

*В. В. МАЛАШКІН*, канд. техн. наук, доц., ДНУЗТ, Дніпропетровськ

## **ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ КОНСТРУКЦІЇ КОЛІЙНОГО РОЗВИТКУ ЗАЛІЗНИЧНИХ СТАНЦІЙ**

У статті наведено опис інтелектуальної системи, яка дозволяє виконувати комплексний аналіз конструктивних параметрів та експлуатаційних характеристик колійного розвитку залізничних станцій з метою отримання загальної кількісної оцінки. В основі аналізу лежать процедури визначення кількісних та якісних показників, що характеризують конструкцію колійного розвитку станцій. Для отримання кількісної оцінки проектного рішення використаний метод аналізу ієрархій, що адаптований для вирішення задач такого типу.

**Ключові слова:** інтелектуальна система, колійний розвиток, залізнична станція, аналіз ієрархій, кількісна оцінка.

**Вступ.** До сучасних проектів будівництва або реконструкції колійного розвитку залізничних станцій висуваються ряд вимог, основними з яких є не тільки відповідність Державним будівельним нормам [1] та низька вартість, але і високий рівень функціонування, які впливають на кінцевий вибір схеми колійного розвитку. Процес відбору ефективного проектного рішення з сукупності запропонованих варіантів здійснюється шляхом порівняння їх техніко-економічних показників за основним критерієм оцінки – експлуатаційними витрати. Використання єдиного критерію при порівнянні конкурентних варіантів не гарантує вибір найбільш раціонального проектного рішення, оскільки може призвести до неправильної оцінки того або іншого показника, який при певних обставинах може бути досить важливим. Слід відзначити, що існуюча практика оцінки та вибору проектних рішень якісним показникам у варіантах схем станцій, як правило, надає дещо другорядне значення, тому вони враховуються не на основі об'єктивного аналізу, а інтуїтивно.

Формування множини варіантів схем станцій можливе на основі використання системи структурно-параметричних моделей у сукупності з методами автоматизованого синтезу колійного розвитку залізничних станцій [2]. Разом з тим, відсутність у проектних організаціях спеціалізованих інтелектуальних систем підтримки прийняття проектних рішень суттєво зменшує кількість проектних варіантів, що можуть бути розглянуті, та знижує якість їх аналізу і об'єктивної кількісної оцінки.

**Мета роботи.** У цьому зв'язку актуальність здобуває задача розробки інтелектуальної системи комплексної оцінки планів колійного розвитку

© В. В. МАЛАШКІН, 2015

залізничних станцій з використанням сучасних математичних методів, що дозволить значно скоротити час аналізу варіантів проектних рішень і надасть можливість особі, що приймає рішення (ОПР), відібрати найкращі з них.

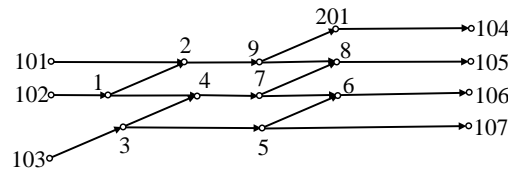
Вирішення вказаної задачі сприятиме збільшенню кількості варіантів, що розглядаються проектувальником, та підвищенню якості їх порівняльної оцінки.

Інтелектуальна система комплексної оцінки планів колійного розвитку станції повинна забезпечувати:

- розрахунок конструктивних параметрів планів станцій;
- розрахунок якісних показників планів станцій;
- порівняльний аналіз конструктивних параметрів і якісних показників варіантів проектних рішень з отриманням кількісної оцінки.

**Аналіз кількісних та якісних показників плану станції.** Вихідними даними до задачі аналізу і оцінки схем станцій служать їх канонічні моделі у вигляді орієнтованих графів [2], доповнені координатами основних точок плану (КК – кінець колії, ЦП – центр стрілочного переводу, ВК – вершина кута повороту), а також значення-

ми кутів повороту для ВК, отриманих на етапі автоматизованого проектування планів колійного розвитку станцій. Для прикладу, на рис. 1 наведені орієнтований граф  $G = (V, E)$  горловини залізничної станції



