

# ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

## ПІДСИСТЕМА ЗБИРАННЯ ДАНИХ ДЛЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ АГРОВИРОБНИЦТВА ТА ЇЇ ВЕРИФІКАЦІЯ

### DATA ACQUISITION SUBSYSTEM FOR CYBER-PHYSICAL SYSTEMS OF AGRICULTURAL PRODUCTION MONITORING AND ITS VERIFICATION

*Бубела Т. З., д-р техн. наук, доц., Федюшин Т. І., студент*

*Національний університет «Львівська політехніка»,  
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій, Україна; e-mail: paholuk@ukr.net*

<https://doi.org/10.23939/istcm2018.01.028>

**Анотація.** Прийняття правильних керівних рішень у системі контролю агровиробництва великою мірою залежить від ступеня достовірності інформації про стан об'єктів довкілля. Особливого значення ці питання набувають під час моніторингу виробництва, яке передбачає вирощування продукції на екологічно чистих ґрунтах. Моніторинг параметрів ґрунтів повинен складатися із систематичних спостережень за їх станом, фіксування змін, їх оцінювання та керування. Одним із найважливіших завдань, що постало перед Україною сьогодні, є забезпечення сталого розвитку регіонів та стабільного економічного зростання на основі застосування інноваційних методів підвищення ефективності в різних галузях економіки, зокрема в системі агропромислового комплексу. Модернізування подібних систем управління повинно полягати у впровадженні інноваційних технологій на основі побудови кіберфізичних систем (КФС). З цією метою у статті розроблено конструкцію підсистеми збирання інформації для КФС моніторингу процесу агровиробництва зернових культур, відповідне програмне забезпечення та програму верифікації запропонованої підсистеми.

**Ключові слова:** кіберфізична система, агровиробництво, алгоритм збирання інформації, верифікація.

**Annotation.** Acceptance of the correct decision in the agro-production control system to great extent depends on the degree of reliability of environmental information. These issues become quite important while monitoring production which involves the products cultivation on environmentally friendly soils. Monitoring of soil parameters includes the primary state, recording of changes, their evaluation and management. Important challenge for nowadays Ukraine seems to be ensuring the sustainable development of regions and stable economic growth through the application of innovative methods of improving economic efficiency mainly in agro-industrial complex. Modernization of measuring systems could be carried out by introducing innovative technologies based on cyber-physical systems.

So, the design of gathering information subsystem for the CPS process monitoring, the corresponding software and the verification program of the proposed subsystem are developed. On the basis of the analysis of the existing state of such subsystems in the agricultural production, in particular soil control, it was established that generally accepted recommendations regarding the formation of soil structure parameters and their research methods for the operational provision of the requirements for the functioning of monitoring systems do not exist. Classical physical and chemical methods are generally implemented in laboratories and are unsuitable for field conditions.

Therefore, the aim of current study is to develop the information subsystem for the CPS control of agricultural production as also the draft verification program for such system. In order to adapt the general structure of the CPS to the task of controlling the production of grain crops, it was subdivided into sub-tasks that are: preparation of agricultural lands for sowing; process of production (cultivation); the process of certification of products and so on. For each of the CPS levels, the structural elements undergo some modifications, and the unification of the requirements is ensured both at the level of the research object (soil, water, air, etc.) and in relation to the finished product (grain). In general, the main stages of this process are structured in order to construct the CPS for grain crops production. In order to solve this problem the subsystem is proposed that allows the rapid testing of open soil and responds instantly to changes in its parameters.

Using the Wi-Fi module ESP8266 this subsystem remotely monitors the humidity and temperature of the ground in real time. Subsystem of collecting and transmitting information to CPS is characterized by the choice of a plurality of object parameters from the corresponding measuring arrays and databases. To implement proposed technology the particular cyber-physical system software is studied fit for production of grain crops.

