

# СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА СЕРТИФІКАЦІЯ

УДК 004.4, УДК 621.317.089.6

## БАГАТОРІВНЕВА МЕТРОЛОГІЧНА ПЕРЕВІРКА КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ

© Олеськів Ольга, 2015

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

*Проаналізовано особливості функціонування кіберфізичних систем та їх компонентів. Розглянуто можливості під'єднання первинних перетворювачів до кіберфізичних систем. Запропоновано варіанти структурної реалізації кіберфізичних систем. Запропоновано багаторівневу метрологічну перевірку кіберфізичних систем. Запропоновано алгоритми перевірки програмного забезпечення кіберфізичних систем на системному, підсистемному рівнях та на рівні інтелектуальних первинних перетворювачів.*

*Ключові слова: засіб вимірювання, програмне забезпечення, метрологічна перевірка, кіберфізична система, вбудована система керування, інтелектуальний первинний перетворювач, алгоритм.*

*Проанализированы особенности функционирования киберфизических систем и их компонентов. Рассмотрены возможности подключения первичных преобразователей к киберфизическим системам. Предложены варианты структурной реализации киберфизических систем. Предложено многоуровневую метрологическую проверку киберфизических систем. Предложены алгоритмы проверки программного обеспечения киберфизических систем на системном и подсистемном уровнях, а также на уровне интеллектуальных первичных преобразователей.*

*Ключевые слова: средство измерения, программное обеспечение, метрологическая проверка, киберфизическая система, встроена система управления, интеллектуальный первичный преобразователь, алгоритм.*

*This article presents the features of functioning the cyber-physical systems and their components. The cyber-physical systems are complex systems which components may be located at great distance from one another. The cyber-physical systems perform processing of information and functions of monitoring and control equipment. Cyber-physical systems infrastructure mainly consists of subsystems, which electronic components are implemented through the embedded system control and get information about the environment through sensors and measuring device and can influence it through actuators. The analysis opportunity of sensors possible accession to embedded system control is examined. The classification by the sensors output signal type is considered. On the basis of the sensors classification concluded that the cyber-physical systems is most expedient to use intelligent sensors. Intelligent sensors have a number of properties that significantly distinguish them from other types of sensors. Intelligent sensors can automatically choose measuring range, carry out algorithmic correction of the measurement results, operate in a dialogue with the central control system, take decisions, transfer measurement results in digital form, as well as alarms and others. Intelligent sensors can conduct self-tuning, self-testing and self-examination. Intelligent sensors performing necessary conversion of measurement data and mathematical processing of measurement results. Therefore, the use of intelligent sensors enables to release embedded system control from storage and processing of a large number of intermediate data. Given the above information allows considering the optimal use of intelligent sensors in cyber-physical systems. A structural implementation of cyber-physical systems in two ways is proposed: 1) all subsystems of cyber-physical systems is equal, able to form task and together with other components to participate in solving them, carry out a self-testing, self-examination, etc.; 2) in the cyber-physical systems are basic subsystem that controls and verification all other subsystems, primary means, and sensors performs. According to the results of the analysis of the cyber-physical system and those components characteristics, a multilevel remote metrological verification of cyber-physical systems is proposed. With the proposed algorithm the cyber-physical system components can be verified at the request of any component, subsystem or system as a whole. Also a person can initiate a metrological testing process, if there is suspicion of incorrect operation or its time for cyber-physical system routine verification. The algorithms of metrological*

*verification the software of cyber-physical systems at the system, subsystem and sensors levels are proposed. Ideally, the human factor is excluded from the verification process. The person will be involved in the verification of the cyber-physical systems software only when are errors with which the system can not cope on their own.*

**Key words:** *measuring instrument, software, metrological verification, cyber-physical system (CPS), embedded system control, intelligent sensor, algorithm.*

