

Видавництво Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2005. – Т.2. Вимірвальна техніка. – 656 с. 2. Яцук В., Яцук Ю. Метод покращання характеристик температурних сенсорів на основі р-п-переходу // Вимірвальна техніка та метрологія. – 2002. – Вип. 59. – С. 90–96. 3. Барило Г.І., Яцук Ю.В. Вдосконалення системи температурного контролю робочих еталонів вольта / Барило Г.І., Яцук Ю.В. // Вісник Вінницького ДТУ “Автоматика та інформаційно-вимірвальна техніка”. – Вінниця, 2006. – С.72–75. 4. Поліщук Є.С. Мет-

рологія та вимірвальна техніка / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук та ін; за ред. проф. Є.С. Поліщука. – Львів: Бескид-Біт, 2003. – 544 с. 5. Елемент нормальний термостатований Х489. Технічний опис і інструкція по експлуатації (Ж13.519.011ТО). – Львів: ВАТ «Мікроприлад», 2006. – 56 с. 6. Меры электродвижущей силы. Элементы нормальные. Общие технические требования: ГОСТ 1954-82. [Чинний від 1999-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 1999. – 1 с. – (Державний стандарт України).

УДК 621.317.089.6

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ПРОЦЕДУР ТА МЕТОДІВ МЕТРОЛОГІЧНОЇ ПЕРЕВІРКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ

© Ольга Олесків, Ігор Кунець, Ігор Микитин, 2014

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірвальних технологій,
вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Проведено аналітичний огляд відомих методів та процедур метрологічної перевірки програмного забезпечення засобів вимірювань. Проаналізовано переваги та недоліки цих методів і доцільність їх використання.

Проведен аналитический обзор известных методов и процедур метрологической проверки программного обеспечения средств измерений. Проанализированы преимущества и недостатки этих методов и целесообразность их использования.

An analytical review of the known methods and procedures of metrological verification of measuring instruments software is carried out. The advantages and disadvantages of these methods and the appropriateness of their use are analysed.

Вступ. Під час проектування та розроблення сучасних засобів вимірювання спостерігається тенденція до зменшення аналогової частини та розширення цифрової частини приладів. Також переважно як цифрова частина використовуються мікроконтролери, програмовані логічні матриці тощо. Тому «вага» програмного забезпечення (ПЗ) у сучасних засобах вимірювання (ЗВ) постійно зростає. Невідповідність ПЗ вимірвальній задачі приладу, випадкова або навмисна зміна функцій ПЗ можуть призвести до виникнення некоректних результатів вимірювання. Тому доцільно проводити перевірку програмного забезпечення засобів вимірювання для визначення його впливу на метрологічні характеристики ЗВ та можливості подальшого використання цього програмного забезпечення у складі ЗВ. Програмне забез-

печення ЗВ не має метрологічних характеристик, але воно визначає метрологічні характеристики ЗВ, а зміна в ПЗ ЗВ може впливати на ці характеристики [1].

Отже, виникає необхідність приділяти більшу увагу саме програмному забезпеченню та вирішувати проблему перевірки програмного забезпечення засобів вимірювання для визначення рівня впливу програмного забезпечення на результати вимірювань.

Під програмним забезпеченням засобів вимірвальної техніки розуміють набір програм та процедур, призначених для реєстрації, опрацювання, відображення та збереження результатів вимірювань, що є функціональною частиною ЗВ та постачається з комплектом програмних документів [2]. Проблематикою метрологічної перевірки програмного забезпечення засобів вимірвальної техніки займаються міжнародні

метрологічні організації WELMEC, COOMET, OIML, національні метрологічні інститути PTB, NPL, ВНИИМС тощо.

Постановка задачі. Під час метрологічної перевірки ПЗ ЗВ постає проблема вибору методів перевірки. У результати метрологічної перевірки має бути підтверджено або спростовано, що ПЗ ЗВ відповідає вимогам, описаним у нормативних документах, та має характеристики, вказані в документації до цього ПЗ. У статті розглянуто процедури та методи перевірки ПЗ ЗВ, їх переваги і недоліки.

