

67-72-24/1  
20.03.17

Голові спеціалізованої вченої ради  
Д 35.052.21  
Національного університету  
“Львівська політехніка”  
79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12

**ВІДГУК**  
**офіційного опонента на дисертаційну роботу**  
**ОЛЕСЬКІВ Ольги Михайлівни**  
**“Метрологічна перевірка програмного забезпечення**  
**засобів вимірювання”, що подана на здобуття наукового ступеня**  
**кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 - стандартизація,**  
**сертифікація та метрологічне забезпечення**

Стрімке зростання вимог до метрологічного забезпечення засобів вимірювання (в тому числі і кібер-фізичних систем) має супроводжуватися відповідним удосконаленням науково-методичних і технічних основ метрологічної перевірки програмного забезпечення засобів вимірювання. Існуюча система метрологічного забезпечення засобів вимірювання не повною мірою задовольняє потрібним вимогам при їх експлуатації. Тому дисертаційна робота Олеськів О.М. присвячена вирішенню **актуального** наукового завдання щодо розроблення засад метрологічної перевірки програмного забезпечення засобів вимірювань, створення еталонних засобів та методів метрологічної перевірки програмного забезпечення засобів вимірювань.

Основні результати роботи отримані під час досліджень, що проводились за планами наукової роботи кафедри інформаційно-вимірювальні технології Національного університету “Львівська політехніка” в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи “Вимірювання температури мікро- та наноструктурованих об’єктів методом комбінаційного розсіювання світла” (реєстраційний №0115U000431).

Наукові положення, висновки за результатами досліджень та рекомендації щодо їх практичного застосування є **обґрунтованими** і експериментально підтвердженими.

**Достовірність** теоретичних положень дисертаційної роботи підтверджується застосуванням апробованих теоретичних основ метрологічного забезпечення при синтезі наукових результатів, строгим виведенням аналітичних співвідношень та збіжністю результатів математичного моделювання з результатами, що отримані під час впровадження розроблених генератора цифрових послідовностей та методів метрологічної перевірки програмного забезпечення засобів вимірювання.

До **основних наукових результатів**, на мою думку, слід віднести: метод багаторівневої метрологічної перевірки програмного забезпечення компонентів кібер-фізичних систем, що дозволяє покращити безпеку їх функціонування кібер-фізичних систем та полегшити процес метрологічної перевірки їх програмного забезпечення;

метод метрологічної перевірки програмного забезпечення засобів вимірювань на основі методу «чорної скриньки» та методу генерування «еталонних» даних, що дозволяє уніфікувати процес метрологічної перевірки програмного забезпечення засобів вимірювань та суттєво зменшити його тривалість;

математичну модель генератора зразкових цифрових послідовностей із врахуванням параметрів вимірюваного сигналу та аналогової частини засобів вимірювань, що дозволяє реалізувати генератор зразкових цифрових послідовностей практично в будь-якому програмному забезпеченні сучасних засобів вимірювань, а також як окремий засіб метрологічної перевірки.

Основні наукові результати дисертації достатньо повно відображені у 9 наукових працях, 4 статті з яких видані у фахових науково-технічних виданнях, з них 1 стаття видана у зарубіжному міжнародному журналі. Рівень опублікованих робіт відповідає вимогам ДАК України.

**Практична цінність роботи** полягає в тому, що вона спрямована на вирішення актуального наукового завдання щодо розроблення засад метрологічної перевірки програмного забезпечення засобів вимірювань, створення еталонних засобів та методів метрологічної перевірки програмного забезпечення засобів вимірювань.

Запропоновані у роботі методи та засоби метрологічної перевірки програмного забезпечення засобів вимірювання можна застосовувати в навчальному процесі кафедр інформаційно-вимірювальних технологій і метрології, стандартизації та сертифікації Національного університету "Львівська політехніка", а саме, в дисциплінах "Тестування інформаційно-

вимірювальних систем”, “Автоматизовані засоби метрологічного забезпечення”, “Методи і засоби підвищення точності вимірювань та випробувань”. Результати роботи можуть використовуватись під час проведення науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, під час курсового та дипломного проектування, а також можуть бути корисними аспірантам, магістрам та спеціалістам в галузі метрологічного забезпечення випробувань та якості продукції.

**Оцінка змісту дисертації.** Дисертація викладена на 147 сторінках друкованого тексту (у тому числі 107 сторінок основного тексту) і складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 110 найменувань, 2 додатків, містить 62 рисунки та 7 таблиць.

**У вступі** доводиться актуальність роботи, даються всі необхідні для кандидатської дисертації формулювання мети і завдань дослідження, методів дослідження, наукової новизни отриманих результатів і їх практичної цінності. Тут же наведено зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, а також наводяться відомості про апробації роботи та про публікації за її тематикою.

**У першому розділі** розглянуто типи програмного забезпечення засобів вимірювання та кібер-фізичних систем, процедури і методи перевірки та його тестування, проаналізовано можливість проведення метрологічної перевірки програмного забезпечення засобів вимірювання з різними структурами. Приведено визначення таких термінів, як: метрологічна перевірка програмного забезпечення засобів вимірювання, похибка програмного забезпечення засобів вимірювання та генератор зразкових цифрових послідовностей. Показано, що метрологічна перевірка програмного забезпечення засобів вимірювання переважно потрібна лише на етапі проектування та розробки. Метрологічна перевірка програмного забезпечення кібер-фізичних систем є актуальною і під час експлуатації. Обґрунтовано, що для реалізації метрологічної перевірки програмного забезпечення засобів вимірювання доцільним є поєднання двох методів: методу «чорної скриньки» та методу генерування «еталонних» даних, що дозволить уніфікувати та спростити метрологічну перевірку програмного забезпечення засобів вимірювання.

