

УДК 519.237.8:504.064.3

І.В. МОСУР, О.В. ПОЛИВОДА, Г.В. РУДАКОВА  
Херсонський національний технічний університет  
В.В. ПОЛИВОДА  
Херсонська державна морська академія

## МОДЕЛЮВАННЯ МЕТОДІВ РОЗМІЩЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПІДСИСТЕМИ ЗБОРУ ДАНИХ ПРИ ДИСТАНЦІЙНОМУ МОНІТОРИНГУ ЗЕМЛЕРОБСТВА НА ОСНОВІ ІОТ

*Стаття присвячена проблемам моделювання методів розміщення технічного обладнання підсистеми збору даних при дистанційному моніторингу землеробства на основі ІоТ. Зазначено, що розумне землеробство ґрунтується на таких передових технологіях, як дистанційне зондування, аналіз і управління даними, хмарні обчислення, технології ІоТ, бездротові сенсорні мережі, інформаційні системи управління господарством, які інтегруються з мобільними пристроями і автономно працюючими сільськогосподарськими машинами для поліпшення моніторингу та якості управлінських рішень. Підкреслено, що ІоТ виступає ключовою технологією в інтелектуальному сільському господарстві, оскільки забезпечує обмін даними між датчиками і іншими пристроями, підвищуючи цінність отриманої інформації шляхом автоматичної обробки, аналізу і доступу, що призводить до більш своєчасного і економічно ефективного управління в господарствах. Наведена структура ІоТ для інформаційного забезпечення розумного землеробства, яка побудована з використанням типової бездротової сенсорної мережі, що розміщена на полі для сільськогосподарського застосування. Визначено основну проблему, яка може виникнути при використанні бездротової сенсорної мережі – розробка оптимальної стратегії розміщення датчиків. Наведено засіб вирішення цієї проблеми – швидке об'єднання об'єктів в групи з достатньо близькими характеристиками параметрів стану, виділення в кожній групі деякого контрольного об'єкту з «середніми» для групи характеристиками і передача інформації в цілому про групу. Запропоновано алгоритм групування з вибором головних об'єктів, що виконується у наступній послідовності. Перший етап прийняття рішень реалізується як процес побудови графа або декількох графів, що свідомо задовольняють груповим властивостям включених у нього вершин. На другому етапі виконується контроль неперетинання отриманих множин (груп) і формальний запис отриманих рішень. Розташування головного об'єкта в групі запропоновано визначати за допомогою методів розрахунку «центра мас». Наведені результати розрахунків виконаних за допомогою запропонованого методу групування. Даний метод дозволяє формувати ієрархічну структуру для сенсорної мережі з використанням бездротових технологій на нижньому та середньому рівні підсистеми моніторингу та технології стільникового зв'язку на середньому та верхньому рівнях.*

*Ключові слова:* розумне землеробство, алгоритм групування об'єктів, ІоТ, бездротові сенсорні мережі.

І.В. МОСУР, О.В. ПОЛИВОДА, А.В. РУДАКОВА  
Херсонский национальный технический университет  
В.В. ПОЛИВОДА  
Херсонская государственная морская академия

## МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОДСИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ МОНИТОРИНГЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ІОТ

*Статья посвящена проблемам моделирования методов размещения технического оборудования подсистемы сбора данных при дистанционном мониторинге земледелия на основе ІоТ. Отмечено, что умное земледелие основывается на таких передовых технологиях, как дистанционное зондирование, анализ и управление данными, облачные вычисления, технологии ІоТ, беспроводные сенсорные сети, информационные системы управления хозяйством, которые интегрируются с мобильными устройствами и автономно работающими сельскохозяйственными машинами для улучшения мониторинга и качества управленческих решений. Подчеркнуто, что ІоТ выступает ключевой технологией в интеллектуальном сельском хозяйстве, поскольку обеспечивает обмен данными между датчиками и другими устройствами, повышая ценность полученной информации путем автоматической обработки, анализа и доступа, что приводит к более своевременному и экономически*