**Вступ.** У наш час інформаційні технології проникають практично у всі сфери людської діяльності та є найважливішим фактором інновацій. Об'єкти з вбудованими системами керування (ВСК), об'єднані між собою через глобальні мережі, виконують багато нових функцій та дій, що дає змогу частково або повністю усунути людину з процесу діяльності. З кожним роком реальний і віртуальний світи стають все ближчі один до одного, утворюючи технічну базу кіберфізичних систем (КФС). КФС, як правило, є складними системами, компоненти яких можуть перебувати на великій відстані одна від одної [1–3]. КФС здійснюють опрацювання інформації та виконують функції моніторингу та управління обладнанням. Інфраструктура КФС складається переважно з підсистем, електронні компоненти яких реалізуються через ВСК [4], що отримують інформацію про навколишнє середовище за допомогою первинних перетворювачів (ПП) та засобів вимірювання (ЗВ) і можуть впливати на нього через виконавчі механізми (ВМ) (рис. 1).

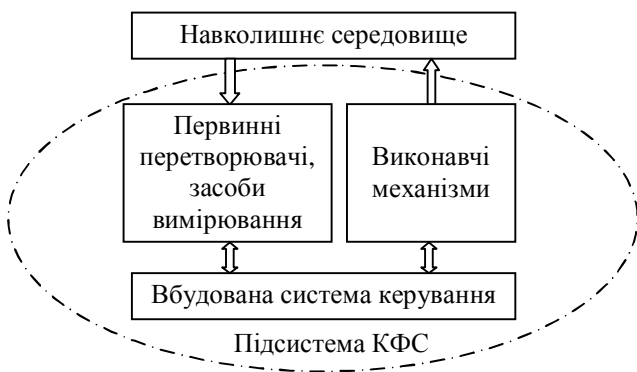


Рис. 1. Структурна схема підсистеми КФС

Fig. 1. Block diagram of CPS subsystem

Враховуючи широке застосування мікропроцесорної та мікроконтролерної техніки, основне опрацювання результатів вимірювання, а саме усереднення, апроксимація, фільтрація, інтерполяція, перетворення Фур'є тощо, реалізуються переважно програмним способом.

**Постановка задачі.** Якщо вимірювальна інформація відображає характеристики об'єкта зовнішнього

середовища з похибкою, що перевищує допустимі значення, то дія виконавчих механізмів на об'єкт може бути неправильною. Це може призвести до некоректного функціонування КФС та небажаних наслідків, а інколи і до небезпеки для життя людини. Тому для забезпечення правильного функціонування компонентів КФС актуальним є розроблення методів, методик та засобів віддаленої метрологічної перевірки первинних перетворювачів, засобів вимірювання та програмного забезпечення зокрема.

Метою цієї роботи є забезпечення коректного функціонування компонентів кіберфізичних систем та поліпшення якості їх експлуатації на основі покращення методів метрологічної перевірки кіберфізичних систем та розроблення алгоритмів віддаленої багаторівневої метрологічної перевірки програмного забезпечення кіберфізичних систем.

**Порівняльний аналіз первинних перетворювачів для кіберфізичних систем.** Для віддаленої перевірки програмного забезпечення (ПЗ) кіберфізичні системи підходять якнайкраще, оскільки їх компоненти та підсистеми з'єднані з Інтернетом і доступ до них, а отже, і до ПЗ, що їх обслуговує, наявний. Потрібно лише забезпечити певний програмний сервіс, який дає змогу запустити процес перевірки.

З іншого боку, цікавим є аналізування можливості під'єднання ПП до ВСК, що дало би змогу суттєво спростити вимірювальну частину КФС. За типом вихідного сигналу ПП бувають: аналогові; цифрові; бінарні; імпульсні; інтелектуальні.

Вихідним сигналом аналогового ПП є неперервна фізична величина (переважно електрична). Перевагою аналогових ПП є простота їх реалізації. Недоліком є те, що для під'єднання таких ПП до вимірювальної схеми потрібно використовувати додаткові засоби вимірювальної техніки [5]. Цифрові, бінарні та імпульсні ПП можна безпосередньо підключити до ВСК, якщо вона має цифровий та частотний вхід. Інтелектуальні ПП легко підімкнути до ВСК з використанням протоколів промислових мереж Profibus, Foundation Fieldbus та ін.

