



DOI [10.28925/2663-4023.2022.16.113128](https://doi.org/10.28925/2663-4023.2022.16.113128)

УДК 004.45

Борківська Ольга Олексіївна

Студентка

Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

ORCID ID: 0000-0003-0490-6371

skratty13@gmail.com

Жураковський Богдан Юрійович

Доктор технічних наук, професор

Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

ORCID ID: 0000-0003-3990-5205

zhurakovskiybyu@tk.kpi.ua

Платоненко Артем Вадимович

кандидат технічних наук

доцент кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки імені професора Володимира Бурячка

Київський університет імені Бориса Грінченка, м. Київ, Україна

ORCID ID: 0000-0002-2962-5667

a.platonenko@kubg.edu.ua

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА РОЗУМНОГО МІСТА НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ LORA

Анотація. У даній статті розглянуто питання, що пов'язані із поняттям «Інтернету речей» та його застосуванням для розвитку «Розумного міста». Смарт сіті або «Розумне місто» – це нова концепція щодо впровадження технологій (інформаційних та комунікаційних) для управління життям сучасного міста. Проаналізовано існуючі технології для передачі даних на великі відстані в мережах Інтернету речей. На основі проведених розрахунків зроблено обґрунтування ефективності застосування технології LORA, наведено енергетичний потенціал лінії зв'язку для технології LORA, визначено місткість мережі LoRa. Архітектура мережі має найкраще співвідношення між збільшенням терміну служби батарей IoT пристроїв та забезпеченням дальності зв'язку. Протокол працює в діапазоні, що не ліцензується, і в цьому його унікальність за вартістю і швидкості впровадження. На основі вивчення досвіду запровадження протоколу в місті Львові, виявлено переваги та проблеми впровадження. Проведено оцінку можливості застосування технології у великих містах. Розроблено програмне забезпечення, що дозволяє користувачу перевірити чи все у нього дома в порядку та немає витоків газу, прориву води та чи не замічений рух у будинку. Показано практичне використання IoT в «Розумному місті», застосування технології LoRaWAN, принцип роботи мережі. Вивчено та проаналізовано досвід застосування протоколу мережі LoRaWAN в Україні. Розглянуто досвід міст щодо впровадження технологій Інтернету речей у систему ЖКГ.

Ключові слова : LORA, LoRaWAN, технологія Інтернет Речей.

ВСТУП

Концепція "Інтернет речей" – одна з тих нових ідей, які здатні не лише радикально змінити вигляд телекомунікаційної та інформаційної систем, а й суттєво вплинути на спосіб життя людей.

Технології "Інтернет речей" несуть у собі величезний потенціал, який, на жаль, використовується не повною мірою. Розвиток Розумних міст ґрунтується на застосуванні цих технологій. У роботі мені хотілося показати наскільки ефективніше та вигідніше застосування «Інтернет речей» у повсякденному житті, а також у масштабі держави.



Наскільки це допоможе оптимізувати всі процеси та отримувати вигоду, як у побутовому, так і в промисловому плані. Якщо «Інтернет речей» стане непомітною, але невід'ємною частиною життя суспільства, не ускладнюватиме життєві процеси, то можна буде говорити про повне та успішне його впровадження [1].

"Інтернет речей" прискорить розвиток розумних міст. Зараз у деяких містах ми спостерігаємо лише початок цих процесів, але вже позитивно оцінюємо нововведення у сфері транспорту, комунікацій, медицини та інших сфер життя, хоча на початкових етапах було багато скептицизму та недовіри. «Інтернет речей» стане великим бізнес-майданчиком [2].

Постачальники послуг за невелику оплату можуть продавати свої послуги та отримувати прибуток. Це може стати статтею доходу бюджету держави.

Для найповнішого розуміння технологій у роботі вивчені передові дослідження у сфері розвитку «Інтернет речей».

Постановка проблеми. В значній мірі проблема визначається урбанізацією у всіх країнах світу, включаючи Україну. Завдання кожної держави забезпечити якість життя, безпеку та комфорт. Ця тенденція й у нас. За показниками урбанізації Україна є одна з лідерів у країнах Східної Європи. Рівень сягнув 60%. В рамках програми «Цифрова Україна» заплановано впровадження технологій розумного міста у трьох великих містах: Київ, Львів та Кропивницький. У світлі завдань, визначених державою, які диктуються віяннями часу, актуальність теми незаперечна.

У зв'язку з подіями в Україні, що почались 24 лютого 2022 року, необхідно відбудовувати та покращити життя у країні після воєнних дій. Для цього необхідно розібратись та вивчити нові технології і концепції.

