

# ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА (ІНЖЕНЕРНА ЕКОЛОГІЯ) І РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 625.7/.8 (043.2)

В.С. Стенура, к.е.н.

## ПРИКЛАД ВИЗНАЧЕННЯ ВАРІАНТА БУДІВНИЦТВА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

При вирішенні питань пов'язаних з реконструкцією старих чи будівництвом нових доріг особливе значення має порівняння варіантів доріг за технічно-економічними показниками. В даній статті йдеться мова про характеристики дорожнього полотна згідно з якими обирається найбільш вигідний варіант будівництва чи реконструкції автомобільних доріг.

**Ключові слова:** проектування автомобільних доріг, дорожні витрати, реконструкція, порівняння.

### Вступ

Під час вишукувань в період проектування автомобільних доріг зазвичай пропонують варіанти траси дороги, особливо при складній місцевості. У зв'язку з цим виникає технічно-економічне порівняння для обґрунтування кращого варіанта траси. Автомобільних доріг порівнюють за рядом техніко-економічних показників. Ці показники можна поділити на три групи: економічні, експлуатаційні та будівельні. Економічні показники відносяться: вартість будівництва чи реконструкції доріг; сума дорожніх витрат; сума приведених транспортних витрат; загальна сума приведених витрат. Експлуатаційні показники: протяжність дороги; коефіцієнт подовження траси; кількість кутів найменший радіус кривих у плані; кількість перехресть та примикання доріг на одному та іншому напрямку; найменший поздовжній ухил; найбільший ітоговий коефіцієнт аварійності. Будівельні показники включають: об'єм оплачуваних земляних робіт; площа дорожнього полотна; кількість і загальну довжину мостів, путепроводів і труб; загальну протяжність дороги за сприятливими ґрунто-геологічними умовами.

### Постановка задачі

При будівництві і реконструкції дороги для цілей порівняння варіантів визначають показники на основі укрупнених показників. Для того щоб скористатися укрупненими показниками, потрібно попередньо визначити об'єм робіт в тих одиницях вимірювання, в яких укрупнені показники одиничної вартості. Очікувана будівельна вартість дороги (з вартості дорожнього одягу та штучних будівель. Оплачувані обсяги земляних робіт (наповнення і виїмки) визначають за таблицями та за формулами. Річні витрати включають витрати на відновлення дороги, її ремонт і утримання. Середні значення річних дорожніх витрат на 1 км дороги наведені в табл.1.

Таблиця 1

Дорожньо-експлуатаційні витрати на 1 км дороги

На відновлення	Капітальний ремонт	Середній ремонт	Поточний ремонт	Експлуатація	Всього
4292,0	580,0	377,0	522,0	29,0	5800
1401,2	361,6	214,7	271,2	11,3	2260
1140,0	360,0	222,0	260,0	18,0	2000
1006,9	277,8	203,1	225,7	22,6	1736
537,6	-	159,6	126,0	16,8	840

Річні витрати на ділянці дороги визначають за формулою:

$$D_{cp} = dl, \quad (1)$$

де  $d$  – середні річні витрати на 1 км дороги (табл. 1);

$l$  – довжина ділянки по конструкції, км.

Річні розрахунки за один рік експлуатації автомобілів на ділянці приблизно можна зробити за формулою:

$$S_{тр} = D l \sum_{i=1}^n I_{доб} S_{км}, \quad (2)$$

де  $S_{тр}$  – кількість днів роботи автотранспорту протягом року (залежить від режиму роботи автотранспорту і

де  $d$  – середні річні витрати на 1 км дороги (табл. 1);  
 $l$  – довжина ділянки по конструкції, км.  
Річні розрахунки за один рік експлуатації автомобілів на ділянці приблизно можна зробити за формулою:

### Постанова

Вартість будівництва і реконструкції дороги для цілей порівняння варіантів визначають на основі укрупнених показників. Для того щоб скористатися укрупненими показниками, потрібно попередньо визначити об'єм робіт в тих одиницях вимірювання, в яких укрупнені показники одиничної вартості. Очікувана будівельна вартість дороги (з вартості дорожнього одягу та штучних будівель. Оплачувані обсяги земляних робіт (наповнення і виїмки) визначають за таблицями та за формулами. Річні витрати включають витрати на відновлення дороги, її ремонт і утримання. Середні значення річних дорожніх витрат на 1 км дороги наведені в табл.1.