Інтелектуальні первинні перетворювачі (ПП) мають певні властивості, які істотно відрізняють їх від

інших видів ІПП. Окрім первинного перетворювача, ІПП містять в собі мікроконтролер. ІПП можуть автоматично вибирати діапазон вимірювання, здійснювати алгоритмічну корекцію результатів вимірювання, працювати в режимі діалогу з центральною системою управління, приймати команди, передавати результати вимірювання в цифровій формі, а також аварійні повідомлення тощо. ІПП можуть проводити самоналаштування, самодіагностику та самоперевірку [6, 7]. ІПП здійснюють необхідні перетворення вимірювальної інформації та математичне опрацювання результатів вимірювань. Тому використання ІПП дає можливість звільнити ВСК від збереження та опрацювання значної кількості проміжних даних. Враховуючи вищесказане, у КФС оптимальним є використання ІПП.

**Структури кіберфізичних систем.** Організація структури КФС здійснюється двома способами:

1. Всі підсистеми КФС є рівноправними, здатні самостійно формулювати завдання і разом з іншими компонентами брати участь у їх вирішенні, проводять самоперевірку, самодіагностику, самоналаштування тощо (рис. 2).

2. У КФС є основна підсистема, яка здійснює контроль та перевірку всіх інших підсистем, засобів вимірювання та первинних перетворювачів (рис. 3).

В організації роботи КФС з рівноправними підсистемами одна із підсистем, залежно від поставленого завдання, бере на себе функцію головної (стає керівником і виконавцем одночасно). Переважно це підсистема, до якої звернувся користувач. Всі інші підсистеми у цей час є виконавцями. Такі системи є складними, оскільки кожна із підсистем може бути головною, тобто в усіх підсистем є функції і виконавця, і керівника, що ускладнює їх програмну частину. У КФС з рівноправними підсистемами звітність може подаватись до кожної з підсистем. Користувач може здійснювати управління КФС та отримувати всю інформацію про неї, приєднавшись до будь-якої з підсистем КФС.

У разі організації роботи КФС з основною підсистемою контролю тільки одна із підсистем має функції керівника та виконавця. Вона є основною підсистемою і забезпечує розподіл та організацію роботи між іншими підсистемами. Всі інші підсистеми є виконавцями. Контакт людини і КФС відбувається через підсистему контролю. У обох варіантах

реалізації КФС має бути врахована можливість ініціювання перевірки усіх компонентів людиною.

