

УДК 338.47:338.246.025.3  
UDC 338.47:338.246.025.3

## ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ІНВЕСТУВАННЯ ПРОЕКТІВ БУДІВНИЦТВА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Хмелевський М.О., кандидат економічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Цюман Є.С., Національний транспортний університет, Київ, Україна

## FEATURES OF MATHEMATICAL MODELING OF INVESTMENT PROJECTS CONSTRUCTION OF ROADS

Khmelevskiy M.O. Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine

Tsuman Ye.S., National Transport University, Kyiv, Ukraine

## ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОРОГ

Хмелевский Н.А., кандидат экономических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Цюман Е.С., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день одним з найбільш пріоритетних напрямків зовнішньоекономічної діяльності нашої держави є економічна співпраця з країнами Євросоюзу. Ефективність такої співпраці знаходиться в прямій залежності від ступеня розвитку транспортної системи нашої держави, зокрема від стану розвитку мережі автомобільних доріг [1]. Враховуючи також географічне розташування України, внаслідок якого через її територію проходять чотири міжнародні транспортні коридори [2], питання актуальності розвитку її мережі автомобільних доріг не викликають сумніву.

Водночас, існуюча невідповідність між державними стандартами, що діяли на момент будівництва і введення в експлуатацію більшої частини автомобільних доріг, побудованих ще за часів СРСР, і режимом їх експлуатації в сучасних умовах є основною причиною незадовільного стану значної частини існуючих автомобільних доріг. Іншою причиною незадовільного стану українських автомобільних доріг є фізична і моральна зношеність основних фондів шляхово-будівних та шляхових ремонтно-будівних підприємств. Спільні наслідки, викликані обома вищеназваними причинами, дозволяють говорити і про існування більш узагальненої причини низької якості автомобільних доріг – недостатнього фінансування цієї галузі економіки.

Фактично, вся мережа автомобільних доріг є державною власністю. Отже, практично весь тягар фінансування будівництва нових і утримання існуючих доріг лягає на державний бюджет. Навіть приблизна оцінка вартості ремонту існуючих автомобільних доріг [3] (для більшості доріг це капітальний ремонт або реконструкція, вартість яких хоч і значно менша, але співрозмірна із вартістю будівництва нової дороги) дозволяє говорити про сотні мільярдів гривень, що в кілька разів перевищує весь річний бюджет України. Таким чином, причиною недофінансування дорожньої галузі є глобальна недостатність державного бюджету для цього. Тому, більшість українських доріг продовжує існувати в «хронічному» незадовільному стані.

В таких умовах поліпшити ситуацію можна, наприклад, із залученням довгострокових недержавних фінансових інвестицій. Така практика, що передбачає взаємодію державних і недержавних структур з метою вирішення важливих соціально-економічних проблем, отримала назву державно-приватного партнерства (ДПП). З метою прогнозування інвестиційної привабливості проекту будівництва автомобільної дороги для майбутнього інвестора необхідна комплексна оцінка всіх можливих фінансових і матеріальних потоків, які будуть здійснюватись на засадах ДПП.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Дослідження щодо інвестування підприємств, використання фінансового забезпечення та фінансового механізму здійснювались у працях В.П.Попкова, О.В.Кленіна, І.О.Бланка та інших [4–6]. У наведених дослідженнях розглядаються капітальні інвестиції за джерелами фінансування як елемент виробничого і економічного потенціалу.

Питання, що пов’язані з інвестиційною привабливістю підприємств висвітлені у працях як вітчизняних, так і іноземних науковців: І.О.Бланка, А.П.Гайдуцького, В.В.Бочарова та інших [6–8].

Питання, пов’язані із застосуванням різноманітних механізмів ДПП, інституціональними аспектами у сфері ДПП, висвітлені в роботах [9–11].

**Метою статті** є розробка математичної моделі, що дозволить прогнозувати можливий економічний ефект від реалізації проекту будівництва автомобільної дороги за механізмом ДПП та здійснювати оптимізацію параметрів будівництва і експлуатації дороги та фінансових взаємовідносин між державою і приватним партнером для досягнення максимального економічного ефекту всіма учасниками проекту.

**Результати досліджень.** При реалізації проекту будівництва автомобільної дороги на базі ДПП на умовах концесії основним економічним показником, що характеризує доцільність, перспективність та інвестиційну привабливість проекту є річний економічний ефект концесіонера, млрд. грн.:

$$E_k = E_A + k_d \cdot E_d - B_{дор} - P_k, \quad (1)$$

де  $E_A$  – сумарний річний економічний ефект, що може бути отриманий власниками автомобілів та автотранспортних підприємств в результаті реалізації проекту будівництва автомобільної дороги, млрд. грн.;

$E_d$  – сумарний річний економічний ефект, що може бути отриманий державою в результаті реалізації проекту будівництва автомобільної дороги, млрд. грн.;

$k_d$  – частка сумарного річного економічного ефекту держави при її фінансовій участі у доходах концесіонера, млрд. грн.;

$B_{дор}$  – величина поточних витрат концесіонером на будівництво або утримання автомобільної дороги у поточному році, млрд. грн.;

$P_k$  – річний концесійний платіж, млрд. грн.

Вищевказані складові річного економічного ефекту концесіонера визначають за експлуатаційними показниками конкретної автомобільної дороги.

Сумарний річний економічний ефект власників автомобілів та автотранспортних підприємств визначають за залежністю, млрд. грн.:

$$E_A = E_{v(пас)} + E_d, \quad (2)$$

де  $E_{v(пас)}$  – річний економічний ефект, що може бути отриманий власниками автотранспортних підприємств вантажних або пасажирських перевезень в результаті реалізації проекту будівництва автомобільної дороги, млрд. грн.;

$E_d$  – річний економічний ефект, що може бути отриманий власниками індивідуальних легкових автомобілів в результаті реалізації проекту будівництва автомобільної дороги, млрд. грн.