Процедури перевірки програмного забезпечення засобів вимірювання. Перевірка програмного забезпечення ЗВ проводиться для встановлення відповідності ПЗ ЗВ певним вимогам. Важливо зазначити, що метрологічній перевірці підлягає не все програмне забезпечення, а та його частина, яка може впливати на метрологічні характеристики ЗВ. До неї належать програми і програмні модулі, що виконують

функції збору, передавання, опрацювання, зберігання та представлення вимірювальної інформації [3].

За матеріалами роботи [3] до ПЗ, яке може впливати на метрологічні характеристики ЗВ, належать:

1. Програми і програмні модулі, які беруть участь в опрацюванні результатів вимірювань.
2. Параметри ПЗ ЗВ, що беруть участь в обчисленнях і впливають на результат вимірювань.
3. Програми і програмні модулі, що здійснюють представлення вимірювальної інформації, її зберігання та передавання, ідентифікацію та оновлення ПЗ, захист ПЗ і даних.
4. Компоненти захищеного інтерфейсу для обміну даними між програмними модулями ЗВ.

Пункти 3 і 4 цієї класифікації доцільніше зберегти до загальної перевірки ПЗ, а не метрологічної, тому що ніяких вимірювальних чи обчислювальних дій, які впливають на результати вимірювання, вони не виконують. Ці пункти характеризують правильність функціонування програмного забезпечення загалом.



Рис. 1. Процедури перевірки програмного забезпечення засобів вимірювання

Дослідження програмного забезпечення є процедурою встановлення правильності й однозначності контрольованих функцій ПЗ та даних, що генеруються. На рис. 1 подано класифікацію процедур перевірки ПЗ ЗВ [4].

Вибір процедури досліджень визначається вимогами законодавчих та нормативних документів, а також бажанням розробника або користувача програмного забезпечення ЗВ підтвердити його відповідність встановленим вимогам.

Процедура *випробувань з метою затвердження типу ЗВ* повинна передбачати ідентифікацію та оцінку впливу програми на метрологічні характеристики ЗВ, а також аналіз конструкції, щоб запобігти несанкціонованим налаштуванням програмного забезпечення ЗВ та втручанням, які можуть призвести до отримання некоректних результатів вимірювань. Розроблений за результатами випробувань проект опису типу засобу вимірювань, крім характеристик ЗВ, повинен містити також опис програмного забезпечення, ідентифікаційні дані, кількісні характеристики оцінки впливу на метрологічні характеристики ЗВ і рівень захисту від ненавмисних і навмисних змін.

Атестація ПЗ ЗВ – це дослідження програмного забезпечення з метою визначення його характеристик, властивостей та ідентифікаційних даних, а також підтвердження відповідності поставленим вимогам. Під час атестації програмного забезпечення проводять його тестування з метою визначення однієї або декількох характеристик відповідно до методики атестації (аналіз документації, функціональні перевірки програми у контрольованих умовах, аналіз вихідного коду тощо) [4].

Розрізняють два види атестації: загальну і метрологічну [5]. Об'єктом загальної атестації є повне програмне забезпечення ЗВ, дослідження якого проводять, щоб обґрунтувати застосування алгоритму (програми) в конкретних завданнях. Метрологічна атестація досліджує ПЗ, яке є складовою частиною програмного забезпечення конкретних вимірювальних пристроїв, вимірювально-обчислювальних комплексів, вимірювальних систем з метою оцінки впливу ПЗ на похибку результатів вимірювань.

Сертифікація ПЗ ЗВ – це підтвердження відповідності програмного забезпечення та апаратно-програмних комплексів вимогам технічних регламентів та стандартів.

Проведення атестації та випробувань ПЗ для затвердження типу ЗВ регламентується переважно вимогами законодавчих і нормативних документів, а також низкою спеціальних документів на засоби вимірювань, що застосовуються у різних сферах. Сертифікація ПЗ ЗВ є переважно добровільною, за

винятком ПЗ, що виконують особливо відповідальні функції, в яких недостатня якість, помилки або відмови можуть завдати великої шкоди або є небезпечними для життя і здоров'я людей (авіація, атомна енергетика, системи управління органами влади, банківські системи тощо) [6]. Добровільна сертифікація визначається переважно бажанням розробників (користувачів) ПЗ ЗВ підтвердити його відповідність сучасним вимогам, підтвердити конкурентоспроможність, отримати додаткові економічні переваги тощо.