проїзності дороги);  $l$  – довжина ділянки дороги, км;  $n$  – кількість типів автомобілів, маючих різну собівартість перевезень на 1 автомобіле-кілометр;  $I_{\text{доб}}$  – середньорічна добова інтенсивність руху (за типами автомобілів);  $S_{\text{км}}$  – собівартість 1<sup>го</sup> автомобіле-кілометра (транспортна складова); Орієнтована вартість 1<sup>го</sup> автомобіле-кілометра наведена у табл. 2.

Таблиця 2

Категорія дороги	Собівартість автомобіле-кілометра, грн.			
	Типи автомобілів			
	Вантажні 150	Авто потяги 220	Автобуси 180	Легкові
I	2,31	3,19	2,54	1,18
II	2,38	3,49	2,73	1,30
III	2,59	3,79	2,95	1,41
IV	2,63	3,86	2,95	1,43
V	2,73	4,23	3,27	1,54
Грунтова	3,06	4,49	3,53	1,67

У відповідності з методичними рекомендаціями і ДБН показником порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень є сума приведених витрат. Приведені витрати являють собою суму капітальних вкладень і поточних витрат за розрахунковий період, приведених до вихідного року.

За вихідний чи базовий рік приймають останній рік будівництва дороги або перший рік її експлуатації.

Витрати в різні роки бувають нерівноцінні, тому витрати, що передують вихідному року, множать на коефіцієнт приведення витрат  $K_{\text{пр}}$ , а наступних років – на коефіцієнт віддалення витрат ( $K_o$ ).

Коефіцієнт приведення витрат:

$$K_{\text{пр}} = (1 + E_{\text{н.п}})^t, \quad (3)$$

де  $E_{\text{н.п}}$  – норматив для приведення різночасових витрат до вихідного року (згідно ДБН встановлений – 0,08);  $t$  – проміжок часу (в роках) між проведеними витратами і вихідним роком. Коефіцієнт приведення витрат більше одиниці; він враховує «замороження» вкладених ресурсів, які результату поки що не дають. Коефіцієнт віддалення витрат:

$$K_o = \frac{1}{(1 + E_{\text{н.п}})^t}, \quad (4)$$

де  $t$  – період часу віддалення витрат від вихідного року в роках.

Оскільки  $K_o < 1$ , приведені витрати наступних років будуть менші дійсних. Даним коефіцієнтом враховують обіг коштів у народному господарстві.

Сума приведених витрат в дорожньому будівництві складається з ряду капітальних вкладень і поточних витрат.

З поточних затрат найбільш суттєве значення мають дорожні і транспортні витрати. В даному випадку приведені затрати  $M$  можна визначити за формулою:

$$M = C_{\text{пр}} + \sum_1^{t_p} D + \sum_1^{t_p} S_{\text{тр}}, \quad (5)$$

де  $C_{\text{пр}}$  – приведені капіталовкладення на будівництво чи реконструкцію доріг;  $t_p$  – розрахунковий термін приведення затрат;  $\sum_1^{t_p} D$  – приведені дорожні витрати за  $t_p$  років;

$\sum_1^{t_p} S_{\text{тр}}$  – приведені транспортні витрати за  $t_p$  років.

При будівництві ділянки дороги за один рік приведені капіталовкладення будуть дорівнювати кошторисній вартості будівництва чи реконструкції дороги, тому що  $K_{\text{пр}}=1$ .

Згідно ДБН розрахунковий термін приведення витрат і визначення економічного ефекту приймають – 20 років.

Суму приведених дорожніх витрат за 20 років можна визначити за формулою:

$$\sum_1^{20} D = D_{\text{ср}} \sum_1^{20} K_o, \quad (6)$$

де  $D_{\text{ср}}$  – середньорічні дорожні витрати на ділянці дороги;

$\sum_1^{20} K_o$  – сума коефіцієнтів віддалення витрат за 20 років.

