

Л. Т. Зіангірова, к.т.н., В. В. Друмов, Г. І. Бірюков

Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса

## МЕТРОЛОГІЧНА АТЕСТАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ

У статті подано огляд існуючих на даний момент в зарубіжній і вітчизняній практиці підходів до метрологічної атестації програмного забезпечення, яке використовується в засобах вимірювань. Запропонована програма розробки такої системи атестації, розрахованої перш за все на засоби вимірювань і вимірювальні системи у сфері дії державного метрологічного контролю і нагляду.

**Ключові слова:** програмне забезпечення, метрологічна атестація, засоби вимірювальної техніки, державний метрологічний контроль.

### Вступ

Практично в будь-якому сучасному засобі вимірювань в тому або іншому вигляді присутнє програмне забезпечення (ПЗ). Воно може бути вбудованим, встановленим на комп'ютер, що входить до складу вимірювальної системи, або автономним. Використання ПЗ для обробки вимірювальної інформації є невід'ємною частиною здобуття кінцевих результатів вимірювань. Проте використання ПЗ, без визначення його характеристик точності пов'язане з ризиком здобуття недостовірних результатів.

Перш ніж переходити до огляду підходів до атестації ПЗ, необхідно визначити саме поняття атестації ПЗ і, в першу чергу, поняття його метрологічної атестації.

У Директиві по вимірювальним приладам [1] міра впливу ПЗ на метрологічні характеристики засобів вимірювань характеризується параметром, що називається критичність. Під критичністю при цьому розуміється повна або часткова відповідальність ПЗ за метрологічні характеристики приладів і систем.

Будь-яка процедура атестації заснована на встановленні відповідності об'єкту, що атестується, нормативним або технічним вимогам. При цьому необхідно відзначити, що згідно міжнародному керівництву [2] метрологічні вимоги повинні пред'являтися не до всього ПЗ, а лише до тих його частин, які контролюються законодавчою метрологією. Такими частинами можуть бути, наприклад, підпрограми зчитування результатів вимірювань з датчиків, обробки результатів вимірювань, відображення цих результатів і тому подібне. Із сказаного виходить, що і метрологічній атестації повинні підлягати лише ті частини ПЗ, які контролюються законодавчою метрологією.

### Виклад основного матеріалу

Зі всіх наявних рекомендацій і керівництв якнайповніше підходи до атестації ПЗ представлені в роботах Національної фізичної лабораторії (NPL) [3 – 6]. Ці документи націлені на метрологічне ПЗ, тобто на ПЗ, що використовується при обробці вимірювальної інформації. Робота [3] розділена на дві частини. Перша частина орієнтована на користувачів ПЗ і розглядає наступні основні питання:

- побудова моделі вимірювальної системи, що використовує програмні засоби;
- оцінка ризиків використання ПЗ;
- оцінка рівня цілісності ПЗ.

Друга частина представляє інтерес, перш за все, для розробників ПЗ і присвячена, в основному, розгляду методик атестації ПЗ. Слід підкреслити, що автори роботи з NPL дотримуються думки, що атестація ПЗ є частиною життєвого циклу ПЗ і повинна здійснюватися розробниками програмного продукту.

Якщо не брати до уваги від деталей, то під цілісністю ПЗ автори розуміють ідентичність ПЗ до правильної вихідної версії (наприклад, затвердженої), тобто ПЗ не повинно бути змінено навмисно або ненавмисно

У NPL вважається, що найефективнішим методом атестації ПЗ, використовуваного в засобах вимірювань, є метод «чорного ящика» (black box testing). У цьому методі атестація відбувається на основі зіставлення результатів обробки так званих «еталонних» даних самим тестованим ПЗ і «еталонних» результатів, отриманих обробкою тих же даних «еталонним» ПЗ. Проблема, проте, полягає в тому, що при такому підході необхідно мати в своєму розпорядженні «еталонне» ПЗ, тобто ПЗ, записане з використанням програмних засобів, що відповідають гранично високим стандартам. Далеко не всі випробувальні центри таким ПЗ

володіють. Як показує практика, рішення може бути знайдено шляхом використання так званих генераторів «еталонних» даних. Умовна схема використання таких генераторів наведена на рис 1. Основна особливість схеми полягає в тому, що на її вході не «еталонні» дані, а «еталонні» результати. Стверджується, що в цьому випадку зусилля, необхідні для розробки генераторів «еталонних» даних складають малу частину зусиль, що витрачаються на розробку «еталонного» ПЗ. Крім того, такі генератори легко тестуються. Сукупність «еталонних» даних і «еталонних» результатів в роботах NPL називають «еталонними» парами.

