

УДК 658.5.621

**ОПТИМІЗАЦІЯ РЯДУ МОДИФІКАЦІЙ ПАСАЖИРСЬКИХ КУПЕЙНИХ ВАГОНІВ****Г. М. Дорожкіна**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна. E-mail: kaffin@kdu.edu.ua

Наведена методика рішення одномірної задачі обґрунтування оптимального параметричного ряду і підходи до уточнення результатів в ускладнених умовах, що пов'язані з уніфікацією виробів. Розглянуто складові з розрахунку витрат на розробку, випробування і постановку в серію та собівартість виробництва нової машини, а також значення оптимального ряду модифікацій пасажирських купейних вагонів.

**Ключові слова:** параметричний ряд, оптимізація, внутрішньосімейна уніфікація, купейні вагони.

**OPTIMIZATION OF THE ROW MODIFICATION PASSENGER KUPEYNH COACH****A. M. Dorozhkina**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University  
vul. Pershotravneva, 20, 39600, Kremenchuk, Ukraine. E-mail: kaffin@kdu.edu.ua

The methods of the decision of the univariate problem of the motivation of the optimum parametric row and undermoves to revision result in complicated condition, in accordance with unification product. They are considered of the calculation of the expenses on development, test and production in series and prime cost new machine production, as well as importances of the optimum row modification passenger coach.

**Key words:** parametric row, optimization, unification, passenger coaches.

**ОПТИМІЗАЦІЯ РЯДУ МОДИФІКАЦІЙ ПАСАЖИРСКИХ КУПЕЙНИХ ВАГОНОВ****А. Н. Дорожкіна**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина. E-mail: kaffin@kdu.edu.ua

Приведена методика решения одномерной задачи обоснования оптимального параметрического ряда и подходы к уточнению результатов в усложненных условиях, связанных с унификацией изделий. Рассмотрены составные расчета затрат на разработку, испытание и постановку в серию и себестоимость производства новой машины, а также значения оптимального ряда модификаций пассажирских купейных вагонов.

**Ключевые слова:** параметрический ряд, оптимизация, внутрисемейная унификация, купейные вагоны.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Найважливішим параметром конструкторської уніфікації виступає скорочення номенклатури нових пасажирських купейних вагонів, що мають однакове або схоже експлуатаційне призначення. Реалізація уніфікації в першу чергу здійснюється створенням привабливіших чисел параметричних рядів (гами) виробів [1]. Кожний ряд – це сукупність виробів, що аналогічні за своєю кінематикою, робочим процесом, але різних за габаритами, потужністю або іншими експлуатаційними параметрами (кількість пасажирських купе, місць в купе, допоміжних купе, системи водозабезпечення тощо).

Завдяки внутрішньосімейній уніфікації в межах параметричного ряду вдається на основі принципів агрегування створювати необхідну кількість моделей за рахунок невеликого числа типорозмірів складальних одиниць [2, 3].

Із досвіду підготовки створення і освоєння нової продукції відома функція розподілу продуктивності пасажирських купейних вагонів. Функцію розподілу можна отримати шляхом статистичної обробки конструкторської, технологічної, виробничої документації, що пов'язана із забезпеченням економічної ефективності вагону. Виникає питання стосовно створення одного типу нового пасажирського купейного вагону, який може забезпечити продуктивність для любых умов його експлуатації. Можна створити декілька модифікацій пасажирських ку-

пейних вагонів з різною продуктивністю. Так, модифікація нової машини з меншою продуктивністю, як правило, більш проста і дешевша і у виробництві, і у експлуатації [3].

За більшої кількості модифікацій досягається зменшення витрат на виконання перевезень, так як залежно від потрібної продуктивності вибирається відповідний тип вагона. Разом із тим зростають витрати на розробку, випробування і поставку на конвеєр модифікацій нового пасажирського купейного вагона. Зважаючи на наведені аргументи існує оптимальне число модифікацій автогрейдерів, вантажних автомобілів, пасажирських купейних вагонів тощо і оптимальна продуктивність кожного із них, за яких мінімізуються сумарні витрати.

Таким чином, необхідно визначити оптимальну кількість модифікацій нових машин, у нашому випадку пасажирських купейних вагонів, і відповідні значення їх аргументів, за яких сумарні витрати мінімізуються.