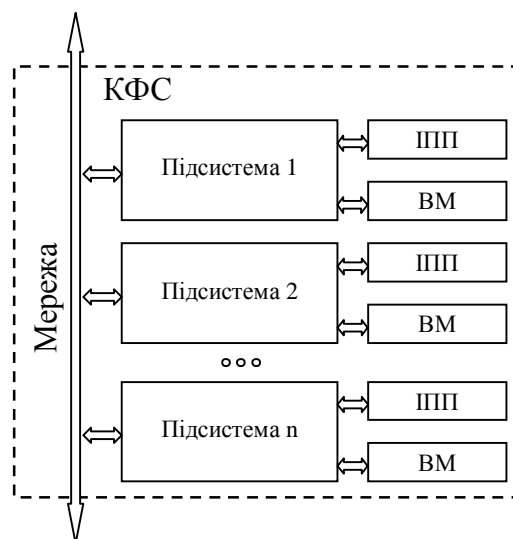


Рис. 2. КФС з рівноправними підсистемами

Fig. 2. CPS with equal subsystems

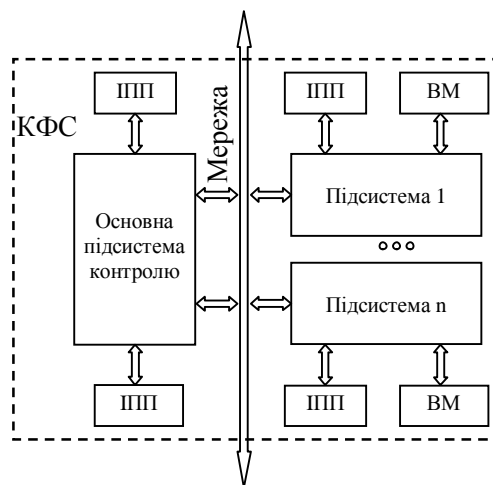


Рис. 3. КФС з основною підсистемою контролю

Fig. 3. CPS with basic control subsystem

### Багаторівнева метрологічна перевірка КФС.

Метрологічна перевірка КФС є достатньо складною процедурою, тому що підсистеми КФС можуть розташовуватися у будь-якому куточку земної кулі. Враховуючи таку специфіку КФС як “засобу вимірювання” запропоновано багаторівневу метрологічну перевірку КФС. Метрологічна перевірка КФС має відбуватися на всіх етапах функціонування, починаючи з самоперевірки інтелектуальних первинних перетворювачів і закінчуючи загальною перевіркою КФС, яку може ініціювати основна підсистема

контролю або обслуговуючий персонал КФС, якщо виникли сумніви щодо коректності функціонування КФС або настав час планової перевірки.

Пріоритети ініціювання метрологічної перевірки КФС мають бути такими:

- найвищий рівень: людина;
- другий рівень: основна підсистема контролю;
- третій рівень: підсистеми;
- четвертий рівень: ІПП.

Ієрархію ініціювання метрологічної перевірки КФС подано на рис. 4.

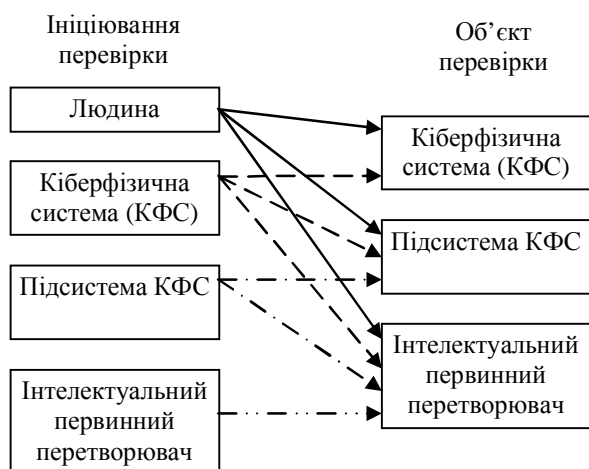


Рис. 4. Ієрархія ініціювання метрологічної перевірки КФС

Fig. 4. Hierarchy of initiation metrological verification of CPS

**Алгоритми перевірки ПЗ КФС.** Перевірка ПЗ у КФС має відбуватися на всіх рівнях: системному, підсистемному та ІПП. На системному рівні ПЗ виконуватиме організацію роботи КФС, формування завдання та контроль правильності його виконання, розподіл завдань між підсистемами тощо. На рис. 5 подано алгоритм перевірки ПЗ КФС. Ініціювання перевірки ПЗ на системному рівні здійснюватиме основна підсистема контролю. Якщо в цей час триває перевірка ПЗ підсистеми, або ІПП, то вона буде призупинена. Якщо під час перевірки ПЗ системи не виявлено помилок, то система працюватиме далі в звичайному режимі до наступної перевірки. Якщо в результаті перевірки виявлено помилки чи збої у ПЗ системи, то система намагатиметься їх виправити.

Якщо система успішно виправить помилки, робота КФС буде продовжена в штатному режимі. У іншому випадку, коли помилки у ПЗ не вдасться виправити самостійно, інформація про місце і час виявлення помилки буде передана до інтерфейсу користувача,

КФС буде переведена в безпечний режим роботи і виправлення помилок займеться обслуговуючий персонал. Після виправлення помилок ПЗ і перевірки системи її робота в штатному режимі буде відновлена.