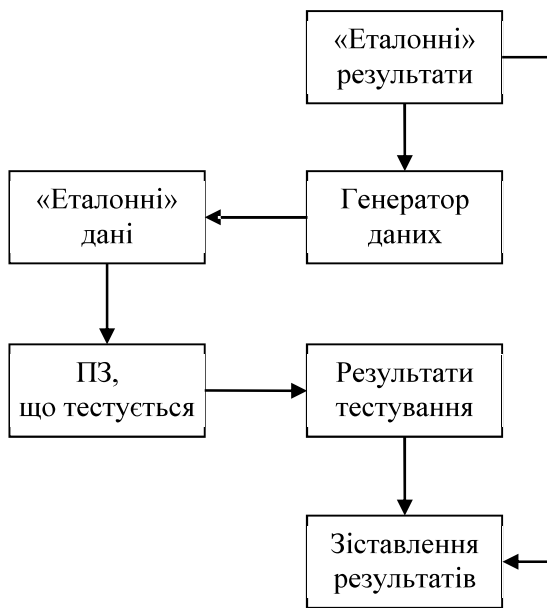


Рисунок 1 – Схеми випробувань ПЗ з використанням генерації «еталонних» даних

З схемою генерації «еталонних» пар можна працювати лише у тому випадку, коли математичне рішення відповідної метрологічної задачі априорі відоме. Проте, навіть при відомій математичній постановці завдання проблема генерації «еталонних» даних по відомих «еталонних» результатах не є однозначною, тобто в результаті такої генерації можна отримати цілі сімейства або класи «еталонних» даних, що задовольняють умовам математичного завдання. Для вирішення завдання атестації ПЗ можна працювати з будь-яким отриманим набором «еталонних» даних за умови, що вони відповідають досліджуваному вимірювальному завданню.

Атестацію ПЗ методом «чорного ящика» пропонується проводити в шість етапів:

1. Специфікація випробовуваного ПЗ. Специфікація може бути проведена в математичних або нематематичних термінах, але

в кожному випадку відповідна інформація має бути достатньою щоб уникнути неоднозначних тлумачень. Мета такої специфікації полягає в тому, аби переконатися в адекватності використовуваних моделей і алгоритмів вирішуваному завданню, при цьому один із способів специфікації полягає в ідентифікації входу і виходу програмного продукту і функціональних співвідношень або моделей, що пов'язують вхід і вихід.

Як приклад специфікації випробовуваного програмного продукту, розглянемо завдання знаходження програмним способом по методу найменших квадратів (МНК) кривої Гауса на масиві експериментальних даних  $y_i, i=1,2,\dots,m$ , кожне з яких відповідає експериментально знайдений абсцисі з набору  $i=1,2,\dots,m$ . В термінах вхідної / вихідної моделі специфікація має такий вигляд:

А). Вхід. Значення абсцис  $x_i, i=1,2,\dots,m$  і відповідні значення ординат  $y_i, i=1,2,\dots,m$ .

Б) Вихід. Значення параметрів  $A, \bar{x}, s$  в моделі піку гауса

$$y(x) = A \cdot \exp\left(-\frac{(x - \bar{x})^2}{2s^2}\right),$$

а також значення залишкових величин  $e_i, i=1,2,\dots,m$ , де  $e_i = |y_i - y(x_i)|$ .

В) Вхідна / вихідна модель. Вихідні значення визначаються з вхідних рішенням наступної нелінійної задачі по МНК

$$\min_{A, \bar{x}, s} \sum_{i=1}^m [y_i - y(x_i)]^2.$$

З використанням наведеного вище функціонала методу максимальної правдоподібності, окремим випадком якого є метод найменших квадратів, визначаються також оцінки залишкових членів.

2. Виконання (реалізація) випробовуваного ПЗ.

Перші два етапи, зазвичай, виконуються на стадії розробки ПЗ.

3. Специфікація наборів «еталонних» даних. Ці послідовності наборів даних в більшості своїй визначаються значеннями керуючих параметрів, які мають бути ідентифіковані, при цьому кожному значенню керуючого параметру відповідає своя послідовність наборів даних. В процесі випробувань ПЗ досліджується його функціонування для різних послідовностей наборів даних.

