

УДК 621.3.083

В.Я. Чубатенко¹, О.П. Чудесов², Л.О. Шредер³¹ДП «УкрНДНЦ», Київ²ДП «ДержавтотрансНДІпроект», Київ³ДП «Укрметртестстандарт», Київ

АПРІОРНЕ ОЦІНЮВАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ ВІС ТА АСК ТП

Тестуються виробництва для відповідності, виконані виміри його характеристик. Основний критерій, яким потрібно керуватися при виборі апріорного для цих методів виміру – відносна помилка або відносна невизначеність вимірів. Розглядаються питання апріорної оцінки невизначеності вимірів. Для оцінки невизначеності вимірів, розпізнаної через мірний канал (МК), що вимірює інформаційні системи та автоматичні системи технологічного керування процесів виробництва, розроблена функціональна залежність кількості продукції як вхідної величини. Номінальна статистична характеристика перетворення МК – компонент цієї залежності.

апріорне оцінювання, невизначеність, інструментальна складова

Відповідно до регламентованих в стандартах [1, 2] положень системи управління якістю включають процеси (підсистеми) випробувань продукції, заснованих на вимірюваннях її якісних характеристик. В сучасних технологіях виробники продукції віддають перевагу автоматичним, автоматизованим методам вимірювального контролю технічних характеристик вироблюваних об'єктів. В автоматизованих виробництвах для реалізації автоматичних (автоматизованих) технологічних вимірювальних операцій застосовуються, як правило, вузькоспеціалізовані засоби вимірювальної техніки (ЗВТ), здебільшого вимірювальні канали (ВК) – як окремі техніч-

ні засоби, так і ті, що входять до складу вимірювальних інформаційних систем (ВІС) чи автоматизованих систем керування технологічними процесами виробництва (АСК ТП). ВК мають також широке застосування і під час кінцевого контролю якості продукції та випробувань продукції на відповідність.

Форми подання та способи використання результатів вимірювань, одержаних за допомогою ВК, мають бути узгоджені з сучасними вимогами щодо їхньої точності та вірогідності, які регламентовано статтею 10 Закону України “Про метрологію та метрологічну діяльність” [3] і впливають з рекоменда-

цій міжнародної настанови [4] та вітчизняного нормативного документа [5]. Форми ці відомі: невизначеність вимірювання (результату вимірювання) як характеристика точності та рівень довіри до отриманого результату вимірювання як характеристика його вірогідності. Вони широко пропагуються в рамках загальнодержавної кампанії стосовно впровадження на підприємствах і в організаціях країни систем управління якістю (за стандартом [2]) і акредитації випробувальних лабораторій (згідно із законом України [6] та державним стандартом [5]).

Впровадження зазначеної нової системи оцінювання точності вимірювання в галузі застосування ВК та автоматизації виробництва провадиться, на жаль, незадовільними темпами. На сьогодні в Україні відчувається дефіцит напрацювань методичного плану і практичних рекомендацій з питань оцінювання невизначеності вимірювань, реалізованих за допомогою ВК, і насамперед – з питань розрахунку її інструментальної складової, яка зазвичай є найсуттєвішою серед інших складових невизначеності. Як наслідок, немає і відповідних нормативних документів з порушених питань. Зрозумілою причиною цього, по-перше, є те, що ВК як об'єкт метрологічного забезпечення суттєво відрізняється за побудовою та умовами експлуатації від локальних ЗВТ [7]. А по-друге, на нашу думку, незадовільний стан метрологічного забезпечення застосування ВК є наслідком того, що сьогодні ще мало уваги приділяється в спеціалізованих наукових організаціях питанням розвитку метрології ВК з позицій сучасних вимог щодо оцінювання їхньої точності.