Мета статті. Метою даної статті є розгляд застосування технологій Інтернету речей для розвитку розумного міста.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розумне місто (Smart City) – це тісно взаємопов'язана система новітніх інформаційних та комунікативних технологій з інтернетом речей (IoT), для спрощення та оптимізації управління процесами всередині міста та покращення якості життя населення [3].

Перевага розумного міста полягають у підвищенні рівня життя всіх громадян та у зменшенні витрат усіх процесів, завдяки автоматизації.

Одним із ключових напрямків розвитку комунікаційних мереж стала концепція Інтернету речей. Найближчим часом до Інтернету буде підключено кілька мільярдів пристроїв. Більшість пристроїв буде працювати від батарейок. У цьому відношенні однією з важливих особливостей Інтернету речей є тривалість роботи пристрою без додаткового обслуговування або підзарядки. Для ефективного вирішення проблем споживання електроенергії з'явилися нові типи LPWAN [4] (малопотужні глобальні мережі). Технології, що дозволяють автономним пристроям підключатися до глобальної мережі, з'явилися в 2015-2016 роках. і поступово набирає популярності. Найбільш популярними серед таких технологій є LoRa, SIGFOX, NB-IoT, Weightless P та ін.[5] Їх поява пов'язана з необхідністю підключення кількох вимірювальних і телеметричних пристроїв для централізованого збору даних на хмарних серверах.

LoRa — це наступний крок у розробці рішення LPWAN, яке було розроблено та запатентовано корпорацією Semtech. Суть технології полягає в диференціації лінійної



частотної модуляції (Chirp Spread Spectrum, CSS). Технологія використовує кодування даних за допомогою широкосмугових імпульсів з частотами, які з часом збільшуються або зменшуються. Це рішення дозволяє приймачу бути стійким до відхилень частоти від номінального значення і спрощує вимоги до тактового генератора, що дозволяє використовувати недорогі кварцові резонатори [5].

Система використовує пряму корекцію помилок (FEC) [6, 7] і працює в діапазоні частот суб-ГГц: 169, 433 і 915 МГц в США і в Європі - в діапазоні 868 МГц. Найчастіше використовуються робочі частоти 868 і 915 МГц. Також через високий рівень зовнішніх впливів обмежений робочий діапазон 2,4 МГц [8]. Відповідно до специфікації [9], LoRa (аналогічно SIGFOX) використовує унікальну циклічну опцію передачі, яка обмежує швидкість створення повідомлення. Однак завдяки багатоканальній підтримки LoRa дозволяє кінцевим точкам брати участь у процедурах обміну даними, змінюючи несучу частоту, підтримуючи ліміт безмитного циклу в кожному каналі [10]. Вибір швидкості передачі даних є компромісом між зоною покриття та кількістю даних, повідомлення з різною швидкістю передачі даних не стикаються один з одним.

*Таблиця 1.***Порівняння технічних характеристик мереж далекого радіусу дії LPWAN**

Технічні характеристики	LoRa	SIGFOX	NB-IoT	Weightless P
Методмодуляції	CSS	–	OFDMA/DSSS	FDMA / TDMA
Діапазон	ISM	ISM	ліцензований	ISM
Швидкість	0,3–50 кбіт/сек	100 біт/сек	UL: 1–144 кбіт/сек DL: 1–200 кбіт/сек	0,2–100 кбіт/сек (адаптивна)
Полоса	Широкополос. до 500 кГц	Вузькополос. 100 кГц	Вузькополос. 200 кГц	Вузькополос. 12,5 кГц
Час автономії	> 10 років	–	до 10 років	3–5 років
Частота	868,8 МГц (Європа) 915 МГц (США) 433 МГц (Азія)	868,8 МГц (Європа) 915 МГц (США)	700 / 800 / 900 МГц	169 / 433 / 470 / 780 / 868 / 915 / 923 МГц
Безпека	AES-64 и 128 бит	AES с HMACs	–	AES-128 / 256
Дальність	до 2,5 кмвмісті, до 45 км поза містом	до 10 кмвмісті, до 50 км поза містом	–	до 2 кмвмісті
Підтримка	LoRa Alliance, IBM, Cisco, Actility, Semtech	SigFox, Samsung	3GPP, Ericson, Nokia, Huawei, Intel...	Ubiik Weightless SIG

Швидкість передачі даних LoRa коливається від 0,3 до 50 Кбіт/с. Щоб максимально збільшити термін служби акумулятора та загальну пропускну здатність мережі,



мережева інфраструктура LoRa може контролювати швидкість передачі даних окремо для кожного пристрою за допомогою адаптивних швидкостей передачі даних.