Річний економічний ефект автотранспортних підприємств вантажних або пасажирських перевезень визначають як різницю між прибутком підприємств від перевезень, що в перспективі може бути отриманий при реалізації проекту будівництва автомобільної дороги, та прибутком від перевезень по існуючим автомобільним дорогам, млрд. грн.:

$$E_{v(пас)} = \Delta PP_{v(пас)} = PP'_{v(пас)} - PP_{v(пас)}, \quad (3)$$

де  $PP'_{v(пас)}$  – перспективний прибуток підприємств від перевезень, що може бути отриманий при реалізації проекту будівництва автомобільної дороги, млрд. грн.;

$PP_{v(пас)}$  – прибуток від перевезень по існуючим автомобільним дорогам, млрд. грн.

Перспективний прибуток підприємств від перевезень, що може бути отриманий при реалізації проекту будівництва автомобільної дороги, млрд. грн.:

$$PP'_{v(пас)} = W'_{v(пас)} \cdot \left( T_{v(пас)} - C_{v(пас)} + \frac{L_{дор}}{L_{дор}^{max}} \cdot (C_{v(пас)} - C'_{v(пас)}) \right) \cdot \left( 1 - \frac{k_{ин}}{100} \right) \cdot 10^{-9}, \quad (4)$$

де  $W'_{в(пас)}$  – перспективний вантажо- або пасажирооборот, що може бути забезпечений при реалізації проекту будівництва автомобільної дороги, ткм, пас.км;

$T_{в(пас)}$  – тариф на здійснення вантажних або пасажирських перевезень, грн./ткм, грн./пас.км;

$C_{в(пас)}$  – собівартість здійснення вантажних або пасажирських перевезень, грн./ткм, грн./пас.км;

$C'_{в(пас)}$  – перспективна собівартість здійснення вантажних або пасажирських перевезень, грн./ткм, грн./пас.км;

$L_{дор}$  – довжина новозбудованої ділянки автомобільної дороги в рамках реалізації проекту на поточний рік, км;

$L_{дор}^{max}$  – максимальна довжина новозбудованої ділянки автомобільної дороги в рамках реалізації проекту, км;

$k_{пп}$  – ставка податку на прибуток підприємства, %.  $k_{пп} = 18\%$ .

Перспективний вантажо- або пасажирооборот, що може бути забезпечений при реалізації проекту будівництва автомобільної дороги, визначається за залежністю, ткм, пас.км:

$$W'_{в(пас)} = L'_{в(пас)} \cdot Q_{в(пас)}, \quad (5)$$

де  $L'_{в(пас)}$  – перспективний річний пробіг вантажних автомобілів та автобусів, що може бути забезпечений при реалізації проекту будівництва автомобільної дороги, км;

$Q_{в(пас)}$  – середньостатистична корисна маса вантажу або кількість пасажирів, що перевозиться транспортним засобом, т, пас.

Для визначення річного пробігу вантажних автомобілів та автобусів конкретною автомобільною дорогою визначають частку, яку складає досліджувана автомобільна дорога серед інших автомобільних доріг регіону її розташування.

Довжина доріг регіону за категоріями I – V приводиться до довжини доріг I категорії за залежністю, ум. км:

$$L^I_{дор\Sigma} = \sum_{i=1}^n k_{пр i} \cdot L_{дор i} \quad (6)$$

де  $k_{пр i}$  – коефіцієнт приведення довжини дороги  $i$ -тої категорії до I категорії, визначається відношенням середньорічної добової інтенсивності руху дорогою  $i$ -тої категорії до інтенсивності руху дорогою I категорії;

$L_{дор i}$  – довжина доріг регіону  $i$ -тої категорії, км;

$n$  – число категорій автомобільних доріг,  $n = 5$ .

Перспективний річний пробіг вантажних автомобілів або автобусів визначеною автомобільною дорогою, км:

$$L'_{в(пас)} = L^P_{в(пас)} \cdot \frac{L_{дор}^{max}}{L^I_{дор\Sigma}} \cdot \left( 1 + \frac{L_{дор}}{L_{дор}^{max}} \cdot \left( \frac{V'_A}{V_A} - 1 \right) \right), \quad (7)$$

де  $L^P_{в(пас)}$  – річний пробіг вантажних автомобілів або автобусів в регіоні розташування автомобільної дороги, км;

$V_A, V'_A$  – середня швидкість руху транспортних засобів при існуючих дорогах та у перспективі при реалізації проекту будівництва автомобільної дороги, км/год.

Прибуток від перевезень по існуючим автомобільним дорогам, млрд. грн.:

$$ПП_{в(пас)} = W_{в(пас)} \cdot (T_{в(пас)} - C_{в(пас)}) \cdot \left( 1 - \frac{k_{пп}}{100} \right) \cdot 10^{-9}, \quad (8)$$

де  $W_{в(пас)}$  – вантажо- або пасажирооборот по існуючим автомобільним дорогам, ткм, пас. км.

Приймається, що при існуючих автомобільних дорогах вантажо- та пасажирооборот залишається на рівні як для початкового року будівництва нової автомобільної дороги.

