

УДК 625.72:528.4

DOI: 10.33868/0365-8392-2026-1-286-24-32

© Я. П. Романчук, канд. фіз.-мат. наук,
старший наук. співробітник, доцент,
ORCID: 0000-0003-3993-0128,
e-mail: romanchuky@ukr.net;
© А. Р. Согор, канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедри,
ORCID: 0000-0002-0084-9552,
e-mail: andrii.r.sohor@lpnu.ua,
(Національний університет
«Львівська політехніка»)

© Yaroslav Romanchuk, PhD in Physics
and Mathematics Sciences,
Senior Research Fellow, Associate Professor,
ORCID: 0000-0003-3993-0128,
e-mail: romanchuky@ukr.net;
© Andriy Sohor, PhD in Technical Sciences,
Docent, Associate Professor at CGM Department,
ORCID: 0000-0002-0084-9552,
e-mail: andrii.r.sohor@lpnu.ua
(Lviv Polytechnic National University)

ОПТИМАЛЬНИЙ ВИБІР ЕЛЕКТРОННОГО ТЕОДОЛІТА ДЛЯ БУДІВНИЦТВА АВТОШЛЯХІВ

OPTIMAL CHOICE OF ELECTRONIC THEODOLITE FOR HIGHWAY CONSTRUCTION

Анотація. Присвячено аналізу сучасного стану розвитку ринку електронних теодолітів, вивченню їхніх основних характеристик і особливостей застосування. Сформульована задача вибору найкращого теодоліта (як управлінського рішення) на основі використання методу аналізу ієрархій Т. Сааті. Обговорюється питання експертних оцінок критеріїв. Наведені основні етапи розв'язування задачі. Обґрунтований підхід щодо оцінки окремих критеріїв у разі суперечливості інформації про них. Практичне використання методу аналізу ієрархій проілюстроване на задачі про оцінювання технічного рівня деяких моделей електронних теодолітів. Пропонується як додаткові критерії врахувати специфіку роботи з іншими системами, характер і причини виникнення можливих похибок під час проведення вимірювань, суперечливість і неповноту інформації стосовно розглядуваних вимірювальних приладів.

Ключові слова: електронні теодоліти, метод аналізу ієрархій, критерії оптимізації та альтернативи, нормовані вектори локальних пріоритетів критеріїв і альтернатив, оцінювання технічного рівня електронних теодолітів.

Abstract. In order to optimize engineering and surveying support for the building and repair of motorways and roads, it is proposed to use the latest surveying instruments and technologies, the effective use of which often depends on choosing the best available option based on an assessment of their technical and economic characteristics. The use of new instruments and technologies makes it possible to significantly expand the range of tasks, speed and accuracy of their implementation, and increase the availability of topographic and geodetic materials when developing project documentation.

The article is devoted to the analysis of the current state of development of the electronic theodolite market, the study of their main characteristics and features of application. Among the characteristics considered are multiplicity of magnification, battery life, dust and moisture protection, angular measurement accuracy, liquid crystal display characteristics, weight, cost (price) of the device, and warranty period. The task of selecting the best theodolite (as a management decision) is formulated based on the use of T. Saaty's Analytic Hierarchy Process. The issue of expert assessment of criteria is discussed. The main stages of solving the problem are presented. A reasonable approach to evaluating individual criteria in the case of conflicting information about them is justified. The practical use of the hierarchy analysis method is illustrated by the problem of evaluating the technical level of some models of electronic theodolites. It is proposed to take into account, as additional criteria, the specifics of working with other systems, the nature and causes of possible errors during measurements, contradictory and incomplete information regarding the measuring devices under consideration.

Keywords: electronic theodolites, hierarchy analysis method, optimization criteria and alternatives, normalized vectors of local priorities of criteria and alternatives, assessment of the technical level of electronic theodolites.

Вступ

З метою оптимізації інженерно-геодезичного забезпечення робіт під час будівництва та ремонту автомобільних доріг доводиться використовувати новітні геодезичні прилади й технології. Їхнє ефективне застосування часто залежить від вибору найкращого на основі оцінювання техніко-економічних характеристик.