Отже, ці процедури охоплюють перевірку всього ПЗ, яке є складовою частиною певного ЗВ. Залежно від типу ЗВ та нормативних документів підбирається процедура перевірки ПЗ ЗВ. Ці процедури важливі не тільки з законодавчого боку. Якщо ПЗ ЗВ пройшло метрологічну перевірку і отримало документ про підтвердження якості і відповідності ПЗ документації, то це також істотна перевага, яка підтверджує конкурентоспроможність та відповідність ЗВ сучасним вимогам.

Методи метрологічної перевірки програмного забезпечення засобів вимірювання. Виконуючи метрологічну перевірку ПЗ ЗВ, важливо підібрати правильний метод перевірки. При цьому береться до уваги насамперед можливість його реалізації, затрати на реалізацію, якість проведеної перевірки тощо. На рис. 2 наведено класифікацію методів перевірки ПЗ ЗВ [3].

Метод *порівняльного тестування із застосуванням опорного ПЗ* використовується за наявності ПЗ, яке допомагає ідентифікувати функції ПЗ, що перевіряється. Як опорний ПЗ може бути застосоване:

- атестоване або/і сертифіковане ПЗ ЗВ, функціональне призначення якого аналогічне ПЗ, що перевіряється;
- спеціально розроблене ПЗ з функціями, ідентичними ПЗ, що перевіряється;
- ПЗ для вирішення завдань технічних обчислень (наприклад, електронні таблиці, ПЗ для математичних та статистичних обчислень тощо).

До розроблення опорного ПЗ вдаються у тих випадках, коли ПЗ, що випробовується, є не дуже складним і реалізація його алгоритмів проста. Опорне ПЗ не повинно відтворювати усі функціональні можливості ПЗ, яке перевіряється, а може містити тільки функції і параметри, що впливають на метрологічні характеристики ЗВ. У деяких випадках не враховують особливості графічного інтерфейсу користувача, а також функції, що не беруть участь в опрацюванні результатів вимірювань (наприклад, функції відображення, зберігання даних тощо).

Цей метод дає можливість максимально врахувати особливості ПЗ, що перевіряється, та метрологічні характеристики ЗВ. Недоліком методу є те, що часто складність ПЗ робить реалізацію цього методу недоцільною через значні затрати на розроблення опорного ПЗ.

За відсутності опорного ПЗ пріоритет надається методу порівняльних випробувань з використанням моделей вихідних даних та порівняльних випробувань із генеруванням «еталонних» даних.

Метод порівняльних випробувань з використанням моделей вихідних даних рекомендований для атестації алгоритмів опрацювання результатів вимірювань. Метод дає змогу оцінювати можливість алгоритмів порівнянням результатів опрацювання моделей вихідних даних алгоритмами, які тестуються, із заданими параметрами цих моделей. Метод моделей вихідних даних є різновидом методу генерування «еталонних» даних, тільки дані не генеруються спеціально розробленими програмами, а програмно задаються на вході ПЗ, яке тестується. Моделі вихідних даних вибирають так, щоб вони максимально

відповідали вимірювальному завданню. При цьому моделі вихідних даних повинні охоплювати якомога більший діапазон можливих значень. До моделей вихідних даних можуть входити:

- дані, які повністю перекривають діапазон можливих значень;
- дані, близькі до найбільших і найменших значень, а також ряд проміжних значень;
- особливі значення вхідних змінних – точки різкого зростання або розриву похідних, нульові, одиничні, гранично малі числові значення змінних тощо.

Якщо значення деякої змінної залежать від значень іншої змінної, то тестування проводять для певних поєднань цих змінних, наприклад, рівність обох змінних, мала і велика їх відмінність, нульові значення змінних. Метод тестування з використанням моделей вихідних даних є простішим в реалізації, ніж класичний метод генерування «еталонних» даних. Проте для розроблення цього методу необхідна апріорна інформація про алгоритми роботи ПЗ та їх програмну реалізацію, а вона не завжди відома.

