1 - інтенсивність руху вихідного року, авт./добу; ψ_{bp} - показник, що характеризує вплив рухомого складу на експлуатаційний стан дорожнього одягу на швидкість руху.

$$\psi_{\dot{O}} = 365 \cdot 10^{-4} \sum_j (G_j + \tilde{A}_j v_j \beta_j) J_j, \quad (13)$$

де G_j - маса кожного з j типів рухомого складу в порожньому стані, т; Γ_j - номінальна вантажопідйомність (пасажировмісність) кожного з j типів рухомого складу, т; v_j - коефіцієнт зміни швидкості руху автомобілів j -го типу; β_j - коефіцієнт використання вантажопідйомності (пасажировмісності) і пробігу кожного з j типів рухомого складу; J_j - число автомобілів j -го типу в складі транспортного потоку, у частках одиниці.

Коефіцієнт погіршення стану покриття визначається за формулою:

$$\varphi(t_1) = (q \ln q) \cdot (q^{t_1} - 1), \quad (14)$$

де t_1 - міжремонтний строк між середніми ремонтами, роки; q - коефіцієнт щорічного приросту інтенсивності руху (при зростанні інтенсивності за законом складних відсотків).

Під час реконструкції (капітального ремонту) автомобільної дороги можливі різні перетинання,

витрати на влаштування яких повинні враховуватись при визначенні поточних витрат.

Порівнювані варіанти перетинань звичайно характеризуються різними швидкостями руху, втратами часу автомобілів при простоях, різною довжиною пробігу автомобілів при загальних для всіх варіантів границях. Це обумовлює різну потребу в рухомому складі, необхідному для здійснення перевезень вантажів і пасажирів, різні поточні автотранспортні витрати.

Капіталовкладення в автомобільний транспорт в межах перетину, необхідні для здійснення перевезень вантажів і пасажирів в t -м році визначаються за формулою,

$$K_{t.a.} = \frac{365A}{T_a} \left(\sum_i \frac{L_i N_{ii}}{v_i} + \sum_i^{24} t_{np} \right), \quad (15)$$

де N_{ii} - середньорічна добова інтенсивність руху в t -му році по напрямку i на перетині, авт./добу; v_i і L_i - відповідно швидкість, км/год, і шлях пробігу, км, автомобілів по напрямку i на перетинанні; t_{np} - втрати часу при стоянні автомобілів у перетинанні, автомобіле-годин за 1 годину добового часу.

Розміри поточних автотранспортних витрат на перетинаннях автомобільних доріг рекомендується визначати з використанням формули $C_{t.a.} = 365 \left[\sum_i N_{ii} L_i S_i + \sum_i^{24} t_{np} S_{np} \right]$, (17)

де S_i - середня вартість 1 авт-км пробігу автомобілів i -го напрямку на перетинанні, коп/ авт-км, табл. 2, графи 2-3; S_{np} - видаткова ставка під час стояння автомобілів з працюючим двигуном, коп/ авт-год., її приймають рівній сумі постійних витрат і зарплат водіїв за 1 год роботи, табл. 3, граф 4-7.

При порівнянні варіантів перетинань автомобільних доріг із залізницями всі показники одноразових і поточних витрат визначають для ділянки в межах зони впливу перетинання. Якщо варіанти перетинання відрізняються між собою в плані, їхнє порівняння повинне виконуватися на ділянці дороги, поза межами якого всі розглянуті варіанти мають загальний план і профіль.

