

[0000-0002-6749-9040] **В. М. Лукашенко, д.т.н., професор,**

[0000-0002-5518-8579] **С. Ф. Аксьонов, аспірант,**

[0000-0003-3761-4754] **С. М. Топчій, аспірант,**

[0000-0001-5329-7897] **М. В. Чичужко, к.т.н., доцент**

Черкаський державний технологічний університет
6-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА МОДЕЛЬ ЯКІСНОЇ ОЦІНКИ ТА ВИБОРУ СУЧАСНИХ ІМПУЛЬСНИХ РЕФЛЕКТОМЕТРІВ

У статті запропоновано багатокритеріальну модель якісної оцінки та вибору сучасних імпульсних рефлектометрів. Метою дослідження є прискорення процедури визначення найкращої моделі рефлектометра відповідної фірми за рахунок створення критеріального рівняння на базі моделювання та візуалізації багатопараметричних критеріїв якості: розроблено реляційну модель множини сучасних імпульсних рефлектометрів зі структурованими даними техніко-економічних показників; складено умовні критерії розмірностей за визначальними величинами на основі теорії розмірностей, побудовано багатокритеріальну модель якісної оцінки сучасних імпульсних рефлектометрів у безрозмірних координатах, проведено порівняльний аналіз за параметрами для визначення найкращої моделі рефлектометра визначеної фірми. Розроблена модель дає можливість пришвидшити процес проектування і вибрати шлях по вдосконаленню та забезпеченню високої якості пристроїв цього типу.

Ключові слова: імпульсний рефлектометр, багатокритеріальна модель, резерв, умовні критерії розмірностей.

Вступ. У сучасному світі для діагностування мереж приймання-передавання інформації широко використовуються імпульсні пристрої діагностики – рефлектометри, за допомогою яких можна аналізувати наявність дефектів і місце розташування ушкоджень [5].

Актуальність надійного і швидкого знаходження місць пошкоджень ліній зв'язку та електропередач є дуже високою, що пов'язано з можливими великими прямими і непрямыми економічними втратами, викликаними тривалими перервами в забезпеченні електроенергією промислових підприємств, втратами самих постачальних організацій і соціальними втратами населення [6].

Одним із основних параметрів імпульсних рефлектометрів є максимальна дальність роботи, також важливими показниками є температурний діапазон, вага та ціна [3].

Діагностиці ліній приймання-передавання інформації, електромереж присвячено ряд робіт В. Л. Аксьонова, І. Г. Бакланова, А. В. Кочерова, В. Є. Кравцова, А. М. Лук'янова, Н. Ф. Мельникової, Н. І. Тарасова та ін. В їх роботах відображено різні методи і фізичні моделі для визначення місця розташування пошкодження в лініях приймання-передавання та електромережах, а також для ана-

лізу цих ліній на наявність дефектів за допомогою імпульсної рефлектометрії [7]. Проте у цих роботах недостатньо відображено багатокритеріальну оцінку сучасних імпульсних рефлектометрів.

Метою дослідження є підвищення швидкості процедури визначення найкращої моделі рефлектометра відповідної фірми за рахунок створення критеріального рівняння на базі моделювання та візуалізації багатопараметричних критеріїв якості [1].

Для виконання цієї мети необхідно вирішити наступні задачі:

- скласти реляційну модель множини сучасних імпульсних рефлектометрів зі структурованими даними техніко-економічних показників;
- розробити умовні критерії розмірностей за визначальними величинами на основі теорії розмірностей;
- скласти критеріальні рівняння для сучасних імпульсних рефлектометрів згідно з визначальними величинами;
- побудувати багатокритеріальну модель якісної оцінки сучасних імпульсних рефлектометрів за чотирма квадрантами в безрозмірних координатах.

Метод включає наступний алгоритм:

1. Створюється реляційна модель множини сучасних імпульсних рефлектометрів зі структурованими даними техніко-економічних показників.

2. Визначається аналітичний вираз між визначеними параметрами, за відсутності визначається умовне моделювання.

3. Створюються умовні критерії якості та надається їх фізичне тлумачення.

4. Створюється критеріальне рівняння.