Постановка проблеми. Нові прилади й технології дозволяють істотно розширити коло завдань і швидкість їхнього виконання, підвищують доступність топографо-геодезичних матеріалів для розроблення проектної документації. На зміну застарілим приладам приходять оптико-електронні (електронні теодоліти й тахеометри), активно впроваджується лазерне обладнання. Приймати рішення щодо вибору того чи іншого приладу часто доводиться терміново в умовах невизначеності, неточності та неповноти інформації. Використання науково обґрунтованих методів математичного моделювання, зокрема методу аналізу ієрархій [1], дає змогу зробити цей процес більш прозорим і об'єктивним, поєднати математичний апарат із досвідом та інтуїцією особи, що приймає рішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На відміну від традиційних методик виконання геодезичних робіт сьогодні все ширше застосовуються технології з використанням сучасних геодезичних приладів. У працях Я. Костецької, Т. Шевченка, О. Мороза, І. Тревого, Н. Арсенєвої, А. Войтенка, І. Калинича, Д. Коня і ін. [2–5] розглянута динаміка розвитку електронних теодолітів (далі ЕТ), які випускаються закордонними виробниками, описані їхні основні характеристики й технічні можливості, наведена класифікація електронних теодолітів і проаналізовані перспективи їхнього розвитку.

Сучасне програмне забезпечення ЕТ не тільки надає широкі можливості автоматизації процесу створення моделей місцевості, а й формує особливі вимоги до приладів. Зокрема, залежно від їхнього виробника опції приладів у частині кодування та реєстрації даних є різними. Тому, вибираючи прилад, варто враховувати

можливість його стикування з тим або іншим програмним забезпеченням [7, с. 249].

Електронні (цифрові) теодоліти знайшли широке застосування у питаннях геодезичного забезпечення та обслуговування в процесі вишукувань, проектування, будівництва й експлуатації автомобільних доріг, будівель і споруд промислового та цивільного призначення.

Так, наприклад, у роботі Надзіра та Ірфансі (2024) аналізується ефективність застосування електронного теодоліта і нівеліра для визначення об'ємів земляних робіт у дорожньому будівництві в Індонезії [12]. Автори показують, що, хоча точність електронного теодоліта дещо нижча порівняно з тахеометром, він забезпечує значну економію часу та коштів.

Сучасні електронні теодоліти (ЕТ) – це здебільшого точні ($2-9''$) прилади для вимірювання вертикальних і горизонтальних кутів, оснащені рідкокристалічними 2–4-рядковими дисплеями (іноді двосторонніми), що автоматично відображають відліки. Завдяки мікропроцесору та дисплею ЕТ можуть здійснювати автоматичний розрахунок кутів і координат, їхнє зберігання [13–17].

Більшість ЕТ передають дані вимірювань із використанням інтерфейсу послідовного зв'язку RS-232. Однак, якщо потрібні більша швидкість, довша відстань або передача великих обсягів даних, слід використовувати інтерфейси RS-485, USB або Ethernet (Bluetooth або Wi-Fi).

Вбудовані в ЕТ обчислювальні функції спрощують і прискорюють роботу геодезиста. Прилади стійкі до суворих погодних умов (IPX6), а висока ємність батареї дозволяє використовувати їх у польових умовах безперервно протягом тривалого часу. Стійкість до вібрації і струшувань забезпечує вбудований компенсатор. Робочі температури ЕТ лежать у діапазоні від -20 °C до $+50$ °C. Вага приладів становить переважно від 3,5 до 5 кг [2–5].

Більшість ЕТ мають високу операційну швидкодію. Їхня експлуатаційна ефективність суттєво впливає на продуктивність і точність геодезичних робіт.

