

### ПОРІВНЯННЯ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БАГАТОПОЗИЦІЙНИХ ПРИВОДІВ З ЦИФРОВИМ КЕРУВАННЯМ

© М. А. Новік, к.т. н., доцент, В. Є. Дідовець, здобувач,  
НТУУ «КПІ», Київ, Україна

Рассмотрены типовые схемы многопозиционных приводов с цифровым управлением, в структуру которых входят пневматические цилиндры поступательного перемещения с выходным штоком, электрические шаговые поворотные двигатели и гидравлические объёмные дозаторы. Приведены аналитические зависимости, которые на стадии проектирования позволяют выполнить расчеты основных параметров многопозиционных пневматических, пневмогидравлических и пневмоэлектрических приводов с цифровым управлением. Приведены примеры расчета статических усилий, осевых габаритных размеров пневмоцилиндров и числа разрядов комбинированных цифровых приводов.

The typical schemes of multipositional digital control drives which structure includes the pneumatic cylinders of linear displacement with the output rod, electric step rotary motors and hydraulic volume dosers were examined in this paper.

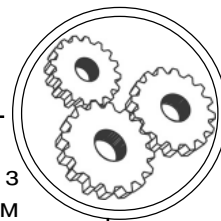
The analytical relationships, which allow on the stage of design to carry out calculations of the main parameters of multipositional pneumatic, pneumohydraulic and pneumoelectric digital control drives were given.

The examples of the calculation of static forcing, the axial dimensions of pneumatic cylinders and the number of grades of the combined digital drives were presented.

#### Постановка проблеми

В процесі створення багато-позиційних приводів з цифровим керуванням часто виникає задача оптимізації структури цифрового приводу. Так застосування, наприклад, в якості приводу руки промислового робота пневматичного цифрового приводу, побудованого на базі двопозиційних розрядних поршнів, послідовно розміще-

них в циліндрі, обмежується значними осьовими розмірами пневматичного циліндра. При цьому осьовий розмір такого циліндра приблизно в три рази більший за хід вихідного штока. Так, наприклад, десятирозрядний пневматичний цифровий привод (ЦП) з послідовно розміщеними поршнями в циліндрі з дискретністю 1 мм при ході вихідного штока 1023 мм буде мати



довжину циліндра приблизно 3000 мм. Значний габаритний розмір суттєво обмежує можливість застосування таких ЦП в якості багатопозиційних пристроїв автоматизованих систем з цифровим керуванням. Проведені дослідження показали, що протиріччя між багаторозрядним ЦП з малою дискретністю і значним осьовим габаритним розміром циліндра можна вирішити шляхом поєднання переваг електричних крокових поворотних двигунів і швидкодіючих пневматичних приводів. Тому аналіз існуючих технічних розробок і створення нових малогабаритних багаторозрядних ЦП з малою дискретністю є актуальною проблемою, вирішення якої дасть можливість значно розширити область застосування таких приводів.

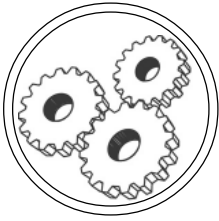
### **Аналіз попередніх досліджень**

Проблемі створення та дослідження багатопозиційних пневматичних, гідравлічних та комбінованих приводів з цифровим керуванням присвячено чимало наукових праць. В цих роботах в основному розглядаються цифрові приводи побудовані на базі двопозиційних двигунів [1]. Такі приводи виконані або у вигляді послідовно розміщених розрядних поршнів у циліндрі, або у вигляді послідовно закріплених розрядних циліндрів. Цифрові приводи з послідовно розміщеними поршнями у циліндрі характеризуються значним осьовим габаритним розміром і залежністю статичного зусилля від числа розрядів

(поршнів). Цифрові приводи з послідовним розміщенням циліндрів характеризуються низькою поперечною жорсткістю і рухомими (гнучкими) трубопроводами живлення розрядних порожнин. В роботах [2, 3] розглянуті конструкції електропневматичних та електрогідравлічних багатопозиційних приводів, які характеризуються високою роздільною здатністю і зменшеним осьовим габаритним розміром.