В цій доповіді поставлено за мету розглянути деякі питання обчислення апріорної оцінки інструментальної складової невизначеності вимірювальної функції ВК та запропонувати стосовно цього деякі практичні рекомендації. Апріорне оцінювання характеристик точності вимірювання є вузловим питанням в забезпеченні єдності вимірювань, реалізованих ВК. На підставі апріорної оцінки інструментальної складової невизначеності розраховують приписану невизначеність або межі допустимої відносної невизначеності під час розробки методики виконання вимірювань (МВВ). Зазначені характеристики є критерієм, яким керуються під час вибору МВВ за точністю [8] – залежно від потрібної точності вимірювання технологічного параметра та показників стану виробничого обладнання чи від вихідних вимог стосовно допустимих відхилень від номінального значення контрольованої технічної характеристики продукції. При цьому ми будемо дотримуватись певних застережень та вихідних обмежень, а саме:

оцінка інструментальної складової невизначеності вимірювання цілком і повністю ґрунтується на оцінках метрологічних властивостей та інших технічних характеристик ВК;

розглядаються лінійні (лінеаризовані) ВК послідовної структури (один вхід – один вихід), без перехресних зв'язків;

окремі складові невизначеності розглядаються як статистично незалежні (некорельовані) величини; коректність оцінювання інструментальної складової вирішальною мірою залежить від того, наскільки точно сформовано номінальну статичну характеристику перетворення (НСХП) ВК.

Варто сказати також, що в деяких випадках доцільно паралельно обчислювати дві оцінки інструментальної складової невизначеності вимірювальної функції: для нормальних умов експлуатації ВК та для “широких” робочих умов експлуатації.

Перша характеристика використовується як довідкова – для порівняння точності вимірювання кількох ВК аналогічного призначення, друга – для оцінювання характеристик точності вимірювання в конкретних умовах на реальному технологічному об'єкті.

Є дві принципово відмінні одна від одної ситуації апріорного оцінювання інструментальної складової невизначеності для ВК: перша – під час розробки типової МВВ, а друга – під час розробки конкретної, вузькоспеціалізованої (так званої робочої) МВВ.

В типовій методиці зазвичай вказуються загальні характеристики навколишнього середовища на технологічному об'єкті та загальні вимоги щодо метрологічних властивостей ВК без конкретизації структурної схеми ВК і передбачуваних умов експлуатації його окремих компонентів. Апріорна оцінка інструментальної складової невизначеності в цьому випадку є завищеною, що тягне за собою завищену оцінку приписаної невизначеності МВВ. Інша справа – робоча МВВ, яку розробляють під реальний технологічний об'єкт з конкретними кліматичними умовами. Така методика повинна включати структуру ВК, перелік його компонентів з конкретними МХ та опис умов експлуатації кожного компонента.

Розглянемо найтипівішу в метрологічному забезпеченні застосування ВК ситуацію – розробку робочої МВВ.

Вихідні дані, які необхідно мати для розрахування інструментальної складової невизначеності у цьому випадку, наведені в табл. 1.

Для апріорного оцінювання невизначеності слід використовувати дані із експлуатаційної документації технічних засобів ВК. У випадку відсутності деяких даних доводиться користуватися їх завищеною гіпотетичною оцінкою або – в крайньому разі – емпіричною оцінкою, яку одержують шляхом випробування конкретного компонента ВК. Другий варіант хоча і точніший, проте небажаний у випадку розробки МВВ.

Таблиця 1
Перелік вихідних даних для розрахування
інструментальної невизначеності

