

**Бондаренко Д.А.**

*Державний університет телекомунікацій, Київ*

## **ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ**

***Анотація.** У статті розглянуто методи впровадження технологій Інтернету речей в аграрному секторі, запропоновано використання штучного інтелекту та нейронних мереж у поєднанні з Інтернетом речей для покращення результатів вирощування різноманітних рослин. Також розглянуто переваги нейронних мереж, які здатні обробляти великі масиви даних в діяльність агроформувань значно швидше та ефективніше, ніж досвідчений спеціаліст. Однак для цього первинна інформація для навчання мережі повинна бути підготовлена в зрозумілому для неї форматі. Отримання актуальної та об'єктивної інформації про стан рослин за допомогою Інтернету речей покращить обмін інформацією між спеціалістами та експертами-консультантами.*

*Сучасне сільське господарство потребує високої ефективності виробництва в поєднанні з високою якістю одержуваної продукції. Це стосується як рослинництва, так і тваринництва. Щоб задовольнити ці вимоги, все частіше використовуються передові методи аналізу даних, у тому числі похідні від методів штучного інтелекту. IoT є одним із найпопулярніших інструментів такого роду. Він широко використовується при вирішенні різноманітних задач класифікації та прогнозування. Деякий час IoT також використовувався в сфері сільського господарства. Він може бути частиною систем землеробства та систем підтримки прийняття рішень. IoT та штучні нейронні мережі можуть замінити класичні методи моделювання та є однією з основних їх альтернатив. Спектр застосування штучних нейронних мереж дуже широкий. Вже давно дослідники з усього світу використовують ці інструменти для підтримки сільськогосподарського виробництва, роблячи його ефективнішим і забезпечуючи продукцію найвищої якості.*

***Ключові слова:** інтелектуальні технології, нейронні мережі, штучний інтелект, агрокультура, автоматизація.*

**Bondarenko D.A.**

*State University of Telecommunications, Kyiv*

## **APPLICATIONS OF THE INTERNET OF THINGS IN AGRICULTURE**

***Abstract.** The article examines the methods of implementing Internet of Things technologies in the agricultural sector, suggests the use of artificial intelligence and neural networks in combination with the Internet of Things to improve the results of growing various plants. The advantages of neural networks, which are able to process large arrays of data on the activity of agricultural formations much faster and more efficiently than an experienced specialist, are also considered. However, for this, the primary information for training the network should be prepared in a format that is understandable for it. Obtaining up-to-date and objective information about the condition of plants using the Internet of Things will improve the exchange of information between specialists and expert consultants.*

*Modern agriculture needs to have a high production efficiency combined with a high quality of obtained products. This applies to both crop and livestock production. To meet these requirements, advanced methods of data analysis are more and more frequently used, including those derived from artificial intelligence methods. IoT is one of the most popular tools of this kind. It is widely used in solving various classification and prediction tasks. For some time IoT also been used in the broadly defined field of agriculture. It can form part of the precision farming and decision support systems. IoT and artificial neural networks can replace the classical methods of modeling, and are one of the*

*main alternatives to classical mathematical models. The spectrum of the applications of artificial neural networks is very wide. For a long time now, researchers from all over the world have been using these tools to support agricultural production, making it more efficient and providing the highest-quality products possible.*

**Keywords:** *intelligent technologies, neural networks, artificial intelligence, agriculture, automation.*

### **1. Постановка проблеми.**

Сучасне сільське господарство потребує високої ефективності виробництва в поєднанні з високою якістю одержуваної продукції. Це стосується як рослинництва, так і тваринництва. Щоб задовольнити ці вимоги, все частіше використовуються передові методи аналізу даних, у тому числі похідні від методів штучного інтелекту. Штучні нейронні мережі (ШНМ) є одними з найпопулярніших інструментів такого роду. Вони широко використовуються при вирішенні різноманітних задач класифікації та прогнозування. Деякий час вони також використовувалися в широкій галузі сільського господарства. Вони можуть бути частиною систем точного землеробства та підтримки прийняття рішень.

