



МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ВИМІРЮВАНЬ: РЕГЛАМЕНТАЦІЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ

Анотація. *Интересы обеспечения единства измерений требуют под час розробки методик виконання вимірювань, оцінювати невизначеності та призначати в методиках відповідні приписані характеристики. Проаналізовано низку чинників методичного, інструментального і суб'єктивного характеру, що спричиняють окремі невизначеності, та запропоновано деякі рекомендації щодо апріорного оцінювання приписаної невизначеності вимірювання.*

Ключові слова: *апріорне оцінювання, апостеріорне оцінювання, методика виконання вимірювань, регламентація невизначеностей вимірювання.*

Аннотация. *Интересы обеспечения единства измерений требуют при разработке методик выполнения измерений, оценивать неопределенности и назначать в методиках соответствующие предписанные характеристики. Проанализированы ряд факторов методического, инструментального и субъективного характера, которые вызывают отдельные неопределенности, и предложены некоторые рекомендации по априорного оценивания приписанной неопределенности измерения.*

Ключевые слова: *априорное оценивания, апостериорная оценки, методика выполнения измерений, регламентация неопределенностей измерения.*

Annotation. *The interests of ensuring the uniformity of measurements to require the development of measurement techniques, to assess the uncertainty in the methods and assign the appropriate prescribed characteristics. Analyzed a number of factors, methods, instrumental and subjective nature to cause some uncertainty, and suggests some guidelines for estimating a priori attributed to measurement uncertainty.*

Keywords: *priori estimation, posteriori estimates, measurement procedure, regulation of measurement uncertainty.*

Найвідповідальнішим завданням метрологічних служб транспортних підприємств, що випускають виробу промислового та наукового призначення або надають послуги (далі – продукція), можна вважати забезпечення отримання вірогідних результатів випробувань цієї продукції, зокрема визначення її технічних характеристик, за допомогою яких описують її якість.

Зазвичай для регламентації технічних характеристик застосовують фізичні величини. Єдиним способом одержання об'єктивних оцінок зазначених характеристик є вимірювання відповідних фізичних величин. Якість буде задовільною, якщо очікувана точність результату вимірювання була узгоджена з вихідними вимогами, сформульованими під час постановки метрологічного завдання (наприклад, з допустимими відхиленнями від номінального значення контрольованого параметра продукції, яка підлягає випробуванням). Отже, ще до проведення вимірювань експериментатору важливо знати, як буде відрізнитися результат вимірювання від істинного значення вимірюваної величини. Тому результат вимірювання має оцінити апріорі точність вимірювання за прогнозованих умов навколишнього середовища та інших впливових чинників.

Відповідно до Закону України “Про метрологію та метрологічну діяльність” [1] результат вимірювання повинен містити числове значення оцінки вимірюваної величини, характеристику точності

зазначеної оцінки (похибку чи невизначеність) та характеристику вірогідності отриманого результату вимірювання (тобто довірчу ймовірність чи рівень довіри відповідно, за яких розраховано числове значення похибки чи невизначеності).

У науково-технічній літературі чимало уваги приділяється апріорному розрахунку похибки вимірювання [2, 3]. Стосовно ж попереднього оцінювання невизначеності вимірювання (далі – НВ) зараз виникають певні проблеми, оскільки у вітчизняній науково-технічній літературі бракує необхідних для практичного застосування рекомендацій з цього питання. У нашій статті проведено аналіз найважливіших причин та джерел виникнення окремих складових НВ методичного, інструментального та суб'єктивного характеру, деяких інших факторів, що можуть спричинити відхилення отриманої оцінки фізичної величини від її істинного значення. Також розглядаються деякі пропозиції стосовно апріорного оцінювання НВ на підставі наявної попередньої інформації щодо структурних елементів вимірювання (метод вимірювання, засіб вимірювальної техніки тощо) і передбачуваних умов, за яких здійснюватимуться вимірювання.

