

# Інтернет речей та бездротові смарт-мережі в точному землеробстві

Г.В. Антонова, А.В. Кедич, О.В. Ковирьова

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, 03187, м. Київ,  
проспект Академіка Глушкова, 40, antanna78@gmail.com, dasd.com.ua

## **H.V. ANTONOVA, A.V. KEDICH, O.V. KOVYROVA** **INTERNET OF THINGS AND WIRELESS SMART NETWORKS IN DIGITAL AGRICULTURE**

**Abstract.** The use of precision and digital agriculture technology and the Internet of Things in agriculture is relevant direction today. Modern precision and digital agriculture for efficiency increasing requires development and implementation of new information and communication technologies, including wireless ones. The authors focused to various aspects of these technologies in the article. The authors analyzed precision and digital agriculture technology and basic subsystems of it. Diagram of data exchanges corresponding to the concept of precision and digital agriculture in plant growing was analyzed. The authors have developed an associative map of precision and digital agriculture components. The map can be adapted to different conditions of use. The review of domestic IT developments and solutions for the agrarian sector was completed. The Internet of Things technology and its components were considered. There were analyzed the data of forecast of grows of the IoT global market in production sphere. The article describes the components and the principles of operation and basic functions of the wireless smart network for express-diagnostics of agricultural plants' state. Wireless smart network was developed at the V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine. The problem of energy efficiency of wireless networks was determine and analyzed. Also there were determined the impact factors on the energy efficiency. LoRa technology was analyzed, and the benefits of using the protocol LoRaWAN in wireless networks were determined. The business model for wireless smart network has been developed. The business model is based on the business model of canvas.

**Key words:** wireless smart networks, internet of things, LoRa technology, precision agriculture.

**Анотація.** Сьогодні використання технології точного землеробства та Інтернету речей у сільському господарстві набуває актуальності. Сучасне цифрове землеробство для підвищення ефективності вимагає розробки та впровадження нових інформаційно-комунікаційних технологій, у тому числі бездротових. У статті приділено увагу різним аспектам даних технологій. Проаналізовано технологію точного землеробства та її основні підсистеми. Наведено і проаналізовано схему обміну даними, яка відповідає концепції точного землеробства в рослинництві. На базі зазначеної схеми, авторами розроблено асоціативну карту ком-

понентів точного землеробства, яка може бути адаптована під різні умови використання. Виконано огляд вітчизняних ІТ-розробок і рішень для аграрного сектору. Розглянуто технологію Інтернету речей та її складові. Проаналізовано дані прогнозу зростання світового ринку IoT у промисловості. У статті наведено складові, описано принципи роботи та основні функції бездротової смарт-мережі для експрес-діагностики стану рослин, яку розроблено в Інституті кібернетики. Визначено та проаналізовано проблему енергоефективності бездротових мереж, визначено фактори, які впливають на неї. Проаналізовано технологію LoRa, визначено переваги використання протоколу LoRaWAN у бездротових мережах. Розроблено бізнес-модель для бездротової смарт-мережі на основі business model canvas.

**Ключові слова:** бездротові сенсорні мережі, Інтернет речей, технологія LoRa, точне землеробство.

**Аннотация.** В настоящее время использование технологии точного земледелия и Интернета вещей в сельском хозяйстве становится актуальным. Современное цифровое земледелие требует разработки и внедрения новых информационно-коммуникационных технологий, в том числе беспроводных, для повышения эффективности. В статье уделено внимание различным аспектам данных технологий. Проанализирована технология точного земледелия и её основные подсистемы. Приведена и проанализирована схема обмена данными, которая соответствует концепции точного земледелия в растениеводстве. На базе указанной схемы, авторами разработана ассоциативная карта компонентов точного земледелия, которая может быть адаптирована под различные условия использования. Выполнен обзор отечественных ИТ-разработок и решений для аграрного сектора. Рассмотрена технология Интернета вещей и её составляющие. Проанализированы данные прогноза роста мирового рынка IoT в промышленности. Приведены составляющие, описаны принципы работы и основные функции беспроводной смарт-сети для экспресс-диагностики состояния растений, разработанной в Институте кибернетики. Проанализирована проблема энергоэффективности беспроводных сетей, определены факторы, которые влияют на неё. Проанализирована технология LoRa, определены преимущества использования протокола LoRaWAN в беспроводных сетях. Разработана бизнес-модель для беспроводной смарт-сети, на основе схемы business model canvas.

**Ключевые слова:** беспроводные сенсорные сети, Интернет вещей, технология LoRa, точное земледелие.

© Г.В. АНТОНОВА, А.В. КЕДИЧ, О.В. КОВИРЬОВА, 2019

**Вступ.** Точне землеробство – це комплексна технологія, яка займається розробкою стратегії і тактики землеробства та оперативного керування виробничим процесом вирощування сільськогосподарських рослин з урахуванням біологічних особливостей культури та сорту, локальних умов ґрунтового живлення та стану рослин, а також мікрокліматичних особливостей ґрунту [1, 2]. Принципова відмінність концепції точного землеробства в тому, що воно розглядає кожне сільськогосподарське поле як неоднорідне, а отримання інформації про агробіологічний стан рослин, ґрунтового середовища і прийняття рішення щодо реалізації внесення технологічного матеріалу відбувається на основі спеціально розроблених інформаційних технологій (ІТ). Тобто, точне землеробство – це стратегія керування, яка використовує інформаційні технології для того, щоб отримати дані від багатьох джерел, а також для того, щоб приймати рішення, пов'язані з рослинництвом. Основні підсистеми, які входять як елементи в технологію точного землеробства: навігаційна підсистема, технічні засоби для отримання та обробки інформації, технічні засоби для реалізації технології у полі. Розвиток технологій точного землеробства – це технології у рослинництві.