Річний економічний ефект, що може бути отриманий власниками індивідуальних легкових автомобілів в результаті реалізації проекту будівництва автомобільної дороги, визначається як різниця між експлуатаційними витратами при існуючих  $B_E$  і нових  $B'_E$  дорогах, млрд. грн.:

$$E_{\text{л}} = \Delta B_E = B_E - B'_E, \quad (9)$$

де  $B_E, B'_E$  – експлуатаційні витрати власників індивідуальних легкових автомобілів при існуючих і нових дорогах, млрд. грн., що визначають за формулами:

$$B_E = L_{\text{л}} \cdot \frac{Q_{\text{пал}}}{100} \cdot \frac{C_{\text{пал}}}{\delta_{\text{пал}}} \cdot 10^{-9}, \quad (10)$$

$$B'_E = L_{\text{л}} \cdot \frac{Q_{\text{пал}}}{100} \cdot \frac{C_{\text{пал}}}{\delta_{\text{пал}}} \cdot \left( 1 - \frac{L_{\text{дор}}}{L_{\text{дор}}^{\text{max}}} \cdot (1 - k_{\text{пал}}) \right) \cdot 10^{-9}, \quad (11)$$

де  $L_{\text{л}}$  – річний пробіг легкових автомобілів досліджуваною ділянкою автомобільної дороги, км;

$Q_{\text{пал}}$  – середньостатистична витрата палива легковим автомобілем при існуючих дорогах, л/100 км;

$C_{\text{пал}}$  – ціна 1 л палива для легкових автомобілів, грн./л;

$\delta_{\text{пал}}$  – частка витрат на паливо в загально експлуатаційних витратах, приймається за результатами розрахунку уявного транспортного підприємства;

$k_{\text{пал}}$  – коефіцієнт впливу умов руху на витрату палива.

Річний пробіг легкових автомобілів досліджуваною ділянкою автомобільної дороги, км:

$$L_{\text{л}} = 365 \cdot I_A \cdot L_{\text{дор}}^{\text{max}} \cdot \frac{100 - \delta_B - \delta_A}{100}, \quad (12)$$

де  $I_A$  – середньодобова інтенсивність руху визначеною ділянкою дороги, авт./доба;

$\delta_B$  – середньостатистичний відсоток вантажних автомобілів в потоці, %;

$\delta_A$  – середньостатистичний відсоток автобусів в потоці, %.

Середньодобова інтенсивність руху визначеною ділянкою дороги, авт./доба:

$$I_A = \frac{L_B + L_A}{365 \cdot L_{\text{дор}}^{\text{max}} \cdot (\delta_B + \delta_A)}. \quad (13)$$

Сумарний річний економічний ефект, що може бути отриманий державою в результаті реалізації проекту будівництва нової автомобільної дороги, млрд. грн.:

$$E_{\text{д}} = \Delta\Pi_{\Sigma} + \Delta Z_{\text{СЕ}} + \Delta\Pi_{\text{А}}^{\text{пал}}, \quad (14)$$

де  $\Delta\Pi_{\Sigma}$  – економічний ефект від збільшення суми податків, що надходять до державного бюджету від підприємств автомобільних перевезень, які здійснюються досліджуваною автомобільною дорогою за рік, млрд. грн.;

$\Delta Z_{\text{СЕ}}$  – економічний ефект від зниження соціально-економічних збитків держави від викидів шкідливих речовин транспортними засобами під час перевезень досліджуваною автомобільною дорогою за рік, млрд. грн.;

$\Delta\Pi_{\text{А}}^{\text{пал}}$  – економічний ефект від збільшення надходжень до державного бюджету за рахунок акцизного податку від реалізації моторних палив для автотранспорту, що рухається досліджуваною автомобільною дорогою за рік, млрд. грн.

Економічний ефект від збільшення суми податків, що надходять до державного бюджету від підприємств автомобільних перевезень, які здійснюються досліджуваною автомобільною дорогою за рік, визначається, млрд. грн.:

$$\Delta\Pi_{\Sigma} = \Pi'_{\Sigma} - \Pi_{\Sigma}, \quad (15)$$

де  $\Pi'_{\Sigma}$  – сума податків, що надійдуть до державного бюджету при реалізації проекту будівництва автомобільної дороги, млрд. грн.;

$\Pi_{\Sigma}$  – сума податків, що надходять до бюджету при існуючому стані доріг, млрд. грн.

Сума податків, що надійдуть до державного бюджету при реалізації проекту будівництва автомобільної дороги або надходять до бюджету при існуючому стані доріг, млрд. грн.:

$$\Pi_{\Sigma} = \Pi_{ДВ В} + \Pi_{ДВ П} + \Pi_{П В} + \Pi_{П П} \quad (16)$$

де  $\Pi_{ДВ В}$  – податки на додану вартість, що надійдуть до державного бюджету від здійснення вантажних перевезень, млрд. грн.;

$\Pi_{ДВ П}$  – податки на додану вартість, що надійдуть до державного бюджету від здійснення пасажирських перевезень, млрд. грн.;

$\Pi_{П В}$  – податки на прибуток, що надійдуть до державного бюджету від здійснення вантажних перевезень, млрд. грн.;

$\Pi_{П П}$  – податки на прибуток, що надійдуть до державного бюджету від здійснення пасажирських перевезень, млрд. грн.

Податки на додану вартість, що надійдуть до державного бюджету від здійснення вантажних або пасажирських перевезень, млрд. грн.:

$$\Pi_{ДВ В (П)} = \frac{k_{пдв}}{100} \cdot W_{В (ПАС)} \cdot T_{В (ПАС)} \cdot 10^{-9}, \quad (17)$$

де  $k_{пдв}$  – ставка податку на додану вартість, %.

Податки на прибуток, що надійдуть до державного бюджету від здійснення вантажних або пасажирських перевезень при реалізації проекту будівництва автомобільної дороги або надходять до бюджету при існуючому стані доріг, млрд. грн.:

$$\Pi'_{П В (П)} = \frac{k_{пп}}{100} \cdot W'_{В (ПАС)} \cdot \left( T_{В (ПАС)} - C_{В (ПАС)} + \frac{L_{дор}}{L_{дор}^{max}} \cdot (C_{В (ПАС)} - C'_{В (ПАС)}) \right) \cdot 10^{-9}, \quad (18)$$

$$\Pi_{П В (П)} = \frac{k_{пп}}{100} \cdot W_{В (ПАС)} \cdot (T_{В (ПАС)} - C_{В (ПАС)}) \cdot 10^{-9} \quad (19)$$

Економічний ефект від зниження соціально-економічних збитків держави від викидів шкідливих речовин транспортними засобами під час перевезень досліджуваною автомобільною дорогою за рік, млрд. грн.:

$$\Delta Z_{СЕ} = Z_{СЕ} - Z'_{СЕ}, \quad (20)$$

де  $Z_{СЕ}$  – соціально-економічні збитки держави від викидів шкідливих речовин транспортними засобами під час перевезень існуючими автомобільними дорогами, млрд. грн.;

$Z'_{СЕ}$  – соціально-економічні збитки держави від викидів шкідливих речовин транспортними засобами під час перевезень автомобільною дорогою, що збудована при реалізації проекту млрд. грн.