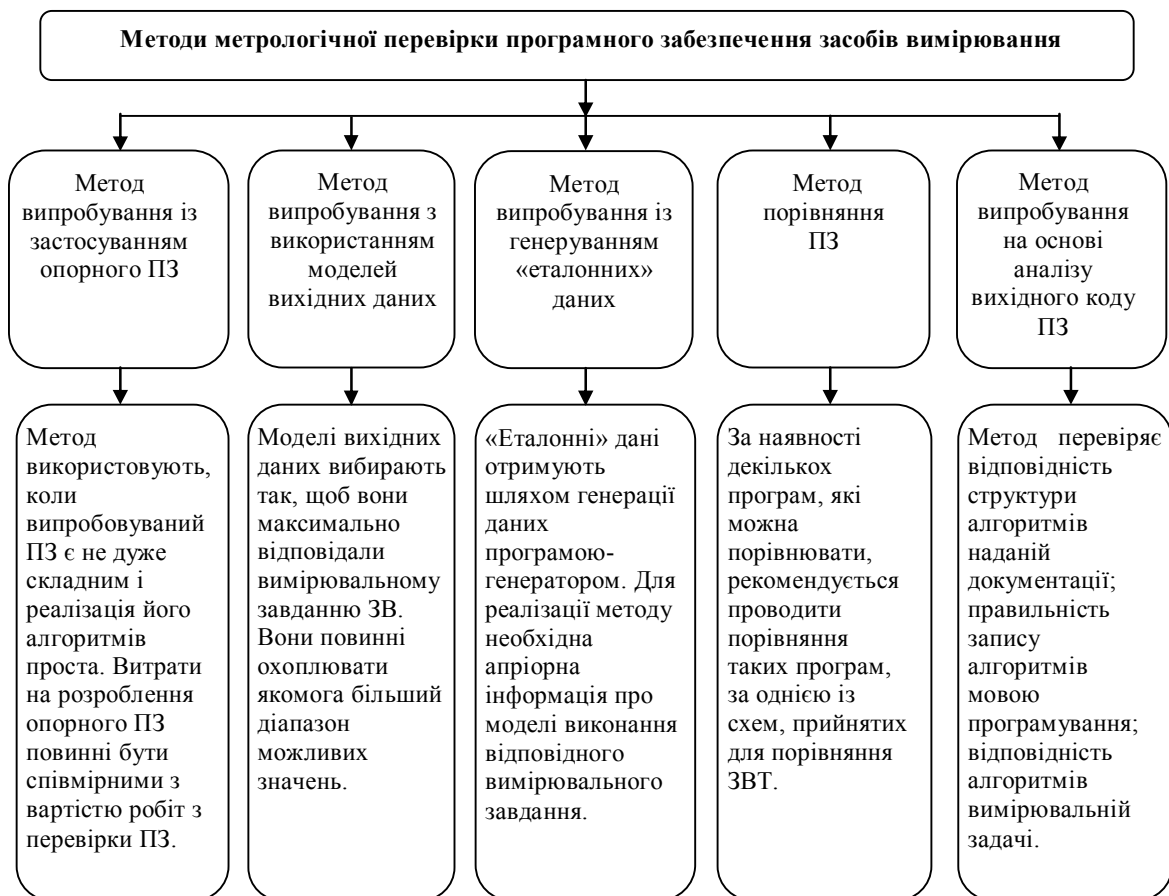


Рис. 2. Методи метрологічної перевірки ПЗ ЗВ

Метод *генерування «еталонних» даних*, як і метод моделей вихідних даних, застосовується як альтернатива використанню опорного ПЗ в разі його відсутності або неможливості використання для перевірки окремих функцій, що реалізуються ПЗ. Однією з необхідних умов застосування методу генерування «еталонних» даних є наявність апріорної інформації про відповідне вимірювальне завдання. «Еталонні» дані отримують генеруванням даних за допомогою спеціально розробленої програми – генератора «еталонних» даних на основі заданих вихідних даних. Генератор «еталонних» даних реалізують однією з мов програмування або за допомогою стандартного математичного або статистичного програмного пакета. Вихідні дані для тестування, зокрема і для генерування «еталонних» даних, формуються з урахуванням властивостей алгоритмів ПЗ, які перевіряються. Метод генерування «еталонних» даних є альтернативою методу з використанням опорного ПЗ. З іншого боку, розроблення генератора «еталонних» даних доцільне, коли воно дешевше, ніж реалізація інших методів.

