

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-187>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/187>

УДК 004.657:004.72:621.39

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (IoT) ЗА ВИКОРИСТАННЯ ПРОТОКОЛУ LORAWAN ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЗРОШУВАНИХ ЗЕМЕЛЬ

В.П. Ковальчук¹, докт. техн. наук, Т.В. Матяш², канд. техн. наук, В.В. Книш³, О.П. Войтович⁴, аспірант, А.В. Крученко⁵

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-7570-1264>; e-mail: volokovalchuk@gmail.com

² Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-1225-086X>; e-mail: t.v.matiash@gmail.com

³ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-1225-086X>; e-mail: iwpim27@gmail.com

⁴ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-1513-4744>; e-mail: aleksvoitovych@gmail.com

⁵ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0002-5850-2404>; e-mail: anatolkru@gmail.com

Анотація. У статті проаналізовано практичні підходи до застосування Інтернету речей (IoT – internet of things) для моніторингу зрошуваних земель. Вивчено можливості підключення датчиків вологості ґрунту, температури, тиску, напрямку та швидкості вітру на базі протоколу LoRaWAN до Інтернет-шлюзів (базових станцій) без оплати за стільниковий зв'язок, додаткового живлення, розгортання у польових умовах складних Wi-Fi мереж. Отримано практичні результати щодо особливостей роботи датчиків у польових умовах; налаштування гарантованого зв'язку між базовою станцією (шлюзом) по протоколу LoRaWAN; технічних характеристик та причин можливих збоїв у роботі обладнання.

Досліджено особливості обладнання, специфіку розгортання та налаштування на місцевості датчиків на базі протоколу LoRaWAN зокрема: технічні характеристики (робочі частоти, матеріал, довжина, типи з'єднання та висота розміщення антен, дальність та якість передавання радіосигналу); застосування різних джерел живлення (різні типи акумуляторних батарей та площ поверхонь сонячних панелей); особливостей експлуатації у польових умовах (можливі переешкоди розповсюдження радіосигналу, залежність від впливу шкідників, температурних коливань); шифрування при обміні даними. Розроблено бюджетне рішення для моніторингу метеопказників, вологості ґрунту на зрошуваних землях. Розгорнуто бездротову моніторингову мережу на базі протоколу LoRaWAN на зрошуваних полях ДП ДГ Асканійське Каховського району Херсонської області у складі 1 базова станція та 5 кінцевих пристроїв на відстані до 2 км.

Встановлено, що технологія LoRa дозволяє керувати коефіцієнтом розширення каналу, визначаючи кількість даних, що передаються за певний проміжок часу. Визначено, що для успішної роботи бездротових систем важливим питанням є правильне радіопланування та проектування рішення під конкретні задачі замовника. При розгортанні бездротових мереж виявлено та досліджено основні вимоги до надійності роботи базових станцій та кінцевих пристроїв.

Ключові слова: сільське господарство, зрошувані землі, застосування Інтернету речей (IoT), протокол LoRaWAN, метеостанції, метеодані, передача та отримання, базова станція.

Постановка проблеми. Застосування технологічних інновацій у сільському господарстві вже давно не є новиною. Передові країни світу приділяють велику увагу використанню технологій Інтернету речей, оскільки усвідомлюють, що у широкому їх застосуванні закладено величезний потенціал значного підвищення ефективної діяльності. Інтернет речей (the Internet of Things, або просто IoT) є системою взаємопов'язаних обчислювальних пристроїв, що мають можливість передачі даних через глобальну мережу [1; 2].

В Україні головним стримуючим фактором широкого застосування технології IoT у сільському господарстві залишається недостатнє покриття сільськогосподарських угідь і віддалених сільських населених пунктів мережами стільникового зв'язку. Самостійне ж будівництво необхідної інфраструктури не по кишені фермерам. Сьогодні для забезпечення сигналом віддалених місцевостей є рішення в комплексному поєднанні «LoRaWAN – стільниковий зв'язок/мережа Інтернет». Зараз цю технологію активно розвивають розробники як програмного, так і апаратного

забезпечення: під неї виробляють різноманітні сенсори, програмні продукти, хмарні рішення тощо. Популярність протоколу пояснюється використанням безкоштовного відкритого діапазону радіочастот, що не підпадає під обов'язкове ліцензування, значною зоною покриття порівняно зі звичайним радіосигналом чи бездротовим мережевим покриттям (Wi-fi), стандартними та недорогими комплектуючими, відкритістю платформи, низьким енергоспоживанням [3; 4].

Агрогосподарства та дослідні господарства Національної академії аграрних наук найчастіше використовують метеостанції IMETOS та Davis, за допомогою яких отримують показники температури повітря і вологості, кількості опадів, сонячної активності, швидкості вітру та ін. Метеостанції зазначених компаній вдень працюють від сонячних батарей, а вночі використовують для живлення заряджений від сонячного світла акумулятор. Кожну годину обладнання передає пакети текстових даних у вигляді SMS чи по GPRS-каналю до серверу, використовуючи звичайну SIM-карту. Дані можна переглянути на комп'ютері або за допомогою мобільного додатка.