Якщо інтенсивність руху протягом року змінюється за певним законом, то приведені

транспортні витрати за 20 років можна визначити за формулою В. А. Гохмана:

$$\sum_1^{t_p} S_{\text{тр}} = S_{\text{тр}1} \sum_1^{t_p} K_0 m, \quad (7)$$

де  $S_{\text{тр}1}$  – транспортні витрати в перший рік експлуатації;

$K_0$  – коефіцієнт віддалення витрат;

$m$  – відношення інтенсивності даного року до інтенсивності першого року експлуатації.

Для визначення транспортних витрат в перший рік експлуатації дороги необхідно знати інтенсивність руху на цей рік, яку можна визначити з формули:

$$I_1 = I_n : m_n, \quad (8)$$

де  $I_n$  – перспективна інтенсивність руху на  $n$ -й рік;

$m_n$  – коефіцієнт збільшення перспективної інтенсивності у порівнянні з першим роком.

Самим важливим економічним показником, впливаючим на вибір варіанта, є сума приведених затрат. Якщо ця сума дуже мало відрізняється в порівняльних варіантах, то потрібно обережно порівняти варіанти по інших показниках і, в першу чергу, за будівельною вартістю і за експлуатаційними показниками. Вибраний варіант потрібно перевірити на ефективність капітальних вкладень.

Економічна ефективність від будівництва нових чи реконструкції наявних доріг визначається за рахунок скорочення капіталовкладень в автомобільний транспорт; зниження дорожньо-транспортних витрат; скорочення часу перебування пасажирів у дорозі; переключення короткопробіжних перевезень із залізничної дороги на автомобільну; виключення перерв в роботі автомобільного транспорту, викликаних бездоріжжям в окремі періоди року.

Собівартість одного автомобіле-кілометра пробігу автомобіля визначають по формулі:

$$S_{\text{км}} = C_{\text{зм}} + \frac{C_{\text{пос}} + S}{v_t}, \quad (9)$$

де  $C_{\text{зм}}$  – змінні витрати, залежать від дорожніх умов (зношення і ремонт шин, вартість пального, технічне обслуговування, ремонт автомобіля);  $C_{\text{пос}}$  – постійні витрати, незалежні від руху (накладні затрати);  $S$  – годинна тарифна ставка водіїв;  $v_t$  – середня технічна швидкість автомобіля.

Виходячи з формули (9), можна більш точно врахувати вплив дорожньо-транспортних умов на собівартість перевезень. При цьому враховують чотири фактори: тип автомобіля, вид дорожнього покриття, середню технічну швидкість руху автомобілів і середній поздовжній ухил дороги.

Загальна приведена ефективність від зниження дорожньо-транспортних витрат являє собою різницю приведених витрат при існуючому положенні і при умові будівництва проектною дороги.

Час перебування пасажирів у дорозі за один рік на ділянці дороги можна визначити за формулою:

$$T_{\text{рік}} = D I_{\text{пас}} P \gamma \beta \frac{l}{v_e} \quad (10)$$

де  $T_{\text{рік}}$  – час перебування пасажирів у дорозі за рік;  $D$  – кількість днів перевезень за рік;  $I_{\text{пас}}$  – середньодобова за рік інтенсивність пасажирського (автомобільного) руху;  $P$  – місткість автобуса;  $\gamma$  – коефіцієнт місткості автобуса;  $\beta$  – коефіцієнт використання пробігу, приймається рівним 1;  $l$  – довжина ділянки дороги, км;  $v_e$  – експлуатаційна швидкість на ділянці дороги, км/год.

Аналогічно можна визначити час перебування пасажирів у легковому автомобілі.

Річний економічний ефект від прискорення пасажирських перевезень становить:

$$E_{\text{пас}} = (T_{\text{рік}}^{\text{існ}} - T_{\text{рік}}^{\text{нр}}) S_{\text{ч}}, \quad (11)$$

де  $T_{\text{рік}}^{\text{існ}}$  – час перебування пасажирів в дорозі до будівництва нової дороги;

$T_{\text{рік}}^{\text{нр}}$  – час перебування пасажирів у дорозі по новій дорозі;

$S_{\text{ч}}$  – середня вартість однієї пасажиро-години.