Технологія цифрового землеробства передбачає використання сенсорів, які розміщуються стаціонарно на полі, включно на сільськогосподарських рослинах, або на рухомому сільськогосподарському механізмі, який виконує технологічну операцію. Дані від таких сенсорів з використанням ІТ застосовуються для отримання оперативної інформації, відображення даних, наприклад, у хмарному середовищі, прийняття управлінських рішень. З використанням таких даних можна створити цифрові моделі сільськогосподарських угідь з урахуванням динаміки розвитку сільськогосподарських культур.

Технологія "розумного" землеробства передбачає використання "розумних" систем оперативного контролю та прийняття управлінського рішення, які розміщуються стаціонарно на полі, включно сільськогосподарські рослини, або на рухомому сільськогосподарському агрегаті. Такі системи дозволяють у режимі реального часу забезпечити оперативне керування якістю виконання технологічних операцій, в них закладені алгоритми, за допомогою яких вони можуть приймати управлінські рішення в режимі реального часу про виконання технологічних операцій на основі отриманих оперативних даних. Одним

із найважливіших елементів застосування технологій розумного землеробства є оперативний збір та реєстрація агробіологічної та фітосанітарної інформації про агробіологічний стан сільськогосподарських угідь.

В роботі [3] наведено типову схему обміну даними згідно з концепцією точного землеробства в рослинництві. В даній схемі інформація передається по колу. Дані від супутникової системи навігації передаються в місце зберігання та обробки цих даних. В процесі обробки приймається рішення на основі службових даних, таких як історія поля, результати обстеження ґрунту, топографія поля, дистанційне зондування, а також на основі аналізу наявності ресурсів та даних, отриманих від постачальників, консультантів, посередників та адміністрації. На основі цього будуються карти з інструкціями, після чого виконуються аграрні технічні процедури з обробки ґрунту та посівів з урахуванням даних про ґрунт. Далі вносяться добрива, гербіциди, пестициди з урахуванням даних про стан поля, стан культур. Дані про стан ґрунту, сільськогосподарських культур, наявність бур'янів отримуються від відповідних сенсорів.

Недоліком розглянутої схеми обміну даними згідно з концепцією точного землеробства в рослинництві (рис. 1) є те, що вона не враховує динамічні зміни стану рослин і орієнтована виключно на сільськогосподарські культури.

Далі наведено побудовану нами асоціативну карту компонентів точного землеробства, яка може адаптуватися під різні умови використання, наприклад, в сільському господарстві, екологічному моніторингу, тепличних господарствах тощо. Для зручності карту розділено на дві частини. Ядро першої – облік фактичних робіт,



РИС. 1. Схема обміну даними згідно з концепцією точного землеробства в рослинництві

до якого ведуть ланки оцінки наявності ресурсів, метеоданих, супутникового моніторингу техніки, сенсорів для обстеження ґрунту, історії ділянки, топографії поля, сенсорів для виявлення бур'янів, лабораторної діагностики та безпілотних технологій (рис. 2, 3). Важливий елемент – сенсори для вимірювання індукції флуоресценції хлорофілу, які дозволяють отримувати інформацію про стан рослин в експресному режимі [4, 5]. Деякі з ланок мають розгалуження з більш детальним описом компонентів. Ядро другої мапи – результати обробки всієї інформації, яка виникає під час моніторингу стану територій зелених насаджень різної природи.

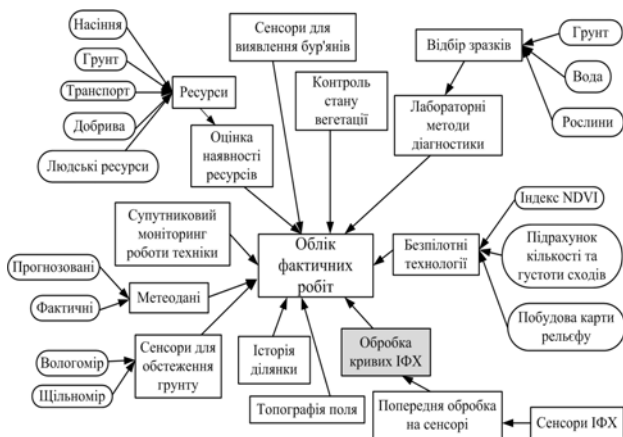


РИС. 2. Асоціативна карта компонентів точного землеробства (перша частина)



РИС. 3. Асоціативна карта компонентів точного землеробства (друга частина)

## I. Інформаційні технології в аграрному секторі

В рамках відвідування щорічної міжнародної агропромислової виставки АГРО-2019 (Київ, 4–7 червня 2019 року) виконано огляд напрацьованих українських виробників ІТ для аграрного сектору, які є новими у порівнянні з 2018 роком [6].