Ключовою відмінністю передачі даних на базі протоколу LoRaWAN, окрім низької енергоємності та відсутності плати за стільниковий зв'язок, є вища насиченість полів датчиками і сенсорами з бездротовою передачею даних, які розподілені рівномірно по площі та вища точність даних. Це дає змогу мати розширену та більш точну картину стану полів. Водночас є можливість використання «розумних» сенсорів та «хмарних» технологій для обробки масиву даних.

Мета досліджень розробити бюджетне рішення для практичних досліджень та застосування Інтернету речей (IoT) із використанням протоколу LoRaWAN для моніторингу метеопказників, вологості ґрунту на зрошуваних землях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стрімкий розвиток мереж із пакетною передачею даних на початку 2000-х років призвів до того, що світові телекомунікаційні компанії спочатку виробили, а вже потім приступили до реалізації нової парадигми розвитку комунікацій – мереж наступного покоління. Значний розвиток методу радіочастотної ідентифікації (RFID), поширення бездротових сенсорних мереж (WSN), а також стрімке зростання застосування смартфонів і планшетних комп'ютерів сприяли появі великої кількості інтегрованих із мережею Інтернет технічних пристроїв («речей»), взаємопов'я-

заних між собою. Більшість передових країн світу приділяють велику увагу технологіям Інтернету речей (Internet of Things (IoT)), оскільки усвідомлюють, що у широкому їх застосуванні закладено величезний потенціал значного підвищення ефективності практично будь-якого виду людської діяльності. Країни, такі як Китай, Індія, Австралія [5] та інші, обирають саме протокол LoRaWAN [6-8] для будівництва мережі Io T. Такі мережі вже знаходять своє застосування в житлово-комунальному господарстві та енергопостачальних компаніях різних країн, коли по таким протоколам показники лічильників обліку послуг надсилаються безпосередньо сервісним чи енергопостачальним компаніям без передавання показників вручну. Впроваджується ця технологія і в сільському господарстві. Так, за дослідженнями закордонних авторів [6], проаналізовано енерговитрати при передачі пакетів даних за різними протоколами залежно від дальності їх передачі та визначено найбільш оптимальні. На думку авторів найбільш придатними у порівнянні «енерговитрати-дальність передачі» доцільно використовувати передачу даних за протоколами LoRaWAN, SigFox та GPRS. [6-7]. Ці результати підтверджуються і нашими дослідженнями, коли для опитування значної кількості просторово розподілених даних у постійному режимі прийому-передавання застосовується протокол LoRaWAN, а накопичені опрацьовані пакети щогодинно передаються на сервер за протоколом GPRS, що є більш енерговитратним. Таку модель доцільно застосовувати коли обсяг трафіку даних низхідної лінії зв'язку перевищує обсяг трафіку даних висхідної лінії зв'язку. У [7] проаналізовано роботи, присвячені побудові таких мереж з використанням різного типу обладнання. Принципи побудови мережі аналогічні застосованим нами в дослідженнях за одним виключенням – кількість опитуваних кінцевих пристроїв в наших дослідженнях була дещо меншою, а кількість станцій, що використовують GPRS модуль – більшою. Також у роботі [7] досліджено кількість пакетів, що втрачається під час передачі даних, та підтверджено їх кількість до 20% при застосуванні мобільних передавачів.

Сільське господарство це, в першу чергу, значні площі, віддалені від міст та джерел електропостачання поля та ферми. Будівництво традиційних каналів зв'язку в таких місцях достатньо дороге, а класичні мобільні технології для вирішення бізнес-завдань підходять лише частково. У галузі рослинництва IoT

призначені для того, аби допомогти фермерам отримувати таку важливу інформацію як вологість, температура повітря та ґрунту, кількість опадів, мінеральний фон, сонячна активність та інші показники, використовуючи дистанційні датчики для підвищення врожайності та прогнозування врожаю. Мережа для IoT LoRaWAN забезпечує, по-перше, підключення та збір інформації з віддалених датчиків, розподілених по території, завдяки своїй здатності охопити величезні площі, в радіусі до 15–20 км на відкритому просторі, при порівняно низьких витратах на установку базових станцій по відношенню до організації стільникового зв'язку. По-друге, IoT-датчики LoRaWAN здатні працювати автономно до десяти років, за рахунок передачі невеликих обсягів інформації на малих швидкостях, їх можна порівняти з пристроями «поставив і забув». Завдяки роботі датчиків знижуються витрати і підвищується ефективність рутинних процесів на 10–30 відсотків.

Законодавчою основою розвитку IoT є Концепція розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018–2020 роки, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 січня 2018 р. № 67-р, передбачається впровадження цифрового землеробства – принципово нової стратегії менеджменту, що базується на застосуванні цифрових технологій, та новий етап розвитку агросфери, пов'язаний з використанням геоінформаційних систем, глобального позиціонування, бортових комп'ютерів та смарт-устаткування, а також управлінських та виконавських процесів, здатних диференціювати способи оброблення, внесення добрив, хімічних меліорантів і засобів захисту рослин. Індустрія 4.0 – наступний етап цифровізації виробництва та промисловості, на якому головну роль відіграють такі технології та концепти як IoT, «великі дані» (bigdata), «предиктивна аналітика», хмарні та віддалені обчислення, «машинне навчання», машинна взаємодія, штучний інтелект, робототехніка, 3D-друк, доповнена реальність.