Таблиця 2

Розрахункові експлуатаційно-економічні показники рухомого складу окремого автомобільного транспорту (фрагменти)

Транспортні засоби (вантажопідйомність, т)	Змінні витрати в умовах експлуатації I категорії на 1 км пробігу, коп.		Постійні (накладні) витрати на 1 рік роботи автомобіля, коп.		Зарплата водіїв основна і додаткова з доплатами за класність і відрах. в соцстрах за 1 год, коп.	
	Приміськ і перевезення	Міжміськ і перевезення	Приміськ і перевезення	Міжміськ і перевезення	Приміськ і перевезення	Міжміськ і перевезення
1	2	3	4	5	6	7
Боргові						
ГАЗ-53А (4,0)	7,41	-	48,35	-	92,49	-
ЗИЛ-130-80 (6,0)	9,52	7,41	48,04	48,62	102,06	119,02
Автопоїзди						
МАЗ-5429 з МАЗ-5245 (13,5)	10,73	10,06	81,78	70,46	134,32	165,28
Автомобілі-самоскиди						
ГАЗ-САЗ-53Б (3,55)	8,33	9,62*	48,58	50,87*	76,78	90,76*
ЗИЛ-ММЗ-4502 (5,8)	10,60	11,97*	59,78	62,62*	84,00	106,66*
Автобуси						
КАВЗ-685	9,25***	9,25	49,68***	90,10	134,00***	100,68
ПАЗ-672	10,04***	10,05	49,68***	90,10	134,00***	100,68
Легкові						
ГАЗ-24-02	6,59	-	35,83	-	160,95	-
ВАЗ "Жигулі"	3,69	-	32,45	-	155,40	-

Примітка: * - Дані по сільськогосподарським перевезенням. ** - Дані по кар'єрним перевезенням. *** - Дані по міським перевезенням.

Сумарний час простою автомобілів у перетинання із залізницею в одному рівні в автомобіле-годинах протягом одного року може бути визначений за формулою

$$t_{mi} = 0,005M_n N_t t_{закр} \left(1 + \frac{0,1N_t}{60m} \right), \quad (17)$$

де M_n - число потягів за добу; N_t - добова інтенсивність руху; $t_{закр}$ - тривалість закриття переїзду при проїзді одного потягу, хв. (2-5 хв.); m - пропускна здатність переїзду, авт./хв. (звичайно приймається 10 авт./хв.).

При високій інтенсивності руху по автомобільній дорозі або залізниці, коли тривалість періоду між проходами потягів недостатня для пропуску автомобілів, що збираються біля переїзду, втрати часу рекомендується визначати шляхом побудови добового графіка пропуску автомобілів відповідно до розкладу руху потягів, закономірностями коливання інтенсивності руху протягом доби і режиму руху автомобілів у зоні переїзду.

Необхідні для розрахунків поточних витрат річні втрати часу транспортних потоків в автомобілі - годинах, викликані зниженням швидкостей руху в межах зони впливу перетинання, можуть бути визначені за наступною формулою: $t_{n.z.} = 365N_t \left(\frac{L_n}{v_{cp}} - \frac{L_n}{v_m} \right)$, (18)

де N_t - середньорічна добова інтенсивність руху по автомобільній дорозі в t -му році; L_n - протяжність зони впливу переїзду на швидкості руху транспортного потоку, км; v_{cp} - середня швидкість автомобілів у зоні впливу перетинання, може бути знайдена за виразом

$$v_{ад} = 0,5(v_m + v_{idd}) \quad (19)$$

$v_{пер}$ - швидкість руху автомобілів транспортного потоку через переїзд, км/год (приймається від 5 до 20 км/год залежно від ступеня оснащення переїзду); v_m - швидкість руху автомобілів поза зоною впливу перетинання, км/год.

Приклад визначення порівняльної ефективності проектних рішень. Об'єктом порівняння є елемент мережі автомобільних доріг К-ї обл. між пунктами А - Б, який в цілях нанесення найменшого збитку землекористувачам може бути прокладений по межах земельних угідь в двох варіантах, що відрізняються як по повній довжині, так і за довжиною ділянок, що проходять в різних умовах рельєфу.

