

Я.П. РОМАНЧУК, Б.І. СОКІЛ, А.В. БАРАНОВ

Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів

ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ЕКСКАВАТОРІВ НА ОСНОВІ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

У статті розглянуто використання методу аналізу ієрархій Т. Сааті для оптимального вибору управлінського рішення. Наведено основні етапи розв'язування задачі. Практичне використання методу аналізу ієрархій проілюстроване на задачі про оцінювання технічного рівня деяких моделей екскаваторів. Обґрунтований підхід до оцінки критеріїв у випадку суперечливості чи недостатньої інформації щодо окремих критеріїв.

Ключові слова: прийняття рішень, метод аналізу ієрархій Т. Сааті, експертне оцінювання критеріїв.

Y. ROMANCHUK, B. SOKIL, A. BARANOV

Hetman Petro Sahaidachny National Military Academy, s. Lviv

EVALUATION OF TECHNICAL LEVEL EXCAVATORS BASED ON THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

An approach to solving a multi-criteria evaluation problem is proposed, which is based on the application of the analytic hierarchy process in case of inconsistency or insufficiency of information on certain criteria. This approach allows you to convert qualitative estimates of criteria into their numerical values. The sequence of actions of the analytic hierarchy process for making managerial decisions concerning a choice from a number of excavator models the best on its technical level is well-grounded and investigated. A three-level hierarchical structure (goal, criteria and alternatives) was built. After that, the significance of the criteria as well as the significance of the alternatives according to different criteria was evaluated by pair wise comparisons. As a result, normalized vectors of local priorities of criteria and alternatives were obtained. The calculated values of the estimates consistency showed that they are within acceptable limits. The solution of the problem was found as the maximum component of the global priority vector, which was obtained as the product of the matrix formed by the normalized vectors of local alternatives priorities and the vector-column of local criteria priorities. The obtained solution of the problem of estimating the technical level of the considered models of excavators is illustrated graphically. The use of the analytic hierarchy process allowed to assess the technical level of the considered excavator's models and to rank the latter according to their technical level. The method described in the article can be applied to a wide range of problems of assessing the technical level of various objects in terms of incomplete or inconsistent information.

Key words: decision making, T. Saaty analytic hierarchy process, expert evaluation of criteria.

Постановка проблеми

Сучасний етап розвитку економіки та суспільства в цілому висуває високі вимоги до прийняття управлінських рішень. Задачі управління стають дедалі складнішими й вимагають від особи, що приймає рішення, не лише досвіду, інтуїції, але й глибоких теоретичних знань. Крім того, стратегічні, тактичні та оперативні рішення часто доводиться приймати в умовах невизначеності, неточності та неповноти інформації. Використання науково обґрунтованих методів, зокрема методів математичного моделювання, дозволяє зробити цей процес більш прозорим і об'єктивним. У статті розглянуто метод аналізу ієрархій [1] стосовно задачі оцінювання. Як відомо, цей метод є загальним методом розв'язування широкого класу слабо структурованих задач прийняття рішень при наявності багатьох критеріїв і дозволяє поєднати математичний апарат із досвідом та інтуїцією особи, що приймає рішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемі прийняття рішень за наявності багатьох критеріїв присвячені праці відомих вітчизняних і зарубіжних учених як у сфері економіки так і математичного моделювання. Це, насамперед, Т. Сааті, В. Вітлінський, А. Лотов, С. Наконечний, М. Перестюк, О. Тригуб і багато інших. У науковій літературі за останні роки появилася значна кількість робіт, присвячених, зокрема, вирішенню проблем оцінювання економічної ефективності інвестиційних та економічних проектів [2–5], оцінювання рівня енергоефективності [6], постачальників [7, 8], прийняття управлінських рішень в малому підприємстві [9], розроблення організаційної структури Збройних Сил України за стандартами НАТО [10], створенню відповідних програмних систем на основі використання методу аналізу ієрархій для вибору кращого з альтернативних варіантів [8, 11].

Разом з тим, питання розроблення предметно орієнтованої системи підтримки прийняття рішень при оцінюванні технічного рівня автотехніки з використанням методів інженерії знань залишається недостатньо дослідженим, що обумовлює актуальність обраного напрямку досліджень.

Мета статті полягає в обґрунтуванні та дослідженні використання методу аналізу ієрархій Т. Сааті для прийняття управлінських рішень щодо вибору кращої моделі екскаватора на основі оцінки технічного рівня розглянутих моделей екскаваторів за умов суперечливості критеріїв або недостатності (відсутності) інформації про них.

