

УДК 389.64:621.317.322

ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ НАПРУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ

О. Величко, доктор технічних наук, директор науково-виробничого інституту,
В. Ісаєв, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу,
ДП «Укрметртестстандарт», м. Київ

Розглянуто основні результати групового експертного оцінювання стану метрологічного забезпечення вимірювання напруги змінного струму. За експертного оцінювання враховувалася оцінена компетентність експертів з метрології. Для опрацювання отриманих групових експертних даних використовувалися універсальні програмні засоби, які дозволяють здійснювати статистичне їх опрацювання, а також виконано перевірку їх на узгодженість із застосуванням широкочисливих критеріїв.

In the article the basic results of group expert evaluation of the state of the metrological assurance of measurements of alternating voltage. At expert estimations taking account of competence of experts in field of metrology was appraised. For processing of the obtained expert data universal software were used that allow to carry out its statistical processing and also realizable verification it's on consistency with application of widespread criteria.

Ключові слова: експертне оцінювання; метрологічне забезпечення; вимірювання; напруга змінного струму.
Keywords: expert estimation; metrological assurance; measurement; alternating voltage.

Метрологічним забезпеченням є установлення та застосування метрологічних норм і правил, а також розроблення, виготовлення та застосування технічних засобів, необхідних для досягнення єдності та потрібної точності певних вимірювань. Важливо достовірне знання реального стану метрологічного забезпечення (МЗ) вимірювання певної фізичної величини, для визначення його може бути застосовано групове експертне оцінювання із залученням до нього експертів з метрології.

Для вирішення певних проблемних питань у різних сферах діяльності все частіше зважають на думку провідних фахівців і експертів, залучаючи їх до різних експертних оцінок. Узагальнену думку експертів отримують за допомогою застосування методів математичної статистики. Питанням підбору кваліфікованих експертів, які мають спеціальні навички або знання у конкретній галузі діяльності, оцінювання їхньої компетентності, використання результатів їхньої роботи, підвищення достовірності та об'єктивності цих результатів експертних оцінок у рамках реалізації певних експертних методів повинна приділятися особлива увага [1—4].

1. СТАН НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕТАЛОННОЇ БАЗИ

Очолує національну еталонну базу у сфері вимірювань напруги змінного струму Державний еталон одиниці електричної напруги від 0,1 до 1000 В змінного струму в діапазоні частот від 20 Гц до 1 МГц (ДЕТУ 08-07-02) (рис. 1), який зберігається у ДП «Укрметртестстандарт» (м. Київ). Передавання одиниць електричної напруги змінного струму відбувається за державною повірочною схемою згідно з ДСТУ 4122 [5].

Протягом останніх 15 років в Україні перебували в експлуатації 4 вторинних еталони одиниці електричної змінної напруги, які містять 30 термоперетворювачів,



О. Величко



В. Ісаєв



Рис. 1. Державний еталон одиниці електричної напруги від 0,1 до 1000 В змінного струму в діапазоні частот від 20 Гц до 1 МГц

Fig. 1. State primary standard of unit of AC electrical voltage in range from 0.1 to 1000 V in frequency range from 20 Hz to 1 MHz

яким необхідно передавати розмір одиниці змінної напруги від Державного еталона ДЕТУ 08-07-02, створеного у 2002 році. Після 2009 року в експлуатацію також уведено військовий вторинний еталон одиниці змінної напруги. Окрім вторинних еталонів одиниці змінної напруги, також експлуатуються інші високоточні ЗВТ: термоелектричні компаратори — Fluke 792A, РМЖС тощо; калібратори — Fluke 5520, TE 5025, Transmille 3010, КМ300К, Н4-6, Н4-7 тощо; вимірювачі змінної напруги — В7-62, ВСВ-1, ВСВ-3, ВСВ-5, Agilent 3458A, Fluke 8508A тощо. Зазначені прецизійні ЗВТ, окрім метрологічних центрів, застосовуються в електроенергетиці, індустріальних технологіях цивільного і військового призначення, інших галузях науки і техніки. На державному еталоні ДЕТУ 08-07-02 виконуються повірка й калібрування (до 01.01.2016 — державна метрологічна атестація — ДМА) термоперетворювачів, калібраторів напруги та цифрових вольтметрів підвищеної точності.