In the first stage of growing technology, namely, the location of grains in the crop, the user has to indicate the precursor for the crop that is planned for sowing. Next step is to obtain measurement information on humidity and soil temperature. Having worked out this information, the program gives the result on whether you can sow this culture. The following stages involve the adoption of decisions on the amount of fertilizer, the readiness of the grain crop to sow, and the calculation of the massive rate of seeding of grain crops. At the final stage, the CPS gives indication on how to properly harvest the grain crop, depending on its degree of readiness, by processing the data on the moisture content of the grain and the height of the stem height. Software has several view modes; each of them provides the separate stage of the program. It can be implemented in smartphone with Android operating system. In order to minimize the risks of receiving inaccurate information in the monitoring system of agricultural production, the program for its verification is developed. The calibration interval for the proposed subsystem is calculated in 1.5 years.

**Key words:** cyber-physical systems, agricultural production, algorithm of information gathering, verification.

## Вступ

Ключовою компонентою кіберфізичної системи є підсистеми збирання інформації, які активно починають впроваджуватись у різні сфери людської діяльності, зокрема в агровиробництво. Спостереження за станом ґрунтів необхідне з метою запобігання негативним процесам або усунення їх дії. Тому потенційними можливостями пропонованої в роботі структури є функції контролю, діагностики, розпізнавання образів, автоматичного керування технологічними процесами агровиробництва. Основне завдання пропонованої КФС – забезпечити оптимальний перебіг технологічного процесу [1–3], що є запорукою підвищення ефективності агропромислового комплексу та безпосередньо впливає на якість життя населення регіону.

## Недоліки

Загальноприйнятих рекомендацій щодо формування структури параметрів ґрунтів та методів їх дослідження для оперативного забезпечення потреб функціонування інформаційних систем моніторингу не існує. Класичні фізико-хімічні методи, як правило, реалізуються у лабораторіях і малоприматні для польових умов [4]. Варто зазначити, що сьогодні стрімко розвиваються методи із застосуванням біоіндикаторів [5, 6]. Проте вони вважаються трудомісткими і не придатні для оперативного контролю. Контроль такого параметра, як вологість ґрунтів, настільки важливий, що створена міжнародна мережа вологості ґрунтів [10] для забезпечення користувачів необхідною інформацією. Особливо важливим є також контроль впливу динаміки зміни вологості ґрунтів на моделювання гідрологічних процесів, пов'язаних з неоднорідністю факторів навколишнього середовища (наприклад, топографічних ознак, властивостей ґрунту, типів землекористування та попередніх опадів) [7]. Для коригування ефектів перехресної чутливості використовують імпедансну спектроскопію під час вимірювання вологості ґрунту з підвищеною точністю на підставі багатоваріантного аналізу результатів експериментальних досліджень різних природних ґрунтів [8]. Однак запропонована процедура коригування трудомістка та малоприматна для реалізації в портативному засобі контролю. Отже, особливої важливості сьогодні набуває створення недорогих та ефективних систем моніторингу на основі КФС.

## Мета роботи

Метою роботи є розроблення підсистеми збирання інформації для КФС контролю агровиробництва та проекту програми верифікації такої

системи контролю, що вводиться в експлуатацію на певному виробничому об'єкті.

## Матеріали та методи

### 1. Взаємозв'язок КФС з виробництвом зернових культур

З метою адаптування загальної структури КФС до поставленого завдання управління виробництвом зернових культур її розділено на підзавдання, якими стали: підготовка сільськогосподарських угідь до посіву; процес виробництва (виросування); процес сертифікації продукції такого виробництва тощо. Для кожного з рівнів КФС структурні елементи зазнаватимуть певної модифікації, але уніфікація вимог до них забезпечуватиметься як на рівні об'єкта дослідження (ґрунт, вода, повітря тощо), так і стосовно готового продукту (зерна). Загалом для побудови КФС виробництва зернових культур структуровано основні етапи цього процесу (рис. 1), на кожному з яких КФС прийматиме рішення, необхідні для виконання певних управлінських дій з оптимізування цього процесу. З метою вирішення цього завдання створено підсистему, яка даватиме можливість оперативно проводити тести у відкритому ґрунті та миттєво реагувати на зміну його важливих параметрів.