Виклад основного матеріалу

Задача прийняття рішення має місце, коли для досягнення поставленої мети необхідно здійснити вибір оптимального варіанту, засобу дії тощо серед заданої множини альтернатив. Такий вибір пов'язаний із процесом опрацювання інформації про альтернативи, критерії якості, можливі результати, систему переваг і спосіб відображення допустимих альтернатив у множині критеріальних оцінок очікуваних результатів.

За вхідні дані використовували відомості, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняльні характеристики однокоровових екскаваторів									
№ з/п	Марка техніки	Глибина котловану, що відривається, м	Технічна продуктивність, м ³ /год.	Місткість ковша, м ³	Максимальний радіус копанья, м	Вантажопідйомність гаку, т	Швидкість повороту платформи, об./хв.	Маса екскаватора, т	Максимальна швидкість руху, км/год.
1	ЕОВ-4421МУ	4,1	114	0,6	7,4	9	11-13	23,5	80
2	ЕОВ-4421	3,25	100	0,65	7,3	9	5	20	70
3	ЕО-650А	4	90	0,65	7,1	-	9	20,5	80
4	ЕОВ-3521	4	135	0,65	7,1	9	9	16,5	70
5	ЕОВ-3523	5	193	0,8	8,44	-	8	18	90
6	JCB HМEE	3,9	90	0,6	5,25	3,9	-	16,2	88,5

Вибір максимального технічного рівня робився на основі опрацювання інформації про альтернативи (це моделі екскаваторів – Е1, Е2, Е3, Е4, Е5, Е6) та експертної оцінки важливості критеріїв (К1, ..., К8).

Згідно з методом аналізу ієрархій, як і в роботах [2, 3, 5, 7], будувалася ієрархія критеріїв і застосовувалися попарні порівняння альтернативних варіантів за різними критеріями, а також виконувалося подальше ранжування набору альтернатив за всіма критеріями.

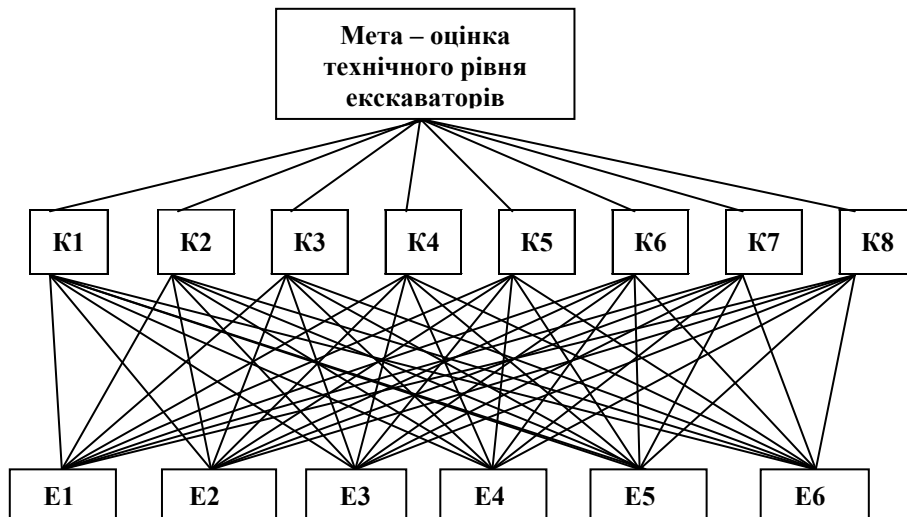


Рис. 1. Ієрархія оцінки технічного рівня екскаваторів

Метод аналізу ієрархій у нашому випадку містить такі етапи:

1. Структурування задачі як трирівневої ієрархічної структури (мета, критерії, альтернативи).
2. Оцінювання альтернативних сценаріїв, тобто оцінка значимості кожного з критеріїв стосовно головної мети. Для цього при їх попарному порівнянні використовували відомості таблиці 2.