5. Будується знакова модель критеріїв якості в безрозмірних координатах.

6. Проводиться аналіз та визначається найкраща фірма.

7. Будуються гістограми основних параметрів моделей визначеної найкращої фірми.

8. Проводиться порівняльний аналіз за параметрами для визначення найкращої моделі рефлектометра визначеної фірми.

Рішення проблемної задачі. Для вирішення цієї задачі визначено множину сучасних імпульсних рефлектометрів зі структурованими даними техніко-економічних показників у вигляді реляційної моделі (таблиця 1) [2].

Таблиця 1 – Реляційна модель множини сучасних імпульсних рефлектометрів зі структурованими даними техніко-економічних показників

№ п/п	Фірма-виробник	Модель рефлектометра	Дальність, км	Похибка, %	Робочий температурний діапазон, °C	Вага, кг	Ціна, дол.
1	Radio-detection	Riser Bond 3300	19,4	0,01	0 - +50	1,2	346,99
2		Riser Bond 1205CXA	6	1	0 - +50	2,7	1 795,00
3		Riser Bond 1550T	3	0,9	-20 - +55	0,6	1 252,00
4		Lexxi T1660	6	1	-10 - +50	0,6	906,00
5	Megger	Megger TDR900	3,7	2	-18 - +60	0,45	450,00
6		Megger Teleflex SX	160	1	-10 - +50	10	-
7		Megger Teleflex VX	160	1	-10 - +50	5	-
8	Kurth	Kurth KE2100	14,5	1	-10 - +50	0,39	2 499,00
9		Kurth KE-TDR20	3,2	0,2	-10 - +50	0,8	2 722,00
10	Tempo	Tempo TS 90	10	0,01	-10 - +40	1	2 475,00
11		Tempo TS 100	15	0,03	-15 - +60	3	5 745,00
12	REJS	REJS-105M1	25,6	0,2	-10 - +55	0,75	1 355,00
13		REJS-100	6,4	0,2	-10 - +55	0,7	942,00
14	RI	RI-10M1	50	0,4	-20 - +40	1,9	2 022,00
15		RI-10M2	50	0,4	-20 - +40	2	2 287,00
16		RI-303T	4,8	0,21	-20 - +40	0,55	1 047,00
17		RI-307	64	0,2	-20 - +40	2,5	2 811,00

Складено за: [8-14]

Пропонується використовувати теорію розмірностей, фізичне моделювання та на основі евристичного методу створити умовні критерії якості [4].

Узагальнений вид умовного критерію якості через визначальні величини має вигляд

$$K_i = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{\max}}, \quad (1)$$

де K_i – безрозмірна величина, що характеризує діапазон обраного параметра, його індекси $\max$ і $\min$ відповідають максимальній та мінімальній величинам з таблиці 1.

Критеріальне рівняння для імпульсних рефлектометрів згідно з визначальними величинами набуде вигляду

$$\psi \left(\frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max}}; \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\max}}; \frac{M_{\max} - M_{\min}}{M_{\max}}; \frac{C_{\max} - C_{\min}}{C_{\max}} \right) = 0,$$

де $K_L = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max}}$ – величина, що харак-

теризує діапазон максимальної дальності роботи імпульсних рефлектометрів фірми-виробника;

$K_T = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\max}}$ – величина, що харак-

теризує робочий температурний діапазон;

$K_M = \frac{M_{\max} - M_{\min}}{M_{\max}}$ – величина, що ха-

рактеризує діапазон ваги імпульсних рефлектометрів фірми-виробника;

$K_C = \frac{C_{\max} - C_{\min}}{C_{\max}}$ – величина, що ха-

рактеризує діапазон цін імпульсних рефлектометрів фірми-виробника.

Ці величини будуть характеризувати відповідні техніко-економічні показники.

Результати розрахунку відповідних коефіцієнтів наведено в таблиці 2.