На українському ринку ЕТ представлені сьогодні такими відомими фірмами,

як Leica-Geosystems (Швейцарія), Sokkia, Topcon (Японія), CST/Berger (США), South (Китай), GeoMax (Швеція) тощо. Інформацію про наявні в продажу ЕТ можна знайти на сайтах таких організацій як «Акс-Юг Система», «Геолазер», «Геомагазин», «Геомаркет», «Навгеотех» та ін. [2–5].

Детальний огляд низки електронних теодолітів, методи, тенденції їхнього застосування та ключові висновки наведені в джерелах [10, 11].

Постановка завдання. Електронні (цифрові) теодоліти – це прилади, які використовують для супроводу геодезичними вимірюваннями будівництва, реконструкції чи ремонту автомобільних доріг. Точні геодезичні вимірювання на лінійних об'єктах потребують великих часових затрат. Тому для скорочення термінів виконання робіт необхідне сучасне геодезичне обладнання. Однак рішення про вибір найкращого з них часто є проблематичним.

Питанням прийняття рішень за наявності багатьох критеріїв присвячені праці таких вітчизняних і зарубіжних учених, як: В. Вітлінський, Н. Єршова, Л. Варгас, С. Наконечний, М. Перестюк, Т. Сааті, О. Тригуб та ін. Разом із тим, розроблення системи підтримки прийняття рішень для оцінювання техніко-економічного рівня електронних теодолітів є новим і недостатньо дослідженим. На практиці спеціалісти часто зустрічаються з труднощами вибору тієї чи іншої моделі ЕТ залежно від поставленого завдання, часу його виконання, вибору ЕТ з найкращими технічними характеристиками. Тому питання оптимального вибору ЕТ є особливо актуальним для

особи, що приймає рішення стосовно матеріально-технічного забезпечення виконання геодезичних робіт.

Мета статті полягає в обґрунтуванні та дослідженні використання методу аналізу ієрархій (МАІ) Т. Сааті для прийняття управлінських рішень щодо вибору з обраних моделей оптимального електронного теодоліта на основі оцінювання їхнього технічного рівня за умов суперечливості окремих критеріїв.

Основна частина

МАІ застосовують для розв'язування багатокритеріальних задач із якісними та кількісними факторами (останні можуть мати різну роз-мірність) на основі використання простих і обґрунтованих правил. Він використовується для розв'язування слабоструктурованих і неструктурованих проблем. Метод заснований на декомпозиції задачі та поданні її у вигляді ієрархічної структури. Як результат, визначається чисельно виражений відносний ступінь взаємодії елементів в ієрархії [12, с. 39]. Серед відомих з літератури робіт, присвячених методології та практиці застосування МАІ, виокремимо роботи зі створення відповідного програмного забезпечення (ПЗ), наприклад [12, 15].

Для оцінювання та вибору найкращої за її техніко-експлуатаційними характеристиками моделі ЕТ, як і в роботі [13], згідно з інформацією, наведеною в джерелах [2–5], за вхідні дані були обрані з представлених на українському ринку 6 електронних теодолітів (**табл. 1**).

Порівняльні характеристики електронних теодолітів (ЕТ)

№ з/п	Марка ЕТ	Збільшення (кратність),	Час роботи від акумулятора, год.	Пило-волого-захист, ІР	Кутова точність вимірювання, сек.	Кількість рядків дисплею.	Маса приладу, кг.	Вартість, тис. грн	Гарантія, років
1	Nivel System DT-2L	30	20	66	2	2	4,8	42,9	1
2	South NT-023	30	8	54	3	4	4,7	56,5	2
3	Nivoline DT02	30	24	54	2	2	4,8	40,8	1
4	CST/Berger DGT10	30	15	54	5	2	4,4	34,5	2
5	Sokkia DT-940/940L	26	170	66	9	2	3,5	125	3
6	Spectra Precision DET-2	30	36	54	2	4	4,5	155	1

Примітка: окремі характеристики можуть змінюватися або містити неточності.