ефективному управленню в господарствах. Приведена структура IoT для інформаційного забезпечення умного земледілля, котра побудована з використанням типової безпроводної сенсорної мережі, розташованої на полі для сільськогосподарського застосування. Визначено основну проблему, котра може виникнути при використанні безпроводної сенсорної мережі – розробка оптимальної стратегії розміщення датчиків. Приведено спосіб рішення цієї проблеми – швидке об'єднання об'єктів в групи з достатньо близькими характеристиками параметрів стану, виділення в кожній групі деякого контрольованого об'єкта з «середніми» для групи характеристиками і передача інформації в цілому про групу. Предложено алгоритм групування з вибором головних об'єктів, котрий виконується в наступній послідовності. Перший етап прийняття рішень реалізується як процес побудови графа або декількох графів, котрі задовольняють груповим властивостям включених в нього вершин. На другому етапі виконується контроль непересічення отриманих множин (груп) і формальна запис отриманих рішень. Розташування головного об'єкта в групі пропонується визначати з допомогою методів розрахунку «центра мас». Приведено результати розрахунків, виконаних з допомогою запропонованого методу групування. Цей метод дозволяє формувати ієрархічну структуру для сенсорної мережі з використанням безпроводних технологій на нижньому рівні підсистеми моніторингу і технології сотової зв'язу на середньому і верхньому рівнях.

Ключові слова: умне земледілля, алгоритм групування об'єктів, IoT, безпроводні сенсорні мережі.

I.V. MOSUR, O.V. POLYVODA, H.V. RUDAKOVA

Kherson National Technical University

V.V. POLYVODA

Kherson State Maritime Academy

## **MODELING METHODS OF TECHNICAL EQUIPMENT LOCATION SUBSYSTEM OF DATA COLLECTION FOR REMOTE MONITORING OF AGRICULTURE BASED ON IoT**

*The article is devoted to the problems of modeling methods for placing technical equipment of the data collection subsystem for remote monitoring of agriculture based on the IoT. It is noted that smart farming is based on such advanced technologies as remote sensing, data analysis and management, cloud computing, IoT technologies, wireless sensor networks, farm management information systems that integrate with mobile devices and autonomous agricultural machines to improve monitoring and management decisions quality. It was emphasized that IoT is a key technology in smart agriculture, as it enables the exchange of data between sensors and other devices, increasing the value of the information obtained through automatic processing, analysis and access, which leads to more timely and cost-effective management of farms. The structure of the IoT for information support of smart farming is presented, which is built using a typical wireless sensor network located in the field for agricultural use. The main problem that can arise when using a wireless sensor network is identified – the development of an optimal strategy for placing sensors. A method for solving this problem is presented – the rapid combination of objects into groups with sufficiently close characteristics of the state parameters, the selection in each group of some control object with "average" characteristics for the group and the transfer of information about the group as a whole. A grouping algorithm with the selection of the main objects is proposed, which is performed in the following sequence. The first stage of decision making is implemented as a process of constructing a graph or several graphs that satisfy the group properties of the vertices included in it. At the second stage, the control of the non-intersection of the obtained sets (groups) and the formal recording of the obtained solutions are carried out. It is proposed to determine the location of the main object in the group using methods for calculating the "center of mass". The results of calculations performed using the proposed grouping method are presented. This method allows to form a hierarchical structure for a sensor network using wireless technologies at the lower level of the monitoring subsystem and cellular technology at the middle and upper levels.*

*Keywords: smart farming, object grouping algorithm, IoT, wireless sensor networks.*