Соціально-економічні збитки держави від викидів шкідливих речовин транспортними засобами під час перевезень існуючими або новозбудованими автомобільними дорогами [12], млрд. грн.:

$$Z_{CE} = z_{CE} \cdot \sigma \cdot f \cdot G_{\Sigma} \cdot 10^{-9}, \quad (21)$$

$$Z'_{CE} = z_{CE} \cdot \sigma \cdot f \cdot G'_{\Sigma} \cdot 10^{-9}, \quad (22)$$

де  $z_{CE}$  – шкода, завдана державі однією умовною тонною забруднюючих речовин, грн./ум.т;

$\sigma$  – коефіцієнт відносної небезпеки, що враховує тип території забруднення;

$f$  – коефіцієнт, що враховує характер розсіювання газоподібних речовин та частинок в атмосфері залежно від швидкості осадження речовин та природних умов;

$G_{\Sigma}$  – річні сумарні, зведені до оксиду вуглецю, викиди забруднюючих речовин транспортними засобами під час перевезень існуючими автомобільними дорогами, ум.т;

$G'_{\Sigma}$  – річні сумарні, зведені до оксиду вуглецю, викиди забруднюючих речовин транспортними засобами під час перевезень новою автомобільною дорогою, ум.т.

Річні сумарні, зведені до оксиду вуглецю, викиди забруднюючих речовин транспортними засобами під час перевезень існуючими або новими автомобільними дорогами [12], ум.т:

$$G_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n G_i \cdot R_i, \quad (23)$$

$$G'_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n G'_i \cdot R_i, \quad (24)$$

де  $G_i$  – річні викиди  $i$ -тої шкідливої речовини транспортними засобами під час перевезень існуючими автомобільними дорогами, т;

$G'_i$  – річні викиди  $i$ -тої шкідливої речовини транспортними засобами під час перевезень новою автомобільною дорогою, т;

$R_i$  – коефіцієнт відносної агресивності  $i$ -тої шкідливої речовини.

Річні викиди  $i$ -тої шкідливої речовини транспортними засобами під час перевезень існуючими або новими автомобільними дорогами, т:

$$G_i = \frac{g_i \cdot L}{10^6}, \quad (25)$$

$$G'_i = \frac{g_i \cdot \left(1 - (1 - k_{\text{пал}}) \cdot \frac{L_{\text{дор}}}{L_{\text{дор}}^{\text{max}}}\right) \cdot L'}{10^6}, \quad (26)$$

де  $g_i$  – питомі викиди  $i$ -тої шкідливої речовини транспортними засобами під час перевезень існуючими автомобільними дорогами, г/км;

$L, L'$  – річний пробіг транспортних засобів під час перевезень існуючими або новими автомобільними дорогами, км.

Економічний ефект від збільшення надходжень до державного бюджету за рахунок акцизного податку від реалізації моторних палив для автотранспорту, що рухається досліджуваною автомобільною дорогою за рік, млрд. грн.:

$$\Delta \Pi_A^{\text{пал}} = \Pi_A^{\text{пал}'} - \Pi_A^{\text{пал}}, \quad (27)$$

де  $\Pi_A^{\text{пал}'}$  – надходження до державного бюджету за рахунок акцизного податку від реалізації моторних палив для автотранспорту при новій автомобільній дорозі, млрд. грн.;

$\Pi_A^{\text{пал}}$  – надходження до державного бюджету за рахунок акцизного податку від реалізації моторних палив для автотранспорту при існуючих автомобільних дорогах, млрд. грн.

Надходження до державного бюджету за рахунок акцизного податку від реалізації моторних палив для автотранспорту при новій або існуючих автомобільних дорогах, млрд. грн.:

$$P_A^{\text{пал}'} = V_{\text{пал}'} \cdot \frac{\rho_{\text{пал}}}{1000} \cdot n_A \cdot k_{\text{EUR}} \cdot 10^{-9} \quad (28)$$

$$P_A^{\text{пал}} = V_{\text{пал}} \cdot \frac{\rho_{\text{пал}}}{1000} \cdot n_A \cdot k_{\text{EUR}} \cdot 10^{-9}, \quad (29)$$

де  $V_{\text{пал}'}$ ,  $V_{\text{пал}}$  – обсяги споживання палива автотранспортом при новій або існуючих автомобільних дорогах, л;

$\rho_{\text{пал}}$  – середня густина палива, кг/л;

$n_A$  – середньозважена ставка акцизного податку на паливо, EUR/т;

$k_{\text{EUR}}$  – ринковий курс, грн./EUR.

Обсяги споживання палива автотранспортом при новій або існуючих автомобільних дорогах, л:

$$V_{\text{пал}} = \frac{Q_{\text{пал}} \cdot L'}{100} \cdot \left( 1 - (1 - k_{\text{пал}}) \cdot \frac{L_{\text{дор}}}{L_{\text{дор}}^{\text{max}}} \right), \quad (30)$$

$$V_{\text{пал}} = \frac{Q_{\text{пал}} \cdot L}{100}, \quad (31)$$

де  $Q_{\text{пал}}$  – норма витрати палива транспортними засобами, л/100 км.