Отже, для розроблюваної структури КФС (рис. 1) визначено суб'єктів-користувачів такої системи, якими мають стати агрогосподарства або контролюючі органи. На цьому ж рівні варто уточнити множину класів задач  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_n\}$ , на які орієнтована проектована система (дослідницькі, технологічні, управлінські тощо), та фізичних об'єктів, що описуються реальними параметрами і характеристиками, до яких належать ці задачі (в цьому випадку основними об'єктами КФС стали параметри ґрунтів, повітря, посівів, врожаю).

Розроблено програмний продукт, який дає змогу працювати з бездротовими мережами, гнучко підстроювати параметри збирання інформації, отримувати інформацію про процес у бездротовій мережі в режимі реального часу, забезпечити можливість збереження готових файлів для їх подальшого використання, нормалізації вхідних параметрів. Запропоновано використати технологію Wi-Fi, яка забезпечує швидкість передавання даних понад 100 Мбіт/с, а користувачі можуть переміщуватися між точками доступу на території покриття мережі Wi-Fi, використовуючи пристрої, оснащені клієнтськими прийнятно-передавальними пристроями Wi-Fi, та отримувати доступ в інтернет.

Для підсистеми збирання та передавання інформації КФС характерний вибір множини параметрів об'єктів з відповідних вимірвальних масивів

та баз даних. Для реалізації запропонованої технології створено програмне забезпечення, адаптоване для завдання агровиробництва зернових культур з позицій створення кіберфізичної системи. На першому етапі технології вирощування, а саме визначення місця зернових у сівозміні, користувач повинен вказати попередника для культури, яку планує для висівання. Наступним кроком є отримання вимірювальної інформації про вологість та температуру ґрунту. Опрацювавши вимірювальну інформацію, програма видасть результат щодо того, чи можна висівати цю культуру.

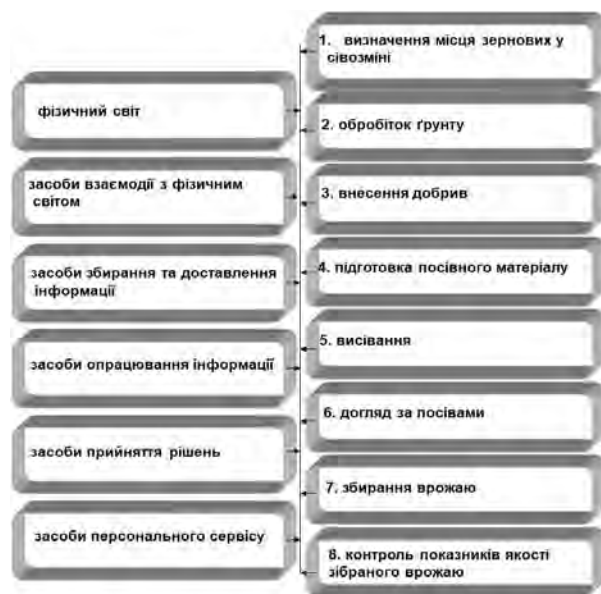


Рис. 1. Взаємозв'язок елементів КФС з етапами виробництва зернових культур

Fig. 1. Interconnection of CPS elements with stages of grain crops production

Наступні етапи передбачають прийняття рішень про кількість внесених добрив, готовність зернової культури до висівання, розрахунок масової норми висівання зернових культур. На завершальному етапі кіберфізична система дасть вказівку про те, як правильно зібрати зернову культуру залежно від ступеня її готовності, опрацювавши дані про вміст вологи у зерні та висоту стеблостою.

Програмний продукт має кілька екранних форм, кожна з яких забезпечує окремий етап роботи програми (рис. 2).

Розроблене програмне забезпечення реалізоване на смартфоні з операційною системою Android, скріншот інтерфейсу якого подано на рис. 3.

Автори створили підсистему (рис. 4), яка даватиме змогу в режимі реального часу вимірювати основні параметри ґрунту та формувати відповідні рішення про подальші дії.