"Агромодуль" компанії "Overseer" – це супутникова система моніторингу транспорту і земельних угідь, яка дозволяє вести моніторинг транспорту в режимі реального часу, контроль якості та кількості виконаної роботи, контроль режимів роботи техніки. З'явилися мобільні додатки для операційних систем Android та iOS.

"VENTA Lab" продемонструвала тензіометри, прилади для вимірювання вологості ґрунту, пробовідбірники ґрунту різної довжини, призначені для збору проб ґрунту для визначення кількісних і якісних характеристик його складу та інших параметрів.

Компанія "Акватек" продемонструвала тензіометричну online станцію моніторингу ґрунту та online метеостанцію.

Науково-виробничим підприємством "Інтріс" продемонстровано інформаційно-контролюючі системи "«Мрія" і "Garant" для контролю процесу посіву просапних культур.

Компанія НПФ "МОНАДА" продемонструвала розроблені, запатентовані, серійні бортові комп'ютери для сільськогосподарської техніки, які автоматично відслідковують показники її роботи, аналізують їх та видають інформацію про "стан здоров'я" механізму або "ставлять діагноз" у випадку виникнення аварійних ситуацій.

Компанія "DATAFIELD" продемонструвала твердомір (пенетрометр) інструмент для виявлення проблемних ділянок на полях, а саме: глибини залягання плужної підшви (щільний прошарок під орним полем), містить модуль GPS, може передавати дані на сервер для подальшої обробки.

Підприємство ООО "Трак" продемонструвало комплектуючі для систем контролю висіву, а також системи внесення рідких добрив, системи контролю висіву.

Компанія "Комплексний АгроСервіс" продемонструвала мультиплатформенну систему управління сільськогосподарським підприємством "Агросистема". Це апаратно-програмний комплекс призначений для online моніторингу, контролю переміщення і виконання сільськогосподарських операцій.

"AgriLab" – агроконсалтингова компанія, яка розробляє комплексні рішення для підвищення ефективності сільськогосподарських підприємств. Система точного землеробства включає технологічну експертизу, локально-стрічкове внесення добрив, диференційоване внесення добрив, змінні норми висіву насіння, автоматизацію і дистанційний обмін даними, GPS-моніторинг техніки. Доступний портал агронома, програмне забезпечення, яке дозволяє планувати та контролювати усі технологічні процеси.

Компанія "Zemlerob" надає послуги аналізу ґрунту, які виконуються на новітньому нідерландському обладнанні.

**AgroOnline** – це онлайн-платформа призначена для комплексної автоматизації менеджменту в аграрному бізнесі. Керування програмою поділено на чотири модулі: управління активами (містить інформацію про землю, яку обробляє господарство, техніку та інші матеріально-технічні ресурси), бізнес-планування (призначений для планування операцій, основою системи є модернізовані та вдосконалені агротехнічні картки), сезонне управління (дозволяє змодельовувати сівозміни), післясезонний аналіз (призначений для збору усієї інформації та аналізу виконаної роботи за весь сезон).

Найбільш перспективною розробкою на сьогодні на нашу думку є бездротова сенсорна мережа (БСМ) і технології на її основі для експрес оцінки стану рослин, яка розроблена колективом авторів в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України. БСМ призначена для вирішення однієї з підзадач точного землеробства, а саме: для визначення стану рослин в умовах дії стресових факторів різної природи в реальному часі [4].

## II. Інтернет речей та його використання

Як вище зазначено, в даний час активно розвиваються та впроваджуються у різні промислові галузі, і не тільки, технології Інтернету речей, основу яких складають розумні сенсорні мережі. Інтернет речей (Internet of Things, IoT) – концепція мережі, що складається із взаємозв'язаних фізичних пристроїв, які мають вбудовані датчики, а також програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати передачу і обмін даними між фізичним світом і комп'ютерними системами за допомогою використання стандартних протоколів зв'язку. Окрім датчиків, мережа може мати виконавчі пристрої, вбудовані у фізичні об'єкти і

пов'язані між собою через дротові чи бездротові мережі. Інтернет речей, основна поточна тенденція, принципово спирається на широке розповсюдження пристроїв з одним або багатьма типами датчиків. Умовно всі IoT-проекти поділяються на дві групи в залежності від типу комунікації пристроїв: масові (Massive MTC) і критичні (Critical MTC). Кожен тип виконує свої завдання та має свої вимоги до мережі. Масові IoT-проекти – це «розумні» будинки, лічильники, рішення для відстеження вантажоперевезень або сільського господарства.

Такі рішення передбачають передачу невеликої кількості даних від величезної кількості сенсорів. Гарантована передача-отримання інформації в цих рішеннях є некритичною. Якщо з будь-якої причини інформацію від сенсора не отримали нині, то нічого критичного немає, тому що дані будуть оновлені під час наступного сеансу передачі. Основні вимоги тут – низька вартість пристроїв і їх мінімальне енергоспоживання. Частково такі проекти можуть бути реалізовані на основі GSM-мереж, але більшість дійсно масових рішень побудовані на основі інфраструктури LTE.