Не осторонь перспектив використання IoT знаходяться і українські оператори стільникового зв'язку. Так, компанія Lifecell і оператор мережі IoT Ukraine почали створення першого сегмента Національної мережі Інтернет речей. Запуск мережі стандарту LoRaWAN в тестовій експлуатації здійснено у серпні 2018 р., а вже у квітні 2019 р. Lifecell в партнерстві з IoT Ukraine розгорнув мережу «Інтернет речей» в трьох обласних центрах України: Києві, Львові та Кропивницькому [9]. Компанія

Vodafone-Україна також запускає в життя проект використання IoT-протоколів зі спеціальними привабливими умовами для підприємств-партнерів.

Практична цінність проведених досліджень полягає в поєднанні описаних вище технологій на території дослідних ділянок. Так, можемо констатувати, що поєднання в межах одного поля LoRa-передавачів (виробника недорогих наявних на ринку пристроїв) та GPRS пристроїв забезпечує результат із допустимою втратою пакетів при передачі сигналів на рівні 20%, що є допустимим. Під час проведення досліджень опитувались різні датчики, зокрема: Watermark, автоматичні датчики вимірювання потенціалу вологи, дощоміри, пакетні дані з яких передавались для подальшого зберігання і обробки та контролювались за допомогою власного розробленого web-інтерфейсу. Підвищенню продуктивності та зменшенню втрат пакетних даних низхідної лінії сприятиме наявність додаткових джерел живлення на полі, що своєю чергою збільшує вартість розгортання мережі.

Умови проведення досліджень. Місце проведення. Дослідження проводили протягом вегетаційного періоду у 2019 р. на зрошуваних полях ДП ДГ «Асканійське» Асканійської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту зрошеного землеробства Національної академії аграрних наук України Херсонської обл. Дослідне господарство багатогалузеве, займається вирощуванням зернових культур (озимої пшениці, гороху, кукурудзи), олійних (соняшнику, озимого ріпаку), кормових (люцерни) та технічних. Ґрунти території господарства чорноземи південні і темно-каштанові важко-суглинкові і легкоглинисті.

Для зони південного Степу України, в якій розташовані землі господарства, характерна незначна кількість опадів, низька вологість повітря, часті суховії, теплі осінь та зима, а також тривалий безморозний період. Літнім опадам притаманна нерівномірність. Дощі мають переважно зливовий характер і супроводжуються градом, грозами і буревіями. У середньому дощі з грозами бувають до 26 днів, з градом – до 2-3 днів. Сумарне випаровування за літній період складає 180 мм, що перевищує величину опадів, відповідно коефіцієнт зволоження менше 1. Тому територія належить до регіонів недостатнього природного вологозабезпечення.

Обладнання. Враховуючи що метою дослідження було розробити бюджетне рішення для практичних досліджень, то за

розгортання, налаштування та перевірки практичної роботи протоколу LoRaWAN у польових умовах авторським колективом не використовувались готові, достатньо дорогі пристрої із закритим вихідним кодом. Здійснювалось самостійне збирання пристроїв із необхідним функціоналом, набором сенсорів та програмним забезпеченням. Збір даних з місць встановлення у досліді забезпечувався за допомогою датчиків BME280 (атмосферний тиск, вологість, температура) та HP206C [10] (датчик тиску) (рис. 1) за рахунок розгорнутої LoRa мережі на частоті 433 МГц і передачею отриманих даних за допомогою одного GSM модуля через GPRS-канал в Інтернет на хмарний сервер. В якості контролера було обрано Arduino Nano 3.0 (повнофункціональний мініатюрний пристрій на базі мікроконтролера ATmega328) (рис. 1), до якого було під'єднано датчик BME280, акумулятор (1800 мА*год) та сонячну панель (1,5 Вт).

Контролер Arduino Nano 3.0 випускається з прошитим завантажувачем, це дозволило завантажувати безпосередньо в нього нові прошивки та код, без необхідності використання дротового з'єднання між мікроконтролером та комп'ютером. Взаємодія з мікроконтролером виконувалася за оригінальним протоколом STK500, в якості альтернативного варіанта передавача застосовано модулі (передавачі) SX1272 (рис. 1) [11]. Для отримання та обробки даних датчиків було використано бібліотеки з відкритим вихідним кодом: з датчиком BME280 https://github.com/adafruit/Adafruit_BME280_Library; з датчиком HP206C https://github.com/ncdcommunity/Arduino_Library_HP206C_24Bit_ADC_Barometer_Altimeter_Sensor.

Налаштування контролера здійснювалось через зовнішню керуючу програму, що запускається в операційній системі Windows, а код зберігався у EPROM Arduino, для забезпечення подальшої автономної роботи зібраного пристрою. Інтернет-шлюзом в якості мосту між кінцевими вузлами мережі та сервером виступала спеціалізована інтегральна схема SX1301. В якості альтернативи поєднували окремих приймач LoRa SX1272 або аналогічний з модулем GSM.

Результати досліджень. *Виробник обладнання та маркетингова складова.* Від вибору надійного виробника якісного обладнання напряму залежить маркетингова складова просування рішень на базі протоколу LoRaWAN кінцевому користувачу. Виробники застосовують агресивний маркетинг. Практично у кожного виробника в описі обладнання типу LoRa присутнє формулювання «до». Наприклад: «наше обладнання розвиває швидкість до 50 кілобіт/сек і працює у радіусі до 15 кілометрів». Зрозуміло, ніхто не згадує, що це різні «до» і одночасно вони не працюють. Або швидкість, або дальність передачі радіосигналу. Практичне випробування модулів LoRa для передавання даних від розташованих у полі датчиків доводить, що заявленого радіуса дії можна досягти лише за ідеальних умов, оскільки LoRa модульований радіосигнал, який підпорядковується всім законам поширення радіохвиль.