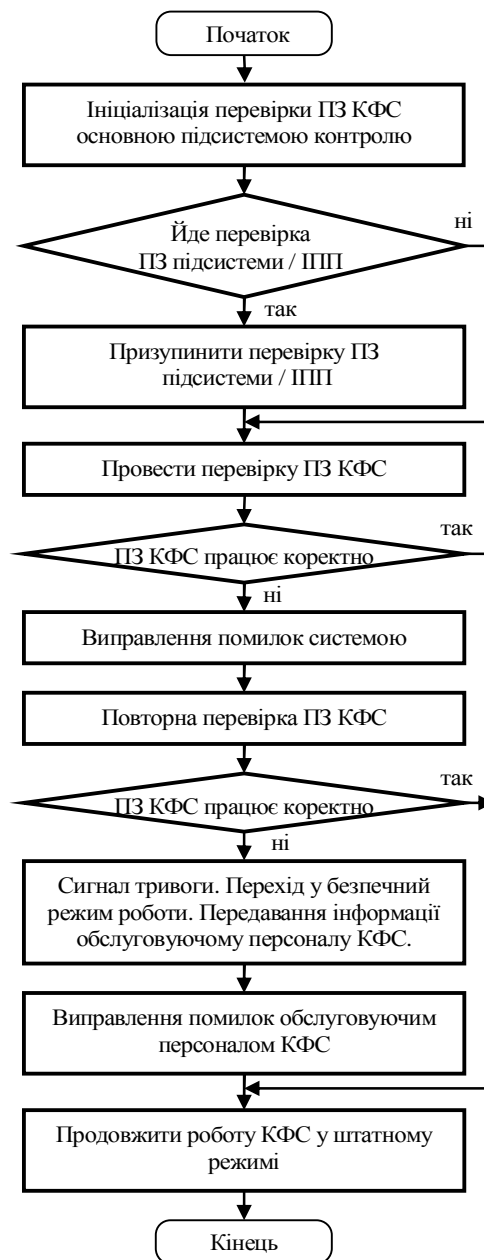


Рис. 5. Алгоритм перевірки ПЗ КФС

Fig. 5. Algorithm of Software verification CPS

На рис. 6 наведено алгоритм перевірки ПЗ підсистеми. Ініціюватиме перевірку ПЗ підсистеми переважно також основна підсистема контролю. Підсистема теж може ініціювати перевірку свого ПЗ. Якщо в цей час відбувається перевірка ПЗ ІПП, то вона буде призупинена. Якщо вже відбувається перевірка

ПЗ підсистеми, то достатньо дочекатися її завершення без проведення додаткової ідентичної перевірки. Подальший алгоритм роботи аналогічний перевірці ПЗ на системному рівні.