Величина коштів, потрачених концесіонером на будівництво автомобільної дороги у поточному році, млрд. грн.:

$$B_{\text{дор } i} = i_1^{T_i-1} \cdot \frac{B_{\text{буд}}}{T_{\text{буд}}} \cdot \left( 1 + \frac{2 \cdot (2 \cdot k_B - 1) \cdot (T_{\text{буд}} - 2 \cdot T_i + 1)}{T_{\text{буд}}} \right), \quad (32)$$

де  $T_i$  – поточний рік будівництва автомобільної дороги;

$B_{\text{буд}}$  – початкова вартість будівництва автомобільної дороги, млрд. грн.;

$T_{\text{буд}}$  – тривалість будівництва автомобільної дороги, років;

$k_B$  – коефіцієнт інтенсивності будівництва автомобільної дороги.

Довжина новозбудованої ділянки автомобільної дороги в рамках реалізації проекту на поточний рік, км:

$$L_{\text{дор}} = L_{\text{дор}}^{\text{max}} \cdot \frac{T_i}{T_{\text{буд}}} \quad (33)$$

З метою уніфікації результатів дослідження пропонується використання універсального безрозмірного показника проектної вартості будівництва автомобільної дороги, що характеризує фактичну вартість будівництва дороги по відношенню до її вартості при базових затратах на будівництво 1 км дороги:

$$B_B = \frac{B_{\text{буд}}}{L_{\text{дор}}^{\text{max}} \cdot v_{\text{буд}}} \quad (34)$$

де  $v_{\text{буд}}$  – базова питома вартість будівництва автомобільної дороги, млрд. грн./км. Приймається  $v_{\text{буд}} = 0,05$  млрд. грн./км.

Таким чином, при  $B_B = 1$  вартість будівництва автомобільної дороги відповідає базовим витратам. При  $B_B > 1$ , наприклад при наявності в проекті будівництва складних дорожніх споруд – мостів, тунелів, естакад, тощо, вартість будівництва дороги перевищує базові витрати.

Річний концесійний платіж визначається з використанням методики [13], млрд. грн.:

$$P_K = \begin{cases} 0,07 \cdot \frac{\Phi_{\text{ЕАД}}}{\Phi_{\text{ЕК}}} \cdot \sum_{i=1}^{T_i} \frac{B_{\text{дор } i}}{i^{T_i-1}} \cdot i_1^{T_i-1}, & \text{при } T_i \leq T_{\text{буд}} \\ 0,07 \cdot \frac{\Phi_{\text{ЕАД}}}{\Phi_{\text{ЕК}}} \cdot B_{\text{буд}} \cdot i_1^{T_i-1}, & \text{при } T_i > T_{\text{буд}} \end{cases} \quad (35)$$

де  $\Phi_{\text{ЕАД}}$  – середня фондovіддача експлуатації автомобільної дороги;  
 $\Phi_{\text{ЕК}}$  – середня фондovіддача національної економіки в цілому;  
 $T_i$  – поточний рік будівництва або експлуатації автомобільної дороги.

Термін окупності  $T_{\text{ОК}}$  проекту будівництва автомобільної дороги визначають як число років, що пройшло від початку реалізації проекту до моменту досягнення сумарного економічного ефекту концесіонера за це число років позитивного значення:

$$T_{\text{ОК}} = T_i \text{ при } \sum_{i=1}^{T_i} E_{\text{К}i} \geq 0 \quad (36)$$

де  $E_{\text{К}i}$  – річний економічний ефект концесіонера в  $i$ -тому році будівництва або експлуатації автомобільної дороги, млрд. грн.