### **Постановка проблеми**

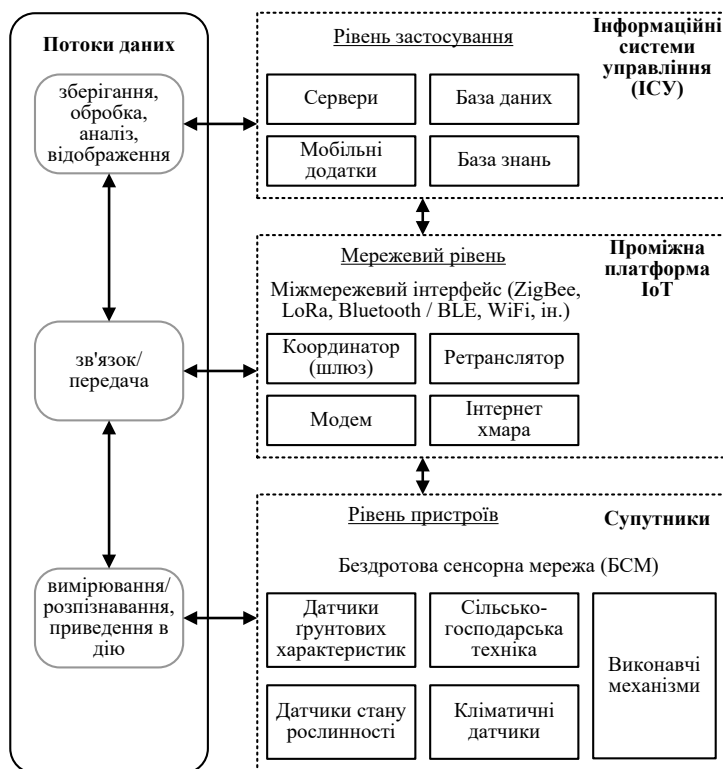
Технології на основі використання даних швидко просуваються з розвитком Інтернету речей (IoT) і в майбутньому стануть важливою частиною сільського господарства. Інтелектуальне (розумне) землеробство «Smart farming» [1] ґрунтується

на таких передових технологіях, як дистанційне зондування, аналіз і управління даними, хмарні обчислення, технології IoT, бездротові сенсорні мережі (БСМ), інформаційні системи управління господарством, які інтегруються з мобільними пристроями і автономно працюючими сільськогосподарськими машинами для поліпшення моніторингу та якості управлінських рішень. Розумне землеробство зазвичай використовує інтелектуальні послуги для застосування та управління інформаційно-комунікаційними технологіями (ІКТ) і дозволяє здійснювати інтеграцію по всій агропродовольчій ланці з метою оперативного контролю процесу вирощування сільськогосподарських культур.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

IoT виступає ключовою технологією в інтелектуальному сільському господарстві, оскільки забезпечує обмін даними між датчиками і іншими пристроями, підвищуючи цінність отриманої інформації шляхом автоматичної обробки, аналізу і доступу, що призводить до більш своєчасного і економічно ефективного управління в господарствах. IoT дозволяє здійснювати контроль в режимі реального часу за появою бур'янів, шкідників, хвороб, здійснювати моніторинг небезпечних погодних або ґрунтових умов, що призводить до скорочення і адекватного використання таких ресурсів, як добрива або засоби захисту рослин.

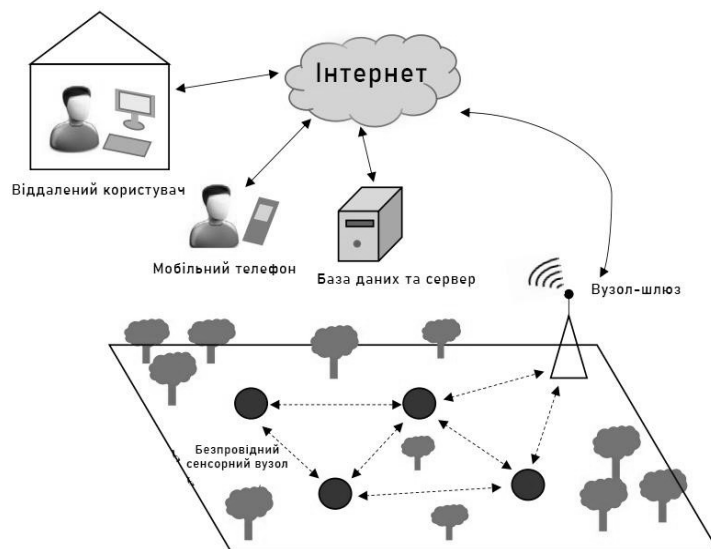
Система IoT в моніторингу сільського господарства повинна забезпечувати обробку як просторових, так і часових даних, що збільшує складність цього завдання, а також процес прийняття рішень на основі зібраних даних. Різні технології, реалізовані як IoT, активно розвиваються, адаптуючись до великої різноманітності прикладних задач. Для кращого розуміння всього спектру використовуваних технологій, протоколів, стандартів та ін. в останні роки в літературі архітектуру IoT описують трьома основними рівнями: рівень пристроїв, рівень мережі і рівень конкретного застосування [2]. Структура IoT для інформаційного забезпечення розумного землеробства наведена на рис. 1.