### **2. Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Штучні нейронні мережі можуть замінити класичні методи моделювання та є однією з основних альтернатив класичним математичним моделям. Спектр застосування штучних нейронних мереж дуже широкий. Вже давно дослідники з усього світу використовують ці інструменти для підтримки сільськогосподарського виробництва, роблячи його ефективнішим і забезпечуючи продукцію найвищої якості. Найефективніше нейронні мережі показують себе в поєднанні з інтернетом речей (IoT). Інтернет речей - концепція обчислювальної мережі фізичних предметів («речей»), що мають вбудовані технології взаємодії друг з одним чи із довкіллям. Інтернет речей у сільському господарстві призначений для того, щоб допомогти фермерам контролювати життєво важливу інформацію про поле та рослини, таку як вологість, температура повітря та якість ґрунту, за допомогою дистанційних датчиків, а також для підвищення врожайності, планування більш ефективної іригації та складання прогнозів урожаю. Інтернет речей допомагає біологам вивчати вплив геномів та мікроклімату на врожайність, щоб оптимізувати якість продукції та врожайність.

### **3. Мета і задачі дослідження.**

Нині у зв'язку з необхідністю безперервного зростання обсягу виробництва, зважаючи на розвиток технічної бази, виникає потреба у перегляді існуючих систем управління виробництвом сільськогосподарської продукції. З урахуванням цього впровадження нових та розвиток існуючих цифрових технологій дає можливість оптимізувати існуючі процеси у суміжних галузях економіки. Тому впровадження технологічних рішень в агропромисловий комплекс необхідно розглядати як важливий метод підвищення ефективності моделей управління, а також основою для подальшого розвитку та модернізації сільськогосподарської галузі.

### **4. Результати дослідження.**

Ухвалення рішень необхідно здійснювати за сукупністю вихідних даних внаслідок того, що способи та прийоми будь-якого з методів тісно взаємопов'язані між собою. Список вихідних даних переважно визначається характеристиками процесу виробництва, галуззю агропромислового комплексу, кількістю технічних і людських ресурсів, умовами проведення робіт. У рослинництві, наприклад, такі параметри включають такі показники: склад ґрунту, площа полів, вологість і температуру, об'ємну та питому вагу ґрунту, тип вироблених культур, умови клімату. Облік сукупності даних параметрів дозволяє приймати рішення про терміни проведення польових робіт, прогнозувати рівень врожайності, враховувати специфіку врожайності на окремих ділянках орних земель, визначати потребу та кількість добрив, що

використовуються. В даний момент збирання необхідної інформації для прийняття рішень здійснюється за допомогою відстеження характеристик процесу на машинах, які здійснюють польові роботи, супутникової зйомки та забору ґрунту для проби. Одночасне відстеження показників величезної території супроводжується обмеженнями і дискретністю, викликані територіальними складовими. Це істотний недолік для такого роду збору даних. При цьому більша частина видобутого матеріалу не може підлягати цифровій обробці. Іншими словами, цей матеріал не може бути проаналізований з необхідною точністю та врахуванням трендів, необхідних для адаптації методів управління та технологій. Впровадження «Інтернету речей» (від англ. Internet of Things, «IoT») у виробничі процеси вирішують проблеми аналізу та моделювання, достовірності даних, а надалі – і автоматизації.