Що стосується рішень на основі «критичної» машинної комунікації, у них абсолютно інші вимоги. В першу чергу – це ультранизька затримка передачі сигналу (менше 5 мсек) і надвисока надійність мережі.

Згідно прогнозів агентства Machina Research до 2025 р. світовий ринок Інтернету речей у промисловій галузі (обладнання, в тому числі датчики, програмне забезпечення і платформи, послуги) досягне 484 млрд євро. Для порівняння, загальний обсяг ринку Інтернету речей Machina Research оцінює в 4,3 трлн дол. до 2025 р. Найбільшу динаміку впровадження IoT-рішень аналітики очікують у сільському господарстві, енергетиці, охороні здоров'я, видобутку корисних копалин і промислового виробництва. Згідно даних щорічного дослідження "Frost & Sullivan TechVision", проведеного ще у 2016 р., до 50 найкращих та перспективних технологій відносять, у тому числі, і бездротові сенсорні технології. Особливість дослідження Techvision полягає у щорічному виборі 50 найкращих та перспективних технологій, які можуть залучити величезні інвестиції. У звіті 2018 року стверджується, що загальний ринок датчиків у 2016 році оцінювався приблизно в 6,27 мільярда доларів, а до 2023 року його вартість перевищить 12 мільярдів дола-

рів, причому регіон АРАС буде самим швидкозростаючим за прогнозований період. Максимальна проява тренду прогнозується у 2020–2030 рр.

### III. Бездротова сенсорна смарт-мережа

Розроблена в ІК НАНУ колективом авторів бездротова сенсорна смарт-мережа для експрес-діагностики стану рослин [4, 7] добре вбудовується у концепцію Інтернету речей. Бездротова сенсорна мережа збирає дані про стан рослин безпосередньо з цих рослин, перетворюючи таким чином звичайне поле, звичайну теплицю чи звичайний сад – в «розумне поле», «розумну теплицю» або «розумний сад». Впровадження бездротової сенсорної мережі у сільське господарство та садівництво для моніторингу фотосинтезу, дасть можливість інтелектуалізувати процес захисту рослин, що у свою чергу дасть змогу вчасно оцінити стан рослин під впливом таких стресових факторів, як посуха, спека, забрудненість ґрунту важкими металами, внесення гербіцидів, добрив тощо та завчасно вжити заходи з захисту рослин від дії таких чинників.

БСМ складається із біосенсорів, координатора мережі, пристрою спряження ZigBee/USB (рис. 4). Усі вузли мережі побудовано на бездротовому мікроконтролері JN5168 компанії NXP. Кожен вузол включає 32-бітний RISC-процесор із тактовою частотою, що дорівнює 32 МГц та бездротовий блок, сумісний із стандартом IEEE802.15.4.

Стек ZigBee Pro використовується як бездротовий протокол для організації мережі та передачі даних.

Компоненти мережі мають малі розміри, невисоку вартість, не складні у користуванні та обслуговуванні. Функції мережі у промисловому сільському господарстві:

- експресна оцінка бактеріального ураження промислових та декоративних культур;
- оптимальне керування кліматичними умовами на територіях теплиць;
- оптимізація та своєчасне внесення доз біологічно активних добавок і гумінових речовин;
- експресна оцінка вірусного і бактеріального навантаження на рослини;
- зменшення і оптимізація норм води для зрошення рослин у теплицях та оранжереях;
- своєчасне виявлення впливу підвищеної або пониженої температури повітря на рослину.

Зазначимо, що технологія моніторингу фотосинтезу, основні компоненти мережі, при-

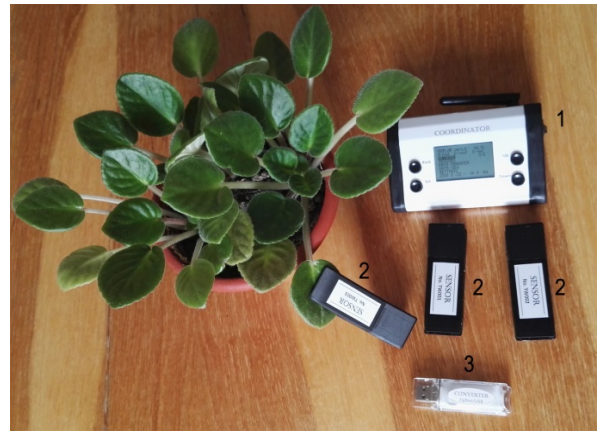


РИС. 4. Бездротова сенсорна мережа, де 1 – бездротовий координатор мережі, 2 – бездротовий сенсор мережі, 3 – перетворювач USB/радіоканал

кладне програмне забезпечення захищені відповідними документами на інтелектуальну власність [8, 9].

До теперішнього часу технологія експрес-оцінювання фотосинтезу рослин у польових умовах ніде в світі не застосовувалась. Прикладне програмне забезпечення, розроблене для коректної роботи бездротової сенсорної мережі, можна легко адаптувати під завдання користувача (агронома, еколога, садівника, фермера) з урахуванням застосовуваних технологічних процесів, площі оброблюваних земель, видів культур.

