

## **ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ ВАЛІДАЦІЇ СУДОВО-ЕКСПЕРТНИХ МЕТОДИК**

*Розглянуто загальні положення та принципи оцінювання невизначеності результатів вимірювань при валідації (оцінюванні придатності) судово-експертних методик. Визначено цілі та способи валідації. Наведено основні джерела та класифікацію невизначеності за способом оцінювання (стандартні невизначеності типів A и B), джерелами виникнення (методична, інструментальна й суб'єктивна складові) тощо.*

*Ключові слова: валідація, методика вимірювання, стандартна, сумарна та розширена невизначеності, похибка округлення.*

Відповідно до вимоги ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 акредитовані судово-експертні лабораторії повинні оцінювати придатність методів до застосування їх у своїй роботі.

Оцінювання придатності методик є важливою частиною системи забезпечення та контролю якості результатів. Необхідною умовою відповідності методики є обґрунтована впевненість у тому, що одержувані в галузі її застосування результати достовірні, тобто такі, характеристики якості яких відповідають установленим вимогам. Це передбачає експериментальне або теоретичне підтвердження як окремих операцій та правил, що становлять сутність методики, так і визначення її характеристик. Якщо оцінені характеристики методики відповідають висунутим до них вимогам, то вона вважається такою, що придатна до застосування в лабораторії за призначенням<sup>1</sup>. Тільки після цього методика може бути використана в судово-експертній практиці.

Практика валідації судово-експертних методик існує в усьому світі. Так, аналізування європейської практики в галузі організації судово-експертної діяльності показало, що оцінювання на придатність експертних методик є однією з основоположних умов ефективної діяльності судово-експертних установ, які входять до складу Європейської мережі судово-експертних установ (ENFSI)<sup>2</sup>. Ці лабораторії у своїй діяльності використовують Керівництво з валідації та впровадження (нових) методів (QCC-VAL-001 Validation and implementation of (new) methods).

*Цілями валідації експертних методик у судово-експертних установах є:*

— установлення придатності методик для судово-експертної діяльності відповідно до вимог міжнародних стандартів;

<sup>1</sup> Див.: Про затвердження Методичних рекомендацій щодо оцінювання придатності нестандартизованих методик випробувань у сфері пожежної безпеки : наказ Міністерства надзвичайних ситуацій України від 23 червня 2011 р. № 648. [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.mns.gov.ua/files/2011/6/24/648.pdf>.

<sup>2</sup> European Network of Forensic Science Institutes (ENFSI) – Європейська мережа судово-експертних установ.

— забезпечення єдності оцінювання криміналістично значущих ознак у різних судово-експертних установах при вирішенні типових експертних завдань;

— визначення характеристик (властивостей) методики та метрологічних показників при використанні в конкретній організації.

Валідації підлягають:

— діючі експертні методики;

— раніше валідовані методики після внесення до них змін, що стосуються сфери їх застосування, умов проведення, заміни застосовуваних у них засобів вимірювань, матеріалів і реактивів;

— нові методики, результати застосування яких будуть використані в судово-експертної діяльності<sup>1</sup>.

Якщо експерт застосовує національні, міжнародні, галузеві стандарти, які атестовані, описані та опубліковані, і при цьому не змінює їх меж дії, завданням валідації є підтвердження правильності використання стандартів у цій лабораторії. Для цього достатньо проаналізувати сертифіковані зразки порівняння або стандартні зразки без аналізування реальних проб. Методика вимірювання (далі – МВ) вважається придатною для використання, якщо похибка визначення контрольованого показника в стандартному зразку знаходиться всередині довірчих меж похибки  $\Delta_p$ , що вказуються у МВ. Аналогічним чином демонструється придатність рідко застосовуваних методик, якщо оцінювання їх придатності було проведено раніше й робочі характеристики МВ відомі. Така обмежена валідація, за якої всі процедури спрямовані на підтвердження опублікованих установлених характеристик, називається верифікацією.

