УДК 006.85

# КОМПЕТЕНТНІСТЬ ПЕРСОНАЛУ ЯК СКЛАДОВА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ КАЛІБРУВАННЯ

*[1)]Єременко В. С., [1)]Мокійчук В. М., [2)]Пащенко Н. В.*
*[1)]Національний технічний університет України*
*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна*
*[2)]Національний авіаційний університет, Київ, Україна*
*E-mail: nau_307@ukr.net; uncertainty@ukr.net*; *nataliia.pashchenko@npp.nau.edu.ua*

## ВСТУП

Відповідно до вимог ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 [1] калібрувальна лабораторія повинна забезпечити, щоб персонал мав відповідну компетентність для виконання своєї діяльності, за яку він несе відповідальність. У калібрувальних лабораторіях внесок персоналу лабораторії в невизначеність калібрування вважається не значущим на підставі того, що персонал є компетентним.

## СУТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

Відомі рекомендації щодо процесу управління компетентністю персоналу, наприклад федерації EuroLab [2], нажаль не містять кількісних критеріїв оцінювання компетентності. Проведено дослідження критерію, який базується на $E_n$ – статистиці згідно ISO/IEC 17043:2010 [3]. Показано його недоліки та, за результатами моделювання методом Монте-Карло, отримані залежності імовірності правильного рішення від характеристик результатів калібрування. Запропоновано модифікацію цього критерію та методику його застосування згідно ДСТУ ГОСТ ИСО 5725-6:2005 [4].

Специфічність компетентності персоналу калібрувальних лабораторій є те, що внесок персоналу лабораторії в невизначеність результатів калібрування (рівняння 1) вважається не значущим на підставі того, що персонал є компетентним.

Узагальнена модель комбінованої невизначеності $u_c$ результату калібрування:

$$u_c^2 = u_{\text{ет}}^2 + u_{\text{звт}}^2 + u_{\text{ум}}^2 + u_{\text{перс}}^2 + u_{\xi}^2 . \qquad (1)$$

Складові невизначеності обумовлені: $u_{\text{ет}}$ – робочим еталоном, $u_{\text{звт}}$ – ЗВТ, який піддано калібруванню, $u_{\text{ум}}$ – умовами калібрування, $u_{\text{перс}}$ – компетентністю персоналу, $u_{\xi}$ – неврахованими факторами, як правило випадкова.

Отже, строго математично це відповідає умові, що значення складової $u_{\text{перс}}$ має бути втричі меншим суми всіх інших складових.

У практику багатьох українських калібрувальних лабораторій впроваджена методика, згідно якої, результати фахівців прийнято порівнювати з «опорним»

значенням – результатом іншого, прийнятого компетентним, фахівця із застосуванням $E_n$ – статистики, яка широко застосовується для аналізування результатів міжлабораторних порівнянь, згідно ISO/IEC 17043:2010 [3]:

$$E_n = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2}}, \tag{2}$$

де $X_1, U_1, X_2, U_2$ – результати вимірювань, отримані під час калібрування першим та другим фахівцем з відповідною розширеною невизначеністю калібрування, яка містить усі складові (1).

Складова невизначеності $u_{\text{перс}}$ буде обчислена за формулою [4]:

$$u_{\text{перс}} = \frac{\max|X_1 - X_2|}{2{,}8}, \tag{3}$$

де $\max|X_1 - X_2|$ – максимальне значення різниці результатів фахівців (фактично границя внутрішньо лабораторної відтворюваності або проміжної прецизійності).

Результат такого оцінювання вважається задовільним, якщо $-1 \le E_n \le 1$. У розрізі оцінювання компетентності персоналу така оцінка має декілька недоліків, наведених нижче.

По перше, вона є занадто грубою, оскільки, максимальна допустима різниця між результатами фахівців дорівнює $\sqrt{2}U$, якщо покласти $U = U_1 = U_2$. Враховуючи (3), значення $u_{\text{перс}} = \frac{\sqrt{2}U}{2{,}8} \approx 0{,}5U$. Відповідно не можна прийняти, що фахівці не вливають на невизначеність, оскільки їх вплив (потенційно-допустимий) буде складати половину розширеної невизначеності калібрування, отже не виконується умова незначущості.

По друге, така оцінка жодним чином не враховує цільову невизначеність калібрування. Отже, як результат, різниця результатів фахівців може бути незначущою, на рівні невизначеності калібрування $U$, фахівці визнані компетентними, але сама невизначеність $U$ може бути більша за цільову, що не буде виявлено під час такого оцінювання.

По третє, формула (2) не враховує кореляцію результатів фахівців, оскільки під час проведення калібрування фахівці застосовують одне і теж обладнання за однакових умов і для однакових точок калібрування.

По четверте, формула (2) має протиріччя, яке виникає за рахунок того, що випадкова складова невизначеності калібрування, яка обумовлюється компетентністю фахівця, не обмежується і фактично її збільшення, що є ознакою низької компетентності, призводить до збільшення імовірності визнання фахівця компетентним. Врахувати кореляцію результатів фахівців можливо із застосуванням формул (3), яка застосовується для опрацювання звірянь еталонів, згідно [5]:

$$E_n = \frac{X_1 - X_2}{2\sqrt{u_1^2 + u_2^2 - 2\,\mathrm{cov}(X_1, X_2)}}\ , \tag{4}$$

де $u_1, u_2$ – стандартні невизначеності калібрування, $\mathrm{cov}(X_1, X_2)$ – коваріація результатів фахівців.