Дослідженням проблеми конкурентоспроможності інновацій займається велика кількість українських учених, зокрема, Б. Данилишин, В. Семиноженко, М. Пашута, Л. Безчасний та інші. Аналіз робіт учених показує, що проблема підвищення конкурентоспроможності за оптимальної кількості модифікацій нових виробів стоїть перед українськими підприємствами дуже гостро [4–6].

У зв'язку із цим метою роботи є винайдення можливості оптимізації параметричного ряду нових пасажирських купейних вагонів в умовах загострення конкуренції на ринку вагонобудівної продукції.

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.** Наведемо методику вирішення одномірної задачі з вибору однієї змінної  $N$ , що мінімізує сумарні витрати, має аналітичний вираз, і найбільш прийнятна для використання на промислових підприємствах, що створюють і освоюють нову продукцію.

У практиці роботи підприємств вартість виробництва нового виробу ( $C_o$ ) пропорційна аргументу ( $x$ ):

$$C_o = a \cdot x. \quad (1)$$

Таким чином, формулюється функція вартості розробки, випробувань і постановки на виробництво нової модифікації пасажирського купейного вагону  $C_p(x)$ , вартості виробництва однієї модифікації від цього аргументу  $C_v(x)$  і вартості експлуатації в одиницю часу  $C_z(x)$ .

З такими залежностями часто приходиться зустрічатися на практиці,

$$F(x) = 0 \text{ при } x < x_o. \quad (2)$$

Диференційна функція  $b(x - x_o)$  потреби в аргументі постійна в деякому діапазоні аргументу і дорівнює, як відомо із спеціальної літератури [7], нулю за його межами:

$$C_p(x) = c \cdot x, \quad (3)$$

тобто вартість розробки ( $C_p$ ) машини пропорційна величині аргументу [8].

Вирішення задачі полягає в наступному: задаємося числом модифікацій, вибираємо звичайними методами оптимальні значення аргументу для даного випадку і підраховуємо витрати. Процедура повторюється для різного числа модифікацій. На завершальному етапі обґрунтовується оптимальне число модифікацій.

Для конкретного типу нової машини значення аргументу повинно бути  $x_N$ . Сумарні витрати ( $S$ ) в цьому випадку розраховуються за відомою із спеціальної літератури [9] формулою

$$S = b \cdot (x_N - x_o) \cdot a \cdot x_N + c \cdot x_N. \quad (4)$$

Таке рівняння записується в безрозмірному вигляді:

$$\bar{S} = \frac{S}{abx_N^2} = 1 - \bar{x} + k \quad (5)$$

$$\text{де } k = \frac{c}{abx_N}, \quad (6)$$

$$\bar{x} = \frac{x_o}{x_N}. \quad (7)$$

У подальшому величину  $\bar{x}$  будемо позначати  $x_o$ . Якщо мають місце дві модифікації, то аргумент машини першої модифікації визначається за умов мінімізації сумарних затрат. Для другої модифікації конкретного типу нової машини він дорівнює  $x_N$ . В цьому випадку сумарні затрати

$$S = x_1 \cdot (x_1 - x_o) + (1 - x_1) + kx_1 + k. \quad (8)$$

У формулі (8) через  $x_o$  і  $x_1$  позначені відношення цих величин до  $x_N$ . Першу похідну від  $S$  прирівняємо до нуля. Після вирішення отриманого рівняння визначимо, що

$$x_1 = \frac{1 + x_o - k}{2}. \quad (9)$$

Витрати для цього випадку обраховуються за формулою

$$\bar{S}_o = \frac{3k + kx_o - k^2}{2} + \frac{3 - 2x_o - x_o^2 + k}{4}. \quad (10)$$

Перший член рівняння (10) показує витрати на розробку, випробування і поставку на виробництво

(Sp), а другий – витрати на виробництво  $\bar{S}_b$ .

Таким же чином задача вирішується і в тих випадках, коли число модифікацій дорівнює трьом і більше. Наведемо відомі із літератури результати [9] стосовно визначення витрат на розробку та витрат на виробництво типів пристроїв, що показані в табл. 1.

За своїм характером задачі вибору оптимального ряду належать до відомих рішень розподілу [7, 8], але відрізняються від них наявністю нефіксованих значень аргументу.