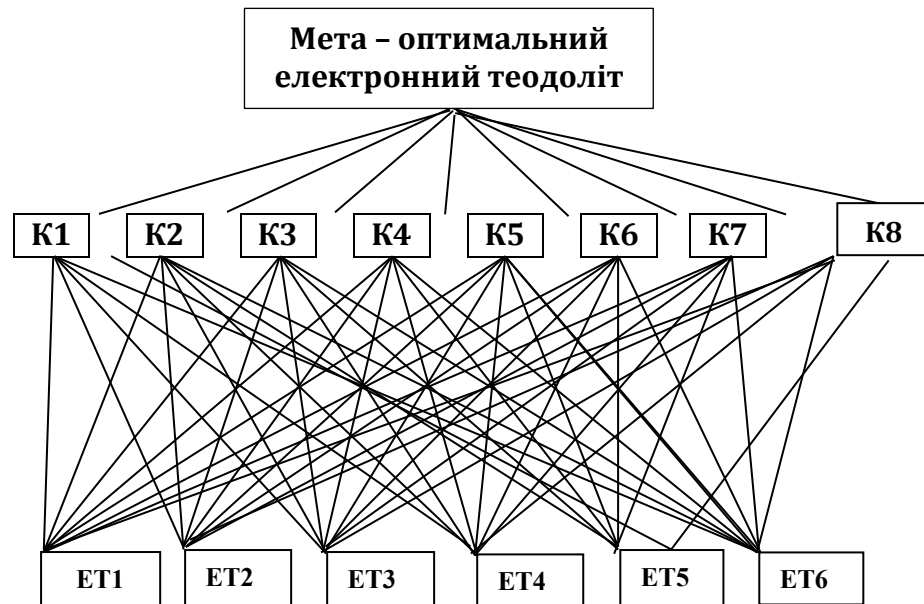


Рис. 1. Ієрархія оцінювання технічного рівня електронних теодолітів

Відзначимо, що оцінювання технічного рівня ЕТ значною мірою залежить від системи переваг особи чи осіб, які здійснюють вибір, і має багатокритеріальний характер. Задача прийняття рішення полягає в виборі найкращого, оптимального варіанту серед заданої множини альтернатив

(ЕТ1–ЕТ6), за якого функція цілі (мети) набуває максимального значення.

Відповідно до методу Т. Сааті будувалася ієрархія критеріїв (К1–К8) та альтернатив (ЕТ1–ЕТ6) (рис. 1). Далі виконувалися попарні порівняння альтернативних варіантів за різними критеріями, а також

подальше ранжування набору альтернатив за всіма критеріями [13, с. 37]. При цьому враховували той факт, що критерії К4, К6 і К7 суперечать іншим: чим менше їхнє значення, тим більший внесок вони роблять у зростання цільової функції.

Відшукування оптимального ЕТ з використанням МАІ здійснено поетапно:

1. Структурування задачі у вигляді ієрархічної структури (на вершині ієрархії – мета – визначення моделі ЕТ з

найкращими характеристиками (властивостями); на проміжному рівні – критерії (характеристики) ($N=8$), а на нижньому рівні розміщені альтернативи – розглядувані типи теодолітів ($M=6$)).

2. На другому етапі проводиться оцінювання значущості кожного з критеріїв стосовно головної мети. Для оцінки значущості критеріїв при їхньому попарному порівнянні використовували шкалу Т. Саати (табл. 2).

Таблиця 2

Шкала відносної важливості

Ступінь	Визначення важливості
1	Однакова значущість
3	Незначна перевага значущості 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 важливостями

На основі аналізу наведених у **табл. 1** характеристик (властивостей) – критеріїв оптимізації теодолітів стосовно досягнення сформульованої мети п'ятьма досвідченими експертами (геодезичний стаж

кожного – понад 10 років) було проведено оцінювання важливості цих критеріїв, результати якого (в балах) наведені нижче в **табл. 3**.