У разі, коли експерт змушений внести зміни до стандартизованої МВ, що стосується меж застосування, умов проведення вимірювання, заміни застосовуваних засобів вимірювань, матеріалів і реактивів, необхідна валідація в тій частині, у якій МВ була змінена або модифікована. При використанні змінених МВ їх придатність демонструється результатами атестації змінених параметрів валідації та знову виконуваним оцінюванням показників якості МВ.

Якщо експерт використовує нову МВ, розроблену в лабораторії для власного використання, валідація полягає в складанні специфікації вимог і визначенні характеристик, відповідних цим вимогам. У цьому разі процедура валідації збігається з процедурою атестації, яка проводиться з обов'язковим оцінюванням невизначеності вимірювань.

Валідацію будь-якої методики проводять із застосуванням обладнання й засобів вимірювання, атестованих і внесених до Державного реєстру засобів виміральної техніки або тих, що мають сертифікат калібрування. На засоби вимірювання мають бути документи, що підтверджують їх повірку або калібрування<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Див.: *Омельянюк Г. Г.* К вопросу о валидации судебно-экспертных методик / Г. Г. Омельянюк // Теория и практика судебной экспертизы. — М., 2010. — № 2(18). — С. 64–68.

<sup>2</sup> Див.: *Смирнова С. А.* Методические подходы к проведению валидации судебно-экспертных методик, включающих методики измерений / С. А. Смирнова, Г. Г. Оме-

Для валідації методики в судово-експертної діяльності можна використовувати декілька способів:

— аналізування сертифікованих зразків порівняння або стандартних зразків;

— зіставлення результатів аналізування з результатами, отриманими іншими методами;

— міжлабораторні порівняльні випробування;

— зіставлення оцінювання невизначеності результатів аналізу на основі теоретичних уявлень і практичних даних.

Невизначеність результату вимірювання не слід інтерпретувати як уявлення похибки, а також як похибку, що залишається після введення поправки. Знання невизначеності припускає збільшення ступеня достовірності результату вимірювання<sup>1</sup>.

Основними джерелами невизначеності можуть бути:

— процедура відбору проб (зразків) або фіксація слідів;

— підготування проб або зразків;

— властивості, стан і склад проби (зразка);

— застосовувані методи та обладнання;

— довкілля;

— оператор;

— стандартні зразки, чисті речовини, зразки порівняльних колекцій.

Невизначеність результатів вимірювання (аналізування) важливо знати як у самій лабораторії, так і її замовникам. У судочинстві такими «замовниками» є всі суб'єкти судово-експертної діяльності та перш за все орган або особа, що призначила судову експертизу. Аби замовник мав чітке уявлення про невизначеність результатів, у протокол випробувань повинні бути вказані як характеристика методики – оцінка невизначеності, отримана при її валідації, так і практична оцінка невизначеності результатів даного конкретного аналізування. Щоб отримати практичну оцінку невизначеності, рекомендується за можливості використовувати статистичні методи. Для більш детальної інформації стандарт ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 відсилає до Керівництва щодо невизначеності вимірювань<sup>2</sup>.

Існує певна класифікація невизначеностей.

1. За способом оцінювання розрізняють:

— стандартну невизначеність,  $u$  – невизначеність результату вимірювання, оцінена за середньоквадратичним відхиленням;

а) стандартну невизначеність типу  $A$ ,  $u_A$  – невизначеність, зумовлена дисперсією результатів вимірювання й може бути оцінена статистичними методами;

б) стандартну невизначеність типу  $B$ ,  $u_B$  – невизначеність, зумовлена різноманітними впливовими факторами й може бути оцінена ймовірнісними

льнянок, Г. И. Бебешко // Теория и практика судебной экспертизы. — М., 2012. — № 1(25). — С. 50–62.

<sup>1</sup> Див.: Смирнова С. А. Указ. праця.

<sup>2</sup> Руководство ЕВРАХИМ/СИТАК «Количественное описание неопределенности в аналитических измерениях» / пер. с англ.; под ред. Л. А. Конопелько. — 2-е изд. — СПб.: ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, 2002. — 141 с.