N	NP	NB	S	T	X	Y
1	4	2	0	2	0	0
2	9	0	0	2	47.70	5.30
3	4	5	1	2	0.29	-5.30
4	7	0	0	2	47.99	0
5	107	6	0	2	91.24	-5.30
6	106	0	0	2	138.94	0
7	6	8	0	2	90.95	0
8	105	0	0	2	138.65	5.30
9	8	201	0	2	90.65	5.30

N	NP	X	Y
101	2	-50.00	5.30
102	1	-50.00	0
103	3	-64.53	-12.50
104	0	190.00	10.60
105	0	190.00	5.30
106	0	190.00	0
107	0	190.00	-5.30

N	NP	R	A	A'	A''	X	Y
201	104	200	6	20	25	138.35	10.60

Рис. 1 – Орієнтований граф  $G$  горловини станції та її канонічна модель

та її канонічна модель в ЕОМ. Оцінка планів колійного розвитку залізничних станцій виконується з використанням комплексу показників, які дозволяють враховувати конструктивні параметри (загальна кількість стрілок, корисна та будівельна довжини та ін.), а також якісні особливості варіантів проектних рішень (максимальна кількість одночасних переміщень в горловині, кількість стрілок і сума кутів повороту на маршруті руху, кількість стрілочних переводів на головній колії тощо).

Найбільш складною та об'ємною є задача визначення повної та будівельної довжини станційних колій. Повна довжина колій  $L_{пов}$  плану станції відповідає сумі довжин всіх дуг  $e \in E$  орграфу  $G$ , тобто:

$$L_{пов} = \sum_{n=1}^d L_n, \quad (1)$$

де  $L_n$  – довжина  $n$ -ої дуги  $e_n$  орієнтованого графа;  $d$  – загальна кількість дуг орграфу  $G$ .

Кожна дуга орієнтованого графу має початкову  $v$  та кінцеву  $u$  вершини, і для визначення її довжини використовується вираз:

$$L = \sqrt{(x_v - x_u)^2 + (y_v - y_u)^2}, \quad (2)$$

де  $x, y$  – координати вершини.

Дуги орієнтованого графу містяться в списку  $\mathbf{E}=\{g_1, g_2, \dots, g_k\}$ , де  $k$  – кількість дуг в списку. Формування списку  $\mathbf{E}$  виконується з використанням алгоритму пошуку всіх можливих простих шляхів, початкові  $v_i$  та кінцеві  $v_j$  вершини яких відповідають вершинам КК, тобто  $v_i \in V^W$  та  $v_j \in V^W$ ,  $i \neq j$ . При цьому вершини  $v_i$  не мають вхідних дуг, тобто  $d^-(v_i)=0$ , а вершини  $v_j$  – вихідних ( $d^+(v_j)=0$ ) [2]. При обході орієнтованого графу перевіряється можливість побудови на ньому шляху від вершини  $v_i$  до вершини  $v_j$  для чого від вершини  $v_i$  будується дерево маршрутів, де кожному вузлу відповідає певна вершина графа  $G$ . Перехід від вершини до вершини при формуванні дерева маршрутів здійснюється відповідно до їх зв'язків, починаючи з вершини  $v_i$ .

В процесі пошуку простих шляхів на орграфі  $G$  при переході від вершин  $v_i$  до вершин  $v_{i+1}$ . перевіряється наявність дуги  $e_n=(v_i, v_{i+1})$  в списку  $\mathbf{E}$ . У випадку, якщо дана дуга в списку відсутня, то вона додається до нього ( $g_k=e_n, k=k+1$ ), інакше дуга до списку не додається, а подальший пошук з вершини  $v_{i+1}$  припиняється. По закінченню формування списку  $\mathbf{E}$  виконується розрахунок  $L_{\text{пов}}$  шляхом додавання довжин всіх дуг, включених до списку. Будівельна довжина станційних колій  $L_{\text{буд}}$ , на відміну від  $L_{\text{пов}}$ , не містить загальну довжину стрілочних переводів  $L_{\text{стр}}$ , тому зменшується на її значення. Кількість стрілочних переводів, які використовуються в плані станції, відповідає кількості всіх вершини  $v_i \in V^S$  графа  $G$ .