Приведений ефект від прискорення пасажирських перевезень за розрахунковий термін дорівнює:

$$\sum_1^{t_p} E_{\text{пас}} = E_{\text{пас}1} \sum_1^{t_p} K_0 m, \quad (12)$$

де  $E_{\text{пас}1}$  – ефект за перший рік експлуатації;

$\sum_1^{t_p} K_0 m$  – значення беремо з табл.3

Таблиця 3

Значення  $\sum_1^{t_p} K_0 m$

Щорічний приріст інтенсивності руху %	$\sum_{10}^{10} K_0 t$		$\sum_{20}^{20} K_0 t$	
	лінійний приріст	Приріст по складним відсоткам	Лінійний приріст	Приріст по складним відсоткам
3	-	8,15	-	13,22
4	-	8,47	-	14,26
5	8,66	8,86	14,35	15,53
6	8,92	9,17	15,07	16,79
7	9,21	9,58	15,81	18,33
8	9,48	10,00	16,57	20,00
9	9,79	10,43	17,32	21,83
10	10,06	10,87	18,05	23,87
11	10,32	11,35	18,79	26,22
12	10,63	11,85	19,56	28,87
13	10,88	12,36	20,30	31,68
14	11,19	12,91	21,04	35,03
15	11,47	13,50	21,78	38,65

Якщо в результаті будівництва нової автомобільної дороги можливо переключити коротко шляхові перевезення вантажу із залізничної дороги на автомобільну, то від цього можна визначити приведений економічний ефект.

Величина річних затрат на перевезення вантажів по залізничній дорозі по ВСН 32 дорівнює:

$$E_t^{зд} = P_t^{зд} C' + Q_t C'' \tag{13}$$

де  $P_t^{зд}$  – вантажообіг по залізничній дорозі в рік  $t$ , т·км;  $C'$  – витратна ставка за 1 т·км перевезень по залізничній дорозі;  $Q_t$  – об'єм вантажоперевезень по залізничній дорозі в рік  $t$ , т;  $C''$  – витратна ставка на вантажо-розвантажувальні роботи, за 1 т вантажу.

Аналогічно можна визначити відповідні річні затрати на перевезення цих же вантажів по новій автомобільній дорозі.

Різниця між собівартістю перевезень короткопробіжних вантажів по залізничній та автомобільній дорозі дає відповідний річний економічний ефект.

Ефект від скорочення перерв у роботі автомобільного транспорту отримується за рахунок скорочення потреби в оборотних коштах, необхідних для створення запасів сировини, готової продукції та предметів вжитку на час перерви сполучення.

Величину щорічного ефекту від виключення перерв у роботі транспорту визначають з формули:

$$E_t^{зап} = \frac{Q_t C_c t_{пер}^2 E_H}{288} \tag{14}$$

де  $Q_t$  – кількість вантажу круглорічного виробництва і вживання, перевезених по дорозі за рік  $t$ ;  $C_c$  – середня ціна 1 т вантажу;  $t_{пер}$  – час перерви у повідомленні, місяці;  $E_H$  – нормативний коефіцієнт ефективності (0,12).

Якщо протягом року має місце декілька перерв у повідомленні то розрахунок по вищенаведеній формулі роблять для кожної з них, а потім отримані результати складають.

Після визначення наведеного річного ефекту на поточних затратах на кожен рік визначають сумарний наведений ефект за розрахунковий термін  $\sum_1^{t_p} E_t$ . Потім визначають середньо ваговий коефіцієнт економічної ефективності за формулою:

$$E_{ср} = \frac{\sum_1^{t_p} E_t}{(K^{пр} - K^{існ}) \sum_1^{t_p} K_0} \tag{20}$$

де  $K^{пр}$  – приведені капітальні вкладення за розрахунковий період при втіленні проекту будівництва чи реконструкції автомобільної дороги;  $K^{існ}$  – аналогічно – при відмові від будівництва чи реконструкції дороги;  $\sum_1^{t_p} K_0$  – сума коефіцієнтів інтенсивності руху за розрахунковий період.