Обґрунтовані аргументи  $N$  типів  $x_1, x_2, \dots, x_N$  застосовуються в діапазоні від  $x_{k-1}$  до  $x_k$  в  $k$ -тій модифікації нової машини (вагону). Значення аргументів при розробці методики віднесені до  $x_N$ . Доцільно простежити, як змінюються відносні витрати на виробництво модифікації в найпростішому випадку, тобто коли  $x_o = 0$ ;  $k = 0$ .

На рис.1 показано тенденцію зміни затрат на розробку та витрат на виробництво залежно від числа модифікацій нової машини (вагону).

Витрати, віднесені на виробництво, зменшуються при збільшенні числа модифікацій за відповідною залежністю, що наведена на рис.1. Відносні затрати на розробку і постановку на виробництво  $Sp/k$  при  $x_o=0$  і невеликих  $k$  лінійно зростають із збільшенням  $N$ . Слід відмітити, що при значних величинах  $k$  ця залежність може суттєво відрізнятись від лінійної.

ВАТ «Крюківський вагонобудівний завод» (КВБЗ) – це один із найкрупніших виробників транспортних засобів, розробив і випускає новий пасажирський купейний вагон моделі 61-779, випробовує і ставить на потік його модифікації.

Перед колективом товариства стоїть задача за високої ефективності, найкращих експлуатаційних характеристик, комфортабельності, в поєднанні з надійністю конструкції і якістю виготовлення, ідеально сприяти вирішенню проблем, що виникають при виконанні пасажирських перевезень з використанням купейних вагонів. Для задоволення зростаючих потреб споживачів виробники пропонують модифікації пасажирських купейних вагонів, в тому числі СВ і першого класу.

Таблиця 1 – Підсумкові формули визначення оптимального значення аргументу для відповідного числа модифікацій

Число типів, N	Затрати на розробку, $S_p$	Затрати на виробництво, $S_b$	Оптимальні значення аргументів
1	K	$1-x_o$	1
2	$\frac{3+x_o-k}{2}k$	$\frac{3-2x_o-x_o^2+k^2}{4}$	$\frac{1+x_o-k}{2}, 1$
3	$\frac{6+3x_o-6k}{3}k$	$\frac{6-3x_o-3x_o^2+9k^2}{9}$	$\frac{1+2x_o-3k}{3}, \frac{2+x_o-3k}{3}, 1$
4	$\frac{10+6x_o-20k}{4}k$	$\frac{10-4x_o-6x_o^2+40k^2}{16}$	$\frac{1+3x_o-6k}{4}, \frac{2+2x_o-8k}{4}, \frac{3+x_o-6k}{4}, 1$
5	$\frac{15+10x_o-50k}{5}k$	$\frac{15-5x_o-10x_o^2+125k^2}{25}$	$\frac{1+4x_o-10k}{5}, \frac{2+3x_o-15k}{5}, \frac{3+2x_o-15k}{5}, \frac{4+x_o-10k}{5}, 1$

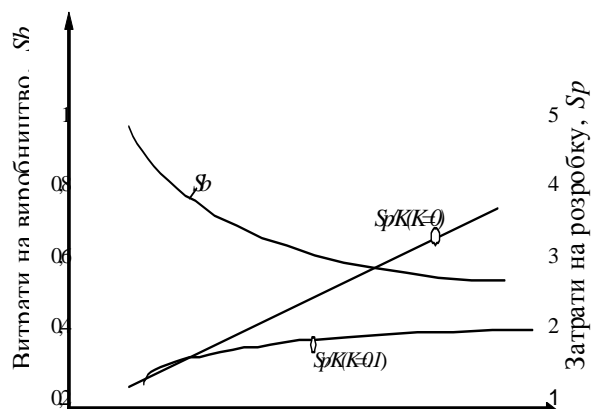


Рисунок 1 – Тенденція динаміки затрат при зміні числа модифікацій нової машини (вагону)

Обробка статистичних даних показала, що продуктивність пасажирських купейних вагонів першого класу за місце для сидіння рівномірно розподіляється від 120 до 200 тис. грн. за одне місце. Необхідно вибрати для умов роботи товариства оптимальний ряд продуктивності пасажирських купейних вагонів, якщо їх загальна кількість до випуску планується в 1 тис. штук. Вартість виробництва пасажирського купейного вагона першого класу з кількістю місць для сидіння 45 складає  $C_0 = 7945$  тис. грн. Для інших модифікацій нової машини (виробу) вартість пропорційна продуктивності пасажирського купейного вагону. Витрати на розробку, випробування і постановку на виробництво нової моделі пасажирського купейного вагону з продуктивністю 200 тис. грн. за одне місце  $C_p$  дорівнює 80 000 тис. грн.