Таблиця 3

Експертна оцінка важливості параметрів задачі (критеріїв)

(Бали для кожного критерію заокруглені до більшого цілого від середніх)

Критерії Позначення	Збільшення (кратність), разів.	Час роботи від акумулятора, год.	Пило-вологозахист, IP	Кутлова точність вимірювання, сек.	Кількість рядків дисплею.	Маса приладу, кг	Вартість, тис. грн	Гарантія, років
К	К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7	К8
Бал	3	5	6	7	6	5	9	8

Далі, на основі даних **табл. 3**, проводилося оцінювання важливості критеріїв К1, К2, ..., К8 шляхом попарного порівняння відношень їхніх балів, вираховували середнє геометричне відношень і нормований

вектор для кожного з критеріїв.

Як результат, була сформована обернено-симетрична матриця **A** порівнянь [14, с. 94]]. Результати оцінювання наведені в **табл. 4**.

Таблиця 4

Оцінка значущості критеріїв

К	К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7	К8	Середнє гео-метр.	Норм. вектор
К1	1	0,6	0,5000	0,4286	0,5000	0,6000	0,3333	0,3750	0,5133	0,0612
К2	1,6667	1	0,8333	0,7143	0,8333	1,0000	0,5556	0,6250	0,8556	0,1020
К3	2,0000	1,2	1,00	0,8571	1,0000	1,2000	0,6667	0,7500	1,0267	0,1224
К4	2,3333	1,4	1,1667	1,0000	1,1667	1,4000	0,7778	0,8750	1,1978	0,1429
К5	2,0000	1,2	1,0000	0,8571	1,0000	1,2000	0,6667	0,7500	1,0267	0,1224
К6	1,6667	1	0,8333	0,7143	0,8333	1,0000	0,5556	0,6250	0,8556	0,1020
К7	3,0000	1,8	1,5000	1,2857	1,5000	1,8000	1,0000	1,1250	1,5400	0,1837
К8	2,6667	1,6	1,3333	1,1429	1,3333	1,6000	0,8889	1,0000	1,3689	0,1633
Сума	16,3333	9,8	8,1667	7,0000	8,1667	9,8000	5,4444	6,1250	8,3844	1,0000

Узгодженість експертної оцінки критеріїв визначалася так [13, с. 39]:
 $\lambda_{\max} = 16,33 \cdot 0,062 + 9,8 \cdot 0,102 + 8,167 \cdot 0,122 + 7 \cdot 0,143 + 8,17 \cdot 0,122 + 9,8 \cdot 0,102 + 5,44 \cdot 0,1837 + 6,125 \cdot 0,1633 = 8,0052$. $I_y = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) = (8,0052 - 8) / 7 = 0,0007$.

Тоді, згідно з даними **табл. 5**, для $n=8$ маємо, що узгодженість $B_y = \frac{I_y}{I_e} = \frac{0,0007}{1,41} = 0,0005$ або 0,05%, тобто вона є в межах норми (менша за 10%).

Таблиця 5

Значення випадкового індексу узгодженості за Т. Сааті [1]

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>I_e</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

3. На цьому етапі проводили порівняння альтернатив (ЕТ1–ЕТ6) відносно критеріїв (К1-К8) ієрархії за кожним із восьми критеріїв, на основі чого були обчислені нормовані вектори пріоритетів альтернатив. У **табл. 6** як приклад наведені результати обчислення компонент нормованого вектора за критеріями К3 (пряма залежність – більшому значенню відношення порівняння відповідає більше значення цільової функції, тобто чим більший коефіцієнт захисту приладу, тим краще для цільової функції). А також К4 – обернена залежність: чим менше відношення,

тим краще для цільової функції (меншому значенню секунд відповідає краща точність вимірювання).

Перевірено, що для всіх обчислених нормованих векторів показники відношення узгодженості перебувають у допустимих межах.

Зауваження: для наповнення **табл. 6** «Оцінка значущості за критеріями К4, К6 і К7» нами бралися обернені величини, тобто теодолітам з меншими значеннями секунд (вища точність) маси та ціни присвоювалися більші значення відношень порівняння.