При узагальненні та систематизації проведених досліджень використання протоколу LoRaWAN для моніторингу зрошуваних земель було виділено такі основні моменти. При виборі обладнання автори керувались типом та технологією отримання інформації, періодичністю її надходження до кінцевого

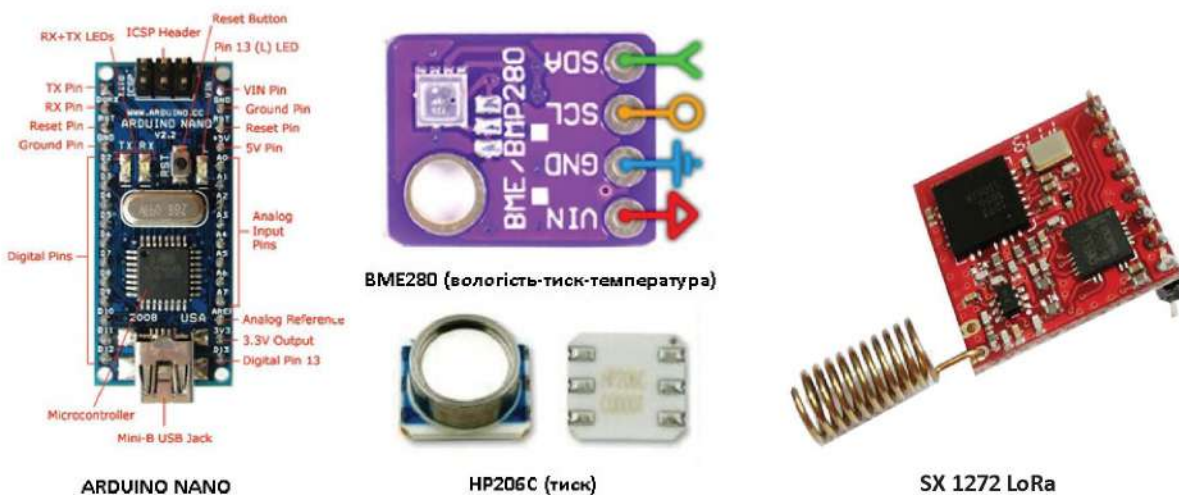


Рис. 1. Електронні складові пристрою: контролер, сенсори, LoRa-передавач

обладнання (серверу) та видачі рекомендацій користувачеві. У нашому випадку це отримання даних про вологість, температуру повітря та ґрунту, кількість опадів, сонячну активність та швидкість вітру.

Використання протоколів бездротового зв'язку, зокрема LoRa, було досліджено у роботі [6], радіус передачі даних за цією технологією склав 5 км. Стосовно конкретно обраного типу передавача, то LoRa – технологія зв'язку на великі (Long Range) відстані, запатентована компанією Semtech і реалізована в їх чіпах SX1272 та SX1276 (рис. 1). LoRa це протокол низького рівня, поверх якого можуть реалізовуватися більш високорівневі протоколи, наприклад LoRaWAN. Особливість стандарту LoRa Semtech – передача невеликих пакетів даних із невисоким енергоспоживанням. За інформацією виробника, потенційна дальність на відкритій місцевості може досягати 10–20 км, а час роботи від батареї становить кілька років. Робочі частоти залежать від країни і складають 433 або 868 МГц (EU-версія) або 915 МГц (USA-версія). Враховуючи обмеженість розміщення антени висотою дощувальної машини максимальна відстань передачі пакетів у досліді склала 2 км.

Технічне обслуговування обладнання – це проблема, яка має важливе значення для продуктів IoT у сільському господарстві. Датчики та обладнання для передачі даних використовуються в польових умовах, зазнають впливу природних та механічних факторів. На рис. 2 наведено тестовий зразок БС, змонтований у пластиковій колбі побутового фільтра для очищення води. Варіант розміщення БС у колбі не є бюджетним, але обраний з ряду причин: зручність обслуговування в польових умовах; герметичність; вільне проникнення радіохвиль; колір плас-

тику відштовхує сонячні промені; відносна стійкість до хвиль УФ спектра. На рис. 3 наведено тестовий зразок БС, змонтований у розподільчому коробі для електричних з'єднань.

Аналіз факторів при розробці і розташуванні базової станції. Результати досліджень, проведених у ДП ДГ «Асканійське», свідчать про зону надійного приймання сигналу у діапазоні 0,7–2 км при використанні обладнання, що працює на частоті 433 МГц (при розміщенні антени на висоті 1,8 метра). Під зоною надійного приймання сигналу розуміється відсутність втрат пакетів переданих даних від кінцевих пристроїв до базової станції (шлюзу), яка залежить від наведених нижче факторів:

- висота розміщення антени;
- довжина та якість антенного кабелю;
- тип та довжина антени;
- рознесення у просторі LoRa та GSM антен;
- віддаленість LoRa від металевих компонентів (штанги, кріплення, елементи дощувальних машин);
- коливання висоти рослин у місці встановлення;
- висота проходження дощувальної машини;
- захищеність від зовнішніх впливів.

Базова станція (шлюз) використовує два канали передавання даних:

1. Безпосередня відправка даних з Arduino на web-сервер через мобільний інтернет (використано GSM модуль), де php скрипт зберігає отримані дані в mysql базі даних.

2. Отримання та відправлення даних із та до територіально розподілених кінцевих пристроїв по протоколу LoRaWAN.

Для кінцевих вузлів та Інтернет-шлюзу після проведення польових експериментальних досліджень запропоновано використовувати



Рис. 2. Тестовий зразок БС у пластиковій колбі побутового фільтра для води

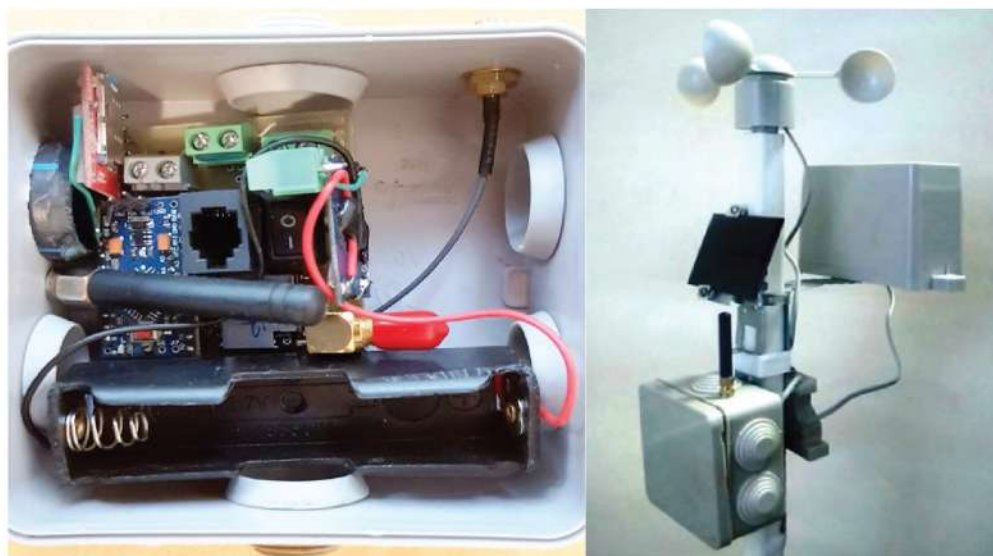


Рис. 3. Тестовий зразок БС у розподільчому коробі (рівень захисту IP55)

передавачі SX1272, оскільки вони мають незначне споживання енергії, що подовжує термін роботи від акумулятора. Споживання енергії в режимі приймання становить не більше 200 мА, біля 10 мА в режимі очікування та 50–100 мА в режимі передачі залежно від обраної потужності. Для передавання даних кінцевими вузлами (датчиками) була обрана найбільша потужність передавача на 18 dBm, що відповідає 100 мА споживання енергії. Враховуючи, що тривалість відправки становить одну секунду, а періодичність кілька разів на годину, така технологія передавання даних може використовуватися як в пристроях із батарейним живленням, так і пристроях із додатковим живленням від сонячної панелі (65*65 мм) на рівні 40 мА у денні години.

Числові показники про стан поля мають невеликий об'єм у вигляді цифрових даних, а розмір пакету, що передається за один раз, не перевищує 40 байт. Це дозволяє використо-

вувати найповільніший коефіцієнт модуляції сигналу LoRa, який забезпечує максимальну відстань передачі даних, в нашому випадку – 2 км. при коефіцієнті розширення SF=12, що дозволило максимально збільшити відстань приймання-передачі до 1,5–2 км (рис. 4). При стандартному коефіцієнті SF=7 дальність спостерігалась у межах 800 метрів, що відповідає характеристикам звичайної радіопередачі без LoRa модуляції. Робоча частота передавача залежить від моделі схеми і додаткових налаштувань. Найбільш ефективна за дальністю передачі є частота 868 МГц. Використання передавачів SX1276, які працюють на частоті 433 МГц, забезпечувала меншу дальність передачі даних.

Як елементи живлення для приймача та передавача на початку проведення досліджень використовували Li-ion акумулятори з робочою напругою 3,7V. У процесі роботи було виявлено головний недолік таких типів



Рис. 4. Схема бездротової мережі з використанням LoRa для моніторингу зрошуваних земель у ДП ДГ Асканійське Херсонської обл.

аккумуляторів – нестабільність роботи при високій температурі повітря у денний час. Сонячна панель не заряджала аккумулятор при температурі вище 30°C, тому Li-ion аккумулятори було замінено на нікель-металгідридні з тією ж робочою напругою 3,7 V та можливістю стабільної роботи при температурах до +55°C. Підзарядка батарей здійснювалась за рахунок сонячних панелей різної потужності. Для більш енергоємної базової станції оптимальною стала панель на 1W, яка навіть в умовах тривалої похмурої погоди (більше тижня) забезпечує підтримання повного заряду пристрою протягом дня.

Критерії вибору обладнання та програмне забезпечення. Для отримання актуальних рекомендацій з проведення агротехнічних заходів, зокрема вчасності та кількості поливів, на перше місце було поставлено точність даних та надійність обладнання, на друге – мобільність отримання інформації, наприклад на смартфон, на третє – практичність використання даних і зручність в обслуговуванні. Тому для організації моніторингу метеопказників декількох полів була використана класична топологія мережі типу «зірка» (рис. 4). На найбільш рівновіддаленому відносно інших точок моніторингу полі було встановлено базову станцію, що відіграла роль приймача, до якого за допомогою радіозв'язку підключалися інші станції моніторингу та пересилали дані зі своїх сенсорів. Базова станція, періодично встановлювала з'єднання по GPRS та відправляла отримані дані на сервер в Інтернет.

Як вже зазначалося, кінцеві пристрої та базова станція (шлюз) – пристрої, які займаються виключно збиранням та відправкою отриманих даних через заданий проміжок часу. Обробка та візуалізація отриманих даних здійснюється сервером, на якому функціонує відповідне програмне забезпечення [12].

Сьогодні на ринку можна знайти практично будь-яку метеостанцію. Вони різні за ціною, функціональним та цільовим призначенням (для поля, теплиці, садка тощо) та за кількістю дотикових опцій. Ціновий діапазон метеостанції варіюється від кількох сотень гривень до кількох тисяч доларів США. Така істотна різниця в ціні обумовлена деталями: країною-виробником, брендом, кількістю додаткових опцій, технічними характеристиками та можливостями, платним чи безоплатним сервісним обслуговуванням та терміном використання. У галузі АПК найбільш поширеною моделлю є бездротова метеостанція, що складається з ряду датчиків

для дистанційного отримання та передачі інформації, герметичного корпусу, елементів живлення та кріплення.

У розробленому протягом проведеного дослідження пристрої авторським колективом запропоновано рішення для моніторингу метеопказників, вологості ґрунту на зрошуваних землях з можливістю видачі науково-обґрунтованих рекомендацій замовнику. Враховуючи, що отримані дані можна зберігати в архіві, існує можливість завдання інтервалів часу. Вимірювання можуть бути записані і завантажені за потребою на комп'ютер або мобільний телефон за допомогою програмного забезпечення, що постачається у комплекті з метеостанцією. Покази метеостанції прив'язані до місця її розташування, а також до властивостей ґрунту і умов поливу. Вартісні характеристики пропонованого зразка складають 30–40% порівняно з можливостями метеостанцій типу Davis тощо.

Висновки. У публікації вивчено і доведено можливості підключення датчиків вологості, температури та тиску на базі протоколу LoRaWAN до Інтернет-шлюзів (базових станцій) без оплати за стільниковий зв'язок, додаткового живлення, розгортання у польових умовах складних Wi-Fi мереж. Розроблено бюджетне рішення для моніторингу метеопказників, вологості ґрунту на зрошуваних землях у складі 1 базова станція (шлюз) 5 кінцевих пристроїв (станцій моніторингу).

Базова станція має бути розміщена вище за кінцеві пристрої, які опитує і займати одну з найвищих точок площі в межах території, де проводяться дослідження, при цьому слід враховувати і відкритість території. Найкраща якість сигналу забезпечувалась у зоні прямої видимості від базової станції до датчика. Зона покриття базовою станцією з базовою антеною далека від максимальної для LoRaWAN і, в нашому випадку, склала 0,6 км, з підсиленою та доопрацьованою антеною – 2 км. Тому при плануванні розміщення датчиків в польових умовах найбільшу увагу слід приділяти розташуванню базової станції, адже заявленої та гарантованої виробниками зони стійкого покриття в 8–15 км без відповідної антени і обґрунтованого радіопланування, навіть на відкритій місцевості, отримати неможливо.

Доцільно передавати дані з датчиків об'ємом 30–40 байт за одну відправку, при коефіцієнті розширення SF=12 без втрати якості передаються на відстань до 1,5–2 км, при SF=7. Встановлено, що гарантована відстань прийому-передачі становить

800 метрів, що відповідає характеристикам звичайної радіопередачі без LoRa модуляції.

Визначено, що робоча частота передавача залежить від моделі схеми і від налаштувань. Найбільш ефективна за дальністю передачі є робоча частота 868 МГц. Використання передавачів SX1276, які працюють на частоті 433 МГц, забезпечували меншу дальність передачі даних.

Для приймача та передавача запропоновано використовувати нікель-металгідридні акумулятори на 3,7V.

Використання сонячних панелей підтвердило свою ефективність, оскільки дозволяє підтримувати заряд пристроїв протягом тривалого часу. Максимальна рекомендована потужність сонячних панелей базових станцій 1W, датчиків і сенсорів 0,65 W.

Бібліографія

1. Павленко О.М. Чому IoT, AI та Machine Learning – це майбутнє сільського господарства. URL: https://lb.ua/blog/opavlenko/390501_chomu_iot_ai_machine_learning-tse.html (дата звернення: 21.08.2019 р.).
2. Скіцько В.І. Інтернет речей у логістиці: сьогодення та тенденції. URL: http://ir.kneu.edu.ua/bitstream/handle/2010/25992/ZE_2018_96.pdf?sequence=1&isAllowed=y (дата звернення: 13.08.2019 р.) Цифрова економіка: зб. мат. Національної наук.-метод. конф., 4-5 жовтня 2018 р., м. Київ.
3. Феdienко А.П. LoRaWAN-Mikrotik фрагмент проекту IoT. 2018. URL: https://mum.mikrotik.com/presentations/UA18/presentation_5546_15286647_34.pdf. (дата звернення: 13.09.2019 р.).
4. Як застосовувати інтернет речей у реальному бізнесі. URL: <https://events.sap.com/ua/forum-kyiv/uk/iot> (дата звернення: 02.06.2019 р.).
5. Петров М. LoRa выбрана в качестве основной технологии для первой IoT-сети Австралии. URL: https://iot.ru/promyshlennost/lora-vybrana-v-kachestve-osnovnoy-tekhnologii-dlya-pervoy-iot-seti-avstralii?sphrase_id=10902 (дата звернення: 10.08.2019 р.).
6. Jawad, H.M.; Nordin, R.; Gharghan, S.K.; Jawad, A.M.; Ismail, M. Energy-Efficient Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review. *Sensors* 2017, 17, 1781. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17081781>.
7. Haxhibeqiri, J.; De Poorter, E.; Moerman, I.; Hoebeke, J. A Survey of LoRaWAN for IoT: From Technology to Application. *Sensors* 2018, 18, 3995. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18113995>.
8. de Carvalho Silva, J., Rodrigues, J.J., Alberti, A.M., Solic, P., & Aquino, A.L. (2017, July). LoRaWAN—A low power WAN protocol for Internet of Things: A review and opportunities. In *2017 2nd International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech)* (pp. 1-6). IEEE.
9. Кулеш С. Lifecell в партнерстве с IoT Ukraine развернул сеть «Интернета вещей» в трех областных центрах Украины. URL: <https://itc.ua/news/lifecell-v-partnerstve-s-iot-ukraine-razvernul-set-interneta-veshhej-v-treh-oblastnyh-tsentrakh-ukrainy/> (дата звернення: 17.09.2019 р.).
10. Автоматичний тензіометр з передачею даних через Інтернет і дозаправкою водою вручну: пат. 132271 Україна від 25.02.2019; опубл. 25.02.2019, Бюл. № 4.
11. Semtech SX1272, URL: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-transceivers/sx1272>.
12. Gadzalo, Ya., Romashchenko, M., Kovalchuk, V., Matiash, T., & Voitovich O. (2019, September). Using smart technologies in irrigation management. In *International Commission on Irrigation and Drainage, 3rd World Irrigation Forum (WIF3)* (p.178). Id: W.1.3.02 URL: https://www.icid.org/wif3_bali_2019/wif3_abst_vol.pdf (дата звернення: 17.09.2019 р.).

References

1. Pavlenko, O.M. (2018). Chomu IoT, AI ta Machine Learning – ce majbutnye silskogo gospodarstva [Why IoT, AI and Machine Learning are the future of agriculture]. lb.ua. Retrieved from: https://lb.ua/blog/opavlenko/390501_chomu_iot_ai_machine_learning-tse.html [in Ukrainian].
2. Skicko, V.I. (2018). Internet rechej u logistici: sogo dennya ta tendenciyi [The Internet of Things in Logistics: Current Trends]. Tsyfrova ekonomika: zb. mat. Natsionalnoi nauk. metod. konf. Kyiv: KNEU, 330–334. Retrieved from: http://ir.kneu.edu.ua/bitstream/handle/2010/25992/ZE_2018_96.pdf?sequence=1&isAllowed=y [in Ukrainian].
3. Fedienko, A. (2018). LoRaWAN-Mikrotik fragment proekta IoT. [LoRaWAN-Mikrotik fragment of the IoT project]. mum.mikrotik.com. Retrieved from: https://mum.mikrotik.com/presentations/UA18/presentation_5546_1528664734.pdf [in Russian].
4. Yak zastosovuvati internet rechej u realnomu biznesi [How to Use the Internet of Things in Real Business]. Retrieved from: <https://events.sap.com/ua/forum-kyiv/uk/iot> [In Ukrainian].

5. Petrov, M. (2017). LoRA vybrana v kachestve osnovnoj tehnologii dlya pervoj IoT-seti Avstralii [LoRA has been selected as the core technology for Australia's first IoT network]. iot.ru. Retrieved from: https://iot.ru/promyshlennost/lora-vybrana-v-kachestve-osnovnoy-tehnologii-dlya-pervoy-iot-seti-avstralii?sphrase_id=10902 [in Russian].
6. Jawad, H.M.; Nordin, R.; Gharghan, S.K.; Jawad, A.M.; Ismail, M. Energy-Efficient Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review. *Sensors* 2017, 17, 1781. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17081781>.
7. Haxhibeqiri, J.; De Poorter, E.; Moerman, I.; Hoebeke, J. A Survey of LoRaWAN for IoT: From Technology to Application. *Sensors* 2018, 18, 3995. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18113995>.
8. de Carvalho Silva, J., Rodrigues, J.J., Alberti, A.M., Solic, P., & Aquino, A.L. (2017, July). LoRaWAN—A low power WAN protocol for Internet of Things: A review and opportunities. In 2017 2nd International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech) (pp. 1-6). IEEE.
9. Kulesh, S. (2019). Lifecell v partnerstve s IoT Ukraine razvernul set «Interneta veshej» v treh oblastnyh centrakh Ukrainy. [Lifecell in partnership with IoT Ukraine has launched the Internet of Things network in three regional centers of Ukraine]. itc.ua. Retrieved from: <https://itc.ua/news/life-cell-v-partnerstve-s-iot-ukraine-razvernul-set-interneta-veshej-v-treh-oblastnyh-tsentrakh-ukrainy> [in Russian].
10. Kovalchuk, V., Voitovich O., Demchuk D. (2019). Avtomatichnij tenziometr z peredacheju danih cherez Internet i dozapravkoyu vodyu vruchnu [Automatic tensiometer with data transmission over the Internet and refueling with water manually]. Patent of Ukraine. №132271 [in Ukrainian].
11. Semtech SX1272. semtech.com. Retrieved from: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-transceivers/sx1272>.
12. Gadzalo, Ya., Romashchenko, M., Kovalchuk, V., Matiash, T., & Voitovich O. (2019). Using smart technologies in irrigation management. International Commission on Irrigation and Drainage: 3rd World Irrigation Forum (WIF3). Bali, Indonesia: WIF3, 178. Retrieved from: https://www.icid.org/wif3_bali_2019/wif3_abst_vol.pdf.

В.П. Ковальчук, Т.В. Матяш, В.В. Книш, О.П. Войтович, А.В. Крученюк
Применение интернета вещей (IoT) при использовании протокола LORAWAN
для мониторинга орошаемых земель

***Аннотация.** В статье проанализированы практические подходы к применению Интернета вещей (IoT – internet of things) для мониторинга орошаемых земель. Изучены возможности подключения датчиков влажности почвы, температуры, давления, направления и скорости ветра на базе протокола LoRaWAN к Интернет-шлюзам (базовым станциям) без оплаты за сотовую связь, дополнительное питание, развертывание в полевых условиях сложных Wi-Fi сетей. Получены практические результаты по особенностям работы датчиков в полевых условиях; настройки гарантированного канала связи между базовой станцией (шлюзом) по протоколу LoRaWAN; технических характеристик и причин возможных сбоев в работе оборудования. Исследованы особенности оборудования, специфика развертывания и настройки на местности датчиков на базе протокола LoRaWAN в частности: технические характеристики (рабочие частоты, материал, длина, тип соединения и высота размещения антенн, дальность и качество передачи радиосигнала); применение различных источников питания (типы аккумуляторных батарей и площади поверхности солнечных панелей); особенности эксплуатации в полевых условиях (возможные препятствия распространения радиосигнала, зависимость от влияния вредителей, температурных колебаний) шифрование при обмене данными. Разработано бюджетное решение для мониторинга метеопараметров, влажности почвы на орошаемых землях. Развернута беспроводная мониторинговая сеть на базе протокола LoRaWAN на орошаемых полях ГП ОХ Асканийское Каховского района Херсонской области в составе 1 базовой станции и 5 конечных устройств на расстоянии до 2 км. Установлено, что технология LoRa позволяет управлять коэффициентом расширения канала, определяя количество передаваемых данных за определенный промежуток времени. Определено, что для успешной работы беспроводных систем важным вопросом является правильное радиопланирование и проектирование решения под конкретные задачи заказчика. При развертывании беспроводных сетей обнаружены и исследованы основные требования к надежности работы базовых станций и конечных устройств.*

***Ключевые слова:** сельское хозяйство, орошаемые земли, применение интернет вещей (IoT), протокол LoRaWAN, метеостанции, метеоданные, передача и получение, базовая станция.*

V.P. Kovalchuk, T.V. Matiash, V.V. Knysh, O.P. Voitovich, A.V. Kruchenyuk
**Internet of Things (IoT) applications using the LORAWAN protocol
for monitoring irrigated land**

Abstract. *The article analyzes the practical approaches to the use Internet of things (IoT) for monitoring irrigated lands. It was studied possibilities of soil moisture sensors connection, temperature, pressure, direction and speed of wind-based which based on LoRaWAN protocol to Internet gateways (base stations) without payment for cellular communication, additional power supply, deployment in the field of complex Wi-Fi networks. Practical results were obtained on the characteristics of the sensors in the field; setting up a guaranteed connection LoRaWAN protocol with a base station; technical characteristics and causes of possible equipment malfunction. Also, have been investigated of equipment features, deployment specifics, and settings on the terrain sensors based on LoRaWAN protocol, in particular: technical characteristics (operating frequencies, material, length, connection types and antenna placement height, radio signal transmission range and quality); use of different power sources (different types of batteries and surfaces of solar panels); features of operation in field conditions (possible interference with the propagation of the radio signal, dependence on the influence of pests, temperature fluctuations); encryption when exchanging data. A budgetary solution for monitoring meteorological indicators, soil moisture in irrigated lands has been developed. A wireless monitoring network based on the LoRaWAN protocol has been deployed on the irrigated fields of the Askaniyske farm, Kakhovka district, Kherson region, and consists of the base station and 5 terminal units up to 2 km away. It was found that LoRa technology allows controlling the channel expansion coefficient by determining the amount of data transmitted over a time period. It was determined that an important issue was the proper radio planning and designing solutions for specific customer tasks for the successful operation of wireless systems. When deploying wireless networks, basic requirements for the reliability of the base stations and end devices are identified and investigated.*

Key words: *agriculture, irrigated lands, Internet of Things (IoT) application, LoRaWAN protocol, weather stations, weather data, transmission and reception, base station.*