За наявності декількох реалізацій програм того самого вимірювального алгоритму та за відсутності опорного ПЗ доцільно проводити перевірку *методом порівняння* (на входи програмних продуктів подаються однакові набори «еталонних» даних і проводиться порівняння відповідних тестових результатів). Метод порівняння ПЗ простий в реалізації і не потребує написання додаткових програм. Проте ЗВ з однаковими функціями ПЗ трапляються доволі рідко.

Виконуючи *тестування на основі аналізу вихідного коду ПЗ*, перевіряють:

- відповідність структури алгоритмів наданій документації;
- правильність запису алгоритмів вибраною мовою програмування;
- відповідність вибраних алгоритмів вимірювальної задачі (виявлення нестійких алгоритмів).

Під час перевірки відповідності структури алгоритмів наданій документації за текстом програми можуть бути складені блок-схеми алгоритмів, які порівнюють з алгоритмами, описаними в документації. Якщо виявлено відмінності в структурі алгоритмів, проводиться додатковий аналіз елементів блок-схем. Під час перевірки правильності запису алгоритмів вибраною мовою програмування встановлюється відповідність коду правилам програмування, наявність невизначених змінних і операторів, правильність організації циклів тощо. Відповідність вибраних

алгоритмів вимірювальному завданню можна оцінити за допомогою математичного аналізу програмно реалізованих алгоритмів. При цьому можуть досліджуватися різні характеристики реалізованих алгоритмів, зокрема, може проводитися аналіз оптимальності числових методів розв'язання вимірювального завдання.

Цей метод забезпечує можливість детальної оцінки ПЗ ЗВ. Проте для реалізації методу тестування на основі аналізу вихідного коду необхідно задіяти спеціалістів з галузі програмування та метрології. Затрати на реалізацію цього методу набагато вищі порівняно з іншими методами.

Висновки. На основі проведеного аналітичного огляду процедур та методів перевірки ПЗ ЗВ, аналізу переваг і недоліків цих методів пріоритет надається методу з використанням опорного ПЗ. Цей метод доцільно використовувати, коли алгоритм ПЗ є простим у реалізації. Якщо застосування методу опорного ПЗ є економічно не вигідним, переважно використовуються методи порівняльних випробувань з використанням моделей вихідних даних та порівняльних випробувань із генеруванням «еталонних» даних.

Підбір «правильного» методу перевірки ПЗ ЗВ важливий. Вибираючи метод, беруть до уваги насамперед можливість реалізації певного методу, затрати на реалізацію, доцільність використання та точність цього методу. Всі ці критерії є неоднаковими для різних ЗВ. Від вибору методу перевірки залежить ціна та якість метрологічної перевірки ПЗ ЗВ.

1. *Порядок атестації програмного забезпечення засобів вимірювальної техніки [Електронний ресурс]. – Режим доступу до інформації: http://www.uazakon.com/documents/date_9k/pg_izcngx.htm* 2. *WELMEC 7.1, Видання 2, Інформаційний документ, Розробка вимог програмного забезпечення. – Відень, 2005. – 48 с.* 3. *МІ 3286 – 2010 «Проверка защиты программного обеспечения, определение ее уровня при испытаниях средств измерений в целях утверждения типа». – М., 2010. – 33 с.* 4. *Обобщенная модель процедуры испытаний измерительного программного обеспечения / Г.В. Злыгостева, С.В. Муравьев // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318. – № 4. – С 62–67.* 5. *МІ 2174_91 ГСИ. Аттестация алгоритмов и программ обработки данных при измерениях. Основные положения. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 27 с.* 6. *Метрология, качество и сертификация программного обеспечения / Е.В. Ковалевская. – М., 2004. – 96 с.*