Надалі ведуться дослідження з вдосконалення роботи сенсорної мережі та її окремих вузлів. Для оцінки часу автономної роботи вузлів мережі та виявлення можливих похибок, в лабораторії інституту було проведено експеримент у форсованому режимі, результати опубліковано [4].

### IV. Енергоефективність мережі та технологія LoRa

Також приділимо увагу питанню енергоефективності та відмовостійкості мереж. Однією з практичних задач, які безпосередньо пов'язані з проблемами енергоефективності та відмовостійкості БСМ, є збільшення часу автономної роботи мережі. Одним з технологічних підходів досягнення цієї мети є оптимізація енергоживлення сенсорних мереж.

Енергоспоживання БСМ залежить від наступних факторів:

- відстань і наявність перешкод між різними вузлами (розташування сенсорів у просторі відносно один одного);

- обсяг інформації, що передається, і частота її передачі;

- енергоспоживання використовуваних мікросхем, датчиків та інших електронних компонентів;

- логічна структура мережі, що включає маршрути передачі інформації від вузла до вузла;

- бездротові протоколи для організації роботи сенсорної мережі та передачі даних.

З огляду на вищезазначене, надалі є доцільним розглянути використання протоколу LoRaWAN [10] як бездротовий протокол для організації роботи сенсорної мережі та передачі даних. Можливі застосування технології LoRa (від англ. Long Range) – сільське господарство, портативна електроніка, моніторинг домашніх тварин, різні системи збору даних і управління. Протокол LoRaWAN розроблено як стандартну мережеву інфраструктуру для інтеграції кінцевих пристроїв LoRa у різні системи класу IoT. Технологія LoRa є сучасним напрямком розвитку бездротових технологій передачі невеликих об'ємів даних на великі відстані. Технологія LoRa з'явилася під егідою некомерційної організації «LoRa Alliance» з метою прийняття та просування протоколу LoRaWAN як єдиного стандарту для глобальних мереж з низьким енергоспоживанням (LPWAN – Low Power Wide Area Network) типу зірка. У мережах, що використовують модуляцію LoRa, зв'язок між пристроями відбувається по радіоканалу в субгігагерцовому діапазоні частот ISM (Industrial, Scientific and Medical). Фактичні межі діапазону залежать від країни, для України виділена смуга 433 або 868 МГц, що не ліцензуються. У LoRaWAN мережах на фізичному рівні, як правило, використовується модуляція LoRa на частоті 863–870 (868, рідше на 433) МГц в Європі, 902–928 (915) МГц в США і 779–787, 923 МГц в Азії.

Технологія LoRa об'єднує у собі метод модуляції LoRa в бездротових мережах LPWAN, розроблений і запатентований Semtech Corporation. Модуляція LoRa є фізичним рівнем, а LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks) – це MAC протокол для високоємних мереж з великим радіусом дії і низьким власним енергоспоживанням. Швидкість передачі даних у режимі LoRaWAN коливається від 0,3 кбіт/с до 50 Кбіт/с (у режимі частотної модуляції FSK). Протокол LoRaWAN оптимізований для низькобюджетних сенсорів з роботою від батарей і включає різні класи вузлів,

забезпечуючи компроміс між швидкістю доставки інформації і часом роботи пристроїв при використанні живлення від батарей (акумуляторів). Протокол забезпечує повний двосторонній зв'язок, а архітектура за допомогою спеціальних методів шифрування, забезпечує загальну надійність і безпеку усієї системи. Специфікація LoRaWAN визначає два рівні криптографії: унікальний 128-розрядний ключ мережевого сеансу, яким користуються між кінцевим пристроєм та сервером (NwkSKey), та унікальний 128-бітний ключ сеансу додатку (AppSKey), яким користуються на рівні додатку.

Ключовими перевагами технології LoRa є можливість автономної роботи кінцевих пристроїв до 10 років від одного акумулятора типорозміру AA за рахунок наднизького енергоспоживання LoRa-модемів (у режимі прийому даних – від 9,7 мА, у режимі передачі – від 40мА, у режимі сну – 200 нА). Технологія LoRa значно підвищує чутливість приймача і використовує всю ширину смуги пропускання каналу для передачі сигналу, що робить його стійким до каналних шумів і нечутливим до зміщень, викликаних неточностями в налаштуванні частот. Технологія LoRa дозволяє здійснювати демодуляцію сигналів з рівнями на 19,5 дБ нижче рівня шумів.

Наведемо деякі правила розрахунку фактичної швидкості цифрового потоку та час роботи радіоканалу для системи LoRa [11].

1. Символьна швидкість ( $R_s$ ):

$$R_s = BW / (2^{SF}),$$

де  $BW$  – ширина спектру радіосигналу,  $SF$  – коефіцієнт розширення спектру (змінюється в діапазоні від 7 до 12).