### **Мета роботи**

Метою даної статті є порівняння основних статичних характеристик різноманітних конструктивних схем багатопозиційних приводів з цифровим керуванням. Показати, що поєднання переваг поворотного електричного крокового двигуна і швидкодії пневматичного циліндра, робоча порожнина якого сполучена трубопроводами живлення з гідравлічним дозатором, дозволяє створювати малогабаритні, швидкодіючі, з малою дискретністю (до долей мікрметра) і значним переміщенням вихідного штока (до 1000 мм і більше) багатопозиційні приводи з цифровим керуванням. Перевагою таких приводів перед дросельними є те, що у них позиювання вихідного штока здійснюється по жорсткому упору, що обумовлює високу точність позиювання і повторюваність виходу в задану позицію. Крім того такі приводи не вимагають тонкої очистки робочого тіла, так як вони працюють при значних перерізах трубопроводів живлення і регулюючої та розподільчої апаратури.



### Результати проведених досліджень

Багатопозиційні приводи з цифровим керуванням призначені для перетворення інформації двійкового коду у поступальне або обертальне переміщення вихідної ланки.

Принципова схема цифрового приводу (ЦП) з послідовно розміщеними розрядними поршнями в циліндрі представлено на рис. 1 [1].

Такий ЦП складається із циліндра 1, в корпусі якого послідовно розміщено  $n$  розрядних поршнів  $b_1 \dots b_n$  з ходами, величини яких визначаються залежністю  $x_i = x_0 \cdot 2^{i-1}$ , де  $x_0$  — дискретність приводу, а  $i$  — порядковий номер розрядного поршня, який приймає значення від 1 до  $n$ , де  $n$  — число поршнів (розрядів). Поршень старшого розряду  $b_n$  з'єднаний з вихідним штоком 2. Розрядні поршні  $b_1 \dots b_n$  утворюють розрядні порожнини  $a_1 \dots a_n$ ,

де  $i$  — порядковий номер розрядної порожнини, а  $n$  — число розрядних порожнин. Поршень старшого розряду  $b_n$  і шток 2 утворюють порожнину зворотного руху  $c$ , до якої підводиться постійно тиск живлення  $P_{ж}$ . Величина ефективної площі поршня  $b_n$  зі сторони порожнини  $c$  в два рази менша ефективної площі поршня  $b_n$  зі сторони порожнини  $a_n$ , тобто

$$F_{ш} = \frac{1}{2} F_n,$$

де  $F_{ш}$  — площа поршня зі сторони порожнини  $c$ ;  $F_n$  — площа поршня зі сторони порожнини  $a_n$ . Таке співвідношення площ при однаковому тиску, що подається в робочі порожнини, забезпечує однакове зусилля приводу як при русі вперед, так і при русі назад.

Кількість позицій такого приводу визначається за формулою [1]

$$N_i = 2^n.$$

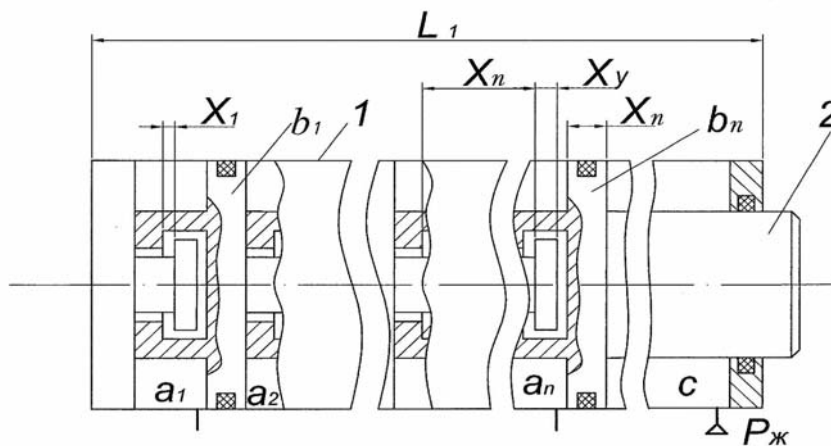
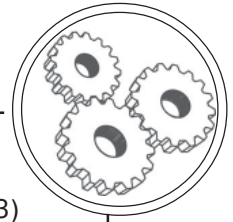