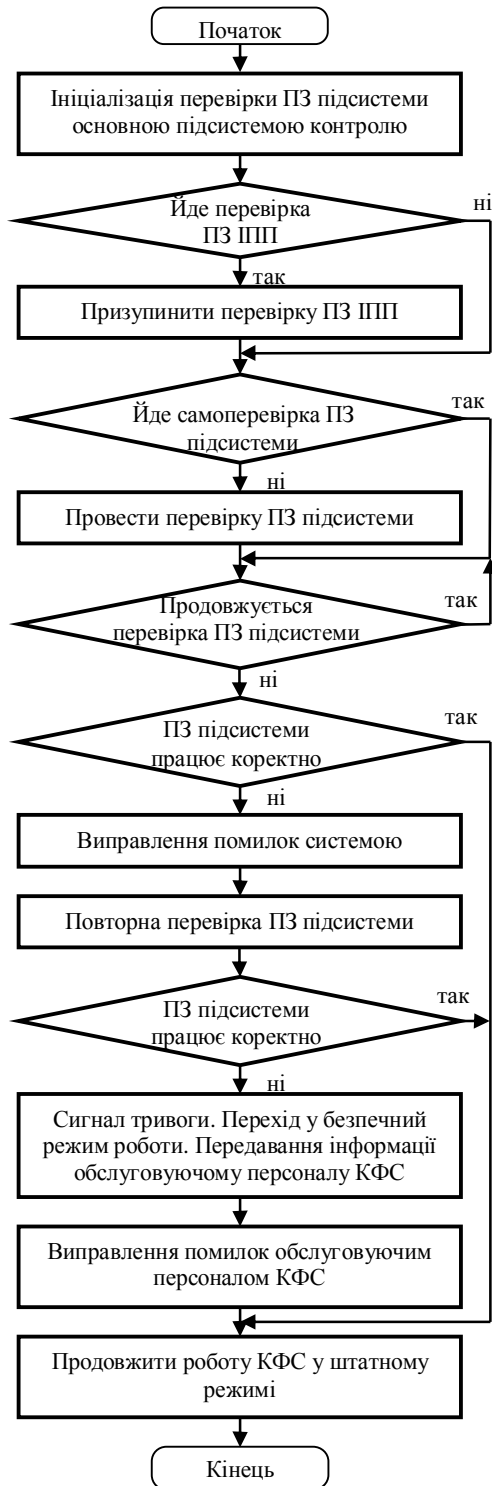


Рис. 6. Алгоритм перевірки ПЗ підсистеми КФС

Fig. 6. Algorithm of Software verification subsystem CPS

На рис. 7 наведено алгоритм перевірки ПЗ ІПП. Ініціює перевірку ПЗ ІПП основна підсистема контролю. Перевірка ПЗ ІПП може бути ініційована підсистемою, а також ІПП можуть проводити самоперевірку ПЗ. Якщо вже відбувається перевірка ПЗ ІПП, то достатньо дочекатися її завершення без проведення повторної ідентичної перевірки. Подальший алгоритм перевірки аналогічний перевірці ПЗ на системному та підсистемному рівнях.

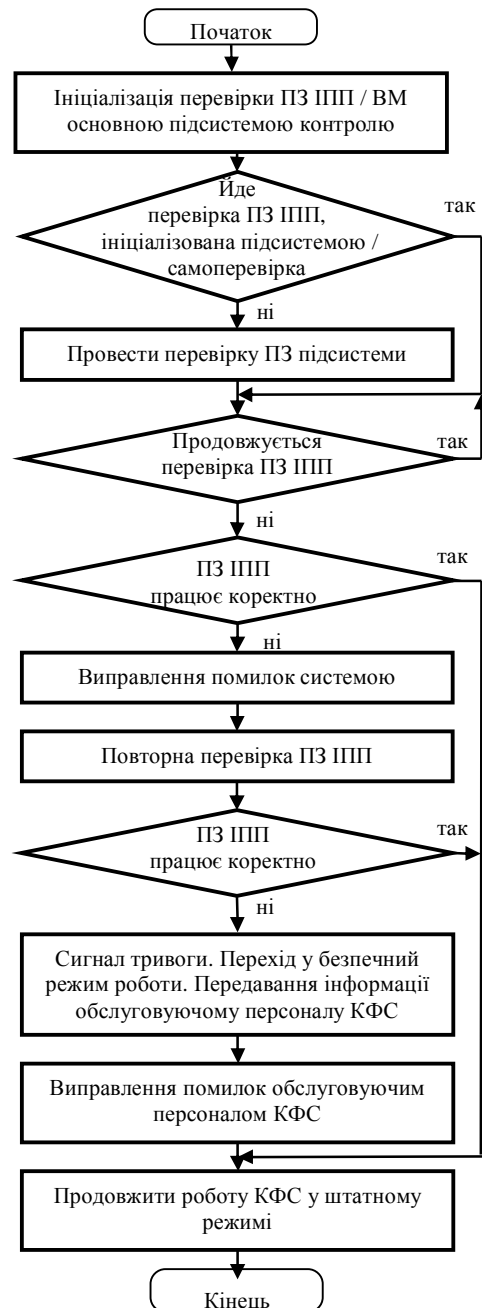


Рис. 7. Алгоритм перевірки ПЗ ІПП

Fig. 7. Algorithm of Software verification intelligent sensors CPS

Запропоновані алгоритми описують можливий варіант перевірки ПЗ КФС на різних рівнях. В ідеалі процес відбуватиметься без участі людського фактора перевірки. Людина братиме участь у перевірці ПЗ КФС, тільки коли буде виявлено помилки, з якими система не зможе справитися самостійно.