2. Час передачі одного символу ( $T_s$ ):

$$T_s = 1 / R_s.$$

3. Розмір преамбули ( $T_{preamble}$ ):

$$T_{preamble} = (n_{preamble} + 4,25) \cdot T_{sym},$$

де  $n_{preamble}$  – запрограмована довжина преамбули, яка береться із значень регістрів RegPreambleMsb і RegPreambleLsb.

4. Кількість символів у корисному навантаженні ( $T_{payload}$ ):

$$\text{payloadSymNb} = 8 + \max \cdot (\text{ceil} \times \left( \frac{8\text{PL} - 4\text{SF} + 28 + 16 - 20\text{H}}{4\text{SF} - 2\text{DE}} \right) \text{CR} + 4), 0),$$

де  $\text{CR}$  (Coding Rate) – швидкість кодування,

$$T_{payload} = \text{payloadSymNb} \cdot T_{sym}.$$

5. Тривалість передачі пакету (Tpacket):  
Tpacket = Tpreamble + Trayload.

### V. Бізнес-модель для ІТ розробок

Під впливом IoT трансформуються також економічні моделі побудови взаємодії «постачальник-споживач». Інтеграція операційних та інформаційних технологій дозволить перейти до нових бізнес і сервіс моделей, таких як «ремонт за станом» і «обладнання, як сервіс».

Перехід на IoT дозволяє оперативніше реалізувати складні наскрізні, повністю автоматизовані бізнес-процеси. Такий рівень автоматизації неможливо реалізувати, використовуючи традиційні підходи. За допомогою IoT наскрізні автоматизовані процеси можуть охопити всі види взаємодій виробників товарів, послуг і їх споживачів. Тому впровадження нових технологій в аграрний сектор зумовило розробку бізнес-моделі бездротової сенсорної смарт-мережі, яку описано у попередньому розділі статті. При її розробці, за основу взято business model canvas. Дана маркетингова модель розкриває ключові цінності сенсорної мережі як ринкового продукту. Business model canvas (таблиця), складається із 9 блоків, які логічно пов'язані між собою, у кожному з яких надаються ключові питання та відповіді на них, як висновки.

**Блок 1.** Сегменти споживачів, на яких орієнтована мережа. Треба виділити відповіді на наступні питання: Хто? Чого вони бояться? Що хочуть отримати? Чим на них можна впливати?

**Блок 2.** Задача блоку – виділити саме ту ключову цінність, яка змусить клієнта вибрати саме цей конкурентний продукт.

**Блок 3.** Канали збуту – всі точки контактів з клієнтами мають бути враховані.

**Блок 4.** Відносини з клієнтами. Які відносини у нас збудовані з кожним із сегментів? З ким у нас індивідуальний договір? З ким загальний?

**Блок 5.** Потоки доходів.

**Блок 6.** Ключові ресурси – визначення необхідних ресурсів, слід виділити всі ресурси, які потрібні як для виробництва, так і для будівництва взаємин, каналів збуту і т. д. Ресурси потрібно розбити за видами: фінанси, сировина, людські, інтелектуальні, нематеріальні.

**Блок 7.** Ключові заходи, в даному випадку мається на увазі, які безпосередньо кроки потрібно виконувати для всіх вищесказаних етапів. Етапи виробничого процесу, доставка, рекламна

діяльність, створення після продажного сервісу і т. д.

**Блок 8.** Ключові партнери, вказати партнерів, без яких ваш бізнес не може існувати.

**Блок 9.** Структура витрат. Постійні витрати, змінні витрати, витрата на заробітну плату, податки, ціна ресурсів і т. д. Всі найзначніші витрати мають бути виділені.

Виділимо конкурентні переваги бездротової смарт-мережі:

- жодна з представлених на світовому ринку систем не вимірює параметри фотосинтезу агрокультур одночасно на великих територіях сільськогосподарських угідь;
- невисока вартість у порівнянні з закордонними аналогами;
- відсутність аналогів на українському та світовому ринку;
- дуже легке розташування сенсорів на рослинах, легке підключення мережі на місці використання;
- інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача мережі;
- мала вага і розміри сенсорів;
- низьке енергоспоживання мережі;
- можливість об'єднання сенсорної мережі у систему збору даних, яка здатна охопити велику територію промислових теплиць або сільськогосподарських угідь;
- технологія виключає помилки, пов'язані з людським фактором, оскільки повністю автоматизована;
- скорочення ланок від «поля» до «управління».

Бездротова смарт-мережа забезпечує подачу актуальної та своєчасної інформації про стан насаджень та надає можливість виробити та прийняти необхідне «саме нині» управлінське рішення. Спираючись на представлену бізнес-модель, інженерно-технологічну розробку можна професійно представляти як «ринковий продукт» на різноманітних конкурсах технологічних проектів та активно впроваджувати у промисловий аграрний сектор.