Загальну кількість повірених, атестованих і відкаліброваних ЗВТ із застосуванням Державного еталона ДЕТУ 08-07-02 за роками наведено у табл. 1 і на рис. 2.

Зростання кількості відкаліброваних ЗВТ (робочих еталонів) і, відповідно, зменшення повірених ЗВТ (робочих еталонів) у 2016 році пов'язано зі вступом у силу з 01.01.2016 нової редакції Закону України «Про метрологію та метрологічну діяль-

ність», статтю 27 якого передбачено калібрування робочих еталонів замість їх повірки.

Для калібрування ЗВТ напруги змінного струму важливим питанням є забезпечення метрологічної простежуваності до національних еталонів інших країн. Метрологічна простежуваність ДЕТУ 08-07-02 забезпечується міжнародними звіреннями з національними еталонами інших країн (проекти COOMET.EM-S1 [6] та COOMET.EM-K6.a [7]).

ДП «Укрметртестстандарт» має опубліковані у Базі даних ключових звірень (KCDB) Міжнародного бюро з мір і вагів (BIPM) 5 рядків калібрувальних і вимірювальних можливостей (СМС) і 2 матриці невизначеності та право наносити знак багатосторонньої Угоди про взаємне визнання національних еталонів, калібрувальних і вимірювальних можливостей Міжнародного комітету з мір і вагів (CIPM MRA) на свої сертифікати калібрування [8—10].

2. ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ГРУПОВОГО ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ

Групове експертне оцінювання МЗ вимірювань напруги змінного струму проведено за методикою, описаною в [11], із залученням групи у кількості 12 експертів з метрології, які займаються відповідними вимірюваннями, компетентність яких було попередньо оцінено. Експерти представляють регіональні центри метрології (96, 75%) та енергетичні підприємства (3, 25%).

Оцінка здійснювалася за 6 проблемними питаннями: персонал, задіяний у метрологічних роботах (X1); умови проведення метрологічних робіт (X2); нормативні та методичні документи (X3); еталонна база та допоміжне обладнання (X4); процедури і документи з проведення метрологічних робіт (X5); метрологічна простежуваність (X6), які містять 38 підпитань. Для опрацювання отриманих даних оцінки використано універсальне програмне забезпечення (ПЗ) Microsoft Excel. Результати експертної оцінки з урахуванням компетентності експертів наведено на рис. 3.

Значення використаних у процесі оцінювання коефіцієнтів компетентності k_k (містяться в діапазоні від 0 — мінімальний до 1 — максимальний) для

Таблиця 1. Загальна кількість повірених, атестованих і відкаліброваних ЗВТ за роками

Table 1. Total of units of measuring instruments which verified, attested and calibrated by years

Одиниць ЗВТ/рік	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Повірено	24	21	31	29	31	28	31	37	22	55	40	35	5
Атестовано	0	1	6	2	8	0	2	4	8	2	1	0	0
Відкалібровано	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	43

всіх експертів наведено у табл. 2. Зазначені коефіцієнти отримано із застосуванням методики, описаної в [12].

За результатами аналізу також оцінено:

- ступені відхилення оцінених середніх балів від опорного значення за питаннями (X1–X6) без/з урахуванням компетентності експертів (рис. 4);
- середні значення експертних оцінок за питаннями (X1–X6) без/з урахуванням компетентності експертів (рис. 5).

Опорні значення експертних оцінок для оцінених середніх балів складають: без урахування компетентності експертів — 6,65; з урахування компетентності — 5,37.

Для перевірки узгодженості отриманих даних здійснено розрахунок коефіцієнта узгодженості Кендалла W і значення критерію згоди χ^2 Пірсона [4]. Отримано значення коефіцієнта

узгодженості Кендалла $W = 0,42$ і значення критерію згоди χ^2 Пірсона 184,35, що свідчить стосовно середнього ступеня узгодженості даних і задоволення даних критерію χ^2 для рівня довіри 0,05 ($\chi^2 > \chi^2_{T(0,05;M-1)} = 52,19$, де M — кількість підпитань, що розглядалися).

