

# МЕТОД ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ СТВОРЕННЯ ЕТАЛОНІВ ОДИНИЦЬ ВИМІРЮВАННЯ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНИХ РЕСУРСІВ

**С. Чалий**, доктор технічних наук, професор, ХНУРЕ, м. Харків,

**В. Чалий**, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник акустичної лабораторії,

**Т. Ільницька**, науковий співробітник, ДП «НДІ «Система», м. Львів

МЕТОД И ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ЭТАЛОНОВ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСОВ

С. Чалый, доктор технических наук, профессор, ХНУРЕ, г. Харьков,

В. Чалый, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник акустической лаборатории,

Т. Ильницкая, научный сотрудник, ГП «НИИ «Система», г. Львов

THE METHOD AND INFORMATION TECHNOLOGY FOR CREATION OF STANDARDS OF MEASUREMENT UNITS WHEN THE RESOURCES ARE LIMITED

S. Chalyy, Doctor of Technical Sciences, Professor HNURE, Kharkiv,

V. Chalyy, Candidate of Technical Sciences, Senior Scientist, Acoustic laboratory Head,

T. Ilnitska, Scientist DP «NDI «Systema», Lviv

У статті запропоновано адаптивний метод побудови еталонів, спрямований на досягнення максимальної точності відтворення, збереження та передавання одиниць вимірюваних величин в умовах обмежених ресурсів. На основі адаптивного методу розроблено інформаційну технологію створення еталонів одиниць вимірювання.

Технологія передбачає досягнення заданих характеристик точності з урахуванням доступних ресурсів.

## ВСТУП

Обсяги робіт, пов'язані з вимірюваннями, які відіграють визначальну роль у забезпеченні якості товарів та послуг у промисловості, соціальній сфері, торгівлі та, в кінцевому результаті, визначають якість життя у сучасному постіндустріальному суспільстві, безперервно зростають. У передових розвинених країнах це складає значну частку ВВП.

Вимірювання поширюються на нові «нетрадиційні» галузі. Якщо на момент підписання Метричної Конвенції (1875 рік) метрологія поширювалася лише на масу і довжину, а ще донедавна так звана «класична метрологія» розглядала лише вимірю-



С. Чалий



В. Чалий



Т. Ільницька

вання фізичних величин, то на 21-й Генеральній конференції з мір та вагів (1999 рік) було зазначено, що метрологія поширюється майже на усі галузі науки і техніки, враховуючи хімію, біологію, медицину [1, 2].

На сьогодні у зв'язку із глобалізацією національних економік, розширенням міжнародної співпраці та усуненням технічних бар'єрів у торгівлі перед світовою спільнотою метрологів постало завдання створення глобальної системи забезпечення єдності вимірювань, результати яких простежувалися би до національних еталонів одиниць SI і далі до опорних значень ключових звірень BIPM (Міжнародне бюро з мір та вагів), що є своєрідними віртуальними міжнародними еталонами одиниць вимірювання, та визначалися б у всьому світі [3].

Ключова роль у цьому належить національним еталонам одиниць вимірювання, які є науково-технічною основою забезпечення єдності та належної точності вимірювання у державі, а їх калібрувальні та вимірювальні можливості (CMCS-дані) публікуються у додатку С до Угоди MRA (Угода про взаємне визнання національних еталонів сертифікатів калібрування та вимірювання, що видаються національними метрологічними інститутами) [3].

Проблема створення сучасної еталонної бази є особливо актуальною для України, яка вступила у СОТ і поступово входить до європейського та світового економічного простору. Після одержання Україною самостійності всі основні еталони разом із конструкторською та методичною документацією залишилися в Росії. За цей час, у зв'язку з поширенням метрології на інші галузі, виникли також нові завдання. На травень 2008 року до складу національної еталонної бази України входило 57 державних еталонів, коли у розвинених країнах кількість національних еталонів лежить у межах від 120 до 150 одиниць.

#### ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Враховуючи надзвичайну важливість еталонної бази для національної економіки, Урядом України затверджено Державну програму розвитку еталонної бази на 2006—2010 роки. Державна програма фінансується з державного бюджету в обмежених обсягах. Тому перед розробниками стоїть непросте завдання пошуку таких методів побудови еталонів одиниць вимірювання, які дали б можливість в умовах обмежених ресурсів за мінімальних витрат створювати еталони міжнародного науково-технічного рівня відповідно до актуальних та перспективних потреб національної економіки.