Порівняння далекобійних мережевих технологій наведено в таблиці. Як видно з таблиці, технології характеризуються великим діапазоном зв'язку, підвищеною стійкістю до перешкод, низькою швидкістю передачі даних, низьким споживанням енергії, а отже, високим ступенем автономності кінцевого пристрою.

Аналіз показав, що кожна технологія має багато переваг і особливостей, і жоден з перерахованих вище варіантів не може бути пропущений і має місце в сучасному світі технологій.

Згідно з незалежною оцінкою стану та перспектив розвитку глобальних малопотужних мереж для ринку IoT, LoRaWAN і, можливо, SIGFOX будуть найбільш бажаними технологіями на найближчі 1-2 роки. У майбутньому можна очікувати, що IoT-сумісні технології 3GPP (наприклад, LTE-M) та існуючі технології LPWAN будуть спільні [11].

Компоненти інформаційної системи розумного міста

Система може включати наступне:

- розумне міське середовище. Використання інтелектуальних засобів відеоспостереження та фотофіксації, датчиків освітленості, безкоштовних точок Wi-Fi по всьому місту.
- інтелектуальний транспорт. Використання інтелектуальних транспортних систем, електронних систем стягнення плати, інтелектуальної парковки, сервісів каршерінгу тощо.
- розумний дім. Інтегрована автоматизація, дистанційне керування домом/квартирою, розумна техніка, енергозберігаючий дизайн
- будівлі, використання датчиків температури та вологості, датчиків відкриття/закриття дверей тощо.
- інтелектуальна вода, газ, електрика. Використання розумних лічильників електроенергії, води, газу, датчиків виявлення витоків, інноваційних методів очищення тощо.

Протокол LORAWAN.

У березні місяці 2015 року Semtech Corporation [12] зробили заяву про нове та важливе досягнення у сфері технологій бездротової передачі даних. Вони презентували мережевий енергоефективний протокол LoRaWAN (Long Range Wide Area Networks).

Цей протокол забезпечує масу переваг на відміну від Wi-Fi та стільниковими мережами, завдяки застосуванню технологій M2M (міжмашинних комунікацій). На ринку бездротового зв'язку технологія викликала величезний інтерес у виробників та вендорів. Для її підтримки, розвитку та стандартизації створено альянс LoRa (LoRa Alliance). Нині альянс розвивається, кількість його членів постійно зростає. За останні три роки альянс збільшився на понад 500 компаній [13]. Членами альянсу стали компанії з виробництва пристроїв, технологій та різноманітних сервісів. До складу альянсу увійшли всесвітньо відомі виробники електроніки: Cisco[14], IBM [15], Kerlink[16], IMST [17], Semtech, Microchip Technology [18], а також провідні телекомунікаційні оператори (Bouygues Telecom, KPN, SingTel, Proximus, Swisscom).

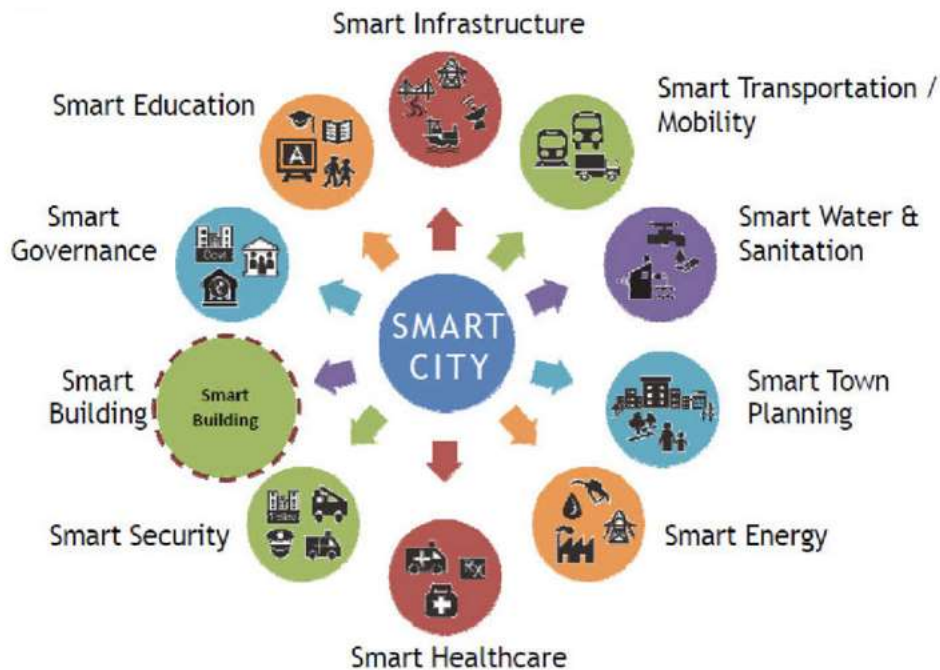


Рис. 1. Компоненти інформаційної системи

LoRaWAN – це глобальна мережа. Тому головне завдання розробників – забезпечити захист даних користувачів. Для цього проводиться кодування на кількох рівнях: на мережному рівні, наскрізна безпека на рівні додатків [19].