3. ПЕРШОЧЕРГОВІ ПИТАННЯ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ СТАНУ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Аналіз отриманих результатів засвідчив, що найменш важливі для розгляду це питання (без/з урахуванням компетентності експертів): X2 (8,07/6,54); X4 (7,13/5,77); X5 (6,94/5,67), а найбільш важливі — X6 (5,19/4,11); X3 (5,93/4,80); X1 (6,63/5,33), які розподілилися порівну.

Аналіз результатів також свідчить, що 13 підпитань (34%) є пріоритетними для подальшого детального

аналізу з метою прийняття необхідних рішень, а 25 підпитань (66%) не мають першочергового чи взагалі ніякого значення для їхнього подальшого аналізу. Урахування коефіцієнта компетентності експертів у цілому не вплинуло на кінцевий результат оцінювання, зважаючи на достатньо однорідні оцінки експертів за питаннями, що розглядалися.

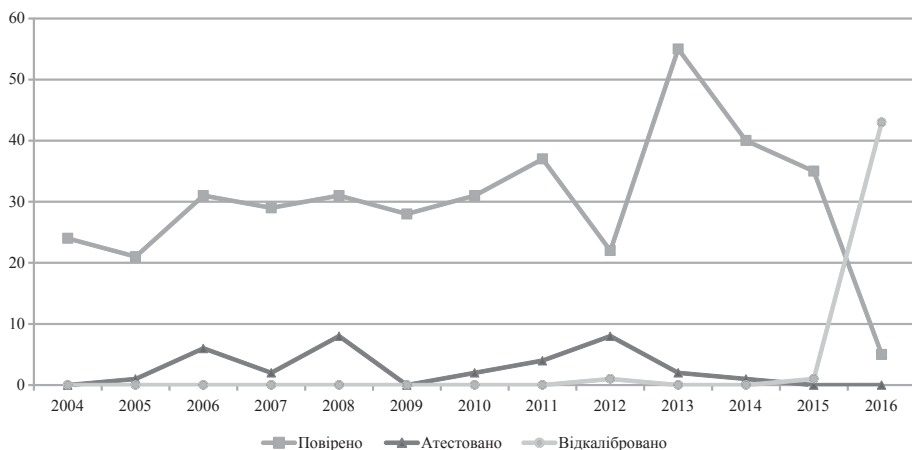


Рис. 2. Повірені, атестовані й відкалібровані ЗВТ за роками
Fig. 2. Verified, attested and calibrated measuring instruments by years