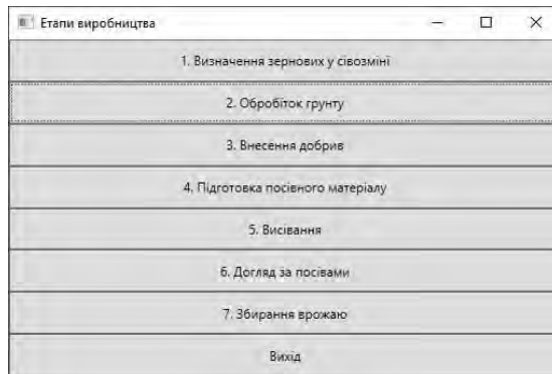


Рис. 2. Скріншот інтерфейсу програми, який демонструє етапи виробництва продукції

Fig. 2. Screenshot of the program interface, which demonstrates the stages of production



Рис. 3. Скріншот інтерфейсу програми на пристрої з операційною системою Android

Fig. 3. Screenshot of the program interface on the device with Android operating system



Рис. 4. Підсистема передавання даних про вологість та температуру ґрунту

Fig. 4. Subsystem of data transmission about soil humidity and temperature

## 2. Верифікація підсистеми

З метою створення програми верифікації (метрологічної атестації) запропонованої підсистеми поставлено основні завдання:

- визначення номенклатури і значень метрологічних характеристик вимірвальних каналів підсистеми;
- визначення номенклатури і значень нормованих характеристик точності випробувального обладнання;
- встановлення відповідності метрологічних характеристик і нормованих метрологічних характеристик до вимог технічного завдання на розроблення або стандартів;
- встановлення періодичності метрологічного підтвердження підсистеми збирання інформації;
- перевірка правильності вибору методів та засобів калібрування та верифікації;
- перевірка методик калібрування та верифікації;
- встановлення придатності системи для застосування.

Виокремлено такі розділи програми верифікації, а саме:

1. Загальні положення.
2. Загальні вимоги до вимірвальних каналів.
3. Еталонні та допоміжні засоби вимірвальної техніки.
4. Експериментальні дослідження вимірвальних каналів.
5. Методика проведення верифікації.
7. Аналіз результатів верифікації.
8. Висновки.

Важливе місце у програмі верифікації займає планування та проведення експериментальних досліджень підсистеми. Тому на цьому етапі передбачено:

1. Встановлення обсягу репрезентативної вибірки вимірвальних каналів.
2. Визначення кількості досліджуваних точок з діапазону вимірювань та способів апроксимації результатів вимірювань.
3. Визначення кількості спостережень у досліджуваних точках з діапазону вимірювань.
4. Встановлення вимог до режимів вимірювань і їх послідовності в часі.
5. Аналіз вибраних еталонних засобів і допоміжних пристроїв.
6. Встановлення початкових даних і умов для визначення похибок вимірвальних каналів.

7. Аналітичне зображення похибки вимірвальних каналів у нормальних умовах.

8. Аналітичне зображення похибки вимірвальних каналів у робочих умовах.

9. Визначення похибки вимірвальних каналів у нормальних умовах.

10. Визначення похибки вимірвальних каналів у робочих умовах.

11. Отримання і опрацювання результатів спостережень.

12. Перевірка методики калібрування вимірвальних каналів.

13. Встановлення періодичності метрологічного підтвердження вимірвальних каналів.

14. Зауваження і пропозиції за результатами експериментальних досліджень.

Оцінювання підсистеми збирання інформації для кіберфізичної системи моніторингу агровиробництва здійснювалось на основі таких початкових даних:

- діапазон вимірювання температури [12–30] °C;
- нормоване значення точності згідно з конструкторською документацією:  $\Delta_H = \pm 0,045$  °C;
- допустиме значення похибки вимірювань  $\Delta_{\phi_H} = \pm 0,033$  °C;
- кількість досліджуваних вимірвальних каналів (ВК)  $N=100$ ;
- середній термін експлуатації ВК  $\tau=10\ 000$  год;
- допустиме значення похибки визначення часу виникнення метрологічної відмови  $\Delta t=360$  год;
- довірча ймовірність  $P(t)=0,95$ .

Визначено обсяг репрезентативної вибірки для аналізу підсистеми збирання інформації для кіберфізичної системи моніторингу агровиробництва, для розрахунку якого встановлено

- кількість ВК, які призначені для вимірювання температури – 100;
- похибку репрезентативності  $\epsilon = 10$  %;
- довірчу ймовірність  $P=0,95$ ;
- $t = 1,96$ .

Необхідна кількість ВК репрезентативної вибірки становить 40. Для встановлення міжкالیбрувального інтервалу (МКІ) використано критерій швидкості зміни похибки. Під час його реалізації розраховано ймовірність безвідмовної роботи посередині інтервалу, яка дорівнювала 0,975.

Здійснено оцінювання підсистеми на предмет вимірювання вологості за таких початкових даних:

- діапазон вимірювання [35–93] %;

– нормоване значення точності згідно з конструкторською документацією  $D_H = \pm 2,0 \%$ ;

– допустиме значення похибки вимірювань  $\Delta_{\phi_H} = 1,5 \%$ ;

– кількість досліджуваних ВК  $N=100$ ;

– середній термін експлуатації ВК  $t=10\ 000$  год;

– допустиме значення похибки визначення часу виникнення метрологічної відмови  $Dt=400$  год;

– довірна ймовірність  $P_3(t)=0,95$ .

Обсяг вибірки  $n$  для вимірювання вологості та ймовірність безвідмовної роботи підсистеми на середині інтервалу під час вимірювання вологості дорівнюють відповідним значенням, розрахованим для вимірювання температури,

Правила визначення міжперевірвальних інтервалів законодавчо регульованих засобів виміральної техніки і міжкалібрувальних інтервалів всіх інших засобів вимірювання регламентує Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [9], згідно з якими міжперевірвальний інтервал для запропонованої в роботі підсистеми становить 1,5 року.

### Результати й обговорення

Запропоновано конструкцію підсистеми для вимірювання найважливіших параметрів ґрунту, а саме вологості та температури. Вбудована панель забезпечує зберігання результатів вимірювань. Сьогодні переносна підсистема призначена для швидкого вимірювання вологості ґрунту в будь-якій точці поля (площею кілька десятків квадратних метрів) та після опрацювання отриманих даних формування керуючих дій на етапах вирощування зернових. Підсистема дистанційно (за допомогою Wi-Fi модуля ESP8266) відстежує вологість та температуру ґрунту в режимі реального часу. Дані передаються через базову станцію у програму, яка може бути доступною як для фермерів, так і для інших зацікавлених осіб з будь-якого персонального комп'ютера чи смартфона, підімкненого до інтернету. З метою реалізації поставлених завдань досліджено бездротові технології та застосовано їх під час побудови підсистеми збирання інформації. Розраховано міжперевірвальний інтервал для запропонованої в роботі підсистеми – 1,5 року.

### Висновки

У роботі доведено актуальність створення КФС для моніторингу стану технологічних процесів у секторі агровиробництва. Проаналізовано недоліки відомих методів, які використовуються під час

контролю вирощування агрокультур. На прикладі вирощування зернових встановлено взаємозв'язки елементів КФС з етапами виробництва зернових культур. Автори створили підсистему збирання інформації для КФС, яка містить канали для вимірювання таких важливих показників ґрунту, як вологість та температура. Для реалізації запропонованої підсистеми збирання інформації створено програмне забезпечення, реалізоване на смартфоні з операційною системою Android. Упровадження та використання розробленої програми верифікації підсистеми збирання інформації для кіберфізичної системи моніторингу агровиробництва дасть змогу мінімізувати ризик отримання недостовірної інформації.