Величина пропорційності виробництва модифікації пасажирського купейного вагона складає

$$a = 7945 \text{ тис. грн. / 45 місць } = 176,5 \text{ грн. / місце.}$$

Постійна величина відповідного аргументу в діапазоні продуктивності

$$b = \frac{1000 \text{ пас.ваг.}}{200 - 120} = 12,5 \text{ пас.ваг. / місце.}$$

Відносна величина затрат на розробку пасажирського купейного вагона в товаристві «КВБЗ»

$$c = \frac{80000 \text{ тис.грн.}}{45} = 1777,8 \text{ грн. / місце.}$$

Згідно формул (6) і (7) розрахуємо

$$k = \frac{1777,8}{176,5 \cdot 12,5 \cdot 45} = 0,0179$$

$$x_o = \frac{120}{200} = 0,600.$$

Відповідно до формул, що наведені в табл.1., виконали розрахунки витрат на розробку, випробування і постановку на виробництво та собівартість пасажирського купейного вагона, значення оптимального ряду модифікацій нової машини. Результати розрахунку наведені в табл. 2.

Із табл. 2 видно, що оптимальними є ряди із двох – трьох пасажирських купейних вагонів. При цьому сумарні відносні затрати на розробку та витрати на виробництво сімейства пасажирських купейних вагонів складають

$$S = S_p + S_b = 0,3920 - 0,3929,$$

що є мінімальними значеннями для наведеного числа N. Відмітимо, що екстремум дуже пологий і без великих втрат може бути прийнято ряд із трьох модифікацій пасажирського купейного вагона ( $S = 0,3929$ ) із продуктивністю 145, 170 і 200 грн./ місце.

Таблиця 2 – Результати розрахунків визначення оптимальних значень аргументу для відповідного числа модифікацій пасажирського купейного вагона

Число типів, N	Відносні затрати на розробку, Sp	Відносні витрати на виробництво, Sb	Сумарні відносні витрати, S=Sp+Sb	Оптимальні приведені значення аргументів
1	0,0179	0,6000	0,6179	1,0000
2	0,0320	0,3600	0,3920	0,7910 1,0000
3	0,0459	0,3470	0,3929	0,7152 0,8488 1,0000
4	0,0592	0,3408	0,4000	0,6732 0,7642 0,8732 1,0000

В умовах загострення конкуренції на ринку пасажирських купейних вагонів можуть з'явитися додаткові міркування стосовно розширення числа типів нових машин провідним виробником рухомих засобів в Україні. Таким чином, вибір оптимального ряду може на 15% скоротити витрати для умов роботи ВАТ «КВБЗ».

За нашою участю методика доопрацьована в частині врахування потенційних витрат на експлуатацію модифікацій нових вагонів у споживачів. Вартість експлуатації пасажирського купейного вагона в одиницю часу визначили врахуванням затрат на опалення, поточні і капітальні ремонти, на забезпечення обслуговуючим персоналом. Розрахували відношення витрат на експлуатацію ( $B_{екс}$ ) за рік до вартості пасажирського купейного вагона ( $B_o$ ) моделі 61-779 (з чотиримісним купе, 40 місць):

$$K_{екс} = \frac{B_n \cdot k_n + B_{рем} \cdot K_{рем} \cdot \varphi(t) + B_{нр} \cdot k_{нр}}{B_o}, \quad (11)$$

де  $B_n$ ,  $B_{рем}$ ,  $B_{нр}$  – вартість одиниці пального, ремонту і середня заробітна плата обслуговуючого персоналу;

$k_n$ ,  $k_{рем}$ ,  $k_{нр}$  – кількісні показники потреб в пальному, числі ремонтів і обслуговуючому персоналу;

$\varphi(t)$  – функція, що показує збільшення витрат на експлуатацію в міру зносу пасажирського купейного вагона.