Найзручнішим періодом для обчислення апріорної оцінки характеристики точності вимірювання (наприклад, НВ) є стадія розробки методики виконання вимірювань (далі – МВВ). Під час виконання технічних вимірювань МВВ набуває особливого зна-



чення. Це чи не єдина можливість надати фахівцям інструмент для вираження точності результатів вимірювання, оскільки в даному випадку точність під час вимірювань не оцінюють, а її характеристику результату (наприклад, невизначеність) “призначають” за регламентованою в МВВ приписаною характеристикою (невизначеністю) чи межами допустимої відносної характеристики (невизначеності) [4]. На цій підставі можна вважати, що наявність МВВ під час технічних вимірювань є обов’язковою.

Інша ситуація виникає під час лабораторних, дослідницьких вимірювань. Найчастіше у цих випадках фахівці не мають у своєму розпорядженні МВВ. Тому на практиці зазвичай доводиться, по-перше, розраховувати максимально можливе значення апріорної оцінки характеристики точності вимірювання шляхом аналізу наявної попередньої інформації щодо нього та, по-друге, здійснювати апостеріорне оцінювання точності (фактичної точності за реальних умов вимірювання) результату вимірювання шляхом оброблення отриманих експериментальних даних. Виконання зазначених робіт вимагає спеціальної підготовки та високої метрологічної кваліфікації виконавців. Тому оптимальним варіантом у цьому випадку можна вважати, як і під час технічних вимірювань, наявність МВВ.

Апріорне оцінювання невизначеності має певні відмінності від апостеріорного. До найсуттєвіших із них належать:

- для апріорного оцінювання використовують всі можливі (відомі) причини та джерела виникнення невизначеності, тоді як під час апостеріорного оцінювання до уваги беруть лише ті чинники, які мають місце на час вимірювання;
- для розрахунку оцінки апріорі беруть максимально можливі значення впливових на результат вимірювання факторів, а оцінку апостеріорі обчислюють на підставі їх фактичних значень;
- апріорну оцінку обчислюють для “найширших” умов навколишнього середовища, а апостеріорну – для реальних умов виконання вимірювання;
- під час апріорного оцінювання, на відміну від оцінювання апостеріорі, немає потреби складати рівняння, що відображає залежність оцінки вихідної (вимірюваної) величини від оцінок вхідних величин;
- на відміну від апостеріорного оцінювання апріорну оцінку розраховують за типом В.

МВВ доцільно розробляти принаймні з таких причин:

- регламентовані характеристики точності вимірювань (наприклад, приписана невизначеність) дають можливість вибирати МВВ, яка відповідає за точністю вихідним вимогам стосовно вимірювального експерименту;
- МВВ включає алгоритм оцінювання точності та рекомендації щодо форм подання результату вимірювання, що конче необхідно виконавцям робіт з вимірювань (технологам, конструкторам, персоналу випробувальних лабораторій тощо).

Зазначена вище апріорна оцінка є критерієм вибору за точністю атестованої МВВ або, у разі її відсутності, вибраного метода вимірювання [5]. За аналогією з положеннями щодо похибок вимірювання, регламентованих в стандарті [6], у МВВ належить включати вимоги стосовно НВ (тобто якісної

характеристики МВВ) з урахуванням вимог стандарту [7] щодо номенклатури характеристик невизначеності. В типових МВВ доцільно вказувати числове значення (зазвичай дещо завишене проти фактичного) однієї з таких характеристик:

- межі допустимої відносної НВ;
- приписана характеристика НВ.

У разі розробки конкретних робочих методик (вимірювальних процедур) можуть застосовуватись і інші форми вираження вимог щодо приписаних характеристик невизначеності згідно з конкретними вихідними даними, наприклад, викладеними в технічному завданні на розробку МВВ.

Деякі рекомендації щодо застосування у зазначених випадках приписаних характеристик невизначеності розглянуто в [5] та наведено в **табл. 1**.

Розрахункове оцінювання приписаних характеристик невизначеності (за узгодженою номенклатурою) включає низку робіт (операцій), які виконуються в певній послідовності. Рекомендований перелік (послідовність і зміст) цих робіт наведено в **табл. 2**.