**У другому розділі** розроблено алгоритми метрологічної перевірки програмного забезпечення інтелектуальних первинних перетворювачів, засобів вимірювання та кібер-фізичних систем. Запропоновано проводити багаторівневу метрологічну перевірку програмного забезпечення компонентів кібер-фізичних систем, що дозволяє покращити безпеку їх

функціонування та полегшити процес метрологічної перевірки їх програмного забезпечення. Показано, що для реалізації розроблених алгоритмів метрологічної перевірки програмного забезпечення засобів вимірювань та кібер-фізичних систем необхідно розробити генератор зразкових цифрових послідовностей.

**Третій розділ** присвячений розробленню генератора зразкових цифрових послідовностей, зокрема, його математичної моделі та алгоритму роботи, що дозволяє формувати зразкові цифрові послідовності з врахуванням параметрів вимірюваного сигналу: форми, частоти, амплітуди, фази; параметрів АЦП: розрядності, частоти дискретизації, часу перетворення, адитивної, мультиплікативної, нелінійної та випадкової похибок. Генератор зразкових цифрових послідовностей може працювати у режимі метрологічної перевірки або режимі відлагоджування програми. Розроблено алгоритм формування зразкових цифрових послідовностей, сигналів трикутної та пилкоподібної форми, який може використовуватися для моделювання сигналів складної форми. Запропоновано інтерфейс користувача, який дозволяє у зручній формі задавати параметри сигналів та АЦП для формування зразкових цифрових послідовностей. Показано, що генератор зразкових цифрових послідовностей можна інтегрувати у будь-який програмний пакет сучасних засобів вимірювання (типу MATLAB, LabVIEW тощо) як окремий блок для метрологічної перевірки програмного забезпечення, а також як засіб відлагоджування програмного забезпечення при розробці засобу вимірювання.

У четвертому розділі із використанням запропонованого генератора зразкових цифрових послідовностей проведено метрологічну перевірку функції перетворення Фур'є програмних пакетів MATLAB і Mathcad. За результатами метрологічної перевірки функції перетворення Фур'є з використанням даних типу double похибка обчислення гармонік спектру не перевищує  $10^{-10}\%$ . При використанні зразкових цифрових послідовностей із урахуванням квантування сигналу похибка функції перетворення Фур'є суттєво зростає та для 16-розрядного АЦП не перевищує  $6 \cdot 10^{-4}\%$ . Квантування сигналу призвело до зростання похибки на 6 порядків. При використанні зразкових цифрових послідовностей із урахуванням квантування сигналу та сумарної похибки АЦП від 0,003% до 0.3%, похибка функції перетворення Фур'є для 16-розрядного АЦП не

перевищує відповідно 0,0033% та 0,33% для синусоїдального сигналу, а для трикутного сигналу – 0,0047% та 0,47%. Проведені дослідження показали, що на похибку програмного забезпечення засобів вимірювання суттєвий вплив має дискретизація сигналу.

### **Зауваження до змісту дисертації.**

1. У вступі в пунктах наукової новизни бажано б було вказати чим запропоновані результати відрізняються від відомих.

2. В практичній значимості результатів було б доцільно вказати посилання на акти впровадження.

3. У першому розділі бажано було б навести аналіз відомих генераторів зразкових цифрових послідовностей, що використовуються для перевірки програмного забезпечення.

4. У п. 2.1 дисертації детально не розкрито запропонований автором метод метрологічної перевірки програмного забезпечення засобів вимірювань.

5. Не зрозуміло чому у п.2.2 не наведено обґрунтування пріоритетності ініціювання метрологічної перевірки програмного забезпечення кібер-фізичних систем.

6. Другий розділ замалий в порівнянні з іншими розділами (він складає 13 сторінок).

7. Із автореферату не зрозуміло, що все-таки розроблено автором генератор зразкових цифрових послідовностей, чи математична модель генератору зразкових цифрових послідовностей.

8. В роботі не наведено конкретних практичних рекомендацій яким чином на практиці можна використовувати запропоновані автором результати, зокрема генератор зразкових цифрових послідовностей.

9. В роботі та авторефераті зустрічаються стилістичні і орфографічні помилки, деякі неточності при оформленні списку використаних джерел.

Як впливає з критичного аналізу змісту дисертаційної роботи, зауваження до дисертації не стосуються її принципових положень й не впливають на загальну позитивну оцінку роботи та на її наукову цінність.

Автореферат дисертації та публікації автора за темою дисертації адекватно відображають її зміст.

Оформлення дисертації і її автореферату відповідає вимогам ДАК України.

Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок, що дисертація Олесків Ольги Михайлівни є закінченою науковою роботою, що присвячена вирішенню актуального наукового завдання щодо розроблення засад метрологічної перевірки програмного забезпечення засобів вимірювань, створення еталонних засобів та методів метрологічної перевірки програмного забезпечення засобів вимірювань.

За сукупністю отриманих результатів представлену на захист дисертацію можна кваліфікувати як роботу, що задовольняє вимогам ДАК України до кандидатських дисертацій і паспорту спеціальності 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення, а автор дисертації О.М. Олесків заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

**Офіційний опонент:**

Заступник начальника Наукового центру Сухопутних військ з наукової роботи Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного

доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
полковник

М.Ю. ЯКОВЛЕВ

ЗГІДНО

ТВО заступника начальника

Національної академії сухопутних військ

імені гетьмана Петра Сагайдачного з наукової роботи

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
полковник

В.І. ГРАБЧАК

17 березня 2017 р.