Використання технологій точного землеробства, що ґрунтується на інтернеті речей, буде наслідком бурхливого зростання врожайності величезного масштабу, якого люди не бачили навіть у часи появи винаходів, таких як трактор, генетично змінене насіння та винахід гербіцидів. Технології подешевшали, еволюціонували та просунулися до високого рівня. Вперше в історії стало можливо отримувати інформацію про будь-який сільськогосподарський об'єкт, робити точний математичний алгоритм дій і прогнозувати результат. Автоматизація великої кількості процесів у сільському господарстві є усвідомленою необхідністю у розвитку найбільших машинобудівних та агропромислових компаній та у світі. Реалізація проєктів IoT дає можливість фермерам використовувати велику кількість даних, які використовуються на їхніх фермах. Великий розмір ферм робить ручні операції важкими і неефективними, що змушує фермерів використовувати технології IoT. Застосування знімків із супутників та інших технологій отримання інформації для відстеження сільськогосподарських операцій на всіх стадіях – від збирання врожаю до його доставки є способом максимізації забезпечення високої якості продуктів харчування у постачаннях [4]. Сільське господарство є ідеальним об'єктом для впровадження IoT, тому люди побачать величезне розширення його розробок упродовж наступних п'яти років. У таких областях, як точне землеробство, інформація, що отримується в реальному часі про погоду, ґрунт, рівні зволоження та якість повітря, допоможуть фермерам приймати більш якісні рішення щодо посадки та збирання врожаю. Вища врожайність, якість продукції, контроль витрат і збереження ресурсів є деякими із способів, якими «інтернет речей» обіцяє перетворити виробництво продуктів харчування та сільське господарство в майбутньому. IoT у сільському господарстві, що використовується зі службою датчиків та веб-карток, знімає питання про потреби у воді або її подання для зрошення сільськогосподарських культур. Фермери, які мають доступ до такої важливої інформації в режимі реального часу, можуть краще спланувати свою діяльність заздалегідь і вчасно вжити заходів, що коригують або запобігають майбутньому. IoT забезпечує ефективну та точну передачу даних у реальному часі, які пов'язані з динамічними сільськогосподарськими процесами, такими як посадка та збирання врожаю, прогнози погоди, а також вартість робочої сили та якість ґрунту.

Паралельно з досягненням якісного та оптимального виробництва продуктів харчування, IoT у сільському господарстві спрямований на безпеку продуктів харчування на різних рівнях, таких як транспортування та зберігання. Для цього є система моніторингу за багатьма факторами, такими як температура зберігання, час доставки та хмарний облік. Застосування «інтернету речей» дозволяє прогнозувати погоду та різні динамічні дані, облік яких великою мірою впливає на врожайність. Чим вища точність даних, тим нижчий шанс пошкодження врожаю. Отже, достовірні прогнози погоди можуть забезпечити підвищення рівня продуктивності, отже, і прибутковості. У наш час фермери стикаються з великою кількістю складних проблем - зміна клімату та обмежені запаси води, зростаючий попит на продукти харчування у всьому світі, обмеження орних земель та викопного палива. Для подолання цих перешкод сільське господарство використовує цілу низку новітніх цифрових технологій, включаючи технологію GPS, робототехніку, комп'ютерну візуалізацію. Датчики, які складають основу IoT, відстежують вологість та кислотність ґрунту та забезпечують інформацію про погодні умови, тоді як тваринники дистанційно відстежують переміщення та

поведінку худоби, використовуючи вбудовані пристрої. Додатки IoT для промисловості хороші для відстеження внутрішніх сільськогосподарських об'єктів, таких як молокозаводи, силоси та стайні. Система сільськогосподарського зберігання, наприклад, може встановлювати основні норми продуктивності. Потім ставляться умови тривоги та оповіщення. Вони пов'язані з температурою, вологістю, вібрацією та іншими умовами. При обчисленні необхідного часу для посадки, застосування добрив, збирання врожаю або виконання інших дій, що впливають на врожайність, основним варіантом використання IoT у діяльності сільського господарства було пов'язане зі сприйняттям ґрунту. NB - IoT (Narrow Band Internet of Things) - основна компанія стільникового зв'язку для телеметричних пристроїв з невеликими обсягами передачі даних - ідеально підходить для датчиків ґрунту, так як там використовуються дешеві модулі і на основі енергоощадного режиму можуть працювати до десяти років у польових умовах, при цьому використовується лише одна батарея. NB-IoT є необхідним доповненням до точного землеробства. Використовуючи Інтернет речей, фермер завжди знає, де і коли використовувати добрива. IoT може принести більшу ефективність у сільськогосподарську діяльність та створює ефективний цикл. Це заощаджує час і гроші фермерів, робить продукти харчування більш доступними для споживачів та зменшує вплив сільського господарства на зовнішнє середовище, забезпечуючи стійкіші процеси.

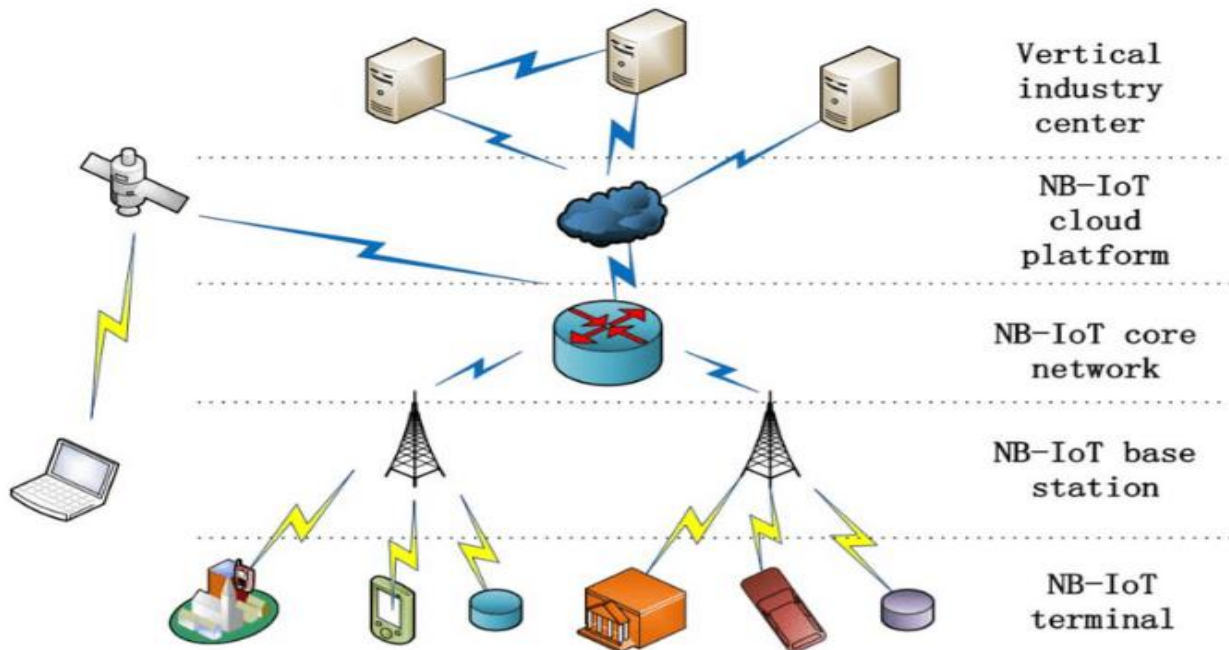


Рис. 1. Архітектура NB – IoT [2]

IoT у сільському господарстві має використовувати дронів - безпілотних літальних апаратів, які дозволяють зробити більш ефективними найрізноманітніші відгалуження галузі. Наприклад, з їхньою допомогою можна оцінити стан висаджених культур на полі великої площі, а також застосовувати для: зрошення; моніторингу; іригації; взяття зразків ґрунту; посадки рослин; та іншого. Головний плюс використання дронів у рамках впровадження IoT у сільське господарство полягає в їх широких можливостях, а саме:

зрошення; моніторингу; іригації; взяття зразків ґрунту; посадки рослин; та іншого.



Рис. 2. Дрон для сільського господарства в IoT [3]

У поєднанні з інтернетом речей доцільно використовувати технології штучного інтелекту та нейронних мереж. Сільське господарство включає в себе ряд процесів і етапів, лівову частку яких займають ручні. Доповнюючи прийняті технології, ШІ може полегшити виконання найскладніших і рутинних завдань. Він може збирати й обробляти великі дані на цифровій платформі, придумати найкращий план дій і навіть ініціювати цю дію в поєднанні з іншими технологіями. Схема взаємодії штучного інтелекту з основними процесами в сільському господарстві наведена на рис. 3.