**Висновки.** 1. Проаналізовано технологію точного землеробства. Наведено і проаналізовано схему обміну даними, яка відповідає концепції точного землеробства в рослинництві. На базі зазначеної схеми розроблено асоціативну карту компонентів точного землеробства, яка може бути адаптована під різні умови використання. 2. Виконано огляд вітчизняних ІТ-розробок і рішень для

ТАБЛИЦЯ. Схема бізнес-моделі Канвас

<p><b>8. Ключові партнери</b> Науково-виробничі фірма «VD MAIS»</p>	<p><b>7. Ключові заходи</b> Етапи виробничого процесу, доставка, створення післяпродажного сервісу та інше</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Постановка завдання, підготовка технічного завдання.</li> <li>2. Підготовка конструкторської документації на виготовлення електронних модулів smart-мережі.</li> <li>3. Закупівля елементної бази.</li> <li>4. Замовлення на виготовлення елементів мережі на контрактне виробництво.</li> <li>5. Збірка, тестування, відладка smart-мережі.</li> <li>6. Установа smart-мережі на території замовника.</li> <li>7. Післяпродажна технічна підтримка.</li> <li>8. Аналіз даних і генерація необхідного управлінського рішення</li> </ol>	<p><b>2. Ключові цінності</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Які послуги ми можемо запропонувати кожному із сегментів споживачів?</li> <li>2. Інноваційна універсальна інформаційна технологія «розумний сад», «розумне поле», «розумна теплиця» і т. д., розробляється під вирішення завдань замовника.</li> <li>3. Які проблеми клієнта ми вирішуємо?</li> <li>4. Технологія - засіб оптимізації доходів-витрат замовника: скорочення витрат поточного періоду.</li> <li>5. Технологія виключить помилки, пов'язані з людським фактором, тому що повніть автоматизована.</li> <li>6. Скорочення ланок від «поля» до «управління».</li> <li>7. Подача актуальної та своєчасної інформації про стан насаджень, дозволить прийняти необхідне в даний момент управлінське рішення</li> </ol>	<p><b>4. Взаємовідносини з клієнтами</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Які відносини у нас збудовані з кожним із сегментів?</li> <li>2. Чи цього вони очікують?</li> <li>3. Чи все їх влаштовує?</li> <li>4. Індивідуальний підхід до кожного замовлення сегмента.</li> <li>5. Попередні обговорення з замовником технологічних завдань і особливостей виробничої технології.</li> <li>6. Договір купівлі-продажу укладається після обговорення і прийняття єдиного рішення за технічним завданням, яке буде вирішувати поставлену замовником задачу</li> </ol> <p><b>3. Канали збуту</b> Всі канали: перший контакт, переконання, доставка, після-продажний сервіс, реклама.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Особистий контакт (конференції, симпозіуми ін. ділові і наукові кола).</li> <li>2. Знайомство замовника з проектом на нашому сайті, рекламні проспекти, статті в збірниках.</li> <li>3. Ділове листування по e-mail.</li> <li>4. Обговорення з замовником (постановка технічного завдання).</li> <li>5. Укладення договору, або купівлі-продажу з подальшим супроводженням, або договір купівлі-продажу (тільки поставка).</li> <li>6. Доставка і установа smart-мережі на об'єкт.</li> <li>7. Післяпродажний сервіс.</li> <li>8. Реклама: участь в міжнародних виставках і проєктах, виступ на телебаченні, сайт організації, публікації в пресі</li> </ol>	<p><b>1. Сегменти споживачів</b> Хто?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Агресектор вітчизняний та закордонний: <ul style="list-style-type: none"> <li>- агрохолдинги з власними сільськогосподарськими площами: поля, сади</li> <li>- теплиці;</li> <li>- великі фермерські господарства.</li> </ul> </li> <li>2. Еко-парки: національні природні парки, заповідники.</li> </ol> <p><b>Географічне розташування?</b> - Україна, - далеко і близьке зарубіжжя</p> <p><b>Чого бояться?</b> - зміни звичного ритму виробництва; - складність впровадження або використання; - високої вартості.</p> <p><b>Чим можна впливати?</b> - переконання в раціональності впровадження технології, тобто оптимізацією витрат (приклади впровадження) - формуванням громадської думки в професійних колах (виступи на телебаченні, публікації у пресі, участь у конференціях, круглих столах, диспутах)</p>
<p><b>9. Структура витрат</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Закупівля елементної бази.</li> <li>2. Оплата за підготовку конструкторської документації на виготовлення.</li> <li>3. Оплата за виготовлення на контрактне виробництво елементів smart-мережі.</li> <li>4. Оплата фахівцям різного профілю по установці, тестуванню, супроводу і продажу smart-мережі.</li> <li>5. Транспортні витрати.</li> <li>6. Витрати на рекламу, участь у виставках, оплата за публікації у виданнях</li> </ol>	<p><b>5. Потіки доходів</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дохід від продажу smart-мережі замовнику.</li> <li>2. Дохід від установки smart-мережі на території замовника.</li> <li>3. Дохід від після продажного сервісу (супровід експлуатації smart-мережі нашими технічними спеціалістами)</li> </ol>			



аграрного сектору, які демонструвались у рамках «Міжнародної аграрної виставки АГРО-2019». 3. Розглянуто технологію Інтернету речей та її складові. Проаналізовано дані прогнозу зростання світового ринку IoT у промисловій галузі до 2025 р. 4. Наведено складові, описано принципи роботи та основні функції бездротової смарт-мережі для експрес-діагностики стану рослин, яку розроблено в Інституті кібернетики. До теперішнього часу технологія експрес-оцінювання фотосинтезу рослин у польових умовах ніде в світі не застосовувалась. 5. Визначено проблеми використання бездротових сенсорних мереж, до яких також віднесено енергоефективність. Проаналізовано і наведено фактори від яких залежить енергоефективність мережі. Одним із рішень цієї проблеми може стати використання бездротового протоколу для організації роботи сенсорної мережі та передачі даних LoRaWAN. Проаналізовано технологію LoRa, визначено переваги використання протоколу LoRaWAN. 6. Розроблено бізнес-модель для бездротової смарт-мережі на основі схеми business model canvas. Наведено схему моделі та її складові. Дана маркетингова модель розкриває ключові цінності сенсорної мережі як ринкового продукту.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. <https://agroday.com.ua/2018/02/08/povstannya-mashyn-umajbutnomu-lyudyna-bude-vyklyuchena-iz-shemy-zemlerobstva/>
2. Якушев В.В. Программно-технические средства информационного обеспечения и реализации агроприемов в системе точного земледелия: Дис. канд. техн. наук : 06.01.03 СПб., 2005 178 с. РГБ ОД, 61:05-5/3285.
3. Feasibility Study for the Development of Precision Agriculture in Mexico, Workshop on the Use of Global Navigation Satellite Systems for Scientific Applications, December 1-5, 2014, Rafael Ortiz, Mexican Space Agency.
4. Romanov V., Galelyuka I., Antonova H., Kovyrova O., Hrusha V., Voronenko O. Application of wireless sensor networks for digital agriculture. Proceeding of the 10th IEEE International conference on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications", IDAACS'2019. Metz, France. 2019, September 18–21. P. 340–344.
5. Oleksandr Palagin, Volodymyr Grusha, Hanna Antonova, Oleksandra Kovyrova, Vasyl Lavrentyev. Application of biosensors for plants monitoring. Information theories and applications. 2017. Vol. 24, N 2. P. 115–126.
6. Антонова Г.В., Ковирьова О.В. Бездротові технології як ланка цифровізації сільського господарства. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2018. № 17. С. 53–59.
7. Palagin O, Romanov V., Galelyuka I., Hrusha V., Voronenko O. Wireless smart biosensor for sensor networks in ecological monitoring. Proceeding of the 9th IEEE International conference on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications", IDAACS'2017, September 21–23, 2017. Bucharest, Romania. – P. 679–683.
8. Романов В.О., Галелюка І.Б., Вороненко О.В., Антонова Г.В. Авторське свідоцтво на твір № 79447 "Отримання даних з бездротової сенсорної мережі для експрес-діагностики стану біологічних об'єктів".
9. Інформаційна технологія експрес-оцінювання стану рослин на великих територіях в умовах дії стресових факторів, реєстраційний номер 0616U000130.
10. <https://www.semtech.com/lora>
11. <https://sx1272-lora-calculator.software.informer.com>.

## REFERENCES

1. <https://agroday.com.ua/2018/02/08/povstannya-mashyn-umajbutnomu-lyudyna-bude-vyklyuchena-iz-shemy-zemlerobstva/>
2. Yakushev Vyacheslav Viktorovich. Software and hardware for information support and implementation of agricultural practices in the system of precision farming: Dis. Cand. tech. Sciences: 06.01.03 Spb., 2005 178 p. RSL OD, 61:05-5 / 3285.
3. Feasibility Study for the Development of Precision Agriculture in Mexico, Workshop on the Use of Global Navigation Satellite Systems for Scientific Applications, December 1-5, 2014, Rafael Ortiz, Mexican Space Agency.
4. Romanov V., Galelyuka I., Antonova H., Kovyrova O., Hrusha V., Voronenko O. Application of wireless sensor networks for digital agriculture // Proceeding of the 10th IEEE International conference on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications", IDAACS'2019. – Metz, France. – 2019, September 18–21. – P. 340-344.
5. Oleksandr Palagin, Volodymyr Grusha, Hanna Antonova, Oleksandra Kovyrova, Vasyl Lavrentyev. Application of biosensors for plants monitoring // Information theories and applications, Vol. 24, Number 2, 2017 – P. 115-126, ISSN 1310-0513 (printed), ISSN 1313- 0463 (online).
6. H.V. Antonova, O.V. Kovyrova. Wireless technologies as part of the agricultural digitization// Computer means, networks and systems. 2018, N 17, p. 53-59.
7. Palagin O., Romanov V., Galelyuka I., Hrusha V., Voronenko O. Wireless smart biosensor for sensor networks in ecological monitoring // Proceeding of the 9th IEEE International conference on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications", IDAACS'2017, September 21–23, 2017. Bucharest, Romania. – P. 679-683.
8. Romanov V.O., Galelyuka I.B., Voronenko O.V., Antonova H.V. Certificate of authorship № 79447 "Receiving data from wireless sensor network for express-diagnostics of biological objects' state".
9. Information technology of express-estimation of plant state in large territories in stressful environment, registration number 0616U000130.
10. <https://www.semtech.com/lora>
11. <https://sx1272-lora-calculator.software.informer.com>.

Одержано 30.10.2019