Якісними показниками плану колійного розвитку станції прийняті найбільша кількість одночасних переміщень в горловині станції  $n_{\text{п}}$ , розподіл кількості стрілок  $M[n_{\text{сп}}]$  і  $\sigma[n_{\text{сп}}]$  та кутів повороту стрілок  $M[\alpha_{\text{сп}}]$  і  $\sigma[\alpha_{\text{сп}}]$  на одному маршруті руху, розподіл суми кутів повороту кривих на одному маршруті руху  $M[\alpha_{\text{кр}}]$  і  $\sigma[\alpha_{\text{кр}}]$  та розподіл довжини маршрутів руху  $M[l_{\text{мп}}]$  і  $\sigma[l_{\text{мп}}]$ .

Задачу пошуку найбільшої кількості одночасних переміщень в горловині станції  $n_{\text{п}}$  вирішується як задача про максимальний потік на транспортній мережі, рішення якої полягає в знаходженні такого потоку на транспортній мережі, щоб сума потоків із джерела  $s$  в стік  $t$  була максимальною. З цією метою орієнтований граф станції  $G$  модифікується у граф  $G'$ , (рис. 2). Для визначення максимального потоку  $p_{\text{max}}$  на графі  $G'$  застосовується алгоритм Едмондса-Карпа [3]. Так, найбільша кількість одночасних переміщень в горловині станції, яка наведена на рис. 1, складає  $n_{\text{п}} = 3$ .

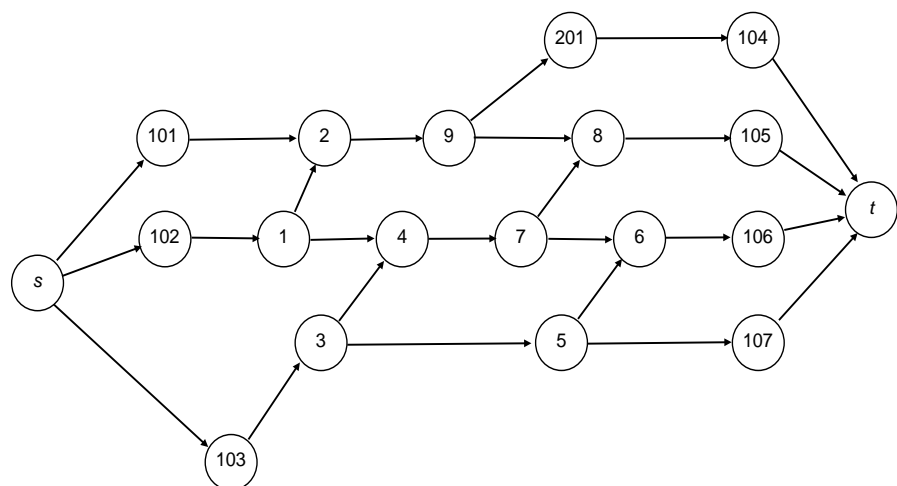


Рис. 2 – Модифікований орієнтований граф  $G'$

Якісні показники, такі як кількість стрілок  $n_{\text{сп}}$ , сума кутів повороту стрілок  $\alpha_{\text{сп}}$  та кривих  $\alpha_{\text{кр}}$  на одному маршруті є дуже важливими, оскільки їх значення впливають на експлуатаційні витрати варіанта проектного рішення. Значення

показників  $n_{сп}$ ,  $\alpha_{сп}$  та  $\alpha_{кр}$  визначається у відповідності до процедури [4]. Оскільки на різних маршрутах значення вказаних показників різні, то для них розраховуються їх числові характеристики – математичне очікування та середнє квадратичне відхилення [5].

На заключному етапі процесу проектування нової або реконструкції існуючої станції буде отримана множина проектних рішень  $\Theta = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_k\}$ , де кожне рішення  $\gamma_b$  характеризується набором критеріїв  $\Psi_d$ , тобто  $\gamma_b = f(\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_m)$ . При значній кількості  $k$  проектних рішень  $\gamma_b$  постає складна задача відбору кращих (конкурентоспроможних) варіантів з усієї сукупності, тобто формування деякої множини оптимальних (найбільш раціональних) параметрів  $\Theta^* = \{\gamma_1^*, \gamma_2^*, \dots, \gamma_k^*\}$ . Як правило, вказану процедуру виконує ОНР, спираючись на власний досвід. Але при цьому отриманому результату часто властивий певний суб'єктивізм. Для отримання об'єктивної оцінки проектних рішень та з метою прискорення процедури відбору конкурентоспроможних варіантів авторами розроблено спеціальну математичну процедуру, яка базується на принципах теорії прийняття рішень та методах аналізу ієрархій [6, 7].