методами;

— сумарну невизначеність – імовірнісну суму стандартних невизначеностей;

— розширену невизначеність – інтервал навколо результату вимірювання, у межах котрого ймовірно розташована більшість значень розподілу, які з достатнім обґрунтуванням можуть бути приписані вимірюваній величині.

2. За джерелом виникнення невизначеність може бути методичною, інструментальною й суб'єктивною.

Причинами та джерелами *методичної складової невизначеності* результатів випробовування (вимірювання) є:

— неточності визначення умов випробувального середовища;

— неточності відтворення умов випробовування;

— недосконале врахування впливу зовнішніх факторів, їх неадекватне оцінювання;

— недосконале визначення об'єкта випробовування (вимірювання), його властивостей, неповна ідентифікація вимірювальної величини;

— недосконала реалізація методики випробовування;

— будь-які припущення, нехтування, апроксимація;

— похибки характеристик засобів вимірювальної техніки (ЗВТ);

— взаємодія ЗВТ із об'єктом випробовування (вимірювання);

— неточності перевідних коефіцієнтів, констант тощо;

— неточні значення величин, що приписані робочим еталонам, стандартним зразкам;

— невідповідність фізичного об'єкта його математичній моделі (порогова невідповідність);

— невиключені систематичні похибки;

— похибки введених поправок<sup>1</sup>.

Причинами й джерелами *інструментальної складової невизначеності* результатів випробовування (вимірювання) є: основна похибка ЗВТ (похибка за нормальних умов експлуатації); додаткова похибка ЗВТ (унаслідок впливу зовнішніх факторів за межами нормальних значень); похибка, спричинена варіацією показів ЗВТ; похибка ЗВТ унаслідок тимчасової нестабільності.

Причинами та джерелами *суб'єктивної складової невизначеності* результатів випробовування (вимірювання) є: вплив оператора на ЗВТ і об'єкт випробовування (вимірювання); похибка зчитування даних зі шкали аналогового ЗВТ; похибка округлення отриманих значень величин; неточності реалізації процедур випробовування (вимірювання); порушення інструкції з експлуатації ЗВТ; помилки під час оброблення діаграм, таблиць, побудови графіків; помилки під час пересилання (перенесення) даних.

Оцінюють невизначеність як методів випробовування (вимірювання), так і конкретних результатів вимірювання. Оцінка невизначеності, яка ха-

<sup>1</sup> Теорія невизначеності передбачає усунення всіх факторів, які можуть зумовити систематичну похибку результату до початку вимірювання або, якщо фізично усунути впливові фактори неможливо, їх усувають математично, за допомогою поправок з обов'язковим урахуванням невизначеності введених поправок.

рактизує точність методу випробовування (вимірювання), називається апіорною, її визначають: під час розроблення методики випробовування (вимірювання) з метою регламентування встановленого значення невизначеності в усіх передбачених методикою умовах випробовування; за відсутності методики або встановленого значення невизначеності – перед випробовуванням (вимірюванням), для оцінювання найбільшої можливої невизначеності. Актуальним є завдання автоматизації процесу визначення оцінок невизначеності вимірювання<sup>1</sup>.

На підставі всієї наявної інформації про причини й джерела невизначеності обчислюють окремі невизначеності за типом В, сумарну стандартну невизначеність і розширену невизначеність. Основою апіорного оцінювання невизначеності є теорія ймовірності, яка дозволяє досліджувати й описувати закони розподілу випадкових величин.

Оцінка невизначеності для конкретних результатів вимірювання є апостеріорною, її визначають безпосередньо після випробовування (вимірювання) за конкретних умов за визначеною методикою із застосуванням конкретних ЗВТ<sup>2</sup>.