Рис. 1. Цифровий привід з послідовно розміщеними поршнями в циліндрі



Максимальна величина переміщення вихідного штока 2

$$X_{\max,1} = X_0(2^n - 1) = X_0(N_1 - 1). \quad (1)$$

Величина переміщення  $i$ -го розрядного поршня визначається за формулою

$$x_i = x_0 \cdot 2^{i-1}.$$

Габаритний осьовий розмір циліндра цифрового приводу з послідовно розміщеними поршнями визначається за формулою [1]

$$L_1 \approx 3X_{\max} \approx 3 \cdot X_0(2^n - 1). \quad (2)$$

Статичне зусилля приводу визначається за формулою

$$P_{\text{ст},1} = \frac{\pi}{8} D_p^2 \cdot P_{\text{ж}} - n \cdot P_{\text{т},п} - P_{\text{т},ш}, \quad (3)$$

де  $D_p$  — діаметр поршня;  $P_{\text{т},п}$  і  $P_{\text{т},ш}$  — сила тертя, відповідно, розрядного поршня і штока.

Аналіз залежностей (1), (2) і (3) показує, що максимальна величина переміщення вихідного штока, осьовий габаритний розмір циліндра і статичне зусилля залежать від числа розрядів ЦП.

Цифровий привод з послідовно розміщеними поршнями в циліндрі і гідравлічними дозаторами представлено на рис. 2 [2].

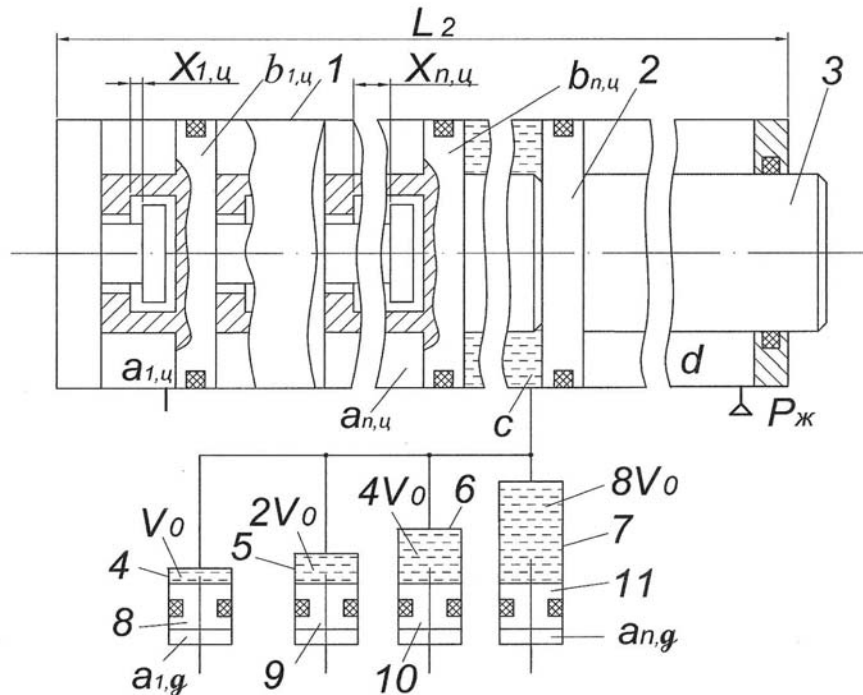
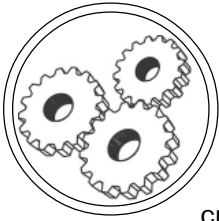


Рис. 2. Цифровий привод з послідовно розміщеними поршнями в циліндрі і гідравлічними дозаторами



## МАШИНИ І АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ

Такий цифровий привод складається з циліндра 1, в якому послідовно розміщені розрядні поршні  $b_{1,ц} \dots b_{n,ц}$  з ходами  $x_{1,ц} \dots x_{n,ц}$ , величини яких визначаються залежністю

$$x_{i,ц} = x_0 \cdot 2^{i-1}.$$

Розрядні поршні утворюють розрядні порожнини  $a_{1,ц} \dots a_{n,ц}$ , штокову порожнину  $d$  і додаткову порожнину  $c$ , яка сполучена з гідравлічними порожнинами дозаторів 4, 5, 6 і 7 з об'ємами, відповідно рівними  $v_0, 2v_0, 4v_0$  і  $8v_0$ . В циліндрах дозаторів розміщені поршні 8, 9, 10 і 11, які утворюють розрядні пневматичні порожнини  $a_{1,д} \dots a_{n,д}$ .