Аналогічно рекомендації [5], за значення $\mathrm{cov}(X_1, X_2)$ доцільно прийняти невизначеність калібрування еталонів $u_{\text{ет}}$, які застосовуються під час проведення калібрування:

$$E_n = \frac{X_1 - X_2}{2\sqrt{u_1^2 + u_2^2 - 2u_{\text{ет}}^2}}\ . \tag{5}$$

Очевидно, що уточнена формула (4) не позбавлена першого, другого та четвертого недоліків та потребує поміркованого застосування.

Акцентувавши увагу на основній тезі щодо компетентності – «різниця між результатами фахівців, отриманих під час калібрування не повинна впливати на невизначеність калібрування», було проведено дослідження $E_n$ - статистики із застосуванням метода статистичного моделювання Монте-Карло [6]. Визначалася імовірність виявлення заданого значення різниці результатів фахівців $\Delta = |X_1 - X_2|$. Значення $\Delta$ були обрані відносно значення розширеної невизначеності $U$. Також було прийнято, що значення $U$ містить лише випадкову складову, оцінену за результатами моделювання (рис. 1).

З результатів моделювання видно, що даний критерій у випадку рівних невизначеностей калібрування обох фахівців, виявляє різницю в $1U$ (яка свідчить про різний рівень компетентності і яку необхідно враховувати в невизначеність калібрування) всього у 10-11 % випадків. А рівень імовірності виявлення більше 95 % досягається лише для різниці $2U$ і більше. Якщо ж один з фахівців показує більшу індивідуальну невизначеність, це призводить до зниження імовірності виявлення недопустимої різниці у результатах.

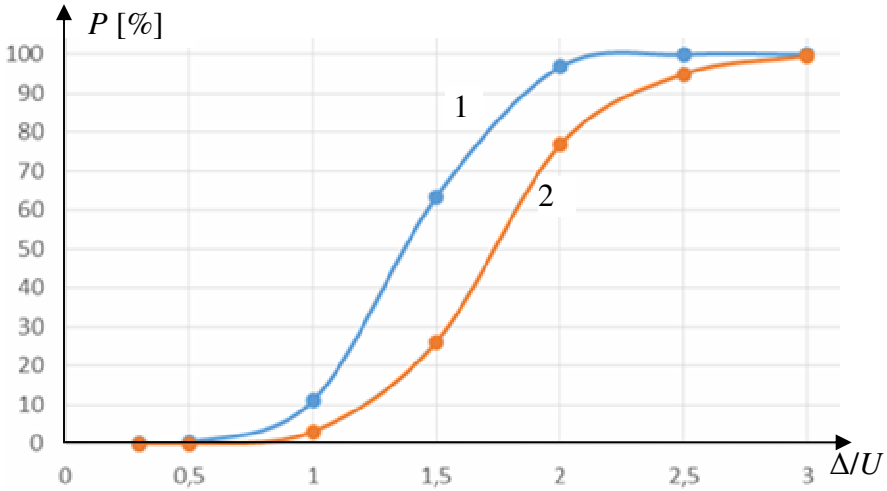


Рис. 1. Імовірність виявлення різниці між результатами фахівців:
1 – за умови $U = U_1 = U_2$; 2 – $U = U_1, U_2 = 1{,}5U_1$.

## Висновки

Авторами було надано результати аналізу нормативної документації у сфері акредитації лабораторій за ДСТУ ISO/IEC 17025 з питання оцінювання компетентності персоналу у калібрувальних лабораторіях. За результатами дослідження статистичних критеріїв, які можуть бути придатні для кількісного оцінювання компетентності показано, що широко застосовуваний $E_n$ - критерій має значні недоліки і може давати достовірні результати за умови застосування певних уточнень.

Пропонується під час проведення оцінювання згідно наведеної методики, обов'язково враховувати цільову невизначеність калібрування та її випадкову складову.

*Ключові слова:* акредитація, ISO/IEC 17025, ISO/IEC 17043, ISO 5725 невизначеність калібрування, компетентність, критерії компетентності.

**Література**

[1] DSTU ISO/IEC 17025:2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Kyiv, 2017. 38 p. (in Ukrainian).

[2] How to Assess the Competence of Staff. EUROLAB "Cook Book" – Doc No. 6. Res. Per. Mr. Pascal Launey, EUROLAB France. Approv. 10/2018.

[3] DSTU EN ISO/IEC 17043:2017. Conformity assessment. General requirements for proficiency testing. Kyiv, 2018. 39 p. (in Ukrainian).

[4] DSTU GOST ISO 5725-6:2005 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 6: Use in practice of accuracy values. Kyiv, 2006. 51 p. (in Ukrainian).

[5] COOMET R/GM/19:2016. Rukovodstvo po ocenivaniyu dannykh dopolnitelnykh slichenij koomet [Guidelines on COOMET supplementary comparison evaluation]. URL http://www.coomet.org/DB/isapi/cmt_docs/2016/5/2LWQGO.pdf (дата звернення 26.12.2020 р.).

[6] Sobol I.M. Chislennye metody Monte-Karlo [Numerical Monte Carlo Methods]. Moscow: Glavnaya redaktsiya fizikomatematicheskoi literatury izdatelstva «Nauka», 1973. 312 p. (in Russian).

[7] Kobzar A. I. Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov [Applied Mathematical Statistics. For engineers and scientists].Moscow: FIZMATLIT, 2006. 816 p. (in Russian).