Вихідні дані:

технічна категорія дороги **II**;

інтенсивність руху початкового року - **2650** авт./добу, перспективна - **5806** авт./добу;

коефіцієнт щорічного приросту інтенсивності руху - **1,04**;

склад руху: легкові автомобілі - **20%**, автобуси середньої місткості 26 пас. - **5%**, вантажні автомобілі середньої вантажопідйомності 5,3 т - **75%**;

довжина варіантів: **I - 30,6 км, II - 34,0 км.**

Довжини ділянок, що проходять в різних умовах рельєфу:

по варіанту **I**: рівнинний рельєф - **18,6 км.**, пересічений рельєф **12,0 км.**

по варіанту **II**: рівнинний рельєф - **27,6 км.**, пересічений рельєф - **6,4 км.**

Капітальні вкладення в будівництво автомобільної дороги по варіанту **I - 12690 тис. грн.**; по варіанту **II - 11600 тис. грн.**

Прийнято, що одноразові витрати по варіантах здійснюються одноразово на початку періоду порівняння, а поточні витрати міняються по одному закону. Порівняння варіантів можна виконати за формулою (7) з використанням показників

Таблиця 3

Тип автомобілів	Середня швидкість, км/год	
	Варіант 1	Варіант 2
Легкові	76	78
Автобуси	58	59
Вантажні	31	34

розрахункового року, який при темпі зростання інтенсивності 1,04 рівний 11.

Інтенсивність руху для 11-го року експлуатації дороги складе $(1+0.04)^{11} = 1,04^{11} = 1,54$ від інтенсивності руху в початковому році, тобто $N_{11} = 2650 \times 1,54 = 4081$ авт./добу. Середня технічна

швидкість автомобілів по варіантах з урахуванням характеристик рельєфу місцевості наведена в табл. 3.

Крім капітальних вкладень, в будівництво дороги зі складу одноразових витрат по варіантах розрізняються і підлягають обліку при порівнянні витрати на капітальні ремонти доріг в частці, віднесеної на збільшення її інвентарної вартості, а також капітальні вкладення в автомобільний транспорт. Інші доданки одноразових витрат по варіантах однакові і при порівнянні можуть не враховуватися.

Витрати на капітальні ремонти дороги, віднесені на збільшення її інвентарної вартості складають

по першому варіанту **704 тис. грн.**, по другому - **644 тис. грн.**

Капітальні вкладення в автомобільний транспорт визначають виходячи з таких даних: повні капітальні вкладення на один обліковий легковий автомобіль складають - **10,586 тис. грн.**, на 1 автобус - **25,726 тис. грн.** на один вантажний автомобіль - **15,651 тис. грн.**, кількість годин, роботи на лінії протягом року облікового легкового автомобіля **2280**, автобуса - **3285**, вантажного - **2230** годин.

Капітальні вкладення в автомобільний транспорт за станом на базовий рік визначаються згідно формули:

$$K_{ta} = 365 \sum_{(i)} L_i \sum_j N_{ij} A'_j, \text{ де } A'_j = \frac{A_j}{v_{ij} T_{aj}} \quad (20)$$

A_j - витрати пробігу на 1 маш./км.; v_{ij} - швидкість j -го автомобіля на ділянці i (табл. 3.); T_{aj} - обліковий час роботи автомобіля j -го типу.

При визначенні економічної ефективності капітальних вкладень в цілому по мережах автомобільних доріг або чергам їхнього будівництва й реконструкції капітальні вкладення в автомобільний транспорт на відповідний рік розраховують через питомі показники A_j (на 1 маш-км пробігу) на основі даних про перспективну інтенсивність руху по окремих елементах мережі доріг з розподілом по типах рухомого складу.

Результати, отримані за формулою (21) для різних значень t , є наростаючими підсумками капітальних вкладень в автомобільний транспорт за період з початку здійснення робіт з розвитку мережі автомобільних доріг до розглянутого року включно:

$$\text{Варіант 1 } \hat{E}_{01} = 365 \cdot 30,6 \left(\frac{0,2 \cdot 2650 \cdot 10,586}{76 \cdot 2280} + \frac{0,05 \cdot 2650 \cdot 25,726}{58 \cdot 3285} + \frac{0,75 \cdot 2650 \cdot 15,651}{31 \cdot 2230} \right) = 5587 \text{ тис. грн.}$$

$$\text{Варіант 2 } \hat{E}_{02} = 365 \cdot 34,0 \left(\frac{0,2 \cdot 2650 \cdot 10,568}{78 \cdot 2280} + \frac{0,05 \cdot 2650 \cdot 25,726}{59 \cdot 3285} + \frac{0,75 \cdot 2650 \cdot 15,651}{34 \cdot 2230} \right) = 5701 \text{ тис. грн.}$$