№	Назва вихідних даних	Примітка
1.	Технічні характеристики відомого технологічного об'єкта керування та відомого технологічного обладнання	Номинальні значення та допустимі відхилення від номінальних значень
2.	Відома структурна схема ВК	Наприклад, послідовна структурна схема ВК
3.	Вид (тип) первинного вимірювального перетворювача (ПВП), спосіб його з'єднання з об'єктом вимірювання	Забезпечення взаємодії ПВП з процесом чи матеріальним об'єктом
4.	Динамічні характеристики ПВП	За стандартизованими формами
5.	Вид вхідного сигналу ВК, його характеристики	Аналоговий, дискретний
6.	Типи мір, компараторів та вимірювальний перетворювачів (масштабних, функціональних аналогових і числових), їхні технічні дані, статичні метрологічні характеристики (МХ) та динамічні характеристики	Виразення характеристик за стандартизованими формами
7.	Відомі НСХП проміжних вимірювальних перетворювачів ВК	Формула або таблиця
8.	Тип вихідного індикаторного пристрою, його метрологічні властивості	МХ за стандартизованими формами
9.	Вид вихідного сигналу ВК, його характеристики	Аналоговий, дискретний
10.	Види ліній зв'язку між компонентами ВК, їхні технічні характеристики	Номинальні значення характеристик, допустимі відхилення
11.	Місця розташування окремих компонентів ВК у виробничих приміщеннях підприємства, організації	Назва та позначення приміщень (цех, кімната тощо)
12.	Відомі характеристики навколишнього середовища і умов експлуатації кожного з компонентів ВК	Границі (діапазон) значень для кожного з впливових факторів
13.	Відомі точносні характеристики (ТХ) обчислювальних комплексів та засобів автоматизації, що входять до складу ВК	Виразення характеристик за стандартизованими формами
14.	Інші технічні засоби ВК, які можуть справити вплив на точність реалізації його вимірювальної функції, їхні технічні характеристики	Номинальні значення характеристик, допустимі відхилення

Під час розрахункового оцінювання інструментальної складової невизначеності належить вирішити низку певних метрологічних завдань, зокрема таких:

- вибір комплексу МХ ВК з числа регламентованих стандартом [9] характеристик;
- вираження (у вигляді формули) НСХП для ВК в цілому на підставі НСХП окремих його компонентів [10];

- зведення верхньої межі діапазону вимірювання (діапазону перетворення інформативного параметра сигналу вимірювальної інформації) кожного компонента до верхньої межі діапазону вимірювання ВК;

- розрахування числових значень відповідних МХ для кожного компонента ВК з урахуванням нових границь його діапазону перетворення сигналу вимірювальної інформації та конкретних умов його експлуатації;

- проведення ідентифікації окремих складових інструментальної невизначеності вимірювальної функції ВК на підставі розрахованих оцінок метрологічних властивостей ВК;

- обчислення окремих складових інструментальної невизначеності, які спричинені різного роду похибками ВК (похибки через дискретизацію в часі, похибки через квантування за рівнем, похибки через перешкоди тощо);

- перетворення окремих похибок ВК в окремі невизначеності інструментального походження;

- вираження функціональної залежності вихідної (вимірюваної за допомогою ВК) величини від вхідних величин;

- обчислення значення "повної" інструментальної складової невизначеності вимірювальної функції ВК.

Вважається за доцільне вирішення метрологічних завдань під час обчислення інструментальної невизначеності виконувати в зазначеному далі порядку.

Вибір комплексу МХ ВК. Номенклатуру МХ визначають на підставі аналізу структурної схеми ВК, беручи до уваги: наявність (відсутність) ПВП, вид вхідного сигналу; наявність (відсутність) вихідного індикаторного пристрою, вид вихідного сигналу; режим функціонування ВК (статичний, динамічний); наявність (відсутність) варіації вихідного сигналу, показів вихідного індикаторного пристрою.

Виразення НСХП ВК. НСХП ВК формують на основі НСХП окремих компонентів ВК, починаючи з кінцевого компонента каналу, при цьому для кожного компонента позначення вхідного сигналу замінюють значенням (формулою) вихідного сигналу попереднього компонента.

Обчислення числових значень МХ компонентів ВК. Для кожного компонента ВК розраховують значення "повної" похибки на підставі наведених в його експлуатаційній документації окремих похибок (основна, додаткові, варіація тощо). Значення додаткових похибок попередньо необхідно відкорегувати – розрахувати нові значення (шляхом лінійної інтерполяції) відповідно до конкретних умов експлуатації компонента на реальному технологічному об'єкті (верхньої межі значень конкретного впливового фактора), наприклад:

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

де $\Delta_{\text{дод}}^*$ – нове значення додаткової похибки; $\Delta_{\text{дод}}$ – 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 експлуатації компонента.

Значення “повної” похибки обчислюють як ймовірнісну суму окремих похибок і виражають у вигляді зведеної похибки $\gamma_{\text{комп}}$ до верхньої межі діапазону вимірювання (перетворення) компонента.