Для спрощення приймаємо, що діаметр поршнів дозаторів дорівнює діаметру поршня 2, тобто  $D_{п} = D_{д}$ .

Кількість позицій вихідного штока такого приводу визначається за формулою

$$N_2 = 2^{n_{ц} + n_{д}} = 2^n,$$

де  $n_{ц}$  і  $n_{д}$  — відповідно, число розрядних поршнів, розміщених в циліндрі 1 і кількість дозаторів;  $n$  — число розрядів приводу.

Максимальна величина переміщення вихідного штока

$$X_{\max,2} = X_0 (2^{n_{ц} + n_{д}} - 1).$$

Величина переміщення  $i$ -го розрядного поршня, що розміщені як у циліндрі 1, так і в циліндрах об'ємних дозаторів визначаються однією і тією ж залежністю

$$x_i = x_0 \cdot 2^{i-1}.$$

При чому порядковий номер дозатора молодшого розряду мусить бути на одиницю більшим порядкового номера поршня

старшого розряду, який розміщений в циліндрі 1. Наприклад, якщо порядковий номер поршня старшого розряду, який розміщений в циліндрі 1 дорівнює 6, то порядковий номер дозатора молодшого розряду буде дорівнювати  $6 + 1 = 7$ . Якщо діаметри поршнів циліндра і дозаторів нерівні, в цьому випадку переміщення  $i$ -го поршня дозатора необхідно помножити на

$$\frac{D_{п}}{D_{г}}.$$

Габаритний осьовий розмір циліндра з послідовно розміщеними поршнями і гідродозаторами визначається залежністю [2]

$$L_2 \approx X_0 (2^n + 2 \cdot 2^{n-n_g} - 3) + (n - n_g) \cdot (\Delta x_{п} + 2\Delta x_{y}), \quad (4)$$

де  $\Delta x_{п}$  — довжина поршня;  $\Delta x_{y}$  — довжина упора.

Статичне зусилля приводу

$$P_{ст,2} = \frac{\pi}{8} D_{п}^2 \cdot P_{ж} - 2(n - n_g) \cdot P_{тл} - P_{тш}. \quad (5)$$

Аналіз залежностей (4) і (5) показує, що із збільшенням кількості розрядів дозатора  $n_{д}$  осьовий габаритний розмір циліндра зменшується, а статичне зусилля збільшується. Максимальне зусилля і мінімальна довжина циліндра будуть мати значення при  $n_{д} = n$ .

Електропневматичний ЦП з електричним кроковим двигуном і послідовно розміщеними розрядними поршнями в циліндрі [3] зображено на рис. 3.

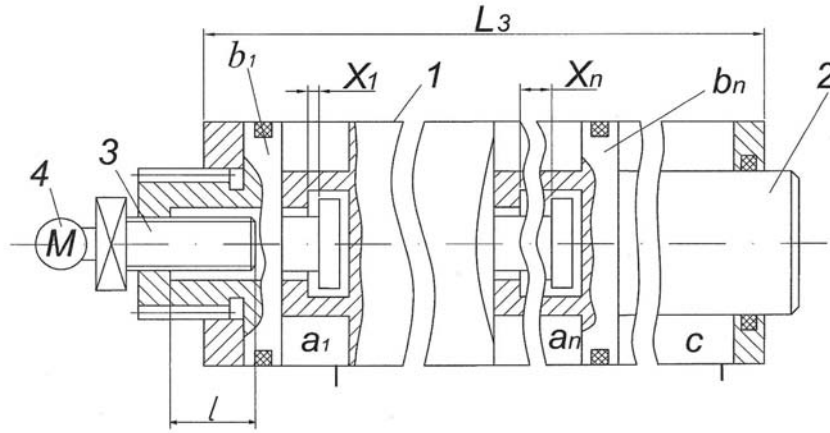
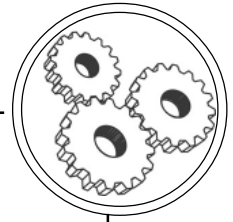


Рис. 3. Електропневматичний цифровий привод з електричним кроковим двигуном і послідовно розміщеними розрядними поршнями в

Такий привод складається із пневматичного циліндра 1, в якому послідовно розміщені розрядні поршні  $b_1 \dots b_n$  з величинами відносного переміщення, які визначаються залежністю

$$x_i = x_0 \cdot 2^{i-1}.$$

Поршень  $b_n$  старшого розряду з'єднаний з вихідним штоком 2, а поршень молодшого розряду  $b_1$  кінематично через гвинт 3 гвинтової пари з'єднаний з вихідним валом електричного крокового двигуна 4. Розрядні поршні  $b_1 \dots b_n$  утворюють розрядні порожнини  $a_1 \dots a_n$  і порожнину зворотного руху с.