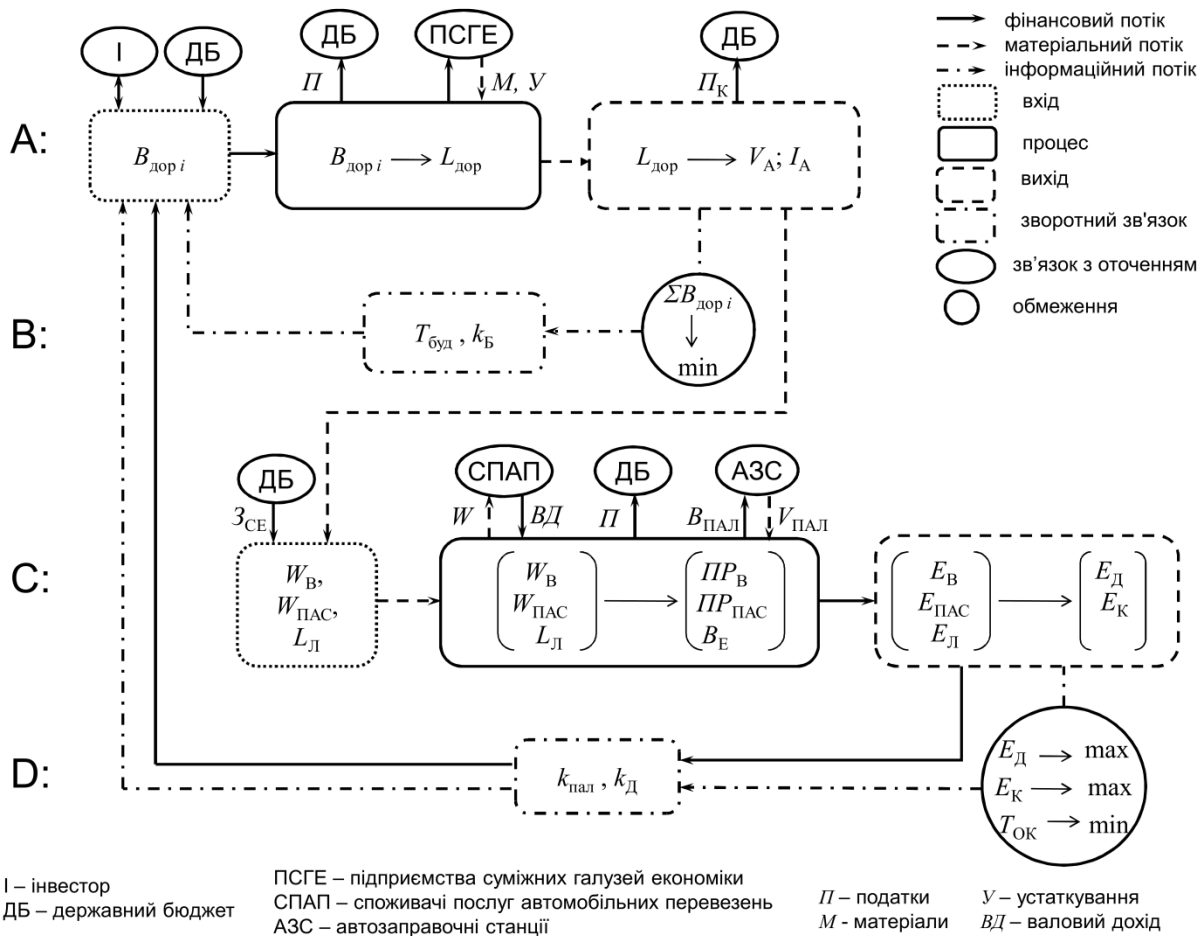


Рисунок 1 – Укрупнена структура математичної моделі системи інвестування проектів будівництва автомобільних доріг на базі ДПП

Укрупнена структура математичної моделі системи інвестування проектів будівництва автомобільних доріг на базі державно-приватного партнерства, побудована у відповідності до системних принципів [14], показана на рис. 1. Реалізація проекту будівництва автомобільної дороги та її експлуатації (рівні А і С), що характеризується відповідними показниками середньої швидкості руху автомобіля  $V_A$  між пунктами призначення та інтенсивності транспортного потоку  $I_A$ , забезпечує відповідні обсяги автомобільних перевезень, що дає можливість отримати економічний ефект від експлуатації автомобільної дороги учасниками транспортного процесу, а значить державою  $E_D$  і приватним партнером (інвестором)  $E_K$ . Управління тривалістю  $T_{\text{буд}}$  і інтенсивністю  $k_B$  будівництва (рівень В) повинно забезпечувати мінімізацію витрат на будівництво автомобільної дороги. В свою



чергу управління якісними характеристиками автомобільної дороги, що визначають паливну економічність автомобілів  $k_{\text{пал}}$  та підтримання їх в процесі експлуатації дороги, а також часткою участі держави  $k_{\text{д}}$  в доходах, що отримує приватний партнер (рівень D) повинно забезпечувати максимізацію економічного ефекту держави і приватного партнера та мінімізацію терміну окупності проекту будівництва автомобільної дороги.

**Висновки.** Таким чином, розроблена математична модель дозволяє прогнозувати можливий економічний ефект від реалізації проекту будівництва автомобільної дороги за механізмом ДПП та здійснювати оптимізацію параметрів будівництва і експлуатації дороги та фінансових взаємовідносин між державою і приватним партнером для досягнення максимального економічного ефекту всіма учасниками проекту.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Демішкан В.Ф. Автошляхи - європейський клас [Електронний ресурс] / В.Ф. Демішкан ; кореспондент П.Селецький // Урядовий портал - Режим доступу. : [http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art\\_id=520367](http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art_id=520367)
2. Мережа міжнародних транспортних коридорів на території України [Електронний ресурс] – Режим доступу. : <http://www.mintrans.gov.ua/uk/show/transports.html>
3. Дороги дорогі, та бездоріжжя ще дорожче. Вартість будівництва 1 км дороги // Дорожня галузь України. – 2010. - № 2. – С. 16-18.
4. Попков В.П. Организация и финансирование инвестиций / В.П. Попков, В.П. Семенов. – СПб.: Питер, 2001. – 224 с.
5. Кленін О.В. Ефективність відтворення основного капіталу підприємств: Монографія // НАН України. Ін-т економіки промисловості. – Донецьк, 2006. – 196 с.
6. Бланк И.А. Управление инвестициями предприятия / И.А. Бланк. – К. : Ника-Центр, 2003. – 480 с.
7. Гайдуцький А.П. Методологічні аспекти інвестиційної привабливості економіки / А. П. Гайдуцький // Регіональна економіка. – 2004. – №4. – С.81-86.
8. Бочаров В.В. Инвестиционный менеджмент / Бочаров В.В. – СПб : Питер, 2000. – 160 с.
9. Варнавский В.Г. Партнерство государства и частного сектора: формы, проекты, риски / Владимир Гаврилович Варнавский. – РАН; Институт мировой экономики и международных отношений. – М. : Наука, 2005. – 315с.
10. Власова А. «Особый путь Петербурга в сфере государственно-частного партнерства» / Власова А. // [Електронний ресурс] – Режим доступу. : <http://www.konkir.ru/article.phtml?id=3772>
11. Bousquet F. Road infrastructure concession practice in Europe / Bousquet F., Fayard A. // [Policy Research Working Paper Series](http://econpapers.repec.org/paper/wbkwbrwps/2675.htm) from [The World Bank](http://www.worldbank.org/). – No 2675. – [Електронний ресурс] – Режим доступу. : <http://econpapers.repec.org/paper/wbkwbrwps/2675.htm>
12. Екологія та автомобільний транспорт: навчальний посібник / [Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун та ін.]. – К.: Арістей, 2006. – 292 с.
13. Методика розрахунку концесійних платежів // Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 12 квітня 2000 р. № 639
14. Методи системного аналізу властивостей автомобільної техніки: навчальний посібник / [М.Ф. Дмитриченко, В.П. Матейчик, О.К. Гришук, М.П. Цюман]. – К.: НТУ, 2014. – 168 с.

#### REFERENCES

1. Demishkan V.F. Avtoshliakhy – yevropeyskiy klas (Highways - European class) / Demishkan V.F.; correspondent P. Seletskiy // Uriadovi portal – Available at: [http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art\\_id=520367](http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art_id=520367)
2. Merezha mizhnarodnykh transportnykh korydoriv na terytorii Ukrainy (The network of international transport corridors in Ukraine). Available at: <http://www.mintrans.gov.ua/uk/show/transports.html>
3. Dorohy dorohi, ta bezdorizhzhia shche dorozhche. Vartist budivnytstva 1 km dorohy [Roads are valuable, but lack of roads yet more expensive. The cost of building 1 km of the road.] Dorozhnia haluz Ukrainy- Road sector of Ukraine, 2010, no. 2, pp. 16-18.
4. Popkov V.P. Semenov V.P. Organizatsiya i finansirovanie investitsiy [Organization and financing of investments]. Saint Petersburg, Peter, 2001. 224 p.