*Оцінювання невизначеності за типом А.*

1. Якщо кількість дослідів  $n < 10$ ,  $u_A$  не оцінюють. Для  $10 \leq n < 20$  – якщо закон розподілу ймовірностей невідомий, для оцінювання  $u_A$  приймають рівномірний закон. Якщо  $n \geq 20$ , закон розподілу ймовірностей визначають апроксимацією експериментальних даних.

2. Для прямого вимірювання результат визначають як середнє арифметичне отриманих значень, тоді невизначеність за типом А обчислюють за формулою

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}, \quad (1)$$

де  $x_i$  – отриманий результат вимірювання;  $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$  – середнє арифметичне

результатів вимірювання;  $n$  – кількість проведених вимірювань.

3. Для опосередкованого вимірювання результат визначають за оцінками декількох величин, тоді невизначеність за типом А обчислюють для кожної вихідної величини:

— якщо значення величини розподілені за рівномірним законом, за формулою

<sup>1</sup> Див.: Новиков В. В. Автоматизация процесса вычисления оценок неопределенности вычислений / В. В. Новиков, А. Н. Коцюба // Системы обработки информации. — Х., 2006. — Вып. 7(56). — С. 59–61.

<sup>2</sup> Апіорно оцінена невизначеність – найбільша за найгіршого збігу обставин випробовування, апостеріорна невизначеність результатів конкретного випробовування може бути на порядок меншою.

$$u_A = \frac{b}{\sqrt{3}}, \quad (2)$$

де  $b$  – півширина інтервалу, для несиметричного закону розподілу  $b = (b+) + (b-)/2$ ;

— якщо значення величини розподілені за нормальним законом, невизначеність обчислюють як середньоквадратичне відхилення за формулою

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}. \quad (3)$$

У разі коли дисперсія результатів урахована в невизначеності, то додатково похибку ЗВТ ураховувати непотрібно – вона відображена в дисперсії.

*Оцінювання невизначеності за типом В.*

1. Грунтуючись на рівнянні залежності вимірюваної величини від вихідних величин, складають переліки: вимірюваних вихідних величин; невимірюваних впливових вихідних величин; введених поправок на відомі систематичні похибки; коефіцієнтів і констант; додаткових похибок тощо.

2. Невизначеності усіх вихідних величин оцінюють інтервалами і перетворюють їх на середньоквадратичне відхилення, при цьому закон розподілу їх імовірностей, якщо він невідомий, приймають рівномірним. Формула перерахування інтервальної оцінки в середньоквадратичне відхилення така:

$$\sigma = b/t, \quad (4)$$

де  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення;  $b$  – півширина інтервалу;  $t$  – значення функції Лапласа для нормального закону розподілу ймовірностей (або аналог значення функції Лапласа для іншого закону).

*Окремі випадки оцінювання невизначеності.*

1. Невизначеність констант, коефіцієнтів і поправок для констант, коефіцієнтів, а також поправок інтервалами розсіювання є одиниця найменшого розряду їх числових значень. Тоді невизначеність обчислюють за формулою

$$u_B = \frac{q}{\sqrt{3}}, \quad (5)$$

де  $q$  – одиниця найменшого розряду числового значення.

2. Невизначеність зчитування показів з аналогової шкали приладу. Для оцінювання невизначеності зчитування показів з аналогової шкали приймають рівномірний закон розподілу:

$$u_B = \frac{\left(x + \frac{q}{4}\right) - \left(x - \frac{q}{4}\right)}{2\sqrt{3}} = \frac{q}{4\sqrt{3}}, \quad (6)$$

де  $x$  – виміряне значення величини;  $q$  – ціна поділки шкали приладу.

Якщо шкала нерівномірна, невизначеність оцінюють окремо для кожного діапазону, для якого визначена ціна поділки.

*Похибка округлення.* Невизначеність округлення залежить від кількості значущих цифр, які залишають.

*Сумарна стандартна невизначеність.* Якщо величини, що входять у рівняння, мають різні одиниці вимірювання, то безпосередньо підсумувати інтервальні оцінки невизначеності не можна, їх необхідно звести до безрозмірних величин – середньоквадратичних відхилень згідно з формулою (4), за однакових рівнів довіри  $P(\delta)$ .