Обробка фактичних даних витрат з експлуатації пасажирських купейних вагонів на залізницях України показала, що функція добре апроксимується залежністю експоненціального виду:

$$\varphi(t) = \exp(\mu \cdot t) - 1, \quad (12)$$

де  $\mu$  – величина розрахованого коефіцієнту.

Таблиця 3 – Визначення оптимального параметричного ряду пасажирських купейних вагонів

Число типів, N	Сумарні затрати, $S_N$	Оптимальні значення аргументів віднесені до $x_N$	Оптимальне значення продуктивності (з округленням), грн. / місце
3	$0,4512abx_N^3 + 3q_1$	0,9388 1,0000	185 200
4	$0,4276abx_N^3 + 4q_1$	0,8738 0,9571 1,0000	175 190 200

Задача вибору оптимального ряду в широко відомій математичній постановці [7, 8] зводиться до вирішеної нами для конкретних умов роботи товариства, але замість  $k$  слід підставляти  $k'$ , що визначається за обґрунтованою спеціалістами [9] формулою з врахуванням часу ( $T$ ) експлуатації

$$k' = \frac{C}{b(a + K_{екс} \cdot T)X_N}. \quad (13)$$

Метод вирішення задачі в ускладненій постановці не має принципової різниці, коли визначені оптимальні ряди модифікацій пасажирських купейних вагонів. У ході обробки даних експлуатації склали рівняння для витрат від  $x_0$  до  $x_{\phi 1}$ ; від  $x_{\phi 1}$  до  $x_{\phi 2}$  тощо, де  $x_{\phi 1}$ ,  $x_{\phi 2}$ , ... фіксовані значення аргументів.

Обраховували оптимальні значення проміжних значень аргументів при 1,2 і тому подібне за раціональний час експлуатації пасажирського купейного вагона.

Так, при  $N = 1$  отримали

$$S_N = abx_N^3 + q_1, \quad (14)$$

де  $q_1 = Cp(x)$ .

При  $N = 2$  отримали

$$S_N = ab[3x_N x_1^2 - x_1^3 + x_N^3 - 2x_N^2 x_1] + 2q_1. \quad (15)$$

Таким чином фіксували  $N$  за відомим методом [9], розраховували оптимальний ряд при фіксованому  $N$  і визначали  $S_{NO}$ . Послідовно збільшували  $N$  і знаходили таку його величину, за якої  $S_{NO}$  має мінімальне значення. Розрахунки виконали тільки для  $N=2$  і  $N=3$ , тобто для оптимальних рядів модифікацій пасажирських купейних вагонів, підсумкові результати яких наведені в табл. 3.

Створення оптимального ряду по продуктивності в 175, 190 і 200 грн./місце нових конструкцій пасажирських купейних вагонів, що повинні мати високі техніко-економічні характеристики, складна комплексна задача. Для вирішення задачі в умовах роботи ВАТ «КВБЗ» доцільно забезпечити максимально можливу технологічність виробу.

Технологічно можна вважати конструкцію пасажирського купейного вагона, освоєння і випуск якого в заданих обсягах виробництва буде здійснюватися з мінімальними виробничими витратами і з коротким виробничим циклом. Виробнича технологічність конструкцій оптимального ряду характеризується показниками матеріаломісткості, трудомісткості, собівартості та виробничим циклом. Показники технологічності справляють вирішальний вплив на створення оптимального ряду модифікацій пасажирських купейних вагонів.

**ВИСНОВКИ.** Сучасний пасажирський вагон – унікальний ретельно продуманий виріб, а враховуючи конкуренцію пасажирським перевезенням із боку інших видів транспорту колектив підприємства повинен продовжувати роботи над удосконаленням конструкцій вагонів у напрямках збільшення швидкості руху та підвищення комфортності. Таким чином, товариству доцільно порекомендувати наступні заходи щодо вдосконалення проектування, випробування і виробництва пасажирських купейних вагонів:

- орієнтуватися на оптимальні значення продуктивності модифікацій при удосконаленні конструкції базового вагону. Кузов вагона являє собою суцільнометалеву зварну конструкцію, яка виконана із застосуванням низьколегованих і нержавіючих сталей, підкріплену каркасом із стояками, дугами, поперечних балок і поздовжніх зв'язок. В своїй конструкції кузов має елементи і пристосування, що необхідні для кріплення внутрішньовагонного і підвагонного устаткування;