5. Klenin O.V. Efektyvnist vidtvorennia osnovnoho kapitalu pidpriemstv: Monohrafiia [Efficiency of reproduction of the fixed capital of enterprises: Monograph]. Donetsk, NAN Ukrainy. In-t ekonomiky promyslovosti Publ., 2006, 196 p.
6. Blank I.A. Upravlenie investitsiyami predpriyatiya [Management by the investments of company]. Kyiv, Nika-Tsentr Publ., 2003. 480 p.
7. Haidutskii A.P. Metodolohichni aspekty investytsiinoi pryvablyvosti ekonomiky [Methodological aspects of investment attractiveness of the economy] Rehionalna ekonomika – Regional Economics, 2004, no. 4, pp. 81-86.
8. Bocharov V.V. Investitsionnyy menedzhment [Investment management]. Saint Petersburg, Peter, 2000. 160 p.
9. Varnavskiy V.G. Partnerstvo gosudarstva i chastnogo sektora: formy, proekty, riski [Partnership between the government and the private sector: forms, projects, risks]. Moscow, Nauka Publ., 2005. 315 p.
10. Vlasova A. Osobyu put Peterburga v sfere gosudarstvenno-chastnogo partnerstva (Special Way of St. Petersburg in the field of public-private partnerships) / Vlasova A.; Available at: <http://www.konkir.ru/article.phtml?id=3772>
11. Bousquet F., Fayard A. Road infrastructure concession practice in Europe / Bousquet F., Fayard A. // [Policy Research Working Paper Series](http://econpapers.repec.org/paper/wbkwbrwps/2675.htm) from [The World Bank](http://www.worldbank.org/). – no 2675. – Available at: <http://econpapers.repec.org/paper/wbkwbrwps/2675.htm>
12. Hutarevich Yu.F., Zerkalov D.V., Hovorun A.H. Ekolohiia ta avtomobilnyi transport [Ecology and road transport]. Kyiv, Aristei Publ., 2006. 292 p.
13. Metodyka rozrakhunku kontsesiinykh platezhiv [Method of calculation of concession fees]. Kabinet Ministriv Ukrainy. 2000. no. 639
14. Dmytrychenko M.F., Mateichyk V.P., Hryshchuk O.K., Tsiuman M.P. Metody systemnoho analizu vlastyvostei avtomobilnoi tekhniky [Methods system analysis automotive engineering properties.]. Kyiv, NTU Publ., 2014. 168 p.

## РЕФЕРАТ

Хмелевський М.О. Особливості математичного моделювання процесів інвестування проектів будівництва автомобільних доріг. / М.О. Хмелевський, Є.С. Цюман // Вісник Національного транспортного університету. Серія “Технічні науки”. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2015. - Вип. 2 (32).

В статті розроблено математичну модель для прогнозування максимального економічного ефекту від реалізації проектів на умовах ДПП, оптимізації транспортно-експлуатаційних показників автомобільної дороги при відповідних фінансових зобов'язаннях держави перед інвестором та ступені транспортного завантаження дороги для забезпечення можливості якісного утримання доріг підприємствами дорожньої галузі.

Об'єктом дослідження є інвестування проектів будівництва автомобільних доріг.

Метою статті є розробка математичної моделі, що дозволить прогнозувати можливий економічний ефект від реалізації проекту будівництва автомобільної дороги за механізмом ДПП та здійснювати оптимізацію параметрів будівництва і експлуатації дороги та фінансових взаємовідносин між державою і приватним партнером для досягнення максимального економічного ефекту всіма учасниками проекту.

Метод дослідження – теоретичні методи на базі статистичних даних.

Проаналізовано стан автомобільних доріг в Україні та виділено основні причини їх незадовільного стану. Встановлено, що узагальненою причиною низької якості автомобільних доріг є недостатнє фінансування цієї галузі економіки, внаслідок глобальної недостатності державного бюджету.

Одним із шляхів вирішення ситуації, що склалася є залучення довгострокових недержавних фінансових інвестицій. Така практика, що передбачає взаємодію державних і недержавних структур з метою вирішення важливих соціально-економічних проблем, отримала назву державно-приватного партнерства (ДПП). З метою прогнозування інвестиційної привабливості проекту будівництва автомобільної дороги для майбутнього інвестора необхідна комплексна оцінка всіх можливих фінансових і матеріальних потоків, які будуть здійснюватись на засадах ДПП.

Розроблено математичну модель, що дозволяє прогнозувати можливий економічний ефект від реалізації проекту будівництва автомобільної дороги за механізмом ДПП та здійснювати оптимізацію параметрів будівництва і експлуатації дороги та фінансових взаємовідносин між державою і

приватним партнером для досягнення максимального економічного ефекту всіма учасниками проекту.

Приведена укрупнена структура математичної моделі системи інвестування проектів будівництва автомобільних доріг на базі державно-приватного партнерства, побудована у відповідності до системних принципів.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ДЕРЖАВА, ПРИВАТНИЙ ПАРТНЕР, ТРАНСПОРТНИЙ ПОТІК, ДОРОГА, АТОМОБІЛЬ, ПОДАТКИ, ПРИБУТОК, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ.

#### **ABSTRACT**

Khmelevskiy M.O., Tsiuman Ye.S. Features of mathematical modeling of investment projects construction of roads. Visnyk National Transport University. Series "Technical sciences". Scientific and Technical Collection. - Kyiv. National Transport University, 2015. - Issue 2 (32).