Щорічні додаткові капітальні вкладення в автомобільний транспорт, що забезпечують приріст обсягів перевезень громадського транспорту ΔK_{ta}^{lan} і вантажного ΔK_{ta}^{azi} приймають пропорційними цьому приросту.

Приведені до базового року щорічні додаткові капітальні вкладення в автомобільний транспорт, порівнювані за вибраний період t_c або T_{ca} , у випадку зростання обсягів перевезень у часі з постійним щорічним коефіцієнтом росту, визначають згідно формули:

$$\sum_1^{t_c} \frac{\Delta K_t}{(1 + E_{un})^t} = K_0 \frac{p_0}{1 + p_0} \sum_1^{t_c} \left(\frac{1 + p_0}{1 + E_{un}} \right)^t = K_0 \frac{p_0}{1 + p_0} f_{p,t}, \quad (23)$$

Іде p_0 - коефіцієнт щорічного росту обсягу перевезень;

K_0 - капітальні вкладення на початковий рік.

Значення сум $f_{p,t}$ можуть бути розраховані згідно формули (23).

$$\text{Варіант 1 } \sum_1^{t_c} \frac{\Delta K_t}{(1 + A_{it})} = 5587 \cdot \frac{0,04}{1,04} \cdot 19,061 = 4096 \text{ тис. грн.}$$

$$\text{Варіант 2 } \sum_1^{t_c} \frac{\Delta K_t}{(1 + A_{it})} = 5701 \cdot \frac{0,04}{1,04} \cdot 19,061 = 4179 \text{ тис. грн.}$$

Всього приведені до базового року капітальні вкладення в автомобільний транспорт:

$$\text{Варіант 1 } K_0 = 5587 + 4096 = 9683 \text{ тис. грн.};$$

$$\text{Варіант 2 } K_0 = 5701 + 4179 = 9880 \text{ тис. грн.};$$

Сума одноразових витрат варіантів, що враховуються при порівнянні:

$$\text{Варіант 1 } \hat{E}_{10}^1 = 12690 + 704 + 9683 = 23077 \text{ тис. грн.};$$

$$\text{Варіант 2 } \hat{E}_{10}^2 = 11600 + 644 + 9880 = 22124 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на перевезення автомобільним транспортом визначають на основі значень собівартості пробігу автомобілів:

$$C_{t,a,m} = 365 \sum_i L_i \sum_j N_{t,i,j} S_{ij}, \quad (23)$$

де L_i - довжина i -го елемента транспортної мережі, км;
 $N_{i,j}$ - середньорічна добова інтенсивність руху автомобілів типу j у рік t на i -му елементі транспортної мережі;

S_{ij} - витрати (за собівартістю) пробігу автомобіля типу j 1 км по i -му елементу транспортної мережі.

Якщо захід щодо розвитку автомобільних доріг, ефективність якого визначається, не викликає перерозподілу перевезень по видах транспорту, у розрахунку враховують поточні витрати на автомобільному транспорті, пов'язані тільки з операцією переміщення.

Розрахункова собівартість пробігу автомобілів за 1 км у конкретних дорожніх умовах дорівнює

$$S_{ij} = S_{cij} K_{qi} + \frac{S_{iindj} + d_j}{V_{ij}}, \quad (25)$$

де d_j - годинна заробітна плата з нарахуваннями водія автомобіля моделі j (табл. 3).