Зведення верхньої межі діапазону вимірювання (діапазону перетворення сигналу) компонентів до верхньої межі діапазону вимірювання ВК. В разі необхідності для компонента ВК призначають нову верхню межу діапазону вимірювання (перетворення сигналу), яка дорівнює верхній межі діапазону вимірювання ВК, а потім розраховують нове значення γ^* його зведеної похибки, наприклад:

$$\gamma^* = \frac{\gamma_{\text{комп}} X_{\text{комп}}}{X_{\text{ВК}}},$$

де $X_{\text{комп}}$, $X_{\text{ВК}}$ – верхня межа діапазону вимірювання компонента і ВК відповідно.

Аналіз інших метрологічних властивостей ВК. На підставі аналізу характеристик технологічного обладнання, засобів обчислювальної техніки, засобів автоматизації, що входять до складу ВК, тощо визначають фактори, що можуть вплинути на точність реалізації вимірювальної функції, розраховують відповідні їм похибки та виражають у вигляді зведених (до верхньої межі діапазону вимірювання ВК) похибок.

Виразення функціональної залежності вихідної величини від вхідних величин здійснюють на підставі НСХП ВК та властивого для застосованого метода вимірювання рівняння вимірювання. Після підстановки замість вхідних величин їхніх оцінок записують функціональну залежність оцінки вихідної величини від оцінок вхідних величин.

Ідентифікація окремих складових інструментальної невизначеності вимірювальної функції. Всі оцінені окремі складові інструментальної похибки ВК розглядають як фактори, що спричиняють невизначеності інструментального походження і складають повний перелік окремих невизначеностей.

Оцінювання інструментальних невизначеностей. Кожну окрему інструментальну похибку, виражену в інтервальной формі, перетворюють, згідно з державним стандартом [11], в стандартну

невизначеність за типом В, а потім розраховують і сумарну інструментальну невизначеність вимірювальної функції ВК та АСК ТП.

Висновки

Запропонований порядок обчислення невизначеності інструментальної складової вимірювальної функції, що реалізується за допомогою ВК, після апробації під час розробки і застосування МВВ на автоматизованих виробництвах та отримання позитивних результатів, на думку авторів, можна використати для розробки відповідних нормативних та методичних документів.

Список літератури

1. ДСТУ ISO 9000-2001 Системи управління кістю. Основні положення та словник.
2. ДСТУ ISO 9001-2001 Система управління якістю. Загальні вимоги.
3. Закон України "Про внесення змін до Закону України "Про метрологію та метрологічну діяльність" від 15 червня 2004 р. № 1765-IV.
4. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First edition. – ISO, Switzerland, 1993.
5. ДСТУ ISO/ IEC 17025-2005 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.
6. Закон України "Про акредитацію органів з оцінки відповідності" від 17 травня 2001 р. №2407-III.
7. Чубатенко В.Я. Особливості оцінювання невизначеності вимірювань, реалізованих вимірювальними каналами // Збірник наукових праць IV міжн. НТК "Метрологія та вимірювальна техніка" у 2-х т., Т.1. – Х.: ННЦ "Інститут метрології", 2004. – С. 88-90.
8. Чубатенко В.Я. Приписанная неопределённость измерений как характеристика качества методики выполнения измерений // Системи обробки інформації. НТК "Невизначеність вимірювань: наукові, нормативні та прикладні аспекти". – Х.: ХУ ПС. – 2006. – Вип. 7 (56). – С. 89-91.
9. ГОСТ 8.009-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
10. Чубатенко В.Я. К вопросу об априорном оценивании неопределённости измерений, реализуемых измерительным каналом // Системи обробки інформації. НТК "Невизначеність вимірювань: наукові, нормативні та прикладні аспекти". – Х.: ХУ ПС, 2006. – Вип. 7 (56). – С. 86-89.
11. ДСТУ-Н РМГ 43:2006 Настанова. Метрологія. Застосування "Руководства по выражению неопределённости измерений" (РМГ 43-2001, IDT).

Надійшла до редколегії 11.05.2007

Рецензент: д-р техн. наук, доц. І.П. Захаров, Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків.