

ПІДСИСТЕМА ЗБОРУ ДАНИХ ДЛЯ КІБЕР-ФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ АГРОВИРОБНИЦТВА ТА ЇЇ ВЕРИФІКАЦІЯ

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

Бубела Т.З.¹, д.т.н., доцент, Федішин Т.І.¹, студент

*¹ – кафедра інформаційно-вимірювальних технологій, Національний університет
«Львівська політехніка», Україна; e-mail: raholuk@ukr.net*

Анотація

Прийняття правильних керівних рішень в системі контролю агровиробництва великою мірою залежить від ступеня достовірності інформації про стан об'єктів довкілля. Особливої ваги ці питання набувають під час моніторингу виробництва, яке передбачає вирощування продукції на екологічно-чистих ґрунтах. Моніторинг параметрів ґрунтів повинен складатися з систематичних спостережень за їх станом, фіксування змін, їх оцінювання та керування. Одним з найважливіших завдань, що стоять перед Україною на сьогоднішній день, є забезпечення сталого розвитку регіонів та стабільного економічного зростання на основі застосування інноваційних методів підвищення ефективності в різних галузях економіки, в тому числі в системі агропромислового комплексу. Модернізування подібних систем управління повинно здійснюватись шляхом впровадження інноваційних технологій на основі побудови кібер-фізичних систем (КФС). З цією метою в роботі розроблено конструкцію підсистеми збору інформації для КФС моніторингу процесу агровиробництва зернових культур, відповідне програмне забезпечення та програму верифікації запропонованої підсистеми.

Abstract

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.

The aim of current study is to develop the information subsystem for the cyber-physical system control of agricultural production as also the draft verification program for such system. In order to adapt the system general structure 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, 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 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.

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. After processing of 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 indicates 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 provided the separate stage of the program, can be implemented in smartphone with Android operating system.

Ключові слова

Кібер-фізична система, агровиробництво, алгоритм збирання інформації, верифікація

Keywords

Cyber-Physical System, Agricultural Production, Algorithm of Information Collecting, Verification

1. Вступ

Ключовою компонентою кібер-фізичної системи є підсистеми збирання інформації, які активно починають впроваджуватись у різні сфери людської діяльності, в тому числі і в агровиробництво. Спостереження за станом ґрунтів необхідне з метою запобігання або усунення дії негативних процесів. Тому потенційними можливостями запропонованої в роботі структури є функції контролю, діагностики, розпізнавання образів, автоматичного керування технологічними процесами агровиробництва. Основним завданням запропонованої

КФС є забезпечити оптимальний перебіг технологічного процесу [1–3], що є запорукою підвищення ефективності агропромислового комплексу та має прямий вплив на якість життя населення регіону.

2. 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 в лабораторіях і є малопридатними для польових умов [4]. Варто зазначити, що сьогодні стрімко розвиваються методи з застосуванням біоіндикаторів [5, 6]. Проте вони вважаються трудомісткими і не придатні для оперативного контролю. Контроль такого параметру як вологість ґрунтів є настільки важливим, 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 використовується імпедансна спектроскопія під час вимірювання вологості ґрунту з покращеною точністю на підставі багатоваріантного аналізу результатів експериментальних досліджень різних природних ґрунтів [8]. Однак, запропонована процедура коригування є трудомісткою та мало придатною для реалізації в портативному засобі контролю. Отже, особливої важливості на сьогодні набуває створення недорогих та ефективних систем моніторингу на базі КФС.

3. Мета роботи

Метою роботи є розроблення підсистеми збору інформації для КФС контролю агровиробництва та проекту програми верифікації такої системи контролю, що вводиться в експлуатацію на певному виробничому об'єкті.

4. Матеріали та методи

4.1 Взаємозв'язок КФС з виробництвом зернових культур

З метою адаптування загальної структури КФС до поставленої задачі управління виробництвом зернових культур останню розбито на підзадачі, якими стали: підготовка сільськогосподарських угідь до посіву; процес виробництва (виросування); процес сертифікації продукції такого виробництва та інше. Для кожного з рівнів КФС структурні елементи будуть зазнавати 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 було створено підсистему, яка даватиме можливість оперативно проводити тести у відкритому ґрунті та миттєво реагувати на зміну його важливих параметрів.

Отже, для розробленої 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 та ін.), та фізичних об'єктів, що описуються реальними параметрами і характеристиками, до яких відносяться дані задачі (в цьому випадку основними об'єктами КФС стали параметри ґрунтів, повітря, посівів, врожаю).

Розроблено програмний продукт, який дозволяє працювати з бездротовими мережами, гнучко підстроювати параметри збору інформації, отримувати інформацію про процес бездротової мережі в режимі реального часу, забезпечити можливість збереження готових файлів для їх подальшого використання, нормалізації вхідних параметрів. Запропоновано використати технологію Wi-Fi, яка дозволяє отримати швидкість передачі даних понад 100 Мбіт/с, при цьому користувачі можуть переміщуватися між точками доступу на території покриття мережі Wi-Fi, використовуючи пристрої, оснащені клієнтськими приймально-передавальними пристроями Wi-Fi та отримувати доступ в Інтернет.

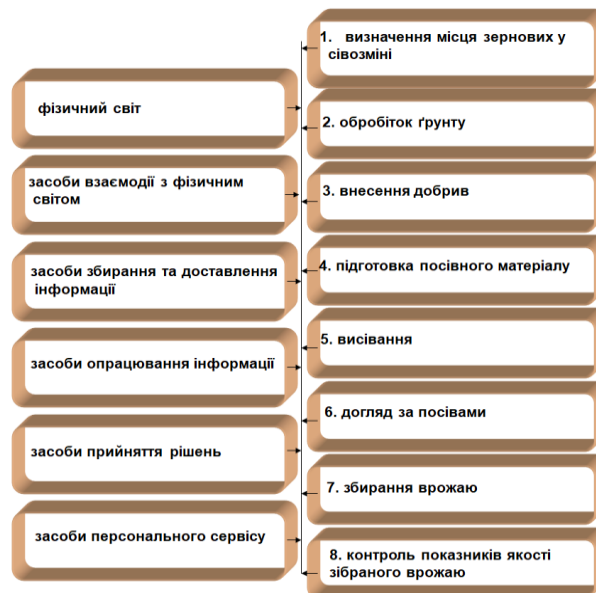


Рис. 1. Взаємозв'язок елементів КФС з етапами виробництва зернових культур
 Figure 1. Interconnection of CPS elements with stages of grain crops production

Для підсистеми збору та передачі інформації КФС характерним є вибір множини параметрів об'єктів з відповідних вимірювальних масивів та баз даних. Для реалізації запропонованої технології було створено програмне забезпечення, яке адаптоване для задачі агровиробництва зернових культур з позицій створення кібер-фізичної системи. На першому етапі технології вирощування, а саме, визначення місця зернових у сівозміні користувач має вказати попередника для культури, яка планується для висівання. Наступним кроком є отримання вимірювальної інформації про вологість та температуру ґрунту. Опрацювавши вимірювальну інформацію, програма видасть результат про те, чи можна висівати дану культуру.

Наступні етапи передбачають прийняття рішень про кількість внесення добрив, готовність зернової культури до висівання, розрахунок масової норми висіву зернових культур. На заключному етапі кібер-фізична система дасть вказівку про те, як правильно зібрати зернову культуру в залежності 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).

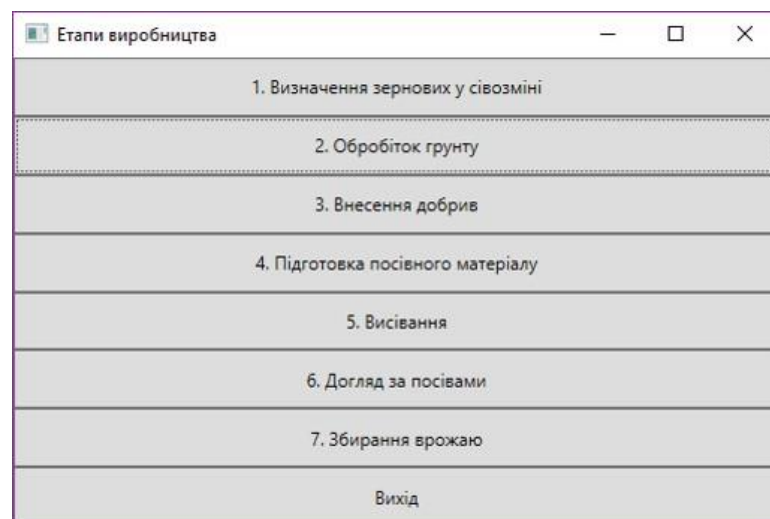


Рис. 2. Скріншот інтерфейсу програми, який демонструє етапи виробництва продукції
 Figure 2. Screenshot of the program interface, which demonstrates the stages of production

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

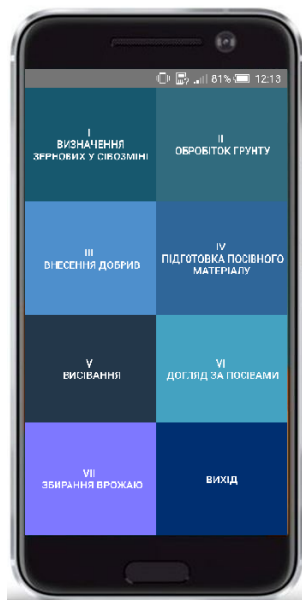


Рис. 3. Скріншот інтерфейсу програми, на пристрої з операційною системою Android
Figure 3. Screenshot of the program interface on the device with Android operating system

Авторами було створено підсистему (рис. 4), яка даватиме можливість в режимі реального часу вимірювати основні параметри ґрунту та формувати відповідні рішення про подальші дії.