Кількість позицій вихідного штока 2 такого приводу визначається залежністю [4]

$$N_3 = \frac{360^\circ}{\Delta\varphi \cdot t} \cdot X_0 \cdot 2^{n_{ц.г}} - 1,$$

де  $\Delta\varphi$  — дискретність електричного крокового двигуна;  $t$  — крок гвинта 3;  $n_{ц.д}$  — число розрядів пневматичного цифрового двигуна.

Максимальна величина переміщення вихідного штока 2 [4]

$$X_{\max.3} = 2^{n_{ц.г}} \cdot X_0 - \frac{\Delta\varphi}{360^\circ} \cdot t.$$

Осьовий габаритний розмір циліндра електропневматичного ЦП

$$L_3 = 2X_0(2^{n_{ц.г}} - 1) + l + n_{ц.г}(\Delta X_{п} + 2\Delta X_{y}), \quad (6)$$

де  $l$  — довжина робочої частини гвинта 3.

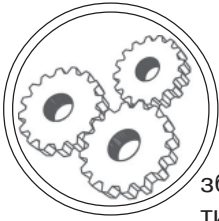
При  $l = x_0$

$$L_3 = 2X_0 \cdot 2^{n_{ц.г}} - X_0 + n_{ц.г}(\Delta X_{п} + 2\Delta X_{y}).$$

Статичне зусилля приводу

$$P_{ст,3} = \frac{\pi}{8} D_{п}^2 \cdot P_{ж} - n_{ц.г} \cdot P_{т.л} - P_{т.ш}. \quad (7)$$

Із залежностей (6) і (7) випливає, що із збільшенням числа розрядів  $n_{ц.д}$  габаритний розмір



## МАШИНИ І АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ

збільшується і зменшується статичне зусилля цифрового приводу.

Приклад порівняння характеристик багатопозиційних приводів з цифровим керуванням, що розглянуті і приведені на рис. 1, 2 і 3. Для порівняння їх характеристик прийmemo такі значення вихідних параметрів:  $\Delta x = 0,01$  (мм);  $x_{\max} = 655,35$  (мм);  $P_{\text{ж}} = 0,6$  (МПа);  $D_{\text{п}} = D_{\text{а}} = 60$  (мм);  $d = 42$  (мм);  $l = x_0 = 40,96$  (мм);  $t = 2$  (мм);  $\Delta\varphi = 1,8^\circ$ ;  $P_{\text{т,п}} = 50$  (Н);  $P_{\text{т,ш}} = 50$  (Н).

I. Визначимо число розрядів  $n_1$ , максимальну довжину циліндра  $L_1$  і статичне зусилля  $P_{\text{ст}}$  цифрового приводу за рис. 1:

— число розрядів

$$n_1 = \frac{\ln\left(\frac{x_{\max}}{\Delta x} + 1\right)}{\ln 2} = \frac{\ln\left(\frac{655,35}{0,01} + 1\right)}{\ln 2} = 16;$$

— довжина циліндра

$$L_1 \approx 3 \cdot \Delta x (2^{n_1} - 1) = 3 \cdot 0,01 (2^{16} - 1) = 1966,05 \text{ (мм)};$$

— статичне зусилля

$$P_{\text{ст,1}} = \frac{\pi}{8} D_{\text{п}}^2 \cdot P_{\text{ж}} - n_1 \cdot P_{\text{т,п}} - P_{\text{т,ш}} = \frac{\pi}{8} \cdot 0,06^2 \cdot 0,6 \cdot 10^6 - 16 \cdot 50 - 30 = 17,8 \text{ (Н)}.$$

II. Визначимо аналогічні параметри цифрового приводу з послідовно розміщеними поршнями в циліндрі і гідравлічними дозаторами (рис. 2):