### Список літератури

1. Системи управління вимірюваннями. Вимоги до процесів вимірювання та вимірального обладнання: ДСТУ ISO 10012:2005 (ISO 10012:2003 IDT). – [Чинний від 2007-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 19 с. – (Національний стандарт України).
2. Мельник А. Кіберфізичні системи: проблеми створення та напрями розвитку / А. О. Мельник // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні системи та мережі. – 2014. – № 806. – С. 154–161.
3. Бубела Т. 3. Програмне забезпечення етапу збирання інформації для кіберфізичної системи контролю органічного виробництва / Т. 3. Бубела, Т. І. Федішин // Technical Using of Measurement – 2017: матеріали Всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених у царині метрології, 24–29 січня 2017 р., – Славське, 2017. – С. 26–28.
4. Haluschak P. (2006). Laboratory Methods of Soil Analysis. Canada–Manitoba Soil Survey, 132.
5. Philip C., Juan C., Aciego P., Wu Yuping, Xu Jianming. (2012). Microbial Indicators of Soil Quality in Upland Soils. Chapter: Molecular Environmental Soil Science Part of the series Progress in Soil Science, 413–428.
6. Zornoza R., Acosta J., Bastida F., Domínguez S., Toledo D., Faz A. (2015). Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. Soil, 1, 173–185. doi:10.5194/soil-1-173-2015
7. Doolittle J. A., Brevik E. C. The use of electromagnetic induction techniques in soils studies. Geoderma 2014, 223–225, 33–45.
8. Dorigo W., Wagner W., Hohensinn R., Hahn S., Paulik C., Xaver A. (2011). The International Soil Moisture Network: a data hosting facility for global in situ soil moisture measurements. Hydrol. Earth Syst. Sci, 15, 1675–1698. doi:10.5194/hess-15-1675-2011
9. Закон України "Про метрологію та метрологічну діяльність", №1314-VII від 05.06.2014 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2014. – (Бібліотека офіційних видань). – 28 с. – (Закон України).

### References

1. Control system measuring. Requirements to the processes of measuring and measuring equipment: ДСТУ ISO 10012: 2005(ISO 10012: 2003 IDT). – [Operating from 2007-01-01]. –

K.: Dergspogyvstandard of Ukraine, 2007. 19 p.s -(National standard of Ukraine).

2. Melnyk A. O. (2016). Cyber-physical systems: problems of creation and directions of development / of A. O. Melnyk // Announcer of the Lviv Polytechnique National University. Computer systems and networks. No. 806. – P. 154–161.

3. Bubela T. Z. (2017). Software of the data accusation stage for cyber-physical systems of organic production / T. Bubela, T. Fedyshyn // Technical Use of Measurement: Materials of the Ukrainian Scientific and Technical Conference of Young Scientists in the Area of Metrology, January 24-29, 2017, Slavske, Ukraine.

4. Haluschak, P. (2006). Laboratory Methods of Soil Analysis. Canada–Manitoba Soil Survey, P. 132.

5. Philip, C., Juan, C., Aciego, P., Wu Yuping, Xu Jianming. (2012). Microbial Indicators of Soil Quality in Upland Soils.

Chapter: Molecular Environmental Soil Science Part of the series Progress in Soil Science, p. 413–428.

6. Zornoza, R., Acosta, J., Bastida, F., Domínguez, S., Toledo, D., Faz A. (2015). Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. Soil, 1, 173–185. doi:10.5194/soil-1-173-2015

7. Doolittle, J. A.; Brevik, E. C. (2014) The use of electromagnetic induction techniques in soils studies. Geoderma, p. 223–225.

8. Dorigo, W., Wagner, W., Hohensinn, R., Hahn, S., Paulik, C., Xaver, A. (2011). The International Soil Moisture Network: a data hosting facility for global in situ soil moisture measurements. Hydrol. Earth Syst. Sci, 15, p. 1675–1698. doi:10.5194/hess-15-1675-2011

9. Law of Ukraine "About metrology and metrological activity", No. 1314 – VII from 05.06.2014 / Verkhovna Rada of Ukraine. – K.:Library of official editions, 28 p.