### Висновки

1. Розглянувши класифікацію первинних перетворювачів, зроблено висновок, що у КФС найдоцільніше використовувати інтелектуальні первинні перетворювачі.

2. Запропоновано два варіанти організації структури КФС: з рівноправними підсистемами та з основною підсистемою контролю.

3. Запропоновано багаторівневу метрологічну перевірку КФС, згідно з якою перевірка КФС має відбуватися на всіх рівнях: ІПП, підсистемному та системному. Найвищим ієрархічним рівнем, який може ініціювати метрологічну перевірку КФС, є людина.

4. Розроблено алгоритми перевірки ПЗ КФС на рівні системи, підсистеми та ІПП. За запропонованими алгоритмами людина не братиме участі в перевірці ПЗ КФС, якщо система самостійно зможе виправити усі помилки у ПЗ.

1. Jiafu Wan, Hehua Yan, Hui Suo, Fang Li, *Advances in Cyber-Physical Systems Research // KSII Transactions On Internet And Information Systems, Vol. 5, NO. 11, November 2011.* – P. 1891–1908. 2. *Cyber-physische Systeme. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до інформації: <http://www.enzyklopaedieder-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/informationssysteme/Sektorspezifische-Anwendungssysteme/cyber-physische-systeme>.* 3. *Cyber-Physical Systems Security for the Smart Grid. [Електронний ресурс] – Режим доступу до інформації: [http://csrc.nist.gov/news\\_events/cps-workshop/cps-workshop\\_abstract-8\\_cardenas.pdf](http://csrc.nist.gov/news_events/cps-workshop/cps-workshop_abstract-8_cardenas.pdf).* 4. *Catsoulis J. Designing embedded hardware // O'Reilly, 2005.* – P. 26–29. 5. *Метрологія та вимірювальна техніка / Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, В. О. Яцук, В. М. Ванько, Т. Г. Бойко. – Л. : Бескид Біт, 2003. – 544 с.* 6. *Smart sensor systems [Електронний ресурс]. – Режим доступу до інформації: [http://samples.sainsburysebooks.co.uk/9780470866924\\_sample\\_383509.pdf](http://samples.sainsburysebooks.co.uk/9780470866924_sample_383509.pdf).* 7. *Ajay Mahajan, Christopher Oesch, Haricharan Padmanaban, Lucas Utterback, Sanjeevi Chitikeshi, Fernando Figueroa. Physical and Virtual Intelligent Sensors for Integrated Health Management Systems // International journal on smart sensing and intelligent systems, Vol. 5, No. 3, September 2012.* – P. 559–575.

УДК 658.562(075.8)

## СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ У КВАЛІМЕТРІЙ ПРОДУКЦІЇ ОВОЧІВНИЦТВА

© Мідик Ігор, Столярчук Петро, 2015

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації, вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів

*Сформовано та систематизовано показники якості продукції овочівництва для розроблення єдиних принципів оцінювання та визначення комплексного показника якості з урахуванням різнопрофільних потреб споживачів.*

*Ключові слова: показники корисності, органолептичні показники, показники технологічного призначення, показники безпеки, показники транспортальності.*

*Сформированы и систематизированы показатели качества продукции овощеводства для разработки единых принципов оценки и определения комплексного показателя качества с учетом разнопрофильных потребностей потребителей.*

*Ключевые слова: показатели полезности, органолептические показатели, показатели технологического назначения, показатели безопасности, показатели транспортальности.*