Рис. 4. Підсистема передавання даних про вологість та температуру ґрунту
Figure 4. Subsystem of data transmission about soil humidity and temperature

4.2 Верифікація підсистеми

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

- визначення номенклатури і значень метрологічних характеристик вимірювальних 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 збору інформації;
- перевірка правильності вибору методів та засобів калібрування та верифікації;
- перевірка методик калібрування та верифікації;
- встановлення придатності системи для застосування.

Виокремлено наступні розділи програми верифікації, а саме:

1. Загальні положення.
2. Загальні вимоги до вимірювальних каналів.
3. Еталонні та допоміжні засоби вимірювальної техніки.
4. Експериментальні дослідження вимірювальних 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 необхідним є:

1. Встановлення обсягу репрезентативної вибірки вимірювальних каналів.
2. Визначення кількості досліджуваних точок з діапазону вимірювань та спосіб апроксимації результатів вимірювань.
3. Визначення кількості спостережень в 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 вимірювальних каналів.
7. Аналітичне зображення похибки вимірювальних каналів в нормальних умовах.
8. Аналітичне зображення похибки вимірювальних каналів в робочих умовах.
9. Визначення похибки вимірювальних каналів в нормальних умовах.
10. Визначення похибки вимірювальних каналів в робочих умовах.
11. Отримання і опрацювання результатів спостережень.
12. Перевірка методики калібрування вимірювальних каналів.
13. Встановлення періодичності метрологічного підтвердження вимірювальних каналів.
14. Зауваження і пропозиції за результатами експериментальних досліджень.

Оцінювання підсистеми збору інформації для кібер-фізичної системи моніторингу агровиробництва здійснювалось на основі таких початкових даних:

- діапазон вимірювання температури $[12 - 30] ^\circ\text{C}$;
- нормоване значення точності згідно з конструкторською документацією: $\Delta_H = \pm 0,045 ^\circ\text{C}$;
- допустиме значення похибки вимірювань $\Delta_{\Phi_H} = \pm 0,033 ^\circ\text{C}$;
- кількість досліджуваних вимірювальних каналів (БК) $N=100$;
- середній термін експлуатації БК $\tau = 10\,000$ год;
- допустиме значення похибки визначення часу настання метрологічної відмови $\Delta t = 360$ год;
- довірна ймовірність $P(t)=0,95$.

Визначено обсяг репрезентативної вибірки для аналізу підсистеми збору інформації для кібер-фізичної системи моніторингу агровиробництва, для розрахунку якого встановлено

- кількість БК, які призначені для вимірювання температури – 100;
- похибку репрезентативності $\varepsilon = 10\%$;
- довірчу ймовірність $P=0,95$;
- $t = 1.96$.

Необхідна кількість БК репрезентативної вибірки склала 40. Для встановлення міжкالیбрувального інтервалу (МКІ) був використаний критерій швидкості зміни похибки. Під час його реалізації розраховано ймовірність безвідмовної роботи посередині інтервалу, яка склала 0,975.

Було здійснено оцінювання підсистеми на предмет вимірювання вологості за таких початкових даних:

- діапазон вимірювання $[35-93]\%$;
- нормоване значення точності згідно з конструкторською документацією $\Delta_H = \pm 2,0\%$;
- допустиме значення похибки вимірювань $\Delta_{\Phi_H} = 1,5\%$;
- кількість досліджуваних БК $N=100$;
- середній термін експлуатації БК $\tau = 10\,000$ год;
- допустиме значення похибки визначення часу настання метрологічної відмови $\Delta t = 400$ 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 дорівнює відповідним значенням, розрахованим для вимірювання температури,

Правила визначення міжповірювальних інтервалів законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки і міжкالیбрувальних інтервалів всіх інших засобів вимірювання регламентує Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [9], згідно з якими міжповірювальний інтервал для запропонованої в роботі підсистеми склав 1,5 року.

5. Результати і обговорення

Запропоновано конструкцію підсистеми для вимірювання найважливіших параметрів ґрунту, а саме вологості та температури. Вбудована панель забезпечує зберігання результатів вимірювань. На сьогоднішній день переносна підсистема призначена для швидкого вимірювання вологості ґрунту в будь-якій точці поля (площею в 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 в 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 при побудові підсистеми збору інформації. Розраховано міжповірювальний інтервал для запропонованої в роботі підсистеми, який склав 1,5 року.