The paper describes the mathematical model for prediction of maximum cost savings from implementation of PPP projects as well as optimization of motorways' transport-operational parameters in accordance with the State's financial obligations to the investor, and varying degrees of motorways' traffic load for insuring quality road maintenance by the motorways service enterprises.

Object of this study - investments into road construction projects.

Purpose of the study - development of mathematical model that will forecast possible financial effects of road construction projects based on PPP model as well as constructions' optimization and motorways' operations parameters, and the State's and private partners' mutual financial relations to achieve maximum economic benefit for all stakeholders.

Method of the study - theoretical methods based on statistical data.

The study analyzed the current state of Ukrainian motorways and highlighted the main reasons of their mediocre state. It was established that general cause of motorways unsatisfactory state is lack of sufficient funding due to long standing state budget shortfall.

One way to resolve this situation is to attract long-term private financial investments. This method involves cooperation between the State and non-government participants to address important socio-economic problems, and was named public-private partnership (PPP). In order to predict the appeal of road construction projects to potential investors it is necessary to perform a comprehensive assessment of all possible financial and material flows that will be managed by PPP model.

The developed mathematical model allows prediction of the possible economic effect from the road construction project implementation based on PPP mechanism, and parameter optimization of motorways' construction and operation, as well as financial relationship between the State and private sector to achieve maximum economic effect for all project participants.

The study presents the general framework of the mathematical model for road construction investment system based on the public-private partnership, according to systematic principles.

**KEYWORDS:** STATE, PRIVATE PARTNER, TRAFFIC FLOW, ROAD, CAR, TAXES, PROFIT, ECONOMIC EFFECT, MATHEMATICAL MODEL.

#### **РЕФЕРАТ**

Хмелевский Н.А. Особенности математического моделирования процессов инвестирования проектов строительства автомобильных дорог. / Н.А. Хмелевский, Е.С. Цюман // Вестник Национального транспортного университета. Серия "Технические науки". Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2015. - Вып. 2 (32).

В статье разработана математическая модель для прогнозирования максимального экономического эффекта от реализации проектов на условиях ГЧП, оптимизации транспортно-эксплуатационных показателей автомобильной дороги при соответствующих финансовых обязательствах государства перед инвестором и степени транспортного загрузки дороги для обеспечения возможности качественного содержания дорог предприятиями дорожной отрасли.

Объектом исследования является инвестирование проектов строительства автомобильных дорог.

Целью статьи является разработка математической модели, что позволит прогнозировать возможный экономический эффект от реализации проекта строительства автомобильной дороги по механизму ГЧП и осуществлять оптимизацию параметров строительства и эксплуатации дороги и финансовых взаимоотношений между государством и частным партнером для достижения максимального экономического эффекта всеми участниками проекта.

Метод исследования - теоретические методы на базе статистических данных.

Проанализировано состояние автомобильных дорог в Украине и выделены основные причины их неудовлетворительного состояния. Установлено, что обобщенной причиной низкого качества автомобильных дорог является недостаточное финансирование этой отрасли экономики, в результате глобальной недостаточности государственного бюджета.

Одним из путей решения сложившейся ситуации является привлечение долгосрочных негосударственных финансовых инвестиций. Такая практика, предусматривающая взаимодействие государственных и негосударственных структур с целью решения важных социально-экономических проблем, получила название государственно-частного партнерства (ГЧП). С целью прогнозирования инвестиционной привлекательности проекта строительства автомобильной дороги для будущего инвестора необходима комплексная оценка всех возможных финансовых и материальных потоков, которые будут осуществляться на основе ГЧП.

Разработана математическая модель, позволяющая прогнозировать возможный экономический эффект от реализации проекта строительства автомобильной дороги по механизму ГЧП и осуществлять оптимизацию параметров строительства и эксплуатации дороги и финансовых взаимоотношений между государством и частным партнером для достижения максимального экономического эффекта всеми участниками проекта.

Приведена укрупненная структура математической модели системы инвестирования проектов строительства автомобильных дорог на базе государственно-частного партнерства, построенная в соответствии с системных принципов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ГОСУДАРСТВО, ЧАСТНЫЙ ПАРТНЕР, ТРАНСПОРТНЫЙ ПОТОК, ДОРОГА, АТОМОБИЛЬ, НАЛОГИ, ПРИБЫЛЬ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ, МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ.

**АВТОРИ:**

Хмелевський Микола Олександрович, кандидат економічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри економіки, e-mail: iebt\_dv\_ntu@ukr.net, тел. +38 044 280-99-17, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1

Цюман Євгенія Сергіївна, Національний транспортний університет, здобувач кафедри економіки, e-mail: tsevs@ukr.net, тел. +38 044 280 47 16, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1

**AUTHOR:**

Khmelevskiy M.O. Ph.D., prof. National Transport University, iebt\_dv\_ntu@ukr.net, тел. +38 044 280-99-17, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1

Tsiuman Ye.S., National Transport University, e-mail: tsevs@ukr.net, тел. +38 044 280 47 16, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1

**АВТОРЫ:**

Хмелевский Николай Александрович, кандидат экономических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры экономики, e-mail: iebt\_dv\_ntu@ukr.net, тел. +38 044 280-99-17, Украина, 01010, м. Киев, ул. Суворова 1

Цюман Евгения Сергеевна, Национальный транспортный университет, соискатель кафедры экономики, e-mail: tsevs@ukr.net, тел. +38 044 280 47 16, Украина, 01010, м. Киев, ул. Суворова 1

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Варналій З.С., доктор економічних наук, професор, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, професор кафедри фінансів, Київ, Україна.

Лаврик І.Ф., кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри «Менеджмент і туризм», Київ, Україна.

**REVIEWER:**

Varnalii Z.S., Ph.D., Economics (Dr.), professor, Taras Shevchenko National University of Kyiv, department of finance, Kyiv, Ukraine.

Lavryk I.F., Ph.D., professor, National Transport University, department of management and tourism, Kyiv, Ukraine.