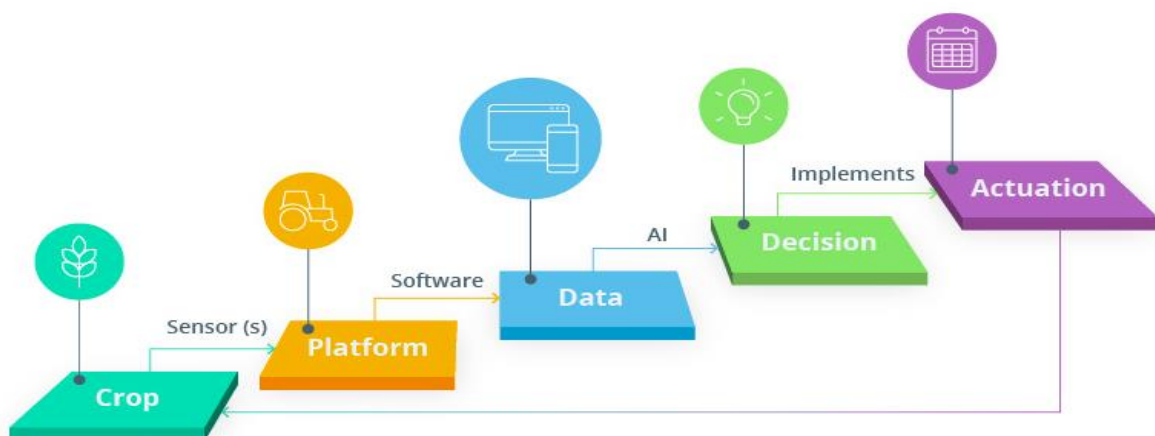


Рис. 3. Взаємодія штучного інтелекту з основними процесами в сільському господарстві [4]

Останнім часом, дуже популярною є тема автоматичного видалення бур'янів на фермах. Вже були представлені нейромережі які можуть відрізнати рослини один від одної. Недолік таких мереж - надто багато інформації: механіка, електроніка, нейронні мережі, робототехніка. Був використаний машинний зір, як пристрій біфокальної візуалізації, що працює в 2-х режимах - одночасна ширококутна зйомка зображення зразка, знімання телеоб'єктивом. Для аналізу наявності бур'янів з телеоб'єктивом були отримані фотографії високої роздільної здатності, а ширококутна камера дозволила отримати збільшення зони спостереження.



Результат з високою точністю отримано з погляду пошуку бур'янів у полі з камери, встановленої на автомобілі. Але, через високу вартість камери системи цей формат більше підходить для досліджень, ніж для подальшої роботи на полі. Детально показані перетворення зображень між нейронними шарами на рис.4. Використовувались стандартні методи попередньої обробки зображень та згортова нейронна мережа.

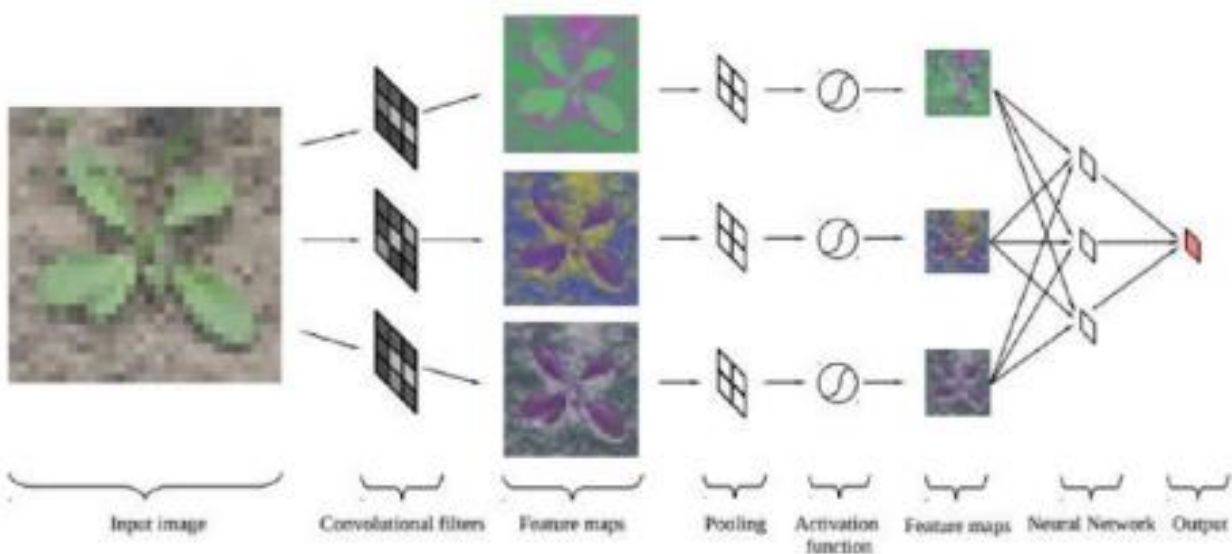


Рис. 4. Перетворення зображень між нейронними шарами [10]

На рис. 4 був використаний алгоритм, заснований на Fuzzy C-means – метод класифікаційних завдань.

Нижче наводиться рекомендований список глибоких нейронних мереж для класифікації зображень, таблиця 1. Ці моделі рекомендується використовувати у задачах класифікації рослин.

Таблиця 1

Список глибоких нейронних мереж для класифікації зображень [10]

Deep learning classification					
ResNet	ZFNet	SegNet	VGG	AlexNet	GoogLeNet

Складність побудови нейронних мереж полягає в тому, що при виборі моделі багато параметрів залежать від завдання, кількості вхідних даних, наявності часу і обчислювальної потужності, що робить кожен роботу унікальною, тому неможливо правильно змодельовати мережу спочатку. Необхідно використовувати якомога більше механізмів у попередній обробці. При розпізнаванні бур'янів на полі можна виділити два основні моменти. Перше - це складність, зумовлена погодними умовами, наявністю усіляких варіантів різних фізичних місць розташування бур'янів. Другий - швидкість розпізнавання та кількість можливих об'єктів для виявлення.

### 5. Висновки і перспективи подальших досліджень.

Розумне фермерство не просто поліпшенням, а необхідним нововведенням. При правильному застосуванні це може допомогти фермерам подолати більшість проблем, з якими вони стикаються в сільському господарстві. Крім того, корисна інформація, отримана за допомогою інтелектуальних датчиків, допомагає фермерам точніше використовувати добрива та пестициди, тим самим зменшуючи деякі впливи на довкілля.

Таким чином, впровадження технологій на базі «Інтернету речей» у сільське господарство дозволить автоматизувати процеси контролю параметрів кислотності, температури та вологості ґрунту, температури та вологості повітря, а також мінімізувати

участь людини у більшості агротехнологічних операцій виробництва сільськогосподарської продукції.

### Список використаних джерел

1. Гумен М. Б. «Основи теорії процесів в інформаційних системах: підручник (у 2-х кн.). Кн.1. Аналіз детермінованих процесів» /М. Б. Гумен, В. М. Співак, С. К. Мещанінов, Г. Г. Власюк, Т. Ф. Гумен. – 2-е вид., зі змінами і доповн. – К: Кафедра, 2017. – 281 с.
2. Lukman N. NB-IoT Networks You Can Start Using Today (Worldwide) [Електронний ресурс] / Nadya Lukman // NexPCB. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nexpcb.com/blog/nb-iot-worldwide-coverage>.
3. The future of smart farming in South Africa [Електронний ресурс] // Arobia Creative Consultancy. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://farmersreviewafrica.com/the-future-of-smart-farming-in-south-africa/>.
4. Lenniy D. Artificial Intelligence in Agriculture: Rooting Out the Seed of Doubt [Електронний ресурс] / Dmytro Lenniy // Intelliasб Kyrylivska Street 15 and 39, 04080, Kyiv, Ukraine. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://intellias.com/artificial-intelligence-in-agriculture/>.
5. Іващенко П.В. «Основи теорії інформації: навч. Посіб». /П.В. Іващенко – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2015. – 53 с.
6. Микитишин А. Г. Комп'ютерні мережі: навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник. – Львів, «Магнолія 2006», 2017. – 256 с.
7. Kujawa S. Artificial Neural Networks in Agriculture [Електронний ресурс] / S. Kujawa, G. Niedbała // Department of Biosystems Engineering, Faculty of Environmental and Mechanical Engineering, Poznań University of Life Sciences, Wojska Polskiego 50, 60-627 Poznań, Poland. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mdpi.com/2077-0472/11/6/497>.
8. Wang, A., Ang, W., & Seng, K. (2019). A review on weed detection using ground-based machine vision and image processing techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*, 158, 226-240.
9. Ip, P., & Ang, L. (2018). Big data and machine learning for crop protection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 151, 376-383.
10. Rakhmatulin I. Нейросети, глубокое обучение, машинное зрение в сельском хозяйстве [Електронний ресурс] / Ildar Rakhmatulin // Национальный Электронно-Информационный Консорциум. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.24108/preprints-3112205>.
11. Cellular IoT for smart agriculture solutions [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.emnify.com/industries/smart-agriculture>.
12. Барановський М.М. Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення / Барановський М.М.. – Житомир, 2019. – 5 с.
13. Weber T. Smart Farming - Industry 4.0 in Agriculture [Електронний ресурс] / Tobias Weber. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.emnify.com/blog/smart-farming-iot>.

### References:

1. Gumen M. B. "Fundamentals of the theory of processes in information systems: a textbook (in 2 volumes). Book 1. Analysis of deterministic processes" /M. B. Humen, V. M. Spivak, S. K. Meshchaninov, H. G. Vlasyuk, T. F. Humen. – 2nd ed., with changes and additions. - K: Department, 2017. - 281 p.
2. Lukman N. NB-IoT Networks You Can Start Using Today (Worldwide) [Electronic resource] / Nadya Lukman // NexPCB. – 2021. – Resource access mode: <https://www.nexpcb.com/blog/nb-iot-worldwide-coverage>.

3. The future of smart farming in South Africa [Electronic resource] // Arobia Creative Consultancy. – 2021. – Resource access mode: <https://farmersreviewafrica.com/the-future-of-smart-farming-in-south-africa/>.
4. Lenniy D. Artificial Intelligence in Agriculture: Rooting Out the Seed of Doubt [Electronic resource] / Dmytro Lenniy // Intelliasb Kyrylivska Street 15 and 39, 04080, Kyiv, Ukraine. – 2022. – Resource access mode: <https://intellias.com/artificial-intelligence-in-agriculture/>.
5. Ivashchenko P.V. "Fundamentals of information theory: teaching. Guide"./P.V. Ivashchenko – Odesa: ONAZ named after O.S. Popova, 2015. – 53 p.
6. Mykytyshyn A.G. Computer networks: study guide for technical specialties of higher educational institutions / A.G. Mykytyshyn, M.M. Mytnyk, P.D. Stuhlyak, V.V. Beekeeper. - Lviv, "Magnolia 2006", 2017. - 256 p.
7. Kujawa S. Artificial Neural Networks in Agriculture [Electronic resource] / S. Kujawa, G. Niedbała // Department of Biosystems Engineering, Faculty of Environmental and Mechanical Engineering, Poznań University of Life Sciences, Wojska Polskiego 50, 60-627 Poznań , Poland. – 2021. – Resource access mode: <https://www.mdpi.com/2077-0472/11/6/497>.
8. Wang, A., Ang, W., & Seng, K. (2019). A review on weed detection using ground-based machine vision and image processing techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*, 158, 226-240.
9. Ip, P., & Ang, L. (2018). Big data and machine learning for crop protection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 151, 376-383.
10. Rakhmatulin I. Neuronets, deep learning, machine vision in agriculture [Electronic resource] / Ildar Rakhmatulin // National Electronic-Information Consortium. – 2021. – Mode of access to the resource: <https://doi.org/10.24108/preprints-3112205>.
11. Cellular IoT for smart agriculture solutions [Electronic resource] - Resource access mode: <https://www.emnify.com/industries/smart-agriculture>.
12. Baranovsky M.M. Computer technologies: innovations, problems, solutions / M.M. Baranovskyi - Zhytomyr, 2019. - 5 p.
13. Weber T. Smart Farming - Industry 4.0 in Agriculture [Electronic resource] / Tobias Weber. – 2020. – Resource access mode: <https://www.emnify.com/blog/smart-farming-iot>.