Оцінювання невизначеності починають зі складання переліку метрологічних завдань. Це дає змогу провести всі необхідні роботи з оцінювання і водночас не виконувати інших непотрібних операцій.

Метод вимірювань вибирають за такими критеріями:

- придатність метода (передусім за точністю) для виконання конкретного завдання контролю технічної характеристики зразка продукції чи вимірювання ФВ;
- забезпеченість метода легітимними засобами вимірювальної техніки (далі – ЗВТ);
- простота реалізації метода, висока продуктивність праці під час вимірювання. Перевагу надають прямим вимірюванням (наприклад, з безпосереднім оцінюванням), автоматизованим методам.

На підставі типової структури похибки вибраного метода вимірювань необхідно розробити деталізовану структурну схему похибки з урахуванням заданих умов вимірювань, характерних для метода методичних складових похибки, прогнозованих інструментальних і суб’єктивних складових похибки. На підставі зазначеної структурної схеми складають переліки абсолютних похибок методичного, інструментального та суб’єктивного походження. При цьому доцільно застосовувати напрацьовані методи, викладені, наприклад, у документах [8, 9]. Під час апріорного оцінювання похибок можна також використати деякі рекомендації, викладені в [10]. Всі похибки виражають в інтервальній формі.

Найвідповідальнішим завданням є складання рівняння, що відображає зв’язок вихідної (вимірюваної) величини з вхідними величинами (надалі – формула). За основу беруть рівняння вимірювання, притаманне вибраному методу. Крім вимірюваних прямими методами фізичних величин у формулу доцільно включати лише відомі коефіцієнти, сталі, стандартні довідкові дані.

Щоб не “обтяжувати” формулу, на думку авторів, в неї не варто вводити величини, що визначаються гіпотетично. Звісно ж у формулі не буде і поправок на відомі систематичні похибки ЗВТ. Стосовно ж рівняння, що пов’язує оцінку вихідної



Таблиця 1

Пропоновані форми вираження характеристик невизначеності вимірювання для регламентації у МВВ

Встановлені допустимі відхилення контрольованого параметра зразка продукції чи вимоги щодо точності його вимірювання	Пропоновані форми вираження у МВВ характеристик невизначеності вимірювання	Примітки
Номінальне значення параметра A ; допустимі відхилення $\pm \Delta A$ (в одиницях вимірювання)	1. Межі допустимої розширеної невизначеності $\pm \Delta U$ (в одиницях ФВ) * 2. Межі розширеної невизначеності $\pm \Delta U^*$ (в одиницях ФВ)	Регламентована вимога Приписана характеристика
Номінальне значення параметра A ; допустимі відхилення $\pm \Delta A$ (в %)	1. Межі допустимої відносної розширеної невизначеності $\pm \delta U^*$ (в %) 2. Межі відносної розширеної невизначеності $\pm \delta U^*$ (в %)	Регламентована вимога Приписана характеристика
Похибка вимірювання параметра A не повинна перевищувати $\pm N\%$ від вимірюваної величини	Межі допустимої відносної розширеної невизначеності $\pm \delta U^{**}$ (в %)	Приписана характеристика
Невизначеність вимірювання параметра A не повинна перевищувати $\pm N\%$ від вимірюваної величини	Межі допустимої відносної розширеної невизначеності $\pm \delta U^{**}$ (в %)	Приписана характеристика
Середнє квадратичне відхилення похибки вимірювання $s_{дон}$ параметра A не повинно бути більшим за N одиниць ФВ	Найбільше можливе значення сумарної стандартної невизначеності $u_{с max} = N^{**}$ (в одиницях ФВ)	Приписана характеристика
Стандартна невизначеність вимірювання $u_{дон}$ параметра A не повинна бути більшою за N одиниць ФВ	Найбільше можливе значення сумарної стандартної невизначеності $u_{с max} = N^{**}$ (в одиницях ФВ)	Приписана характеристика

* Під час технічних вимірювань доцільно застосовувати МВВ принаймні з триразовим запасом за точністю.