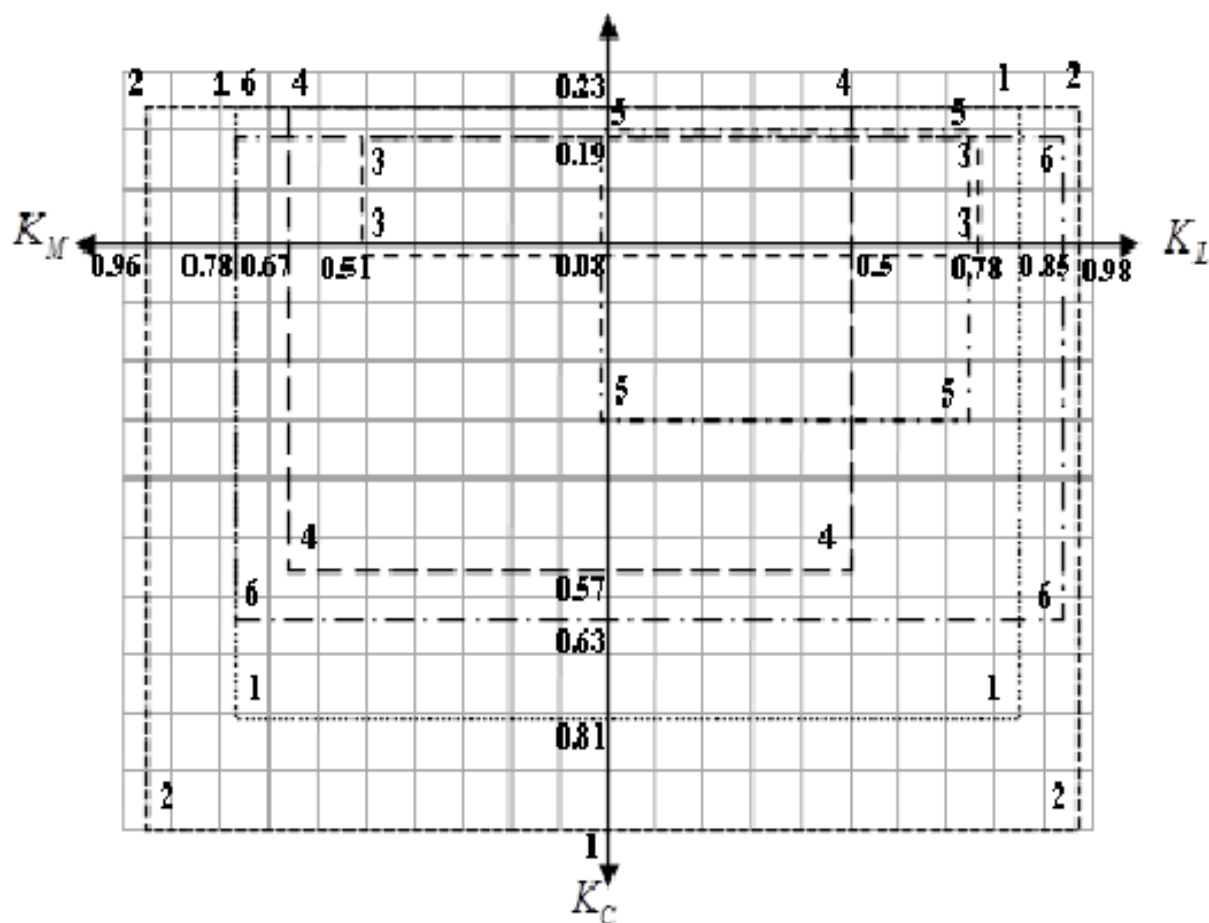
Таблиця 2 – Умовні критерії розмірностей для сучасних імпульсних рефлектометрів

№ п/п	Фірма-виробник	K_L	K_T	K_M	K_C
1	Radiodetection	0,85	0,23	0,78	0,81
2	Megger	0,98	0,23	0,96	1
3	Kurth	0,78	0,19	0,51	0,08
4	Tempo	0,5	0,23	0,67	0,57
5	REJS	0,75	0,2	0,07	0,3
6	RI	0,95	0,19	0,78	0,63

Використовуючи дані таблиць 1-2 і π -теорему, побудовано залежності основних технічних параметрів у безрозмірних координатах.