- комплектувати параметричний ряд нових вагонів пневматичним і електропневматичним гальмом з повітророзподільником, важільною гальмівною передачею, ручним гальмом, стоп-краном екстреного гальмування, вікнами-аварійними виходами у відповідності з оптимальним значенням продуктивності;

- добиватися високого рівня взаємозамінності основних вузлів для модифікацій пасажирських купейних вагонів автотягним пристроєм СА з гумово-металевим апаратом Р-5П, що поглинає вібрації, перехідними площадками з гумовим огороженням балонного типу;

- забезпечувати комфортні умови проїзду пасажирів і обслуговуючого персоналу шляхом обладнання вагонів різними системами життєзабезпечення: гарячого і холодного водозабезпечення, опалення основного (з електровугільним котлом) і допоміжного (від електрокалориферів системи кондиціонування), системи кондиціонування і вентиляції.

Впровадження внутрішньосімейної уніфікації у межах параметричного ряду дозволить майже на 15% знизити собівартість освоєння та випуску модифікацій нових пасажирських купейних вагонів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бирман Г., Шмидт С. Экономический анализ инвестиционных проектов/ Пер. с англ. Е.А. Ананкина; под ред. Белых М.И. – М.: Банки и биржи: ЮНИТИ, 1997. – 631 с.
2. Брейли Р., Майерс С. Принципы корпоративных финансов / Пер. с англ. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 1997. – 1120 с.
3. Организационные и экономические основы технической подготовки производства./ Под ред. М.И. Ипатова, А.В. Проскурякова. – М.: Машиностроение, 1972. – 600 с.
4. Данилишин Б., Чижова В. Науково-інноваційне забезпечення сталого економічного розвитку України // Економіст. – 2004. – № 3. – С. 4–11.
5. Інноваційна стратегія українських реформ / А.С. Гальчинський, В.М. Геєць, А.К. Кінах, В.П. Семиноженко. – К., 2002. – 486 с.
6. Інноваційна складова економічного розвитку: Монографія / НАН України, Ін-т економіки; Відп. редактор Л.К. Безчасний. – К., 2000. – 394 с.
7. Колемаев В.А. Математическая экономика: Учебник для вузов. – М.: ЮНИТИ, 1998. – 240 с.
8. Крысанов В.И., Фукс А.И., Эльясберг М.Е. Технико-экономический анализ размерных рядов станков // Вестник машиностроения. – 1965. – № 5. – С. 8–15.
9. Чуев Ю.В., Смехова Г.П. Технические задачи исследования операций. – М.: Советское радио, 1971. – 244 с.

## REFERENCE

1. Byrman H., Schmidt S. Economic analysis of investment projects / Trans. from English. E.A. Anankina, ed. Belih M.I. – Moscow: Banks and the exchange: Unit, 1997. – 631 p. [in Russian].
2. Breili R., Myers S. Principles of corporate Finance / Trans. from English. – Moscow: ZAO «Olymp-Business», 1997. – 1120 p. [in Russian].
3. The organizational framework for Economic and prepare a technical production. Ed. M.I. Ipatov, A.V. Proskuryakov. – M.: Machinery, 1972. – 600 p. [in Russian].
4. Danilishin B., Chizhova V. Research and Innovation for sustainable economic development of Ukraine // The Economist. – 2004. – № 3. – P. 4–11 [in Russian].
5. Innovation Strategy of Ukrainian reforms / A.S. Halchynsky, V.M. Heyets, A.K. Kinakh, V.P. Seminozhenko. – K., 2002. – 486 p. [in Ukrainian].
6. An innovative component of economic development: Monograph / NAS of Ukraine, Institute of Economics; Answ. Editor L.K. Bezchasnyy. – K., 2000. – 394 p. [in Ukrainian].
7. Kolemaev V.A. Mathematics economics: The textbook for high schools. – Moscow: Unit, 1998. – 240 p. [in Russian].
8. Krysanov V.I., Fucs A.I., Elyasberh M.E. Techno-economic analysis of the size series of machines // Journal of mechanical engineering. – 1965. – № 5. – P. 8–15. [in Russian].
9. Chuev Y.V., Smehova G.P. Technical problems of operations research. – Moscow: Soviet radio, 1971. – 244 p. [in Russian].

Стаття надійшла 06.01.2011

Рекомендована до друку  
д.е.н., проф. Хоменком М.М.