**Метод аналізу ієрархій для оцінки планів залізничних станцій.** Метод аналізу ієрархій (МАІ) запропонований американським математиком Т. Сааті [7] і призначений для рішення багатокритеріальних задач з кінцевою множиною можливих векторів. Його застосування засноване на експертній інформації про відносну важливість критеріїв у вигляді матриці парних порівнянь [6]

$$\bar{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

де  $a_{ij}$  – число, яке показує у скільки разів вага критерію  $A_i$  більше ваги критерію  $A_j$ .

Для формування матриці парних порівнянь можуть використовуватися оціночний метод [8], метод експертних оцінок [9], параметричний метод [10]. З урахуванням того, що значення кожного критерію  $\Psi_d$  відомі заздалегідь до процедури відбору кращого рішення  $\gamma_b$ , доцільним є метод рангових оцінок [11], запропонований Ротштейном А. П.

Розглянемо процес порівняльного аналізу варіантів станційної горловини (рис. 3). У якості можливих критеріїв при пошуку раціонального варіанту (або декількох варіантів) колійного розвитку залізничної станції наведений прийнято кількість стрілочних переводів  $N_{стр}$ , будівельна довжина колій  $L_{буд}$ , максимальна кількість одночасних переміщень в горловині станції  $n_{п}$ , середня кількість стрілок по маршруту руху  $M[n_{сп}]$ , середнє значення суми кутів повороту від стрілок та кривих по маршруту руху  $M[\alpha]$ , середнє значення довжини маршруту руху  $M[l_{мп}]$ . Слід зауважити, що варіанти схем горловини, що порівнюються, повинні буди однорідними, тобто кількість колій і підходів повинна бути однаковою в усіх варіантах.

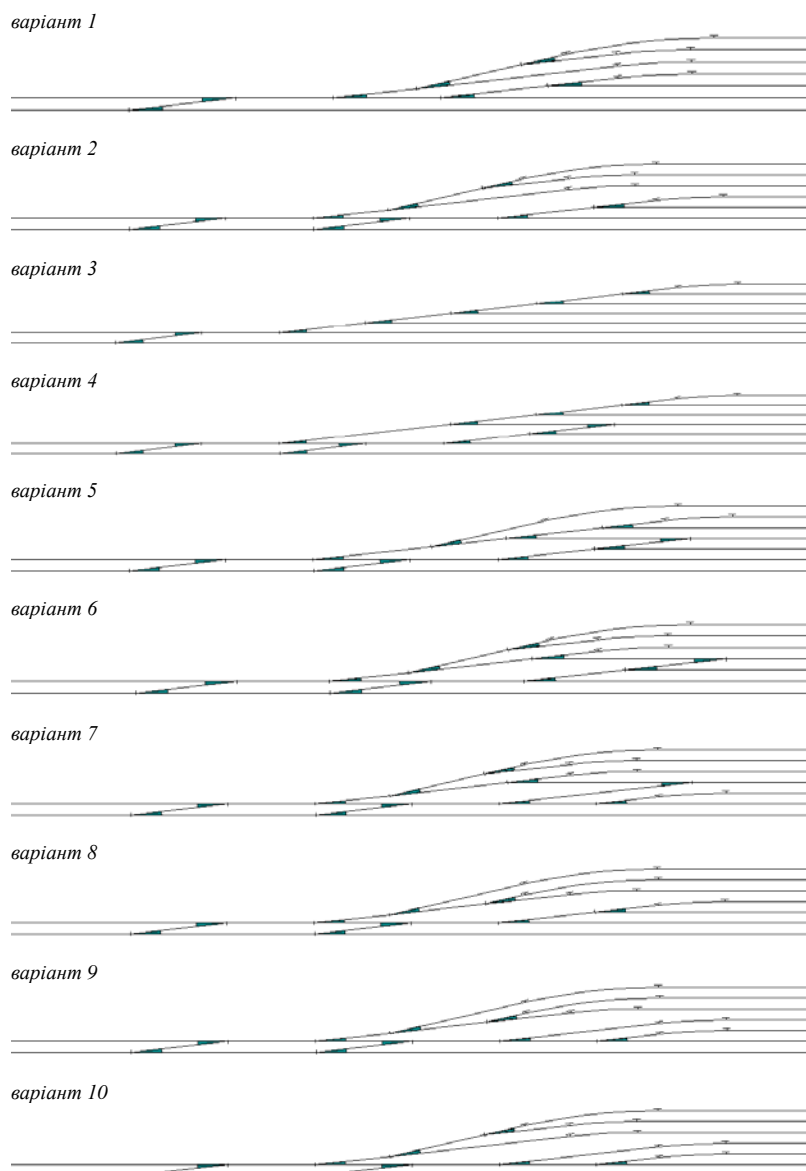


Рис. 3 – Варіанти конструкції колійного розвитку стрілочної горловини

Приведені на рис. 3 варіанти відрізняються сукупністю критеріїв, числові значення яких наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Значення критеріїв якості по варіантам

Варіант $\gamma_b$	Значення критеріїв $\psi_d$					
	$N_{стр}$ , шт.	$L_{буд}$ , км	$n_{п}$	$M[n_{сп}]$ , шт.	$M[\alpha]$ , град.	$M[l_{мп}]$ , м
1	7	1,263	1	3,89	23,78	244,00
2	9	1,379	2	4,55	23,78	279,94
3	7	1,649	1	4,91	24,09	280,29
4	11	1,513	2	5,13	24,09	312,50
5	11	1,297	2	5,13	27,26	296,93
6	11	1,238	2	5,00	27,47	283,41
7	11	1,373	2	4,69	24,84	279,64
8	9	1,378	2	4,50	27,48	278,43
9	9	1,375	2	4,50	25,01	289,70
10	9	1,375	2	4,64	24,84	288,12

За результатами розрахунків матриці парних порівнянь визначений комплексний ваговий вектор коефіцієнтів  $\omega_i$  [7], значення якого по варіантам наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунку комплексного вагового вектору

Вар.	$N_{\text{стр}}$	$L_{\text{буд}}$	$n_{\text{п}}$	$M[n_{\text{сп}}]$	$M[\alpha]$	$M[l_{\text{мр}}]$	вектор пріоритетів	$\omega_i$
1	0,131	0,109	0,056	0,120	0,106	0,116	0,255	0,1021
2	0,102	0,100	0,111	0,103	0,106	0,101	0,256	0,1025
3	0,131	0,083	0,056	0,095	0,105	0,101	0,239	0,0957
4	0,083	0,091	0,111	0,091	0,105	0,090	0,243	0,0973
5	0,083	0,106	0,111	0,091	0,092	0,095	0,245	0,0981
6	0,083	0,111	0,111	0,093	0,092	0,100	0,248	0,0993
7	0,083	0,100	0,111	0,100	0,101	0,101	0,25	0,1001
8	0,102	0,100	0,111	0,104	0,092	0,101	0,253	0,1013
9	0,102	0,100	0,111	0,104	0,101	0,097	0,255	0,1021
10	0,102	0,100	0,111	0,101	0,101	0,098	0,254	0,1017
Разом							2,498	1,000

Таким чином, в результаті порівняння варіантів колійного розвитку стрілочної горловини встановлено, що:

- 1) найкращим є варіант 2 ( $\omega_2 = 0,1025$ );
- 2) найгіршим є варіант 3 ( $\omega_3 = 0,0957$ );
- 3) конкурентними по відношенню до найкращого є варіанти 1 і 9 (відповідно  $\omega_1 = 0,1021$  і  $\omega_9 = 0,1021$ ).

**Висновки.** Застосування інтелектуальної системи оцінки і відбору найкращих альтернатив серед можливих у сукупності з системою автоматизованого синтезу планів колійного розвитку залізничних станцій дозволяє значно скоротити час на пошук конкурентоспроможних варіантів проектних рішень та підвищити якість отриманих результатів. Розроблені методики і алгоритми реалізовані автором у вигляді програмного комплексу, який може застосовуватися як автоматизована система підтримки прийняття рішень в проектних організаціях.