**Рис. 1. Архітектура IoT для розумного землеробства**

Характер роботи сенсорних мереж разом з самоорганізуючими вузлами малого розміру дозволяє використовувати БСМ як потенційний інструмент автоматизації в сільському господарстві. Точне сільське господарство, автоматизований графік поливу, оптимізація росту рослин, моніторинг сільськогосподарських угідь, моніторинг парникових газів, управління сільськогосподарськими виробничими процесами і безпекою культур – це лише кілька можливих застосувань. БСМ формують базові пристрої, які називаються сенсорними вузлами, які об'єднують датчики і актуатори (виконавчі пристрої), що обмінюються даними, утворюючи просторову мережу [3, 4]. У БСМ базові станції діють як шлюзи, які переказують дані в хмару. Залежно від мети застосування в БСМ використовують різні технології бездротового зв'язку, оскільки кожна з них має різні можливості архітектури сенсорного вузла, швидкості передачі даних, діапазони, стандарти.

На рис. 2 зображена типова БСМ, розміщена на полі для сільськогосподарського застосування. Поле складається з сенсорних вузлів, оснащених спеціальними бортовими сенсорами. Вузли в сенсорній мережі на полі обмінюються інформацією між собою з використанням радіочастотних каналів (РК) промислових радіо-діапазонів. Як правило, вузол-шлюз також розміщується разом з сенсорними вузлами, щоб забезпечити з'єднання між сенсорною мережею і оточуючим середовищем. Віддалений користувач може контролювати стан поля і управляти польовими сенсорами і пристроями приводу. Наприклад, користувач може вмикати/вимикати насос/клапан, коли рівень води, що подається в поле, досягає деякого визначеного порогового значення.



**Рис. 2. Типова БСМ для сільськогосподарських систем**

Проблема, яка може виникнути при використанні БСМ - це визначення оптимальної стратегії розміщення датчиків. Засобом вирішення цієї проблеми є швидке об'єднання об'єктів в групи з достатньо близькими характеристиками параметрів стану, виділення в кожній групі деякого контрольного об'єкту з «середніми» для групи характеристиками і передача інформації в цілому про групу. Це дозволяє на рівні оперативного управління мати укрупнену інформацію про об'єкти управління і приймати на її основі своєчасні рішення.

### Мета дослідження

Провести аналіз методів групування технічного обладнання підсистеми збору даних при дистанційному моніторингу землеробства шляхом комп'ютерного моделювання.

### Викладення основного матеріалу дослідження

При розробці алгоритмів групування інформації для багатооб'єктних розподілених системах управління потрібно вирішувати наступні завдання:

- розділення загальної множини об'єктів на групи (розв'язання задачі групування);
- виділення в кожній групі головного об'єкту з деякими «середніми» для групи характеристиками;
- формування групової інформації для передачі по каналах зв'язку;
- вживання заходів для швидкого вирішення завдання групування в умовах дефіциту часу.

Групування з вибором головних об'єктів виконується у наступній послідовності. Перший етап прийняття рішень реалізується як процес побудови графа або декількох графів, що свідомо задовольняють груповим властивостям включених у нього вершин. На другому етапі при цьому буде потрібно лише контроль неперетинання отриманих множин (груп) і формальний запис отриманих рішень. При цьому в процесі такого рішення повинна бути отримана інформація, по якій можна було б досить просто виділити в групі головний об'єкт.