— число розрядів

$$n_2 = \frac{\ln\left(\frac{x_{\max}}{\Delta x} + 1\right)}{\ln 2} = \frac{\ln\left(\frac{655,35}{0,01} + 1\right)}{\ln 2} = 16;$$

— довжина циліндра

$$L_2 = \Delta x (2^{n_2} + 2 \cdot 2^{n_2 - n_g} - 3) + (n_2 - n_g) (\Delta x_{\text{п}} + 2 \Delta x_{\text{y}}) = 0,01 (2^{16} + 2 \cdot 2^{(16-4)} - 3) + (16 - 4) (20 + 2 \cdot 4) = 1073,25 \text{ (мм)};$$

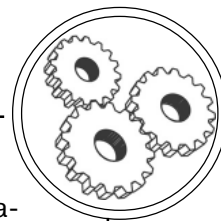
— статичне зусилля

$$P_{\text{ст,2}} = \frac{\pi}{8} D_{\text{п}}^2 \cdot P_{\text{ж}} - 2(n_2 - n_g) \cdot P_{\text{т,п}} - P_{\text{т,ш}} = \frac{\pi}{8} \cdot 0,06^2 \cdot 0,6 \cdot 10^6 - 2(16 - 4) \cdot 50 - 30 = 183 \text{ (Н)}.$$

III. Параметри електропневматичного цифрового приводу з електричним кроковим двигуном і послідовно розміщеними розрядними поршнями в циліндрі (рис. 3):

— число розрядів

$$n_{\text{ц,г}} = \frac{\ln\left(\frac{x_{\max} - x_0}{x_0} + 1\right)}{\ln 2} = \frac{\ln\left(\frac{655,35 - 40,96}{40,96} + 1\right)}{\ln 2} = 4;$$



— довжина циліндра

$$\begin{aligned}
 L_3 &= X_0 (2 \cdot 2^{n_{ц,г}} - 1) + \\
 &+ n_{ц,г} (\Delta X_{п} + 2\Delta X_y) = \\
 &= 40,96 (2 \cdot 2^4 - 1) + \\
 &\dots + 4(20 + 2 \cdot 4) = \\
 &= 1461,76 \text{ (мм)};
 \end{aligned}$$

— статичне зусилля

$$\begin{aligned}
 P_{ст,з} &= \frac{\pi}{8} D_{п}^2 \cdot P_{ж} - n_{ц,г} \cdot P_{Тл} - \\
 - P_{Тш} &= \frac{\pi}{8} \cdot 0,06^2 \cdot 0,6 \cdot 10^6 - \\
 - 4 \cdot 50 - 30 &= 380,8 \text{ (Н)}.
 \end{aligned}$$

### Висновки

Проведений аналіз різноманітних конструкцій багатопозиційних приводів з цифровим керуванням показав, що при одних і тих же значеннях дискретності і максимального переміщення вихідного штока приводи мають різні значення як осьового габаритного розміру циліндра, так і статичного зусилля. Найменший осьовий розмір циліндра має ЦП з послідовно розміщеними поршнями в циліндрі і гідравлічними дозаторами. Найбільше статичне зусилля має електропневматичний цифровий привод з електричним кроковим двигуном.

1. Новік М. А. Аналіз точності позиціонування цифрових приводів / Новік М. А. // Вісник НТУУ «КПІ»: серія «Машинобудування». — 2008. — № 54. — С. 124–131. 2. Новік М. А. Комбінований цифровий привод з об'ємними дозаторами / Новік М. А. // Промислова гідравліка і пневматика. — 2007. — № 2(16). — С. 79–81. 3. Пат. 90383 Україна, МПК F 15 В 7/00. Багатопозиційний привод / Новік М. А., Кучерук Ю. М., Дорогань В. В.; заявник і патентовласник НТУУ «КПІ». — № а200810063; заявл. 26.04.10; опубл. 10.02.10, Бюл. № 8. 4. Новік М. А. Статичні характеристики електропневматичного багатопозиційного приводу / Новік М. А. // Вісник НТУУ «КПІ»: серія «Машинобудування». — 2010. — № 58. — С. 223–228.

Рецензент — О. В. Узунов, к.т.н.,  
доцент, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 22.03.12