Якщо закон розподілу невідомий, то при перерахунку інтервальної оцінки в середньоквадратичне відхилення приймають рівномірний закон, а при зворотному процесі – нормальний закон, тобто значення функції Лапласа  $t$  або його аналогу обирають таким, аби забезпечити «запас» невизначеності. Якщо закон розподілу відомий, то коефіцієнт для перерахунку приймають згідно з цим законом.

*Розширена невизначеність.* Її визначають за формулою

$$U = k \cdot u_C, \quad (7)$$

де  $k$  – коефіцієнт охоплення, який залежить від заданого рівня довіри  $P(\delta)$  і ефективного числа ступенів свободи. Порядок визначення ефективного числа ступенів свободи викладено в ДСТУ-Н РМГ 43-2006<sup>1</sup>, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement<sup>2</sup> та Настанові з оцінювання невизначеності вимірювання результатів кількісних випробувань<sup>3</sup>.

Для рівня довіри  $P(\delta) = 0,95$  за нормального закону розподілу ймовірностей коефіцієнт охоплення  $k = 1,96$ , за рівномірного закону розподілу –  $k = 1,65$ .

Отже, через оцінену невизначеність вирішуються питання достовірності результатів досліджень при оцінюванні придатності (валідації) судово-експертних методик.

## **ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОЦЕНИВАНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ВАЛИДАЦИИ СУДЕБНО-ЭКСПЕРТНЫХ МЕТОДИК**

*Хоша В. В.*

*Рассмотрены общие положения и принципы оценивания неопределенности результатов измерений при валидации (оценке пригодности) судебно-экспертных*

<sup>1</sup> Див.: Метрологія. Застосування «Настанови з оцінювання невизначеності у вимірюваннях»: ДСТУ-Н РМГ 43-2006. — [Чинний від 2007-01-01]. — К.: Держспоживстандарт України, 2006. — 28 с.

<sup>2</sup> Див.: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. — First edition. — Switzerland, 1993. — 101 p.

<sup>3</sup> Див.: Настанова з оцінювання невизначеності вимірювання результатів кількісних випробувань: технічний звіт EUROLAB № 1, 2006; пер. з англ. та наук.-техн. ред. А. В. Абрамова, А. М. Коцюби, В. М. Новікова. — К.: Євролаб-Україна, 2008. — 51 с.

*методик. Определены цели и способы валидации. Приведены основные источники и классификация неопределенности по способу оценивания (стандартные неопределенности типов А и В), источникам возникновения (методическая, инструментальная, субъективная составляющие) и др.*

*Ключевые слова: валидация, методика измерения, стандартная, суммарная и расширенная неопределенности, погрешность округления.*

**GENERAL PROVISIONS FOR ASSESSING MEASUREMENT  
RESULT INDETERMINACY FOR FORENSIC  
AND EXPERT METHOD VALIDATION**

***Khosha V. V.***

*Under SSTU ISO/IEC 17025:2006 requirements accredited forensic and expert laboratories are to assess the applicability of methods to be used in their work. The article deals with general provisions and principles of assessing measurement result indeterminacy for forensic and expert method validation (applicability assessment). The regulation requires validation of existing expert methods; already validated but later amended methods as to the area of their application, conditions of conducting, change in measurement tools, materials and reagents applied in them; new methods whose results will be used in forensic and expert activity. The article establishes aims (to identify applicability of methods in forensic and expert activity in accordance with international standard requirements; to ensure the unified assessment of criminalistically meaningful features in various forensic and expert institutions when solving generic expert tasks; to determine the characteristics (properties) of methods and metrological values used in a particular institution) and ways of validation. The article provides main sources of indeterminacy and its classification by means of assessment (type A and B standard uncertainties), by sources of origin (methodical, instrumental, subjective component), etc.*

*Keywords: validation, measurement methods, standard, total and extended indeterminacy, rounding error.*