На сьогодні еталони одиниць вимірювання розробляють відповідно до чинних нормативних документів [4], аналогічно до розроблення інших приладів, машин і механізмів. Специфічні особливості еталона як засобу вимірювання, що має вигляд вимірювально-інформаційної системи, яка повинна забезпечити, перш за все, максимальну (задану) точність відтворення одиниці вимірювання, враховуються при цьому недостатньо. Використовують емпі-

ричні, суб'єктивні методи (метод «проб і помилок») на основі досвіду та інтуїції розробника. Схемо-технічні та конструкторські рішення ухвалюють на основі евристичного підходу. Попередньо розробляють, як правило, ескізну документацію, виготовляють та випробовують макети. Потім розробляють робочу конструкторську документацію, виготовляють та випробовують дослідний зразок, проводять дослідження його характеристик точності та метрологічну атестацію.

Такий підхід до створення еталонів є доволі трудомістким і не може дати оптимального рішення: вимірювальні канали (ВК) такого еталона можуть містити прецизійні і, відповідно, високовартісні вимірювальні компоненти (прилади), у той час як точність відтворення одиниці вимірювання (ОВ) можуть визначати інші компоненти з нижчими метрологічними характеристиками. У результаті на створення такого еталона витрачаються значні ресурси, але задані характеристики точності не досягаються.

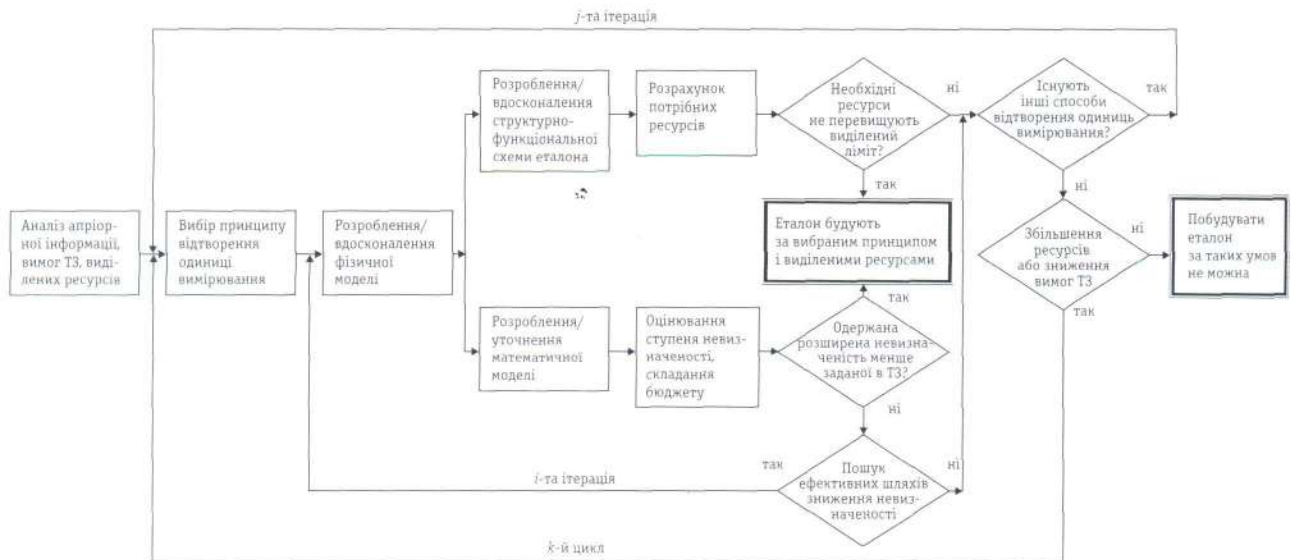
Нами пропонується адаптивний метод створення еталонів одиниць вимірюваних величин із заданими високими характеристиками точності за умови обмежених ресурсів.

*Початковими даними завдання є:* перший варіант математичної моделі процедури вимірювання під час відтворення, зберігання та передавання ОВ, розробленої на основі фізичної моделі, яка, у свою чергу, побудована відповідно до апріорної інформації щодо принципу відтворення (зберігання та передавання) ОВ, переліку інформативних параметрів і впливових величин у процесі вимірювання та необхідних характеристик точності, заданих технічним завданням (ТЗ), і ресурсів, виділених на створення еталона.