4. Часто керуючому параметру надають

функції контрольного параметра, або параметра, який ранжирує послідовності наборів даних по мірі їх складності для обробки випробовуваним ПЗ. Використання таких ранжированих у вказаному сенсі наборів даних дозволяє виявити випадки, коли тестоване ПЗ засновано на невірному виборі математичного алгоритму. До «еталонних» наборів даних часто пред'являється вимога максимальної відповідності наборам, які можуть бути отримані при практичних вимірюваннях на базових засобах вимірювань. Специфікація наборів «еталонних» даних повинна встановлювати наявність перерахованих вимог.

5. Специфікація виконуваних вимірювань і вимог випробувань.

При випробуваннях ПЗ необхідно користуватися показниками якості (або, як то кажуть, метриками якості) для встановлення кількісних відмінностей між обробкою різних наборів «еталонних» даних, що виконуються в ПЗ що випробується. За допомогою специфікації вимог до ПЗ і користувач і розробник випробовують програмний продукт в термінах цих метрик, що зрештою дає можливість об'єктивної оцінки ПЗ в плані відповідності цілі, якої воно повинне досягати. Для оцінки якості ПЗ пропонується використовувати два показники якості (дві метрики). Перший заснований на оцінці коефіцієнта обумовленості [5] алгоритму обчислення залишкових похибок, використовуваного тестованим ПЗ при обробці «еталонних» залишків. Цей коефіцієнт для даного випадку має вигляд

$$P(\vec{\epsilon}) = \lg \left( 1 + \frac{\|\vec{\epsilon}_r - \vec{\epsilon}_t\|}{\|\vec{y}\| \eta} \right),$$

де  $\vec{\epsilon}_t$  – вектор залишкових похибок, отриманий випробовуваним ПЗ,  $\vec{\epsilon}_r$  – вектор «еталонних» залишків,  $\vec{y}$  – вектор значень «еталонних» даних і  $\eta$  – чисельна точність генератора «еталонних» результатів. По суті, коефіцієнт  $P$  характеризує втрату точності випробувального алгоритму в порівнянні з алгоритмом, що має оптимальну стабільність. Аналогічні коефіцієнти обумовленості можуть бути обчислені і по відношенню до інших розраховуваних величин, таким, як  $A$ ,  $x$ ,  $s$ , і т. д.

Другий показник якості алгоритму має пряме відношення до  $N$  ітерацій, необхідних досліджуваному ПЗ для забезпечення збіжності рішення. Детальніший опис відповідних метрик можна знайти, наприклад, в [3].

6. Генерація «еталонних» пар. Раніше говорилося, що «еталонні» пари можуть бути отримані зокрема, методом генерації «еталонних» даних. Методи такої генерації «еталонної» пари для обчислення СКВ розглянуті в [4], а метод генерації стосовно методу найменших квадратів – в [3].

7. Представлення і інтерпретація виконаних вимірювань і випробувань. Вживання випробовуваного ПЗ до «еталонних» даних веде до появи результатів тестування, що порівнюються з «еталонними» результатами, з яких генерувався цей «еталонний» набір. Порівняння, відбувається за допомогою показника (метрики) якості, про які говорилося вище і які при цьому обчислюються. Параметри (метрики) якості представляються як функції керуючого параметра (або параметрів) в табличній і в графічній формі. Зручно також користуватися статистикою випробувань (чисельною або графічною), що включає значення математичного очікування, СКВ, мінімуму та максимуму виявлених відмінностей.

На підставі описаного досвіду випробувань ПЗ і приведеного огляду міжнародних і зарубіжних публікацій можна сформулювати основні положення програми розробки і впровадження в метрологічну практику атестації програмного забезпечення, використовуваного в засобах вимірювань.

### Висновки

Розробка вимог до ПЗ, що використовується в засобах вимірювальної техніки, спочатку на рівні методики інституту (рекомендації), а потім можливо у вигляді правил по метрології. В основу таких вимог можуть бути покладені Рекомендації [9] і напрацювання NPL і РТВ. Як перший крок передбачається сформулювати вимоги лише до такого ПЗ, яке використовується в найбільш поширених видах вимірювань (вимірювання ваги, геометричних розмірів, електричні вимірювання, вимірювання маси і об'єму газів і рідин, витратометрія).