Групові властивості утворених множин найбільш просто можна задати у вигляді параметра  $d$  строга (квадрата, куба й т.д.). Із практичних умов застосування згрупованої інформації можна задати величини  $d_{\max} > d_{cp} > d_{\min}$ . Очевидно, що при  $d = d_{\max}$ , число сформованих груп  $K$  мінімальне, але максимальне число об'єктів у групі  $I_K$ . При  $d = d_{\min}$  має місце зворотнє:  $K = K_{\max}$ , а число об'єктів у групі мінімальне. Вибір параметра строга  $d$  може бути зроблений як в залежності від пропускної здатності використовуваних у системі керування каналів зв'язку (при  $d = d_{\max}$  число повідомлень, що передаються, мінімальне), так і залежно від «живучості» групи, тобто від того відрізка часу, на якому об'єкти групи будуть зберігати групові властивості [5].

Розглянемо сутність пропонованого методу для двовимірного вектора ознак  $(x, y)$ . Нехай об'єкти групування пронумеровані в довільному порядку від 1 до  $n$ .

1. Утворимо два вектори, записавши в перший значення координат розташування об'єктів групування (ОГ) по осі  $x$ , а в другий - по осі  $y$ :

$$\mathbf{X} = [x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n], \quad \mathbf{Y} = [y_1, y_2, \dots, y_i, \dots, y_n]. \quad (1)$$

2. Утворимо з вектора  $\mathbf{X}$  матрицю  $\mathbf{E}_X$ . Для цього віднімемо з  $\mathbf{X}$  величину  $x_1$  і сформуємо перший рядок  $\mathbf{E}_X$ ; потім віднімемо з  $\mathbf{X}$  величину  $x_2$ , утворимо другий рядок  $\mathbf{E}_X$  і т.д. У результаті одержимо квадратну матрицю

$$\mathbf{E}_X = \{x_j - x_i\}, \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Аналогічно сконструюємо матрицю  $\mathbf{E}_Y$

$$\mathbf{E}_Y = \{y_j - y_i\}, \quad i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

3. Віднімаючи з кожного елемента  $\mathbf{E}_X$  число  $d/2$ , перевіримо умову

$$|E_{X_{i,j}}| - d/2 > 0. \quad (4)$$

Якщо умова (4) виконана, то в нову матрицю  $\hat{E}_X$  з нулів і одиниць, запишемо за адресою відповідних значень  $i$  та  $j$  число 0, якщо (4) не виконано – запишемо 1.

Аналогічно матриці  $\hat{E}_X$  складемо матрицю  $\hat{E}_Y$ , причому операції перевірки умови

$$|E_{Y_{i,j}}| - d/2 > 0 \quad (5)$$

досить проводити лише для тих  $i$  та  $j$ , для яких відповідний елемент матриці  $\hat{E}_X$  дорівнює одиниці.

Матриця  $\hat{E}_Y$  містить у кожному рядку тільки ті зв'язки між об'єктами, які по евклідовій нормі не перевищують  $d\sqrt{2}/2$ , а утворені в такий спосіб групи обмежені стробом шириною  $d$ .

4. Для остаточного формування груп проведемо наступні операції:

- підрахуємо число одиниць у кожному рядку матриці  $\hat{E}_Y$  і виберемо з них найбільше;

- випишемо номери ОГ, що входять у рядок з максимальною кількістю одиниць і утворимо з них першу групу;

- з матриці  $\hat{E}_Y$  викреслимо ті рядки і стовпці, номери яких відповідають елементам першої групи, і в усіченій матриці підрахуємо число одиниць у кожному рядку;

- виберемо рядок з максимальним числом одиниць і утворимо другу групу.

Процес формування груп закінчиться, коли будуть згруповані усі об'єкти.

Якщо отримані групи не задовольняють по кількості утворених груп або максимальній кількості об'єктів у групах (тобто величина  $d$  призначена невдало), необхідно повторити розрахунки для нового значення  $d$ .

5. Визначення головного (центрального) об'єкта групи. Розташування головного об'єкта в групі доцільно визначати за допомогою методів розрахунку «центра мас» [6].

За наведеним методом групування об'єктів були здійснені розрахунки на основі наступних даних:  $n = 100$  – кількість об'єктів з заданими координатами розташування; для моделювання координати розташування задавалися за допомогою генератора випадкових чисел в межах  $(0 \div 100)$ . Розташування об'єктів наведено на рис. 3.

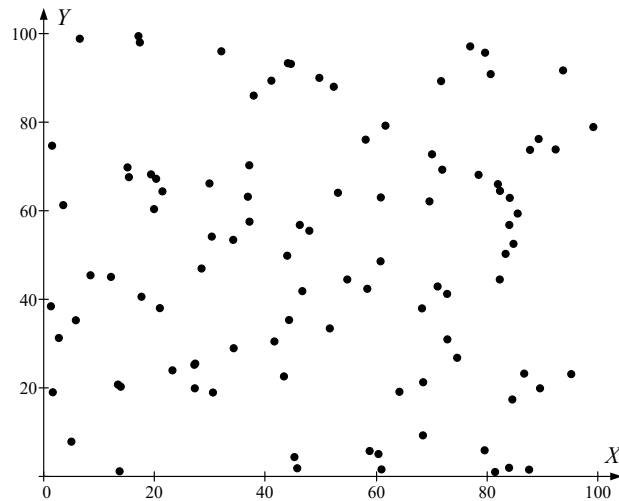


Рис. 3. Розташування об'єктів групування БСМ

Розрахунки за формулами (1)-(5) дозволили виявити залежність між шириною строга  $d$ , кількістю сформованих груп  $K$ , максимальною кількістю об'єктів в групі  $I_K$  (рис. 4).

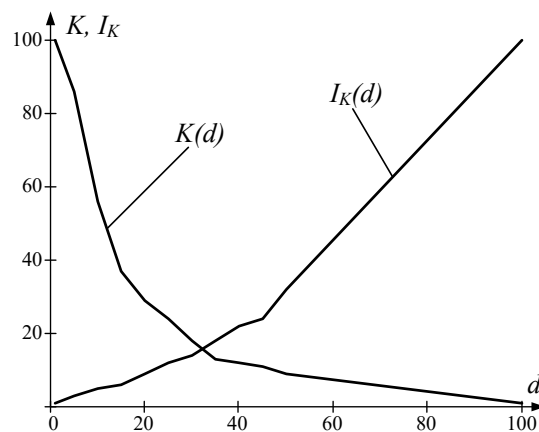


Рис. 4. Залежність параметрів групування від ширини строга

При відомій можливій максимальній кількості датчиків в групі  $I_K$  можна визначити оптимальні значення ширини строга  $d$  та кількості груп  $K$ . Так, для  $I_K = 32$  ширина строга складає  $d = 50$ , а кількість отриманих груп  $K = 9$ .

Приклад розбиття на групи для  $d = 50$  наведений на рис. 5, на якому показані групи з найбільшою кількістю об'єктів та відповідні головні об'єкти груп.

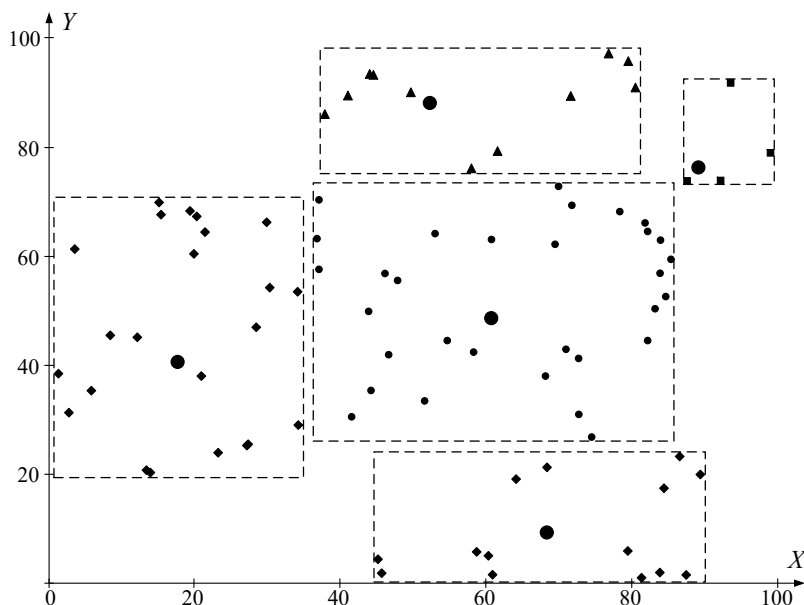


Рис. 5. Результат групування об'єктів

### Висновки

Користуючись даним методом, можна швидко вирішувати задачу групування, коли інформація про об'єкти змінюється в міру «спрацьовування» інформаційних підсистем. Це дозволяє формувати ієрархічну структуру для сенсорної мережі з використанням бездротових технологій на нижньому рівні підсистеми моніторингу (від сенсорів до головного вузла) та технології стільникового зв'язку на середньому та верхньому рівнях.

### Список використаної літератури

1. Ray P.P. Internet of things for smart agriculture: Technologies, practices and future direction. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*. 2017. №9(4). P. 395-420. doi: 10.3233/AIS-170440
2. Якушев В.П., Якушев В.В., Матвєєнко Д.А. Интеллектуальные системы поддержки технологических решений в точном земледелии. *Земледелие*. 2020. №1. С. 33–37. doi: 10.24411/0044-3913- 2020-10109.
3. Jawad H., Nordin R., Gharghan S. et al. Energy-efficient wireless sensor networks for precision agriculture: A review. *Sensors*. 2017. Vol. 17. №8. P. 1781. doi: 10.3390/s17081781.
4. Hart J.K., Martinez K. Environmental sensor networks: a revolution in the earth system science. *Earth Sci. Rev.* 2006. №78 (3-4). P. 177-191.
5. Пупков К.А., Егупов Н.Д. и др. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: / Под ред. Н.Д. Егупова. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 744 с.
6. Гуржій А.М., Дудар З.В., Левикін В.М., Шамша Б.В. Математичне забезпечення інформаційно-керуючих систем. Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. 448с.

### References

1. Ray, P.P. (2017). Internet of things for smart agriculture: Technologies, practices and future direction. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*. 9(4), 395-420. doi: 10.3233/AIS-170440
2. Yakushev, V.P., Yakushev, V.V. & Matveenko, D.A. (2020). Intellektualnyie sistemyi podderzhki tehnologicheskikh resheniy v tochnom zemledelii. *Zemledelie*. 1, 33–37.



doi: 10.24411/0044-3913- 2020-10109.

3. Jawad, H., Nordin, R., Gharghan, S. et al. (2017). Energy-efficient wireless sensor networks for precision agriculture: A review. *Sensors*. **17**, 8, 1781. doi: 10.3390/s17081781.
4. Hart, J. K. & Martinez, K. (2006). Environmental sensor networks: a revolution in the earth system science. *Earth Sci. Rev.* **78** (3-4), 177-191.
5. Pupkov, K.A., Egupov, N.D. & dr. (2002). *Metodyi robastnogo, neyro-nechetkogo i adaptivnogo upravleniya.* / Pod red. N.D. Egupova. M.: MGTU im. N.E. Baumana.
6. Hurzhii, A.M., Dudar, Z.V., Levykin, V.M. & Shamsha, B.V. (2006). *Matematychnе zabezpechennia informatsiino-keruiuchykh system.* Kharkiv: TOV «Kompaniia SMIT».

Мосур Иван Вікторович – аспірант кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету. E-mail: ivan1mosur@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0073-3146.

Поливода Оксана Валеріївна – к.т.н., доцент, доцент кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету. E-mail: pov81@ukr.net, ORCID: 0000-0002-6323-3739.

Рудакова Ганна Володимирівна – д.т.н., професор, професор кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету. E-mail: rudakovaanna25@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8053-4218.

Поливода Владислав Володимирович – к.т.н., доцент, доцент кафедри експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики Херсонської державної морської академії. E-mail: polyvodavv@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7742-255X.