Таблиця 2

Шкала відносної важливості	
Степінь	Визначення
1	Однакова значимість
3	Незначна перевага значимості одного елемента над іншим
5	Суттєва або сильна перевага одного елемента над іншим
7	Сильна перевага одного елемента над іншим
9	Абсолютна перевага одного елемента над іншим
2, 4, 6, 8	Проміжні значення між сусідніми

Для згладження похибок методу при обчисленні середніх геометричних пропонуємо відсутні в таблиці 1 елементи порівняльних характеристик (критеріїв) екскаваторів замінити з урахуванням шкали відносної важливості (таблиця 2) на «1», внаслідок чого одержимо таблицю 3 для встановлення парних порівнянь альтернатив за критеріями:

Таблиця 3

№ з/п	Модель техніки	Глибина котловану, що відривається, м	Технічна продуктивність, м ³ /год.	Місткість ковша, м ³	Максимальний радіус копання, м	Вантажопідйомність гаку, т	Швидкість повороту платформи, об./хв..	Маса екскаватора, т	Максимальна швидкість руху, км/год.
1	ЕОВ-4421МУ	4,1	114	0,6	7,4	9	9	23,5	80
2	ЕОВ-4421	3,25	100	0,65	7,3	9	3,75	20	70
3	ЕО-650А	4	90	0,65	7,1	1	6,75	20,5	80
4	ЕОВ-3521	4	135	0,65	7,1	9	6,75	16,5	70
5	ЕОВ-3523	5	193	0,8	8,44	1	6	18	90
6	JCB HМEE	3,9	90	0,6	5,25	3,9	1	16,2	88,5

На основі аналізу важливостей розглянутих критеріїв стосовно мети була зроблена експертна оцінка їх важливості, результати якої (в балах) наведені в таблиці 4.

Таблиця 4

Важливість параметрів задачі (критеріїв)

Критерії	Глибина котловану, що відривається, м	Технічна продуктивність, м ³ /год.	Місткість ковша, м ³	Максимальний радіус копання, м	Вантажопідйомність гаку, т	Швидкість повороту платформи, об./хв..	Маса екскаватора, т	Максимальна швидкість руху, км/год.
Позначення								
К	К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7	К8
Бал	3	9	5	4	5	7	5	8

З використанням даних таблиці 4 були проведені попарні оцінювання значимості критеріїв (матриця А) [7, с.95]. Результати таких порівнянь наведені в табл. 5.

Зауваження: при заповненні таблиці 5 «Оцінка значимості критеріїв» для критерію К7, з метою усунення протиріччя з рештою критеріїв, бралися обернені величини, тобто моделі з меншою масою мали більші значення відношення порівняння [4, с. 14]. Очевидно, що кращою вважалася модель із меншою масою.

Таблиця 5

Оцінка значимості критеріїв

К	К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7	К8	Степінь 1/8 від добутку рядкових елементів	Нормований вектор пріоритетів
К1	1	0,333333	0,6	0,75	0,6	0,428571	0,6	0,375	0,552467	0,065217
К2	3	1,0000	1,8	2,25	1,8	1,285714	1,8	1,125	1,6574	0,195652
К3	1,666667	0,555556	1	1,25	1	0,714286	1	0,625	0,920778	0,108696
К4	1,333333	0,444444	0,8	1	0,8	0,571429	0,8	0,5	0,736622	0,086957
К5	1,666667	0,555556	1	1,25	1	0,714286	1	0,625	0,920778	0,108696
К6	2,333333	0,777778	1,4	1,75	1,4	1	1,4	0,875	1,289089	0,152174
К7	1,666667	0,555556	1	1,25	1	0,714286	1	0,625	0,920778	0,108696
К8	2,666667	0,888889	1,6	2	1,6	1,142857	1,6	1	1,473244	0,173913
Сума	15,333333	5,111111	9,2	11,5	9,2	6,571429	9,2	5,75	8,471155	1

Узгодженість I_y експертної оцінки критеріїв визначали наступним чином:

$$\lambda_{\max} = 15,333 \cdot 0,065 + 5,11 \cdot 0,196 + 9,2 \cdot 0,109 + 11,5 \cdot 0,087 + 9,2 \cdot 0,107 + 6,57 \cdot 0,152 + 9,2 \cdot 0,109 + 5,75 \cdot 0,174 = 7,986. I_y = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) = -0,0143. \text{Тоді, згідно таблиці 6, } B_y = \frac{I_y}{I_e} = \frac{-0,0143}{1,41} = -0,0101, \text{ або } -1,01\%, \text{ тобто узгодженість } \epsilon \text{ в допустимих межах (менша } 10\%).$$

Порівняння альтернатив (Е) відносно критеріїв (К) даної ієрархії, тобто за кожним із восьми критеріїв К1, К2, ..., К8.

На цьому етапі, з використанням матриць попарних порівнянь, одержали їх нормовані вектори локальних пріоритетів альтернатив, які наведені в таблиці 7.