Можлива ситуація, коли метрологічні характеристики засобів вимірювання або вимірювальної системи повністю б залежали від відповідного ПЗ. Для таких випадків необхідно розробити кількісні оцінки критичності ПЗ і у кожному конкретному випадку навчитися їх оцінювати. При цьому атестація ПЗ має бути органічно вбудована у вже існуючу систему випробувань засобів вимірювальної техніки з метою затвердження їх типу без якої-небудь радикальної її перебудови. Передбачається при цьому, що основні метрологічні характеристики програмних засобів можуть бути визначені в

процесі випробувань традиційними способами, але це можна вважати справедливим лише для неадаптивних програм.

#### Список використаних джерел

1. Measuring Instruments Directive (MID/3), Brussels 15.09.2000, COM(2000) 566 final, European Commission – III.D.2.

2. Требования к программному обеспечению на основе Директивы по измерительным приборам. WELMEC (European cooperation in legal metrology) 7.1, октябрь, 1999

3. В. Wichman with R. Barker, M. Сохнуб, P. Harris. Software Support for Metrology. Best Practice Guide N 1. Measurement System Validation: Validation of Measurement Software. Report to National Measurement System Policy Unit. April 2000.

4. H. R. Cook, M. G. Сохнуб, M. P. Dainton, P. M. Harris. Testing Spreadsheets and Other Packages Used in Metrology. A Case Study. Report to National Measurement System Policy Unit. September 1999.

5. M. G. Cox, M. P. Dainton, P. M. Harris. Testing Spreadsheets and Other Packages Used in Metrology. Testing Functions for the Calculation of the Standard Deviation. Report to National Measurement System Policy Unit. October 2000.

6. H. R. Cook, M. G. Cox, M. P. Dainton, P. H. Harris. Methodology for testing spreadsheets and other packages used in metrology. Report to National Measurement System Policy Unit, September 1999.

7. ПР 50.2.023 – 2000 «ГСИ. Правила проведения испытаний игровых автоматов с денежным выигрышем с целью утверждения типа и контроля за их соответствием утвержденному типу».

8. Порядок № 32 від 14.02.2006 «Порядок атестації програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки».

9. Акимов А. А. Статистическая обработка результатов испытаний игровых автоматов с денежным выигрышем / А. А. Акимов, Ю. А. Кудеяров, В. П. Кузнецов // Законодательная и прикладная метрология. – 2001. – № 5. – С. 35 – 43.

10. Кудеяров Ю. А. Критерии согласия, используемые при статистической обработке результатов испытаний игровых автоматов с денежным выигрышем / Ю. А. Кудеяров, А. Г. Спроге // Законодательная и прикладная метрология. – 2001. – № 6. – С. 25 – 29.

11. Кудеяров, Ю. А. Использование критерия «3-сигма» при испытаниях игровых автоматов с денежным выигрышем с целью утверждения их типа / Ю. А. Кудеяров // Законодательная и прикладная метрология. – 2002. – № 1. – С. 25 – 27.

Надійшла до редакції 24.05.2016

**Рецензент:** к.т.н., проф. Козаченко М. Т., Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова, м. Одеса.

**Л. Т. Зиангирова, к.т.н., В. В. Друмов, Г. І. Бирюков**

#### МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПРОГРАМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

*В статье дан обзор существующих на настоящий момент в зарубежной и отечественной практике подходов к метрологической аттестации программного обеспечения, используемого в средствах измерений. Предложена программа разработки такой системы аттестации, рассчитанная, прежде всего, на средства измерения и измерительные системы в сфере действия государственного метрологического контроля и надзора.*

**Ключевые слова:** программное обеспечение, метрологическая аттестация, средства измерительной техники, государственный метрологический контроль.

**L. T. Ziangirova, PhD, V. V. Drumov, G. I. Byryukov**

#### METROLOGICAL CERTIFICATION SOFTWARE FOR MEASURING INSTRUMENTS

*The article provides an overview of currently existing in foreign and domestic practice approach to metrological certification of the software used in measuring instruments. A program to develop a certification system designed primarily for measuring instruments and measuring systems within the scope of the state metrological control and supervision*

**Keywords:** software, metrological certification, measuring equipment, State metrological control.