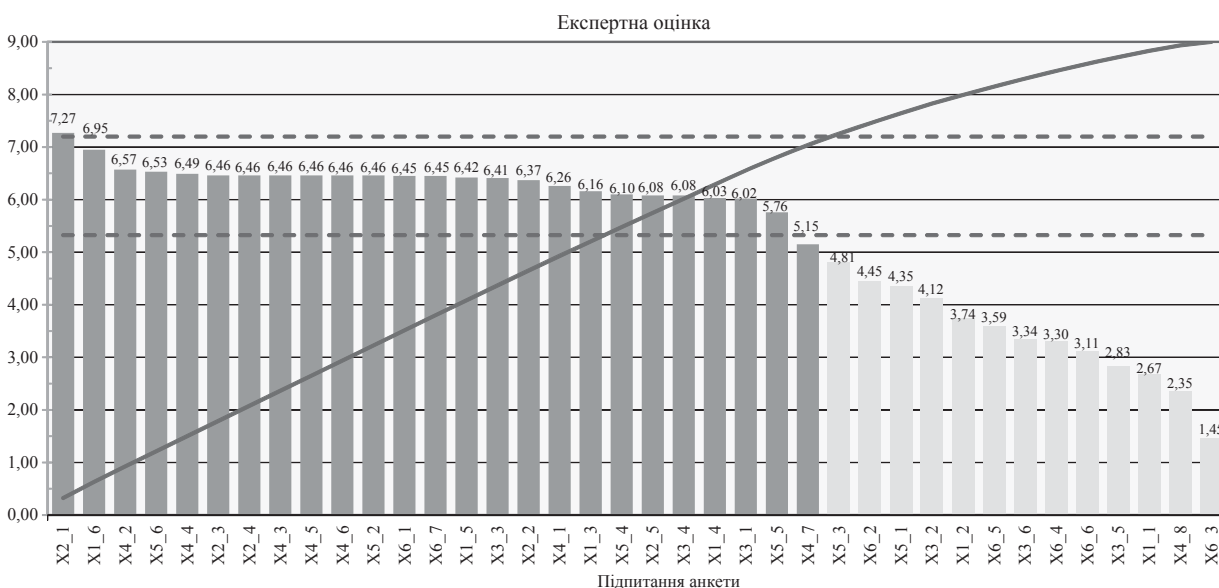


Рис. 3. Результати експертної оцінки з урахуванням компетентності експертів
Fig. 3. Results of expert's estimation with taking account of expert competence

Таблиця 2. Коефіцієнти компетентності експертів

Table 2. Coefficients of competence of expert

Експерт	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
k_k	0,69	0,95	0,69	0,90	0,97	0,74	1,00	1,00	0,56	0,72	0,90	0,77

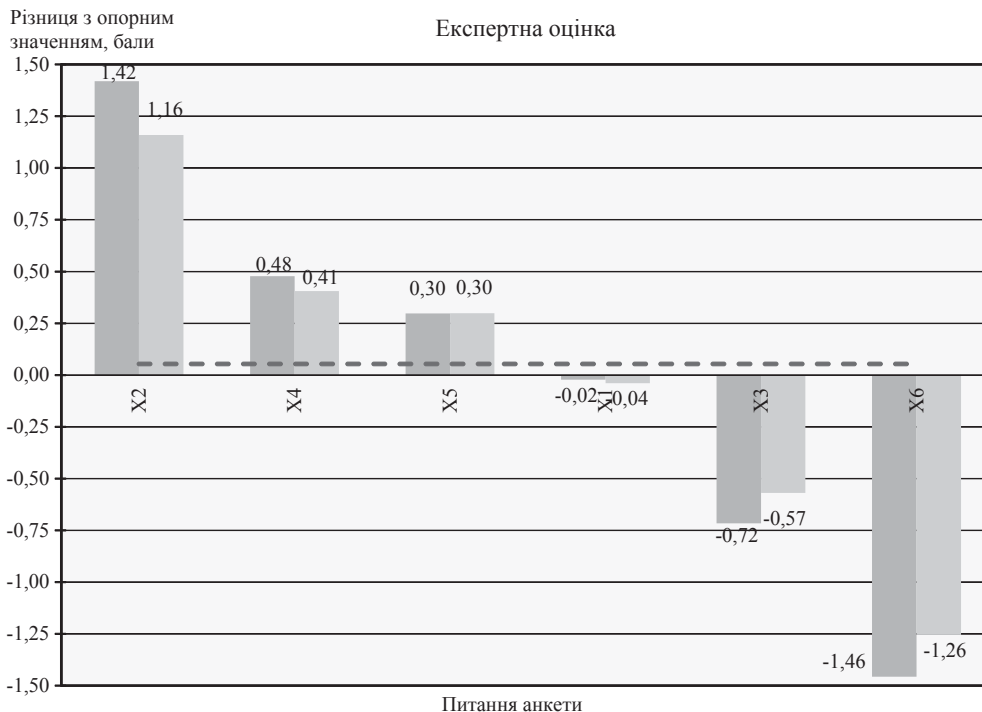


Рис. 4. Гістограма для ступенів відхилення оцінених середніх балів від опорного значення без (ліві стовпчики) і з урахуванням (праві стовпчики) компетентності експертів
 Fig. 4. Histogram for degree of variations of estimated average grades at reference value without (left columns) and with (right columns) taking account of expert competence