Покритеріальне оцінювання

Оцінка значущості за критерієм К2									
К2	ET1	ET2	ET3	ET4	ET5	ET6	Добуток	Сер. гео-метр.	Норм. вектор
ET1	1	2,5	0,8333	1,3333	0,1177	0,5556	0,1816	0,7525	0,07330
ET2	0,4	1	0,3333	0,5333	0,0471	0,2222	0,0007	0,3010	0,02934
ET3	1,2	3	1	1,6	0,1412	0,6667	0,5421	0,9030	0,08791
ET4	0,75	1,875	0,625	1	0,0882	0,4167	0,0323	0,5644	0,05495
ET5	8,5	21,25	7,0833	11,3333	1	4,7222	68472	4,0220	0,62271
ET6	1,8	4,5	1,5	2,4	0,2118	1,0000	6,1751	1,3545	0,13187
СУМА	13,650	34,1250	11,375	18,200	1,6059	7,5833		10,2715	1,00000
Оцінка значущості за критерієм К4									
К4	ET1	ET2	ET3	ET4	ET5	ET6	Добуток	Сер. гео-метр.	Норм. вектор
ET1	1,0000	1,5000	1,0000	2,5000	4,5000	1,0000	16,8750	1,6016	0,271831
ET2	0,6667	1,0000	0,6667	1,6667	3,0000	0,6667	1,4815	1,0677	0,181221
ET3	1,0000	1,5000	1,0000	2,5000	4,5000	1,0000	16,8750	1,6016	0,271831
ET4	0,4000	0,6000	0,4000	1,0000	1,8000	0,4000	0,0691	0,6406	0,108732
ET5	0,2222	0,3333	0,2222	0,5556	1,0000	0,2222	0,00	0,3559	0,060407
ET6	1,0000	0,6667	1,0000	0,4000	0,2222	1,0000	0,06	0,6244	0,105978
СУМА	4,2889	5,6000	4,2889	8,6222	15,0222	4,2889		5,8917	1,000000

4. Далі були розраховані компоненти вектора глобальних пріоритетів як добуток матриці нормованих векторів локальних пріоритетів альтернатив, і вектора-

стовпця локальних пріоритетів критеріїв (табл. 4 і 6 – сині стовпці). Розв'язок задачі одержали у вигляді стовпця:

$$\begin{pmatrix} 0,1698 & 0,0733 & 0,2138 & 0,2718 & 0,1250 & 0,1527 & 0,2139 & 0,1000 \\ 0,1698 & 0,0293 & 0,1431 & 0,1812 & 0,2500 & 0,1559 & 0,1624 & 0,2000 \\ 0,1698 & 0,0879 & 0,1431 & 0,2718 & 0,1250 & 0,1527 & 0,2250 & 0,1000 \\ 0,1698 & 0,0550 & 0,1431 & 0,1087 & 0,1250 & 0,1665 & 0,2660 & 0,2000 \\ 0,1471 & 0,6227 & 0,2138 & 0,0604 & 0,1250 & 0,2094 & 0,0734 & 0,3000 \\ 0,1471 & 0,1319 & 0,1431 & 0,1060 & 0,2500 & 0,1628 & 0,0592 & 0,1000 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0,0612 \\ 0,1020 \\ 0,1224 \\ 0,1429 \\ 0,1224 \\ 0,1020 \\ 0,1837 \\ 0,1633 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,1639 \\ 0,1621 \\ 0,1587 \\ 0,1607 \\ 0,2053 \\ 0,1494 \end{pmatrix}$$

Найбільша компонента вектора глобальних пріоритетів вказує на модель електронного теодоліта з найкращими технічними характеристиками.

Обчислені з використанням заданих експертних оцінок і методу Сааті рейтинги розглянутих електронних теодолітів за їхнім технічним рівнем показані на рис. 2

нижче. Як видно з діаграми, найвищий технічний рівень має модель Sokkia DT-940/940L (ET5) із показником 0,2053. Друге місце належить моделі моделі Nivel System DT-2L (0,1639). Електронний теодоліт South NT-023 (ET2) – на третьому місці (0,1621), а CST/Berger DGT10 (ET4) і Nivoline DT02 (ET3) – на четвертому і

п'ятому місцях (0,1607 і 0,1587). Модель Spectra Precision DET-2 (ET6) має найнижчий рейтинг (0,1494).

Якщо найвищий технічний рівень

прийняти за 100 %, то рівні решти п'яти моделей становитимуть 79,8; 79; 78; 77,3; 72,8 % відповідно, тобто є близькими між собою.

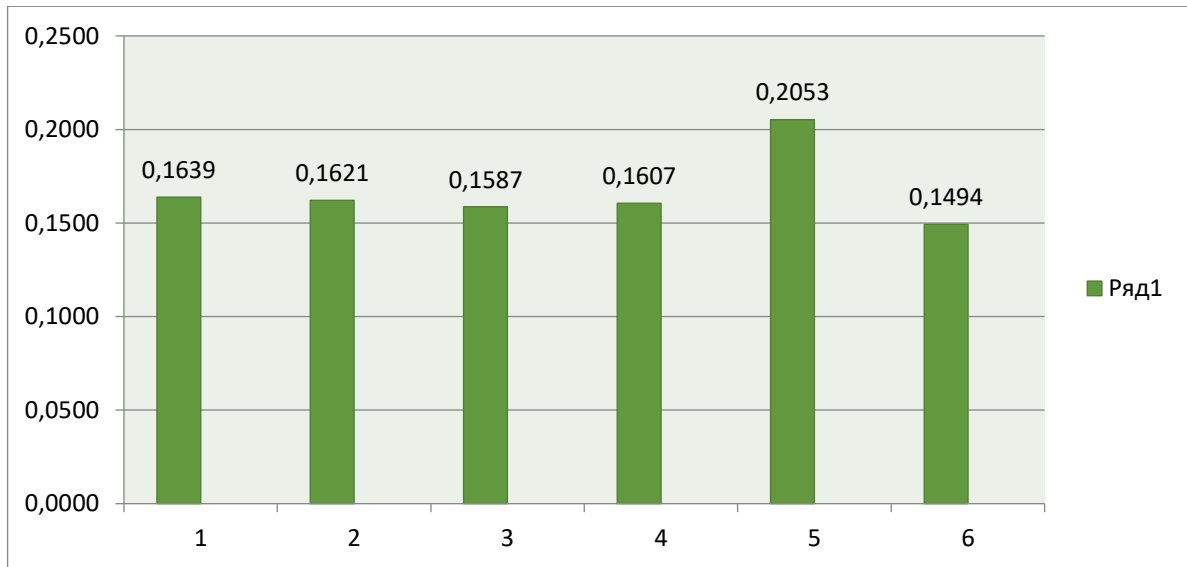


Рис. 2. Діаграма рейтингів електронних теодолітів

Висновки

Електронні теодоліти нового покоління мають вдосконалену конструкцію і є досить надійними. Аналіз одержаних результатів показує, що створені останнім часом моделі ЕТ, хоч і відрізняються певними техніко-економічними характеристиками, проте за своїм технічним рівнем є досить близькі між собою.

Більш точну оцінку технічного рівня ЕТ можна зробити, ввівши в розрахункову схему (як додаткові критерії) наявність спеціального обладнання та програмного забезпечення, комфортність і зручність

роботи геодезистів тощо.

Метод Сааті є ефективним інструментом оцінювання технічних систем і дозволяє особі, що робить вибір, приймати обґрунтовані рішення. Перспективними напрямками подальших досліджень і оцінювання технічного рівня ЕТ можуть стати дослідження залежності між критеріями на основі їхнього кореляційного та факторного аналізу, врахування специфіки роботи з іншими системами, характеру і причин виникнення можливих похибок під час проведення вимірювань, їхньої оснащеності ПЗ.

References

1. Saaty Thomas L., Vargas Luis G. (2012). *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Second Edition. University of Pittsburgh. Springer: Science + Business Media. New York, 343.
2. Anisenko, O. V. & Platonova, K. A. (2019). *'Suchasni heodezychni prylady, yikh znachennia i rol u heodezychnykh vymyriuvanniakh'*. [Modern geodetic devices, their significance and role in geodetic measurements]. *Investments: practice and*

experience. 4, 80–83.

3. Arsenyeva, N. O. & Fomenko, G. R. (2021). *'Heodezychni prylady [Elektronnyi resurs]: konspekt lektsii'*. [Modern geodetic devices used during construction, reconstruction and repair work of automobile roads]. *Scientific notes of the V.I. Vernadsky TNU. Series: Technical Sciences*, 32(71), 2, 248–253.
4. Rii, I.F., Bochko, O.I., Bida, O. Yu. *'Suchasni materialy ta instrumenty dlia budivnytstva ta promyslovosti vid TOV «AKS-YUH SYSTEMA»'*. [Modern materials and tools for construction

and industry from LLC AKS-YUG SYSTEM] Electronic geodetic instruments: teaching aids / Lviv, 336.

5. Kin, D. O. (2024). *'Heodezychna obladnannia ta instrumenty'* [Geodetic instruments] / D. O. Kin, N. Yu. Lazorenko, V. S. Onyshchuk. [Electronic resource]: lecture notes Kyiv: KNUCA, 173.

6. Nadzir, Z. A., Irfansyah, M. (2024) Using Geodetic Methods in Road Construction Planning: To What Extent Will It Be Effective? *Journal of Infrastructure Policy and Management*. 7(2). 167–180.

7. 7S. (2025). Modern materials and tools for construction and industry from LLC AKS-YUG SYSTEM. [Electronic resource]. Retrieved from: <https://systema.dp.ua/ua/p1221942-cstberger-dgt10-elektron-nyj.html>

8. Geomagazin. (2026). Geodetic equipment and tools. [Electronic resource]. Retrieved from: https://geomagazin.com.ua/ua/g8047801-teodolity?srsId=Afm-BOootY6gRCJsHD0KrQe37JSjqMZb4V98RLr32k1C6_lGJynjMzbj.

9. Geomarket. (2026). Geodetic equipment, instruments for geodesy. [Electronic resource]. Retrieved from: <https://geomarket.in.ua/ua/south-nt-023>.

10. Geoshop. (2024) *'Teodolity elektronni'*. [Electronic theodolites [Electronic resource]]. Retrieved from: <https://geoshop.com.ua/products/teodolit-elektronnij-nivel-system-dt-5>.

11. Uniquenav. (2026). Electronic-digital-theodolite. 2025.04.22 [Electronic resource].

Retrieved from: <https://www.uniquenav.com/application/electronic-digital-theodolite>

12. Iershova, N. M. (2015). *'Prinyatie reshenii na osnove metoda analiza ierarkhii'*. [Decision-making based on the method of hierarchy analysis]. *Bulletin of the Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 9 (210), 38–45.

13. Romanchuk, Ya. P., Sokil, B. I. & Baranov, A. V. (2021). *'Vykorystannia metodu analizu ierarkhii dlia otsiniuvannia tekhnichnoho rivnia viisko-vykh avtokraniv'* [Using the method of hierarchy analysis to assess the technical level of military truck cranes]. *Armaments and military equipment*, 2(30). 35–43.

14. Tkachova O. K. (2015). *'Metod Saaty pry pryiniatti upravlinskykh rishen'*. [Saaty's method in making management decisions]. *State and regions. Series: Economy and entrepreneurship*, 4, 92–96.

15. Vakulchyk, S. O., Baybuz, O. G. (2024). *'Analiz ta realizatsiia metodu pidtrymky pryiniattia rishen'*. [Analysis and implementation of the decision support method]. *Current problems of automation and information technologies*, 28, 265–273.

ISSN 0365-8392

DOI: 10.33868/0365-8392-2026-1-286-24-32

Дата першого надходження статті: 27.01.2026

Дата прийняття до друку: 15.03.2026

Дата публікації: 31.03.2026