*Необхідно отримати:* метод побудови еталонів ОВ, що передбачає адаптивний спосіб розроблення структурної, функціональної та принципівих схем еталона, конструкції окремих складових і еталона в цілому, алгоритму управління процесом вимірювання й оброблення вимірюваної інформації, а також інформаційну технологію створення еталонів ОВ в умовах обмежених ресурсів.

#### АДАПТИВНИЙ МЕТОД І ТЕХНОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ЕТАЛОНІВ

Адаптивний метод ґрунтується на принципах інформаційних технологій — імітаційному моделюванні, числовому диференціюванні в поєднанні з теоретичними й експериментальними дослідженнями і застосовується на усіх стадіях побудови еталона. Він базується на ітеративному уточненні адекватної модельної функції (рівнянні вимірювання) у міру накопичення у процесі розроблення еталона вимірювальної інформації та застосованому тут удосконаленому методі PUMA оцінювання



Інформаційна технологія побудови еталонів одиниць вимірювання за обмежених ресурсів

невизначеності. Адаптивний метод спрямовано на досягнення найвищої точності за мінімальних витрат. Максимально допустимі витрати на створення еталона і мінімально допустима точність є обмежувальними факторами.

Метод PUMA [5], як відомо, призначений для оцінювання невизначеності у вимірюванні геометричних параметрів продукції. Цей метод було вперше застосовано нами на початковій стадії створення вторинного еталона одиниці потужності ультразвуку у водному середовищі [6] для обґрунтування структури і складу ВК в умовах апріорної невизначеності, коли конструкція вторинного еталона тільки-но розробляється і немає достатніх даних та результатів експериментальних досліджень для оцінювання очікуваних характеристик точності. Модельна функція у цьому випадку суттєво спрощена і тому можна використати аналітичний спосіб оцінювання невизначеності включно з процедурою «чорного ящика» (black box). Такий підхід виявився достатньо ефективним на першій стадії побудови еталона.

Але у зв'язку з тим, що у процесі створення еталона враховують усе більше факторів та їхні функціональні зв'язки, що впливають на кінцевий результат, модельна функція уточнюється та ускладнюється, стає суттєво нелінійною, аналітичний спосіб оцінювання невизначеності стає принципово непридатним [7—10]. Тому метод PUMA було вдосконалено: замість аналітичного способу було запроваджено цифрові методи — метод імітаційного моделювання (метод Монте-Карло) і метод числового диференціювання, які не мають зазначених вище недоліків.

Запропонований адаптивний метод реалізують у кілька ітерацій (рисунок). Він включає такі етапи:

• **на першій ітерації:**

а) аналізують апріорну інформацію, отриману за результатами попередніх науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, досвіду роботи національних метрологічних інститутів розвинених країн, вітчизняних і міжнародних нормативних документів, каталогів фірм, що виготовляють вимірювальні прилади, літературних джерел тощо;

б) обирають принципи відтворення ОВ і розробляють на основі аналізу фізичну модель вимірювання. Паралельно розробляють структурно-функціональну схему еталона;

в) розробляють на підставі фізичної моделі першого наближення математичну модель вимірювання (модельну функцію);

г) оцінюють ступінь невизначеності у вимірюванні методом PUMA. Складють бюджет невизначеності.

Паралельно оцінюють на основі структурно-функціональної схеми витрат ресурсів;

д) порівнюють одержані результати оцінювання розширеної невизначеності із заданою в ТЗ та перевіряють ресурси, необхідні для реалізації такого варіанта еталона на відповідність ліміту. Ухвалюють рішення щодо напрямку подальшої роботи над створенням еталона і підвищення його характеристик точності.

Перша ітерація є наближеною і дає перше уявлення стосовно основних джерел невизначеності;

• **на другій ітерації:**

а) проводять аналіз результатів розрахунків, виконаних на першій ітерації, встановлюють джерела,

які найбільше впливають на сумарну невизначеність вихідної (вимірюваної) величини, шукають технічні рішення для їх зменшення (у разі необхідності);

б) удосконалюють фізичну модель вимірювання під час відтворення, зберігання та передавання ОВ.