Таблиця 6

Значення випадкового індексу узгодженості за Т. Сааті

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Ie</i>	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Таблиця 7

Оцінка значимості альтернатив за критеріями

K1	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Степінь 1/6	Нормований вектор
E1	1	1,2615	1,025	1,025	0,82	1,0513	1,022504	0,169074
E2	0,7927	1	0,8125	0,8125	0,65	0,8333	0,810145	0,13396
E4	0,9756	1,2308	1	1	0,8	1,0256	0,997514	0,164942
E5	1,2195	1,5385	1,25	1,25	1	1,282	1,247449	0,206269
E6	0,9513	1,2	0,975	0,975	0,78	1	0,972545	0,160813
Сума	5,9147	7,4616	6,0625	6,0625	4,85	6,2178	6,047671	1

K2	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Степінь 1/6	Нормований вектор
E1	1	1,14	1,2627	0,8444	0,5907	1,2627	0,98376	0,157705
E2	0,8772	1	1,1111	0,7407	0,5181	1,1111	0,863607	0,138444
E3	0,792	0,9	1	0,6667	0,4663	1	0,777516	0,124642
E4	1,1842	1,35	1,4999	1	0,6995	1,5	1,166586	0,187014
E5	1,6929	1,9301	2,1445	1,4296	1	2,1444	1,668989	0,267553
E6	0,792	0,9	1	0,6667	0,4663	1	0,777516	0,124642
Сума	6,3383	7,2201	8,0182	5,3481	3,7409	8,0182	6,237975	1

.....

K8	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Степінь 1/6	Нормований вектор
E1	1	1,1429	1	1,1429	0,8889	0,9039	1,008085	0,167189
E2	0,875	1	0,875	1	0,7778	0,7910	0,882051	0,146287
E3	1	1,1429	1	1,1429	0,8889	0,9040	1,008085	0,167189
E4	0,875	1	0,875	1	0,7778	0,7910	0,882051	0,146287
E5	1,125	1,2857	1,125	1,2857	1	1,0170	1,134122	0,188092
E6	1,1062	1,2643	1,1062	1,2643	0,9833	1	1,115216	0,184957
Сума	5,9812	6,8357	5,9812	6,8357	5,3167	5,4068	6,029609	1

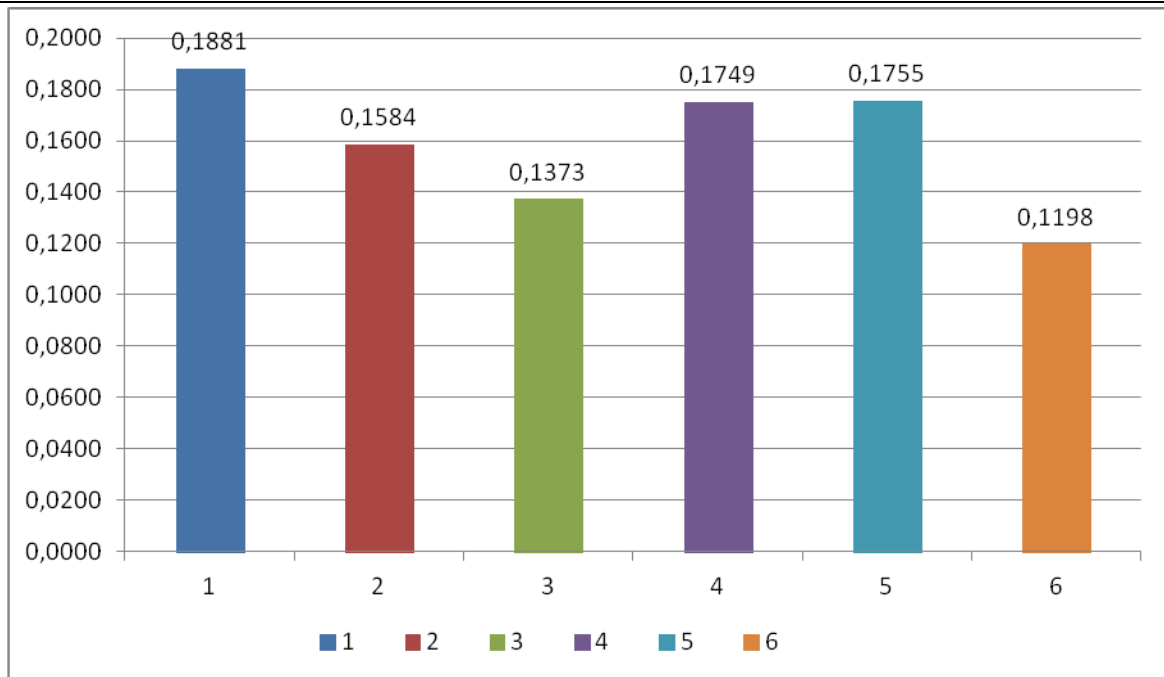
Перевірено, що для всіх нормованих векторів з таблиці 7 показники відношення узгодженості знаходяться в допустимих межах.

На основі даних таблиці 7 були розраховані компоненти глобального вектора пріоритетів як добуток матриці, сформованої з нормованих векторів локальних пріоритетів альтернатив, і вектора-стовпця локальних пріоритетів критеріїв (таблиця 5):

$$\begin{pmatrix} 0,1691 & 0,1577 & 0,1518 & 0,1739 & 0,2735 & 0,2707 & 0,0519 & 0,1672 \\ 0,1340 & 0,1384 & 0,1645 & 0,1716 & 0,2735 & 0,1128 & 0,1610 & 0,1463 \\ 0,1649 & 0,1246 & 0,1726 & 0,1668 & 0,0304 & 0,2030 & 0,0595 & 0,1672 \\ 0,1649 & 0,1870 & 0,1567 & 0,1668 & 0,2736 & 0,2030 & 0,0740 & 0,1463 \\ 0,2013 & 0,2675 & 0,2025 & 0,1984 & 0,0304 & 0,1804 & 0,6780 & 0,1881 \\ 0,1608 & 0,1246 & 0,1518 & 0,1224 & 0,1185 & 0,0300 & 0,0753 & 0,1850 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,065 \\ 0,1956 \\ 0,1087 \\ 0,087 \\ 0,1087 \\ 0,1522 \\ 0,1087 \\ 0,1739 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,1881 \\ 0,1584 \\ 0,1373 \\ 0,1749 \\ 0,1755 \\ 0,1198 \end{pmatrix}$$

Альтернатива, якій відповідає максимальна компонента глобального вектора пріоритетів, вважається найкращим вибором – розв’язком багатокритеріальної оптимізаційної задачі.

На діаграмі нижче показані рейтинги розглянутих моделей екскаваторів щодо їх технічного рівня.



Висновки

Найвищий технічний рівень (глобальний пріоритет дорівнює 0,1881) має модель ЕОВ-4421МУ. Найближчою до неї є ЕОВ-3523, показник якої на 6,7 % нижчий. Модель ЕОВ-3521 – на третьому місці з показником на 7% меншим порівняно з першою моделлю. ЕОВ-4421 – на четвертому місці: вона відстає порівняно з першою моделлю на 15,8 %. ЕО-650А – п'ята, різниця в показниках технічного рівня складає 27 %. Нарешті, останнє місце належить моделі JCB HMEE, яка відстає за своїм технічним рівнем порівняно з моделлю ЕОВ-4421МУ на 36 %.

Таким чином, використання методу аналізу ієрархій дозволило оцінити технічний рівень розглянутих моделей екскаваторів і вказати моделі з кращим технічним рівнем.

Метод Сааті є ефективним інструментом оцінювання технічних систем і дозволяє особі, що робить вибір, приймати обґрунтовані рішення. Його використання дозволяє зменшити суб'єктивність при формуванні мети функціонування системи. Перспективним доповненням результатів оцінювання технічного рівня можуть стати дослідження залежності між критеріями на основі їх кореляційного та факторного аналізу.

Література

1. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати ; [пер. с англ. Р. Вачнадзе]. – Москва : Радио и связь, 1993. – 278 с.
2. Кулиняк І.Я. Метод аналізу ієрархій як інструмент оцінювання рівня інноваційної активності регіонів Західної України / І.Я. Кулиняк, Г.Р. Копець // Вісник НУЛП: Проблеми економіки та управління. – 2017. – № 873. – С. 60–71.
3. Трунова О.В. Застосування методу Сааті при прийнятті управлінських рішень / О.В. Трунова // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету. Педагогічні науки. – 2013. – Вип. 108.1. – С. 34–40.
4. Тимохін В.М. Застосування методу Сааті в задачах економічного оцінювання / В.М. Тимохін, А.Г. Подольська // Економіка і організація управління. – 2013. – № 1–2. – С. 13–21.
5. Манталюк О.В. Застосування методу аналізу ієрархій до задачі прийняття економічних рішень в умовах невизначеності / О.В. Манталюк // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2014. – № 4. – Т. 2. – С. 276–279.
6. Маргасов Д.В. Розробка моделі та модифікація методу аналізу ієрархій для оцінки рівня енергоефективності / Д.В. Маргасов, Е.Ю. Сахно, І.С. Скітер // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 5(2). – С. 26–32.
7. Ткачова О.К. Метод Сааті при прийнятті управлінських рішень / О.К. Ткачова // Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво. – 2015. – № 4. – С. 92–96.
8. Щурова З. С. Автоматизація багатокритеріального вибору потенційного постачальника / З. С. Щурова, О. Л. Жиров // Економічний вісник НТУУ «КПІ». – 2016. – № 13. – С. 568–575.
9. Синенко М.А. Метод Сааті при прийнятті управлінських рішень на прикладі підприємства малого бізнесу / М.А. Синенко // Інтелект XXI. – 2018. – № 1. – С. 235–238.
10. Фролов В.С. Обґрунтування науково-методичних підходів до розроблення організаційної структури Збройних Сил України за стандартами НАТО / В.С. Фролов // Збірник наукових праць ЦВСД НУОУ імені І. Черняхівського. – 2020. – № 1. – С. 17–25.

11. Trygub R. O. Researching semi structured problems of multicriteria optimization using the software system / R. Trygub, O. Trygub, V. Gorburokov // Наукові записки НУКМА. Комп'ютерні науки. – 2013. – Т. 151. – С. 79–88.

References

1. Saati T. Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarhij / T. Saati ; [per. s angl. R. Vachnadze]. – Moskva : Radio i svyaz, 1993. – 278 s.
2. Kulyniak I.Ia. Metod analizu iierarkhii yak instrument otsiniuvannia rivnia innovatsiinoi aktivnosti rehioniv Zakhidnoi Ukrainy / I.Ia. Kulyniak, H.R. Kopets // Visnyk NULP: Problemy ekonomiky ta upravlinnia. – 2017. – № 873. – S. 60–71.
3. Trunova O.V. Zastosuvannia metodu Saati pry pryiniatti upravlinskykh rishen / O.V. Trunova // Visnyk Chernihivskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu. Pedahohichni nauky. – 2013. – Vyp. 108.1. – S. 34–40.
4. Tymokhin V.M. Zastosuvannia metodu Saati v zadachakh ekonomichnoho otsiniuvannia / V.M. Tymokhin, A.H. Podolska // Ekonomika i orhanizatsiia upravlinnia. – 2013. – № 1–2. – S. 13–21.
5. Mantaliuk O.V. Zastosuvannia metodu analizu iierarkhii do zadachi pryiniattia ekonomichnykh rishen v umovakh nevyznachenosti / O.V. Mantaliuk // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2014. – № 4. – Т. 2. – S. 276–279.
6. Marhasov D.V. Rozrobka modeli ta modyfikatsiia metodu analizu iierarkhii dlia otsinky rivnia enerhoefektyvnosti / D.V. Marhasov, E.Iu. Sakhno, I.S. Skiter // Vostochno-Evropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohiy. – 2015. – № 5(2). – S. 26–32.
7. Tkachova O.K. Metod Saati pry pryiniatti upravlinskykh rishen / O.K. Tkachova // Derzhava ta rehiony. Seriia: Ekonomika ta pidpriemnytstvo. – 2015. – № 4. – S. 92–96.
8. Shchurova Z. S. Avtomatyzatsiia bahatokryterialnoho vyboru potentsiinoho postachalnyka / Z. S. Shchurova, O. L. Zhyrov // Ekonomichniy visnyk NTUU «KPI». – 2016. – № 13. – S. 568–575.
9. Synenko M.A. Metod Saati pry pryiniatti upravlinskykh rishen na prykladi pidpriemstva maloho biznesu / M.A. Synenko // Intelpekt KhKhI. – 2018. – № 1. – S. 235–238.
10. Frolov V.S. Obruntuvannia nauково-metodychnykh pidkhdodiv do rozroblennia orhanizatsiinoi struktury Zbroinykh Syl Ukrainy za standartamy NATO / V.S. Frolov // Zbirnyk naukovykh prats TsVSD NUOU imeni I. Cherniakhivskoho. – 2020. – № 1. – S. 17–25.
11. Trygub R. O. Researching semi structured problems of multicriteria optimization using the software system / R. Trygub, O. Trygub, V. Gorburokov // Naukovi zapysky NUKMA. Kompiuterni nauky. – 2013. – Т. 151. – S. 79–88.

Надійшла / Paper received : 22.11.2020 Надрукована/Printed : 27.11.2020