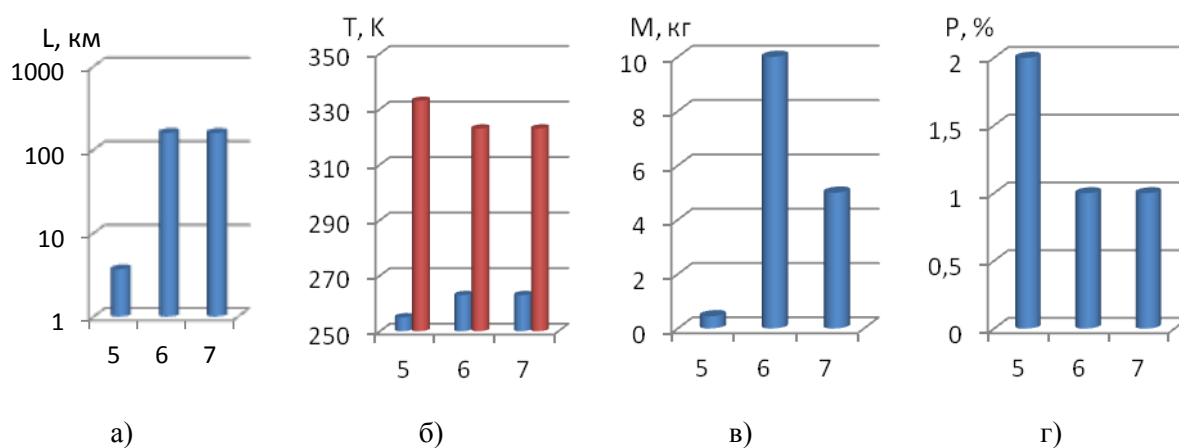
Розроблену багатокритеріальну модель якісної оцінки сучасних імпульсних рефлектометрів у безрозмірних координатах зображено на рисунку 1.

У результаті порівняльного аналізу, наведеного на рисунку 1, видно, що найкращою з точки зору критеріїв розмірностей є фірма Megger. На гістограмі (рисунок 2) зображено порівняння техніко-економічних показників імпульсних рефлектометрів цієї фірми.



цифри 1-6 відповідають порядковому номеру виробників імпульсних рефлектометрів, наведених у таблиці 2

Рисунок 1 – Багатокритеріальна модель якісної оцінки сучасних імпульсних рефлектометрів у безрозмірних координатах



а) дальність, б) робочий температурний діапазон (червоні – $T_{\max}$, сині – $T_{\min}$), в) вага, г) похибка; цифри 5-7 відповідають порядковому номеру імпульсних рефлектометрів, наведених у таблиці 1

Рисунок 2 – Порівняння техніко-економічних показників імпульсних рефлектометрів фірми Megger

Як видно з порівняння техніко-економічних показників імпульсних рефлектометрів фірми Megger, зображеного на рисунку 2, найкращою є модель 7, у неї найкращі показники дальності та точності.

Висновки:

1. На основі евристичного методу складено перелік фірм і типів сучасних імпульсних рефлектометрів та їх основних техніко-економічних показників: робочий температурний діапазон, вага пристрою, ціна пристрою, кількість рефлектограм, які є визначальними величинами при виборі пристрою.

2. Розроблено умовні критерії якості для сучасних імпульсних рефлектометрів за визначальними величинами на основі теорії розмірностей.

3. Складено критеріальні рівняння для імпульсних рефлектометрів, за відсутності залежностей між обраними параметрами запропоновано визначальні величини.

4. Побудовано багатокритеріальну модель якісної оцінки сучасних імпульсних рефлектометрів за трьома квадрантами в безрозмірних координатах. Перевагою цієї моделі є простота, наочність за багатьма основними критеріями. Це дає змогу отримати візуально одночасно за багатьма параметрами порівняння сучасних імпульсних рефлектометрів, що прискорює процес вибору моделі, яка відповідає вимогам замовника.

Список використаних джерел

- [1] В. М. Лукашенко, Т. Ю. Уткина, В. А. Лукашенко, А. В. Гревцов, и С. М. Булгаков, "Системный анализ характеристик современных импульсных устройств диагностики линий передачи информации", в *8th Int. Sci.-Pract. Conf. Vědecký Průmysl Evropského Kontinentu – 2012*, Prague, 2012, vol. 24, pp. 3-9.
- [2] V. L. Aksenov, K. N. Jernenkov, S. V. Kozhevnikov, H. Lauter, V. Lauter-Pasyuk, Yu. V. Nikitenko, and A. V. Petrenko, "The polarized neutron spectrometer REMUR at the pulse reactor IBR-2", JINR-D13-2004-47. Dubna, 2004.
- [3] И. Г. Бакланов, *Технологии измерений в современных телекоммуникациях*. Москва: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2007.
- [4] Н. И. Тарасов, и А. В. Кочеров, "Эксплуатационная надежность цифровых абонентских линий", *Вестник связи*, № 6, с. 70–74, 2005.
- [5] А. С. Сигов, Ю. Д. Белик и др., *Метрология и электроизмерения в телекоммуникационных системах: учебник для вузов*, В. И. Нефедов, ред., 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Высш. шк., 2005.
- [6] Н. Ф. Мельникова, "Средства измерений для оценки кабеля "последней мили", *Технологии и средства связи*, № 5, 2003.
- [7] *Метрология, стандартизация и измерения в технике связи: учеб. пособие для вузов*, Б. П. Хромой, ред. Москва: Радио и связь, 2006.
- [8] "Radiodetection riser bond model 1205CXA". [Online]. Available: <https://www.radiodetection.com/sites/default/files/product-downloads/Model-1205CXA-US-A4v2.pdf>. Accessed on: Oct. 22, 2019.
- [9] "Radiodetection Lexxi™ T1660 time domain reflectometer". [Online]. Available: <https://www.radiodetection.com/sites/default/files/Lexxi-T1660-TDR-brochureV2.pdf>. Accessed on: Oct. 22, 2019.
- [10] "Megger TDR900 hand-held time domain reflectometer / cable length meter". [Online]. Available: https://content.megger.com/getattachment/8c2b7f5d-de34-42b3-a1c4-a6c08e5fb781/TDR900_DS_en_V10.pdf. Accessed on: Oct. 22, 2019.
- [11] "Megger Teleflex SX portable reflectometer for fault location systems". [Online]. Available: https://embed.widencdn.net/pdf/plus/megger/5jx0fzh2v1/TELEFLEXSX_DS_EN.pdf. Accessed on: Oct. 22, 2019.
- [12] "Megger Teleflex VX system-reflectometer for fault location systems". [Online]. Available: https://embed.widencdn.net/pdf/plus/megger/62dno0bfv2/TELEFLEXVX_DS_en.pdf. Accessed on: Oct. 22, 2019.
- [13] "KE2100 time domain reflectometer". [Online]. Available: <https://www.kurthelectronic.de/wp-content/uploads/2017/11/KE2100-TDR-en-V2-2.pdf?x12059>. Accessed on: Oct. 22, 2019.
- [14] "KE-TDR20 time domain reflectometer". [Online]. Available: <https://www.kurthelectronic.de/wp-content/uploads/2018/02/KE-TDR20-en.pdf?x12059>. Accessed on: Oct. 22, 2019.

References

- [1] V. M. Lukashenko, T. Yu. Utkina, V. A. Lukashenko, A. V. Grevtsov, and S. M. Bulgakov, "System analysis of the characteristics of modern pulse devices for diagnostics of information transmission lines", in: *8th Int. Sci.-Pract. Conf. Vědecký Průmysl Evropského Kontinentu – 2012*, Prague, 2012, vol. 24, pp. 3-9 [in Russian].
- [2] V. L. Aksenov, K. N. Jernenkov, S. V. Kozhevnikov, H. Lauter, V. Lauter-Pasyuk, Yu. V. Nikitenko, and A. V. Petrenko, "The polarized neutron spectrometer REMUR at the pulse reactor IBR-2", JINR-D13-2004-47. Dubna, 2004.
- [3] I. G. Baklanov, *Technologies of measurements in current telecommunications*. Moscow: ECO-TRENDZ, 2007 [in Russian].
- [4] N. I. Tarasov, and A. V. Kocherov, "Operational reliability of digital subscriber lines", *Vestnik svyazi*, no. 6, pp. 70-74, 2005 [in Russian].
- [5] A. S. Sigov, Yu. D. Belik et al., *Metrology and electric measurements in telecommunication systems: textbook for high schools*, V. I. Nefedov, Ed., 2nd ed., rev. and add. Moscow: Vyssh. shk., 2005 [in Russian].
- [6] N. F. Melnikova, "Measuring instruments for estimating the "last mile" cable", *Tehnologii i sredstva svyazi*, no. 5, 2003 [in Russian].
- [7] *Metrology, standardization and measurements in communication: tutorial for high schools*, B. P. Hromoj, Ed. Moscow: Radio i svyaz, 2006 [in Russian].
- [8] "Radiodetection riser bond model 1205CXA". [Online]. Available: <https://www.radiodetection.com/sites/default/files/product-downloads/Model-1205CXA-US-A4v2.pdf>. Accessed on: Oct. 22, 2019.
- [9] "Radiodetection Lexxi™ T1660 time domain reflectometer". [Online]. Available: <https://www.radiodetection.com/sites/default/files/Lexxi-T1660-TDR-brochureV2.pdf>. Accessed on: Oct. 22, 2019.
- [10] "Megger TDR900 hand-held time domain reflectometer / cable length meter". [Online]. Available: https://content.megger.com/getattachment/8c2b7f5d-de34-42b3-a1c4-a6c08e5fb781/TDR900_DS_en_V10.pdf. Accessed on: Oct. 22, 2019.
- [11] "Megger Teleflex SX portable reflectometer for fault location systems". [Online]. Available: https://embed.widencdn.net/pdf/plus/megger/5jx0fzh2v1/TELEFLEXSX_DS_EN.pdf. Accessed on: Oct. 22, 2019.
- [12] "Megger Teleflex VX system-reflectometer for fault location systems". [Online]. Available: https://embed.widencdn.net/pdf/plus/megger/62dno0bfv2/TELEFLEXVX_DS_en.pdf. Accessed on: Oct. 22, 2019.
- [13] "KE2100 time domain reflectometer". [Online]. Available: <https://www.kurthelectronic.de/wp-content/uploads/2017/11/KE2100-TDR-en-V2-2.pdf?x12059>. Accessed on: Oct. 22, 2019.
- [14] "KE-TDR20 time domain reflectometer". [Online]. Available: <https://www.kurthelectronic.de/wp-content/uploads/2018/02/KE-TDR20-en.pdf?x12059>. Accessed on: Oct. 22, 2019.

V. M. Lukashenko, D. Tech. Sc., professor,
S. F. Aksonov, postgraduate,
S. M. Topchii, postgraduate,
M. V. Chychuzhko, Ph. D., associate professor
Cherkasy State Technological University,
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

MULTICRITERIA MODEL OF QUALITATIVE ASSESSMENT AND SELECTION OF MODERN TIME-DOMAIN REFLECTOMETERS

A multicriteria model of qualitative assessment and selection of modern time-domain reflectometers is proposed in the article. The purpose of this study is to accelerate the procedure of determining the best model of the reflectometer from the appropriate company by creating a criterial equation based on modeling and visualization of multi-parameter quality criteria. A relational model of a set of modern time-domain reflectometers with structured data of technical and economic indicators has been developed. Conditional dimensional criteria for determining values based on dimension theory have been compiled. A multicriteria model of qualitative assessment of modern time-domain reflectometers in dimensionless coordinates has been constructed. A comparative analysis to determine the best model of the reflectometer of a certain company by parameters has been performed.

To solve this problem, a set of modern time-domain reflectometers with structured data of technical and economic parameters in the form of a relational model is defined. It is proposed to use dimensional theory, physical modeling and to create conditional quality criteria based on the heuristic method. Comparative analysis shows that Megger company is the best in terms of dimensional criteria. The histogram compares technical and economic indicators of time-domain reflectometers of this company. As can be seen from the comparison of technical and economic indicators of Megger time-domain reflectometers, Megger Teleflex VX model, which has the best range and accuracy is the best one. The developed model allows to accelerate the design process and select the way to improve and ensure high quality for devices of this type.

Keywords: *time-domain reflectometer, multicriteria model, reserve, conditional dimension criteria.*