Розробляють удосконалений варіант структурно-функціональної схеми еталона;

в) уточнюють математичну модель, враховуючи, за можливості, і ті інформативні параметри та впливові величини, які не вдавалося врахувати в явному вигляді на першій ітерації;

г) оцінюють удосконаленим методом PUMA з використанням числового диференціювання і/або імітаційного моделювання (методу Монте-Карло) характеристик невизначеності еталона в його новому варіанті реалізації. Цей метод передбачає такі процедури:

- складання таблиці вхідних даних з урахуванням тих джерел невизначеності, які не увійшли до попереднього наближення модельної функції;
- розрахунок стандартних непевностей вхідних величин;
- розроблення математичної моделі оцінювання характеристик невизначеності;
- розрахунок складових невизначеності, складання бюджету невизначеності.

На основі удосконаленої структурно-функціональної схеми паралельно оцінюють затрати ресурсів;

д) порівнюють одержані результати із заданими в ТЗ; ресурси, необхідні для реалізації нового варіанта еталона, порівнюють із лімітом; ухвалюють рішення щодо змісту подальшої роботи на наступних етапах.

**Третю та наступні ітерації**, за необхідності їх проведення, виконують за аналогічною схемою (рисунок).

Слід зазначити, що при зниженні домінуючих джерел невизначеності після чергової ітерації за рахунок більш раціональних сфо-тотехнічних і конструктивних рішень на наступних ітераціях більшу вагу, більшу долю вкладу набувають і стають домінуючими інші джерела невизначеності. Тому найефективнішими будуть заходи, спрямовані на зниження домінуючих джерел, які виявлено на по-

передній ітерації. Запропонований адаптивний метод дає можливість знаходити оптимальні рішення у таких ситуаціях.

Якщо на другій, третій та подальших ітераціях не вдається досягти заданих характеристик точності, тобто сучасний рівень розвитку науки і техніки не дозволяє виконати вимоги, висунуті у ТЗ, або вимагає дуже великих матеріальних витрат, то розглядають інші способи відтворення ОВ, ставлять питання стосовно збільшення ресурсів на створення еталона або зниження вимог ТЗ щодо його точності.

Інформаційна технологія створення еталонів ОВ в умовах обмежених ресурсів базується на розглянутому методі та передбачає ітеративне підвищення точності еталона на основі математичної моделі процесу вимірювання, структурно-функціональної схеми витрат ресурсів та оцінювання характеристик невизначеності еталона удосконаленим методом PUMA з використанням числового диференціювання й імітаційного моделювання.

### ВИСНОВОК

1. Уперше запропоновано адаптивний метод побудови еталонів, який містить у собі ітеративні етапи розроблення фізичної та математичної моделі вимірювання, оцінювання невизначеності удосконаленим методом PUMA із застосуванням числових способів (числового диференціювання і/або методу Монте-Карло), поступове удосконалення розроблюваної конструкції еталона та підвищення ефективності захисту від зовнішніх впливів. Метод дає можливість поступово досягати максимальної точності відтворення, збереження та передавання одиниць вимірюваних величин в умовах обмежених ресурсів, одержувати оптимальні сфо-тотехнічні і конструкторські рішення еталона і його програмного забезпечення, встановлювати обґрунтовані вимоги до конструкції еталона та до приміщення, в якому його розташовують.

2. Запропонований метод реалізується у рамках інформаційної технології створення еталонів ОВ в умовах обмежених ресурсів. Технологія передбачає досягнення заданих характеристик точності з урахуванням доступних ресурсів. ■

### ЛІТЕРАТУРА

1. Involving Needs for Metrology in Trade Industry and Society and the Role of VIPM. A report prepared by the CIPM for the governments of the Member States of the Meter Convention. VIPM. Sevre. April 2003. (Вимоги до метрології у сфері торгівлі, промисловості, суспільс-

тві та роль ВІРМ. Звіт підготовлений СІРМ для урядів країн — членів Метричної Конвенції. ВІРМ. Севр. Квітень, 2003).

2. Паракуда В. В., Колпак Б. Д., Чалий В. П. Еволюція вимог до метрології // УМЖ. — 2005. — № 3. — С. 56—60.

3. Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes. — Paris, 14 October 1999. (Угода про взаємне визнання національних еталонів і сертифікатів калібрування та вимірювань, що видаються національними метрологічними інститутами (Угода MRA)).
4. ДСТУ 3974:2000. Правила виконання дослідно-конструкторських робіт. Загальні положення.
5. ISO/TS 14253-2:1999. Geometrical Product Specifications (GPS) — Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment — Part 2: Guide to the estimation of uncertainty in GPS measurement, in calibration of measuring equipment and in product verification — Technical Corrigendum 1. (Геометричні характеристики виробів (GPS). Контроль вимірюванням робочих виробів і вимірювальна апаратура. Частина 2. Настанови з оцінювання невизначеності у сфері вимірювання геометричних параметрів продукції при калібруванні вимірювального обладнання та під час контролю продукції. Технічна правка 1).
6. Паракуда В. В., Колпак Б. Д., Чалый В. П., Ильницкая Т. М. Применение метода PUMA при построении эталона единиц мощности ультразвука // Системы обработки информации. — 2008. — Вып. 4 (71). — С. 66—70.
7. Чалый В. П., Паракуда В. В., Колпак Б. Д. Числовые методы оценки неопределенности измерений при калибровке микрофонов на первичном эталоне // Обучающий семинар КОOMET. — Минск: БелГИМ, 2003. — С. 48.
8. Чалый В. П., Паракуда В. В., Гайдук М. В. Методи оцінювання невизначеності первинного акустичного еталона // Стандартизація, сертифікація, якість. — 2004. — № 1 — С. 43—49.
9. Чалый В. П., Паракуда В. В., Костеров А. А., Гайдук Н. В. Оценивание неопределенности первичного акустического эталона числовыми методами // Тезисы докладов на международном научно-техническом семинаре «Математические методы при обеспечении качества и взаимного признания результатов измерений». — Санкт-Петербург: ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, 2004. — С. 84—87.
10. Чалый В. П., Паракуда В. В., Костеров А. А., Гайдук Н. В. Оценивание неопределенности первичного акустического эталона числовыми методами // Измерительная техника. — 2005. — № 5. — С. 15—19.

## ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ ІНФОРМУЄ

**Г**олова Держспоживстандарту Лариса Лосюк під час виступу на парламентських слуханнях 11 березня 2009 року звернула увагу на несистемне реформування системи технічного регулювання в Україні.

Під прикриттям захисту українського виробника із законодавчих актів вилучаються окремі положення. Однак не створюється сучасна, досконала й цілісна система контролю, і Україна відкриває свої ринки для імпортової продукції без відповідних можливостей експорту своєї. Такого собі не дозволяє жодна країна світу.

Для підтримання української економіки, на думку Голови, необхідно: розглянути як першочергові проекти законів України, розроблені на основі директив Європейського Союзу:

- «Про загальну безпеку продукції»;
- «Про відповідальність за дефектну продукцію»;
- «Про внесення змін до Закону України «Про державне регулювання імпорту сільськогосподарської продукції» щодо поновлення сертифікації імпортової сільськогосподарської продукції;
- щодо внесення змін до Закону України «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності» в частині відбору зразків продукції та проведення їхніх лабораторних випробувань за рахунок суб'єкта господа-

рювання, а також скасування вимоги щодо попередження суб'єкта про перевірку.

На думку Лариси Лосюк, Кабінету Міністрів України необхідно:

1. Встановити терміни поетапного упровадження системи НАССР на вітчизняних підприємствах залежно від рівня ризику продукції.
2. Організувати розроблення змін до Закону України «Про безпечність та якість харчових продуктів» з метою приведення окремих його положень до міжнародних норм (зокрема в частині випробувань продукції, упровадження систем НАССР, організації контролю, маркування тощо).
3. Терміново прийняти постанову «Про затвердження Порядку етикетування харчових продуктів, які містять генетично модифіковані організми або вироблені з їх використанням та вводяться в обіг».
4. Організувати перегляд Переліку продукції, що підлягає обов'язковій сертифікації в Україні, з метою включення до нього харчової, з урахуванням національних інтересів у частині захисту товаровиробника та споживчого ринку України.
5. Прийняти політичне рішення щодо реформування системи технічного регулювання, взявши за аналог систему контролю харчових продуктів Німеччини. ■