Орієнтовно середньозважений коефіцієнт економічної ефективності можна визначити за формулою:

$$E_{ср} = \frac{(\sum_1^{t_p} A^{існ} + \sum_1^{t_p} S^{існ}) - (\sum_1^{t_p} A^{пр} + \sum_1^{t_p} S^{пр})}{C_{прив} \sum_1^{t_p} K_0} \tag{21}$$

де  $(\sum_1^{t_p} D^{icn} + \sum_1^{t_p} S_{tr}^{icn})$  – приведені дорожньо-транспортні витрати за  $t_p$  років експлуатації існуючої дороги;  $(\sum_1^{t_p} D^{np} + \sum_1^{t_p} S_{tr}^{np})$  – аналогічно, для проектної дороги;  $S_{прив}$  – приведена вартість будівництва чи реконструкції проектованої дороги.

Якщо отриманий коефіцієнт виявиться більшим нормативного, то будівництво дороги по вибраному варіанту буде економічно-виправданим.

В даний час нормативний коефіцієнт ефективності дорівнює 0,12. Відповідно при  $\sum_{ср} > 0,12$  виконувати проект дороги економічно вигідно.

#### Приклад економічного порівняння варіантів проектуємих доріг

Вихідні дані для даного прикладу наступні:

- 1) Проектована дорога II технічної категорії;
- 2) Перспективна інтенсивність руху на 20-й рік – 4000 авт./доб.;
- 3) Щорічний приріст інтенсивності руху – 7 %;
- 4) Склад автотранспорту; вантажні автомобілі – 70 %, автобуси – 5%, легкові автомобілі – 25 %;
- 5) Довжина I варіанта дороги – 10 км; довжина II варіанта – 10,5;
- 6) Будівельна вартість I варіанта дороги – 2300 тис. грн.; будівельна вартість II варіанта – 2280 тис. грн.;
- 7) Ділянку дороги намічено побудувати за 1 рік;
- 8) Існуюча дорога довжиною 12,0 км побудована по нормам V технічної категорії.

Рішення 1. Визначаємо суму наведених дорожніх витрат за 20 років по формулі :

$$\sum_1^{20} D = D_{ср} \sum_1^{20} K_0.$$

Значення  $D_{ср}$  – обираємо з табл. 1.

Для існуючої дороги  $D_{ср} = 1736 \cdot 12,0 = 20829,6$  тис. грн.

Для I варіанту проектованої дороги  $D_{ср} = 2260 \cdot 10,0 = 22600$  тис. грн.

Для II варіанта  $D_{ср} = 2260 \cdot 10,5 = 23730$  тис. грн.

Сума дорожніх витрат при  $\sum_1^{20} K_0 = 10,60$  (визначаємо за формулою 4) складе для існуючої дороги

$$\sum_1^{20} D^{icn} = 10,60 \cdot 20829,6 = 22079,4 \text{ тис. грн.}$$

$$\text{Для I варіанта дороги } \sum_1^{20} D_I^{np} = 10,60 \cdot 22600 = 239560 \text{ тис. грн.}$$

$$\text{Для II варіанта дороги } \sum_1^{20} D_{II}^{np} = 10,60 \cdot 23730 = 251538 \text{ тис. грн.}$$

2. Визначаємо інтенсивність руху у вихідному році. При щорічному 7%-му прирості інтенсивності руху за складними відсотками  $m_{20} = 3,63$  (визначаємо за формулою  $m_t = (1 + q)^t$ , де  $q$  – приріст інтенсивності;  $t = 0, n$ ). Тоді

$$I_{доб1} = \frac{I_{доб20}}{m_{20}} = \frac{4000}{3,63} = 1100 \text{ авт./доб.}$$

З врахуванням заданого руху і типів автомобілів, інтенсивність руху в 1-й рік становить:

$$\text{вантажних автомобілів } 1100 \cdot 0,70 = 770 \text{ авт./доб.};$$

$$\text{автобусів } 1100 \cdot 0,05 = 55 \text{ авт./доб.};$$

$$\text{легкових автомобілів } 1100 \cdot 0,25 = 275 \text{ авт./доб.};$$

$$\text{Всього } 1100 \text{ авт./доб.}$$

3. Підраховуємо транспортні витрати на перший рік експлуатації дороги за формулою:

$$S_{tr} = D l \sum_1^n I_{доб},$$

де  $l$  – собівартість 1 авт.км.

Для розрахунку приймаємо  $D=300$  (кількість днів роботи за рік). Значення транспортної складової обираємо з табл. 2.

Для існуючої дороги

$$S_{tr1} = 300 \cdot 10,5(770 \cdot 2,73 + 55 \cdot 3,27 + 275 \cdot 1,54) : 1000 = 8522,17 \text{ тис. грн.}$$

Для I варіанта дороги

$$S_{tr2} = 300 \cdot 10,0(770 \cdot 2,73 + 55 \cdot 3,27 + 275 \cdot 1,54) : 1000 = 8020,75 \text{ тис. грн.}$$

Для II варіанта

$$S_{\text{трII}} = 300 \cdot 10,5(770 \cdot 2,38 + 55 \cdot 2,73 + 275 \cdot 1,3) : 1000 = 7371,79 \text{ тис. грн.}$$

4. визначаємо суму приведених транспортних витрат за 20 років за формулою:

$$\sum_1^{20} S_{\text{тр}} = S_{\text{трI}} \sum_1^{20} K_n \text{ тис.}$$

При 7%-му році інтенсивності рух за складними відсотками  $\sum_1^{20} K_n = 18,33$ . Тоді сума транспортних витрат становить:

для I варіанта дороги:

$$\sum_1^{20} S_{\text{трI}} = 8123,89 \cdot 18,33 = 148758,69 \text{ тис. грн.};$$

для II варіанта дороги:

$$\sum_1^{20} S_{\text{трII}} = 6859,05 \cdot 18,33 = 125726,39 \text{ тис. грн.};$$

для II варіанта дороги

$$\sum_1^{20} S_{\text{тр}} = 7202,00 \cdot 18,33 = 132012,66 \text{ тис. грн.};$$

5. Визначаємо суму приведених витрат за 20 років з формули:

$$M = C_{\text{прив}} + \sum_1^{20} D + \sum_1^{20} S_{\text{тр}}$$

Так як дорогу визначено побудувати за 1 рік, замість приведеної будівельної вартості слід прийняти дійсну вартість:

$$M = C + \sum_1^{20} D + \sum_1^{20} S_{\text{тр}}$$

Тоді для першого варіанта дороги

$$M_I = 2300 + 239560 + 125726,39 = 367586,39 \text{ тис. грн.};$$

для II варіанта дороги

$$M_{II} = 2280 + 251538 + 132012,66 = 385830,66 \text{ тис. грн.};$$

Оскільки  $M_I < M_{II}$  вибираємо I варіант, не дивлячись на те що він дорожче другого на 20 тис. грн.

6. Визначаємо коефіцієнт економічної ефективності капіталовкладень для обраного (першого) варіанта дороги за формулою:

$$E_{\text{ср}} = \frac{(\sum_1^{20} D^{\text{сн}} + \sum_1^{20} S_{\text{тр}}^{\text{сн}}) - (\sum_1^{20} D^{\text{пр}} + \sum_1^{20} S_{\text{тр}}^{\text{пр}})}{C_{\text{прив}} \sum_1^{20} K_n} = \frac{(22079 + 148758,69) - (239560 + 125726,39)}{2300 \cdot 10,60} = 0,17.$$

Оскільки  $E_{\text{ср}} > 0,12$ , будівництво дороги по першому варіанту економічно виправдане.

Термін окупності буде становити:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{E_{\text{ср}}} \approx 6 \text{ років}$$

## Висновки

Порівнявши приведені варіанти траси за техніко-економічними показниками можна визначити економічно вигідніший варіант будівництва дороги.

## Список літературних джерел

1. Гохман В.А., Ромаланов Г.А. общий курс автомобильных дорог. Учебник для вузов. – М: «Высшая школа», 1976 – 207с.
2. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений. – М: Стройиздат, 1970.
3. Степура В.С., Тімкіна С.Ю., Олюха Я.Л. Ефективність капітальних вкладень будівні автомобільних доріг. – К: Вісник інженерної академії України. Вип.2: 2010. 4с.
4. Кизима С.С. Эксплуатация автомобильных дорог: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – К.: НТУ, 2009. – 272с.