**Список літератури:** 1. ДБН В.2.3-19-2008. Споруди транспорту залізниць колії 1520 мм [Текст]: норми проектування. – К.: Мінрегіонбуд, 2008. – 126 с. 2. Бобровський, В. И. Модели, методы и алгоритмы автоматизированного проектирования железнодорожных станций [Текст]: монография / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, В. В. Малашкін. – Дн-вск: Изд-во Маковецкий, 2010. – 156 с. 3. Кормен, Т. Алгоритмы [Текст]: построение и анализ / Т. Кормен. – М.: Вильямс, 2006. – 1296 с. 4. Вернигора, Р. В. Комплексна оцінка конструкції колійного розвитку залізничних станцій на основі методів теорії прийняття рішень [Текст] / Р. В. Вернигора, В. В. Малашкін // Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія «Транспортні системи і технології перевезень», Вип. 3. – Д.: ДНУЗТ, 2012. – с. 25-30. 5. Шторм, Р. Теория вероятностей, математическая статистика, статистический контроль качества [Текст] / Р. Шторм. – М.: Мир, 1970. – 368 с. 6. Ногин, В. Принятие решений при многих критериях [Текст]: уч.-метод. пособие / В. Ногин. – СПб.: Издательство «ЮТАС», 2007. – 104 с. 7. Саати, Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Л. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с. 8. Сваровский, С. Т. Аппроксимация функций принадлежности значений лингвистической переменной [Текст] / С. Т. Сваровский // Математические вопросы анализа данных. – Новосибирск: ВЦ СО АН СССР,

1980. – С. 127-131. **9.** Борисов, А. Н. Принятие решения на основе нечетких моделей [Текст]: примеры использования / А. Н. Борисов, О. А. Крумберг, И. П. Федоров. – Рига: Знание, 1990. – 184 с. **10.** Кузьмин, В. Б. Параметрическое отношение лингвистических значений переменных и ограничений [Текст] / В. Б. Кузьмин // Модели выбора альтернатив в нечеткой среде. – Рига, 1980. – С.75-76. **11.** Ротштейн, А. П. Интеллектуальные технологии идентификации [Текст] / А. П. Ротштейн – Винница: «Универсум-Винница», 1999 – 320 с.

**Bibliography (transliterated):** **1.** DBN V.2.3-19-2008. Sporudy transportu zaliznytsi kolii 1520 mm: normy proektuvannia. Kyiv: Minrehionbud, 2008. **2.** Bobrovskiy, V. Y., Kozachenko, D. N., & Vernyhora, R. V., Malashkin, V. V. (2010). Modely, metody y alhorytmy avtomatyzirovannoho proektyrovannia zheleznodorozhnykh stantsiy. Dnepropetrovsk. **3.** Kormen, T. (2006). Alhorytmy: postroyeny y analiz. Moskva. **4.** Vernyhora, R. V., Malashkin V.V. (2012). Kompleksna otsinka konstruksii koliinoho rozvytku zaliznychnykh stantsii na osnovi metodiv teorii pryiniattia rishen. Zbirnyk naukovykh prats DNUZT: Seriiia «Transportni systemy i tekhnolohii perevezen», 3, 25-30. **5.** Shtorm, R. (1970). Teoryia veroiatnostei, matematycheskaia statystyka, statystycheskyi kontrol kachestva. Moskva. **6.** Nohyn, V. (2007). Pryniatye reshenyi pry mnohykh kryteriyakh. Sankt Peterburg. **7.** Saaty, T. L. (1993). Pryniatye reshenyi. Metod analiza yerarkhyi. Moskva. **8.** Svarovskiy, S. T. (1980). Approksymatsiya funktsiy prynadlezhnosti znachenyi lnhvystycheskoi peremennoi. Novosybyrsk: VTs SO AN SSSR. **9.** Borysov, A. N. Krumberh, O. A., & Fedorov, Y. P. (1990). Pryniatye resheniya na osnove nechetkykh modelei. Ryha: Znanye. **10.** Kuzmyn, V. B. (1980). Parametrycheskoe otnoshenye lnhvystycheskykh znachenyi peremennykh y ohranychenyi. Modely vybora alternatyv v nechetkoi srede. Ryha, 75-76. **11.** Rotshtein, A. P. (1990). Yntellektualnye tekhnolohyy ydentyfykatsyy. Vynnytsa: Unyversum-Vynnytsa.

Надійшла (received) 24.02.2015