** Доцільно застосовувати МВВ з регламентованою характеристикою НВ, числове значення якої дорівнює (або менше) числового значення похибки чи НВ параметра контрольованого зразка продукції

Таблиця 2

Перелік робіт з оцінювання приписаних характеристик НВ

№	Зміст робіт	Примітки
1	Постановка метрологічних завдань щодо розроблення МВВ	За вихідними вимогами (щодо вимірювання)
2	Визначення діапазону вимірювання фізичної величини	Те ж саме
3	Ознайомлення з вимогами щодо вираження характеристик невизначеності результату вимірювання	- " -
4	Вибір форми вираження приписаної характеристики НВ	За аналогією з ГОСТ 8.010
5	Ознайомлення з умовами виконання вимірювання	За вихідними вимогами
6	Вибір метода вимірювання, синтез рівняння вимірювання	Те ж саме
7	Розроблення структурної схеми похибки вимірювання	Оцінювання похибок
8	Формування переліків окремих похибок вимірювання (методичних, інструментальних, суб'єктивних)	Те ж саме
9	Вибір засобу (ів) вимірювальної техніки	На підставі розрахунків інструментальної складової похибки вимірювання
10	Ідентифікація окремих невизначеностей вимірювання	Відповідно до ДСТУ-Н РМГ 43
11	Розрахунок окремих стандартних невизначеностей (оцінювання за типом В)	Те ж саме
12	Оцінювання сумарної стандартної невизначеності	- " -
13	Вираження приписаної характеристики невизначеності вимірювання за узгодженою формою	За аналогією з ГОСТ 8.010
14	Розроблення і атестація МВВ	Згідно з ГОСТ 8.010



величини з оцінками вхідних величин, то його під час апріорного оцінювання невизначеності взагалі не складають.

Ідентифікацію складових невизначеності вимірювання провадять на підставі всіх величин, що увійшли в рівняння та в переліки окремих похибок вимірювання, а також тих впливових на результат вимірювання величин, які не включено у формулу. “Внесок” кожної з цих величин в невизначеність результату вимірювання оцінюють у вигляді симетричних інтервалів з наступним перетворенням їх в стандартні невизначеності за типом В. Сумарну стандартну невизначеність розраховують окремо для величин, що увійшли у формулу (з використанням відповідних коефіцієнтів впливу), і для величин, які не введені у формулу (без застосування коефіцієнтів впливу). “Загальну” сумарну стандартну невизначеність результату вимірювання обчислюють як її ймовірнісну суму (також без застосування коефіцієнтів впливу). За оцінкою вказаної “загальної” невизначеності обчислюють розширену невизначеність (оцінку у формі інтервалу) вимірювання з використанням коефіцієнтів нормованої функції Лапласа. Закони розподілу ймовірностей для окремих невизначеностей вибирають на основі обґрунтованих гіпотез чи виходячи з необхідності одержання гарантованої “оцінки зверху”, а для сумарних невизначеностей – керуючись центральною граничною теоремою теорії ймовірностей. Найчастіше під час розрахунку стандартних невизначеностей за типом В вибирають рівномірний закон розподілу ймовірностей, а розширеної невизначеності – нормальний закон. Всі розрахунки проводять згідно з рекомендаціями [11].

Варто звернути увагу розробників МВВ на деякі наведені далі загальні положення та застереження.

Всі окремі невизначеності вважають незалежними (некорельованими) випадковими величинами. Проте в тексті МВВ потрібно звернути увагу користувачів методики, що під час експериментального її застосування варто провести аналіз (а за необхідності й експериментальне дослідження) щодо наявності між окремими невизначеностями кореляційних зв'язків.

Суму декількох випадкових величин доцільно визначати за рівня довіри $P=0,95$ (для МВВ технічних вимірювань) чи $P=0,99$ (для МВВ лабораторних вимірювань).