6. Висновки

В роботі доведена актуальність створення КФС для моніторингу стану технологічних процесів у секторі агропромисловості. Здійснено аналіз недоліків існуючих методів, які використовуються під час контролю вирощування агрокультур. На прикладі вирощування зернових встановлено взаємозв'язки елементів КФС з етапами виробництва зернових культур. Авторами створено підсистему збору інформації для КФС, яка містить канали для вимірювання таких важливих показників ґрунту, як вологість та температура. Для реалізації запропонованої підсистеми збору інформації було створено програмне забезпечення, яке реалізоване на смартфоні з операційною системою Android. Впровадження та використання розробленої програми верифікації підсистеми збору інформації для кібер-фізичної системи моніторингу агропромисловості дозволить мінімізувати ризик отримання недостовірної інформації.

Список літератури

1. Системи управління вимірюваннями. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального 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.З. Програмне забезпечення етапу збору інформації для кібер-фізичної системи контролю органічного виробництва / Т.З. Бубела, Т.І. Федішин // Technical Using of Measurement – 2017: матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції 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 05.06.2014р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2014 – (Бібліотека офіційних видань). – 28 с. – (Закон України).

References

- [1] ISO 10012:2005 (ISO 10012:2003 IDT). *Measurement management systems -- Requirements for measurement processes and measuring equipment*, 2003. [On-line]. Available: <https://www.iso.org/standard/26033.html>.
- [2] A. Melnyk, "Cyber-physical systems: problems of creation and directions of development", *Bull. Lviv Polytech. Nat. Univ.. Computer systems and networks*, № 806, p.154-161, 2016.
- [3] T. Bubela, T. Fedyshyn, "Software of the data accusation stage for cyber-physical systems of organic production", in *Proc. of the 3rd Ukr. Sc. Techn. Conf. of Young Scientists in Metrology*, Slavske, Ukraine, 2017.
- [4] P. Haluschak. *Laboratory Methods of Soil Analysis. Canada–Manitoba: Soil Survey*, p.132, 2006.
- [5] C. Philip, C. Juan, P. Aciego, Wu Yuping, Xu Jianming, "Microbial Indicators of Soil Quality in Upland Soils", in *Molecular Environmental Soil Science*, ser. Progress in Soil Science, p.413–428, 2012.
- [6] R. Zornoza, J. Acosta, F. Bastida, S. Domínguez, D. Toledo, A. Faz, "Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health", *Soil*, vol.1, p.173–185, 2015; DOI:10.5194/soil-1-173-2015.
- [7] J. Doolittle, E. Brevik, "The use of electromagnetic induction techniques in soils studies". *Geoderma*, p.223–225, 2014.
- [8] W. Dorigo, W. Wagner, R. Hohensinn, S. Hahn, C. Paulik, A. Xaver, "The International Soil Moisture Network: a data hosting facility for global in situ soil moisture measurements", *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, vol.15, p.1675–1698, 2011; doi:10.5194/hess-15-1675-2011.
- [9] Verkhovna Rada of Ukraine. (05.06.2014). Law of Ukraine №1314 - VII "About metrology and metrological activity", [On-line]. Available: Library of official edition, Ukraine.

Дані про авторів

Бубела Тетяна Зіновіївна

Доктор технічних наук

Кафедра «Інформаційно-вимірювальні технології»

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

E-mail: paholuk@ukr.net

Контактний тел.: +38 067 97 99 597

Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 41

Кількість статей у міжнародних базах даних – 7

Номер ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2525-9735>

Федишин Тетяна Ігорівна

Студент

Кафедра «Інформаційно-вимірювальні технології»

Національний університет «Львівська політехніка»

вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

E-mail: Tanyakvitka5@gmail.com

Контактний тел.: +38 093 69 86 947

Кількість статей у загальнодержавних базах даних – 1

Кількість статей у міжнародних базах даних – 0

Номер ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3313-0421>

Bubela Tetiana

Doctor of Technical Sciences

Department of Information Measurement Technologies

Lviv Polytechnic National University

Bandera str., 12, Lviv, Ukraine, 79013

E-mail: paholuk@ukr.net

Contact tel.: +38 067 97 99 597

The number of articles in national databases – 41

The number of articles in international databases – 7

Number ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2525-9735>

Fedyshyn Tetiana

Student

Department of Information Measurement Technologies

Lviv Polytechnic National University

Bandera str., 12, Lviv, Ukraine, 79013

E-mail: Tanyakvitka5@gmail.com

Contact tel.: +38 093 69 86 947

The number of articles in national databases – 1

The number of articles in international databases – 0

Number ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3313-0421>