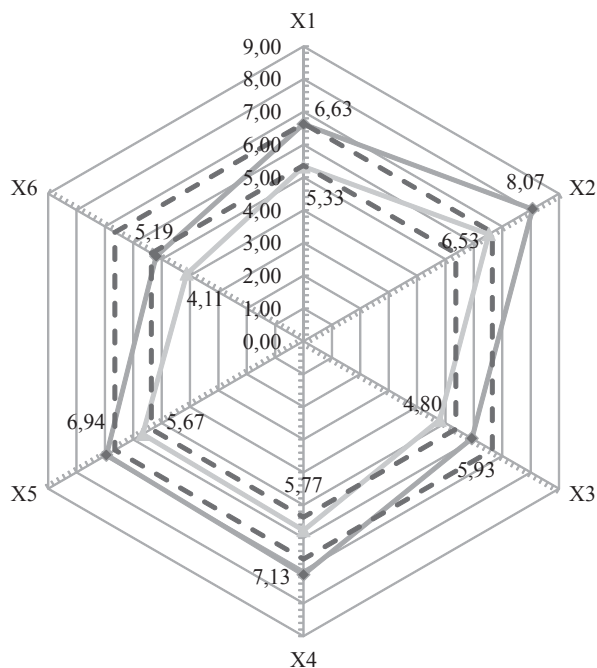


Рис. 5. Діаграма для середніх значень експертних оцінок без/з урахуванням компетентності експертів

Fig. 5. Diagram for average values of expert estimation without/with taking account of expert competence

Першочерговими підпитаннями для подальшого більш поглибленого вивчення під час вимірювання високої сталі напруги є (у порядку важливості):

- співвідношення між кількістю повірених і відкаліброваних підприємством ЗВТ (X6_3);
- наявність на підприємстві пересувних лабораторій, укомплектованих робочими еталонами, ЗВТ та обладнанням (X4_8);
- загальна кількість фахівців, які займаються метрологічними роботами (X1_1);
- наявність методик, які потребують розроблення чи перегляду (X3_5);
- оцінка придатності ПЗ для автоматизованого збору і опрацювання отриманих даних за повірки (калібрування) ЗВТ (X6_6);
- наявність повірочних схем на робочих місцях (X3_6);
- використання методик калібрування ЗВТ (X6_4);
- стан оцінки невизначеності за калібрування ЗВТ (X6_5);

- кількість фахівців, які проводять чи беруть участь у випробуваннях ЗВТ (X1_2);
- використання методик повірки ЗВТ (X3_2);
- уповноваження чи акредитація підприємства на виконання метрологічних робіт (X5_1);
- калібрування робочих еталонів (X6_2);
- забезпечення робочих еталонів, ЗВТ та обладнання ремонтном і технічним обслуговуванням (X4_7).

Загалом можна відзначити за результатами експертного оцінювання в цілому позитивний стан МЗ вимірювань змінної напруги.


ВИСНОВКИ

Групове експертне оцінювання із залученням до нього експертів з метрології з певних вимірювань може стати корисним засобом для встановлення реального стану МЗ. Для опрацювання отриманих експертних даних і отримання результатів оцінювання

можуть бути використані універсальне ПЗ для їх тематичного опрацювання. Доцільно здійснювати перевірку узгодженості отриманих даних із використанням коефіцієнта узгодженості Кендалла і значення критерію згоди χ^2 Пірсона.