Під час розроблення конкретних робочих МВВ не є винятком випадки, коли для звуження інтервалу розширеної невизначеності виникає необхідність коректніше оцінити її інструментальну складову. Тоді доведеться провести експериментальне дослідження ЗВТ з метою оцінювання середнього квадратичного відхилення його похибки та обчислити стандартну невизначеність за типом А.

Щоб запобігти необґрунтовано розширеному інтервалу приписаної невизначеності, доцільно переобчислити похибку застосованого ЗВТ, тобто «призначити» нову верхню межу діапазону її вимірювання, яка дорівнюватиме верхній межі діапазону вимірювання згідно з МВВ, а потім розрахувати нове значення γ^* зведеної похибки ЗВТ:

$$\gamma^* = \frac{\gamma_{ЗВТ} \cdot X_{ЗВТ}}{X_{МВВ}}$$

де: $X_{ЗВТ}$, $X_{МВВ}$ – верхня межа діапазону вимірювання ЗВТ і за МВВ відповідно.

Якщо для передбаченого методикою вимірювань ЗВТ в експлуатаційній документації регламентовані додаткові похибки, то їхні числові значення за необхідності переобчислюють відповідно до умов навколишнього середовища (ξ – їхнє граничне значення), що визначені методикою:

$$\Delta_{доd}^* = \frac{\Delta_{доd}(\xi - \xi_0)}{\Delta\xi},$$

де: $\Delta_{доd}^*$ – нове значення додаткової похибки;
 $\Delta_{доd}$ – додаткова похибка для частини діапазону $\Delta\xi$ впливового фактора;

ξ – граничне значення робочого діапазону змінення впливового фактора;

ξ_0 – значення впливового фактора для нормальних умов вимірювання.

Висновки

Розраховані характеристики сумарної стандартної невизначеності та (або) розширеної невизначеності використовують для регламентації в МВВ, форми подання їх вибирають згідно з викладеними в табл. 1 рекомендаціями.

Поданий вище матеріал, на нашу думку, можна використати як методику для апріорного оцінювання невизначеності вимірювання, зокрема – для оцінювання приписаної невизначеності вимірювання і регламентації її у МВВ.

Можливо викладені пропозиції доцільно використати як основу для розробки відповідних нормативних документів або методичних матеріалів.

Впровадження апріорного оцінювання невизначеності вимірювання в метрологічну практику сприятиме забезпеченню єдності та простежуваності вимірювань, організації на новій методичній основі вимірювального експерименту, забезпеченню контролю відповідності отриманих результатів вимірювання фізичної величини тим вимогам, які були встановлені під час планування вимірювального експерименту, загальному підвищенню якості вимірювань у виробничій та науковій сферах на транспорті.

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України “Про внесення змін до Закону України “Про метрологію та метрологічну діяльність” від 15 червня 2004 р. № 1765-IV.
2. С.Г. Рабинович. Погрешности измерений. – Л.: Энергия, 1978.
3. Проненко В.И., Якирин Р.В. Метрология в промышленности. – К.: Техніка, 1979.
4. Земельман М.А. Метрологические основы технических измерений. – М.: Издательство стандартов, 1991.
5. Чубатенко В.Я. Приписанная неопределённость измерений как характеристика качества методики выполнения измерений // Збірник “Системи обробки інформації” наукових праць НТК “Невизначеність вимірювань: наукові, нормативні та прикладні аспекти”. Вип. 7 (56). – Харків, 2006. – С. 89-91.
6. ГОСТ 8.010-99. ГСИ. Методики выполнения измерений. Основные положения.
7. ДСТУ-Н РМГ 43:2006. Настанова. Метрологія. Застосування “Руководства по выражению неопределённости измерений” (РМГ 43- 2001, IDT).
8. МИ 2091-90. ГСИ. Измерения физических величин. Общие требования
9. МИ 1967-89. ГСИ. Выбор методов и средств измерений при разработке методик выполнения измерений. Общие положения.
10. МИ 2083-90. ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.
11. Керівництво з вираження невизначеності у вимірюваннях. – Харків, Харківський науково-дослідний інститут метрології, 2000.