Таблиця 6

Тип автомобілів	Собівартість пробігу, грн. / авт. · км.	
	Варіант 1	Варіант 2
Легкові	5,40	5,42
Автобуси	16,07	16,11
Вантажні	12,29	12,33

Формула (24) використовується також і для розрахунку поточних витрат на автомобільному транспорті при визначенні ефективності капітальних вкладень у цілому по мережах автомобільних доріг або чергах їхнього будівництва й реконструкції. Поточні витрати, пов'язані з переміщенням вантажів і пасажирів, за станом на розрахунковий рік розраховуємо за (17) та табл. 6:

Варіант 1 $C_{ра.т.1} = 365 \cdot 30,6 \cdot 4081 \cdot (0,20 \cdot 5,40 + 0,05 \cdot 16,07 + 0,75 \cdot 12,29) \cdot 10^{-3} = 5060$ тис. грн.

Варіант 2 $C_{ра.т.2} = 365 \cdot 34,0 \cdot 4081 \cdot (0,20 \cdot 5,42 + 0,05 \cdot 16,11 + 0,75 \cdot 12,33) \cdot 10^{-3} = 5638$ тис. грн.

Втрати народного господарства, пов'язані з витратами часу населенням на необхідні поїздки з урахуванням середньої місткості легкових автомобілів (1 чол.), автобусів (26 чол.) і коефіцієнтів використання місткості, рівних відповідно 0,5 і 0,71, при середньому значенні втрат з розрахунку на 1 люд.-год. у розмірі 0,5 грн. визначаються за формулою:

$$B_i = 365 \cdot C \cdot \sum_i \left[N_{i,j}^n \cdot \left(\frac{L_i}{V_i^n} + t_3 \right) \cdot P^n + N_{i,j} \cdot \left(\frac{L_i}{V_i^a} + t_3 \right) \cdot P^a \right] \quad (26)$$

де P^n ; P^a - відповідно середня кількість пасажирів в одному легковому автомобілі, автобусі; C - середня величина втрат народного господарства розраховуючи на 1 люд.-год. перебування в дорозі, включаючи втрати від транспортної втоми (0, 5 - 0,7 грн.).

$$\text{Варіант 1 } B_{p1} = 365 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 4081 \cdot \left(\frac{0,2 \cdot 30,6 \cdot 0,5}{76,1} + \frac{0,05 \cdot 30,6 \cdot 26 \cdot 0,71}{58,0} \right) = 482 \text{ тис. грн.}$$

$$\text{Варіант 2 } \hat{A}_{o2} = 365 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 4081 \cdot \left(\frac{0,2 \cdot 34,0 \cdot 0,5}{78,1} + \frac{0,05 \cdot 34,0 \cdot 26 \cdot 0,71}{59,0} \right) = 428 \text{ тис. грн.}$$

Сумарні показники поточних витрат по варіантах на розрахунковий рік:

$$\text{Варіант 1 } C_{p.1} = C_{ра.т.1} + B_{p1} = 5060 + 482 = 5542 \text{ тис. грн.}$$

$$\text{Варіант 2 } C_{p.2} = C_{ра.т.2} + B_{p2} = 5638 + 428 = 6066 \text{ тис. грн.}$$

Приведені витрати:

$$\text{Варіант 1 } P_{пр1} = E_n K_{пр}^1 + C_{p.1} = 0,12 \cdot 23077 + 5542 = 8311 \text{ тис. грн.}$$

$$\text{Варіант 2 } P_{пр2} = E_n K_{пр}^2 + C_{p.2} = 0,12 \cdot 22124 + 6066 = 8721 \text{ тис. грн.}$$

Порівнявши ефективність варіанту 1 краще, про що свідчать менші сумарні приведені витрати $P_{пр1} < P_{пр2}$.

Список літературних джерел

1. Кизима С.С. Експлуатація автомобільних доріг: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом підготов. «Будівництво» / - К.: НТУ, 2009. - 272 с.
2. Указания по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительство и реконструкцию автомобильных дорог. ВСН 21-83. Минавтодор РСФСР. - М.: Транспорт, 1985.
3. Гохман В.А., Ромаданов Г.А. Общий курс автомобильных дорог. Учебник для вузов. - М.: «Высшая школа», 1976 - 207с.