За результатами проведеного експертного оцінювання загалом можна констатувати у цілому позитивний стан МЗ вимірювань напруги змінного струму. При цьому, однак, потрібно відзначити наявність певних проблемних питань щодо співвідношення між кількістю повірених і відкаліброваних підприємством ЗВТ, наявності на підприємстві пересувних лабораторій, укомплектованих робочими еталонами, ЗВТ та обладнанням, загальної кількості фахівців, які займаються метрологічними роботами, наявності методик, які потребують розроблення чи перегляду, оцінки придатності ПЗ для автоматизованого збору і опрацювання отриманих даних у процесі повірки (калібрування) ЗВТ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Литвак Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений. — М.: Патент (Litvak B. G. Expert estimation and decision. — М.: Patent), 1996. — 271 с/р.
2. Павлов А.Н., Соколов Б.В. Методы обработки экспертной информации: учеб.-метод. пособие. — СПб: ГУАП (Pavlov A.N., Sokolov B. V. Methods of processing of expert information: tutorial and methodological textbook. — SPb: GUAP), 2005. — 42 с/р.
3. Грабовецкий Б.Е. Методы экспертных оценок: теория, методология, напрями використання. — Вінниця: ВНТУ (Grabovetskie B.E. Methods of expert estimation: theory, methodology, direct of using. — Vinnytsa: VNTU). 2010. — 171 с/р.
4. Величко О.М., Коломієць Л.В., Гордієнко Т.Б., Шевцов А.Г., Карпенко С.Р., Табер А.А. Групове експертне оцінювання та компетентність експертів. — Одеса: ФОП Бондаренко (Velychko O.M., Kolomiets L.V., Gordiyenko T.B., Shevtsov A.G., Karpenko S.R., Gaber A.A. Group expert's estimation and competence of experts. — Odesa: FOP Bondarenko), 2015. — 285 с/р.
5. ДСТУ 4122:2006. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання електричної напруги від 0,1 В до 1000 В змінного струму в діапазоні частот від 10 Гц до 1 МГц (DSTU 4122:2006. Metrology. State verification schema for measuring instruments AC electrical voltage in range from 0.1 to 1000 V in frequency range from 20 Hz to 1 MHz).
6. Supplementary bilateral comparison of the national AC/DC voltage transfer references between VNIIM (Russia) and Ukrmetrteststandard (Ukraine) (COOMET.EM-S1) // G.P. Telitchenko. — D.I. Mendeleev Institute for Metrology, St. Petersburg, Russia. — 6 p. — Metrologia. — 2017. — Vol. 54. — Issue 1A. — Technical Supplement 01004. doi:10.1088/0026-1394/54/1A/01004 (Додаткові двосторонні звірення національних опорних перетворювачів змінної напруги в постійну напругу між ВНИИМ (Росія) та ДП «Укрметрестстандарт» (Україна) (COOMET.EM-S1) // Г.П. Теліченко. — Інститут метрології ім. Д.І. Менделєєва, С. Петербург, Росія. — 6 с.).
7. Final Report on COOMET key comparison of AC/DC voltage transfer references (COOMET.EM-K6.a) // O. Velychko, Yu. Darmenko. — June 2014. — Kyiv, Ukraine. — 35 p. — Metrologia. — 2016. — Vol. 53. — Issue 1A. — Technical Supplement 01011. doi:10.1088/0026-1394/53/1A/01011 (Заключний звіт по КООМЕТ ключовим звіренням опорних перетворювачів змінної напруги в постійну напругу (COOMET.EM-K6.a) // О. Величко, Ю. Дарменко. — Червень 2014. — Київ, Україна. — 35 с.).
8. Міжнародна база даних ключових звірень Міжнародного бюро з мір і вагів — KCDB (International database of key comparisons of International Bureau of Weights and Measures — KCDB) <http://kcdb.bipm.org/>.
9. CIPM MRA-D-04:2013. Calibration and Measurement Capabilities in the context of the CIPM MRA (Калібрувальні та вимірювальні можливості у контексті Угоди CIPM MRA).
10. Velychko O.N. Calibration and measurement capabilities of metrological institutes: features of preparation, examination, and publication // Measurement Techniques. (Величко О.М. Калібрувальні та вимірювальні можливості метрологічних інститутів: особливості підготовки, перевірки і публікації / Измерительная техника. — 2010. — № 6. — Р/С. 69—73).
11. Величко О.М., Гордієнко Т.Б., Коломієць Л.В. Методика експертної оцінки з урахуванням компетентності експертів // Металлургическая и горнорудная промышленность (Velychko O.M., Gordiyenko T.B., Kolomiets L.V. Methodology of expert estimation with taking account of competence of expert // Metallurgical and Mining Industry). — 2014. — № 5 (290). — С/Р. 106—111.
12. Величко О.М., Гордієнко Т.Б., Коломієць Л.В. Методика оцінки компетентності експертів з урахуванням характеристик невизначеності даних // Металлургическая и горнорудная промышленность (Velychko O.M., Gordiyenko T.B., Kolomiets L.V. Methodology of estimation of competence of the expert with taking account of characteristics of data uncertainty // Metallurgical and Mining Industry). — 2014. — № 3 (288). — С/Р. 135—137. 

Отримано / received: 09.06.2017.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Л.В. Коломієцем (Україна).
Prof. L.V. Kolomiets, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.