Мережі LoRaWAN працюють у діапазоні частот, які не потребують ліцензування. Вони мають високу завадостійкість. Термін служби акумулятора – близько 10 років. Одна базова станція обслуговує десятки тисяч пристроїв.

В архітектурі мереж LoRaWAN використовується топологія "зірка". Це топологія для локальної мережі, в якій кожен пристрій підключено до центрального пристрою. При побудові мереж LoRaWAN ця топологія стала основною. Це сталося тому що дана топологія має багато переваг: якщо одна робоча станція виходить з ладу, то це не позначиться на роботі мережі, прекрасна масштабованість, досить легко вбудовується нове обладнання [20].

У LoRaWAN-мережі шлюзи передають дані, отримані з кінцевих пристроїв на центральний сервер (мережевий сервер) [21]. Усі дані зашифровані. Кінцеві пристрої містять набір датчиків. Далі дані йдуть на сервер додатків, а звідти до кінцевого користувача. Кінцеві пристрої виконують функції вимірювання, керування та контролю [22].

Класична мережа LoRaWAN складається з таких елементів: кінцеві вузли, шлюзи, веб-сервер і сервер додатків [9]. Кінцевий вузол призначений для виконання функцій контролю, моніторингу та вимірювання. Він включає в себе повний набір необхідних датчиків і елементів управління. Зазвичай вони працюють від батарейок. Вузли передають дані лише протягом певного періоду часу менше (зазвичай 1-5 секунд), після чого відкриваються два часових вікна для прийому даних. Решту часу трансивер кінцевого вузла або неактивний, або приймає, залежно від класу пристрою (A, B або C).

Шлюз LoRaWAN або базова станція приймає дані від кінцевих пристроїв радіоканалу. Декілька таких базових станцій забезпечать велику зону покриття, а також передачу даних між сервером і кінцевими вузлами [5, 23].



У нашій країні представником виробництва обладнання LoRaWAN є компанія Оріон Система. Компанія виробляє радіомодулі, базові станції, а також розробляє програмне забезпечення Orion Network Server. У роботі представлено обладнання, вироблене цією компанією і вже зарекомендував себе. Також представлено обладнання, виготовлене іншими виробниками.

Базові станції виробництва ORION призначається для передачі різних даних по каналу радіозв'язку від датчиків, приладів обліку, вуличного та домашнього освітлення, приладів навігації, систем сигналізацій за протоколом LoRaWAN. Інформація надсилається на центральний сервер.

Спектр застосування LoRaWAN досить великий. Самимперспективним напрямом вважається «Розумне місто». Враховуючи особливості технології, простір для застосування неосяжний. Урбанізація йде швидкими темпами і проблеми міст збільшуються. Застосування технології в системі ЖКГ найпопулярніше і перспективне. Бездротові інтелектуальні лічильники допоможуть організувати облік та допоможуть заощадити ресурси. З їх допомогою можна організувати моніторинг витоків води, газу, електроенергії, а також контролювати їхню витрату [24]. За допомогою мереж LoRaWAN можна керувати системою «Розумний дім» [25]. За допомогою програми на смартфоні власники та екстрені служби будуть моментально повідомлені про задимлення, пожежі та інші екстрені ситуації. Крім цього, технологія дозволяє подбати і про комфорт людей. Розумний транспорт дозволить заощадити масу часу, датчики встановлять сприятливу температуру повітря та вологість приміщень.

Перспективно використовувати такі мережі у промисловості [26]. Мережі LoRaWAN можуть працювати в ізольованих умовах, тому вони можуть бути розгорнуті у віддалених районах, у морі. LoRaWAN – супутниковий зв'язок допоможе стежити за станом робочих систем та механізмів підприємства. Це допоможе уникнути простоїв через поломки та матеріальні втрати.

У сільському господарстві датчики відстежують стан ґрунту, вологість повітря та ґрунту, кількість застосовуваних добрив. Система сама займається зрошенням ділянки, що висихає, причому уникне і переозволення, що значно заощадить витрату води.

Впровадження даної технології не вимагатиме великих інвестицій, виділення та перерозподілу додаткових частот, перебудови мережі мобільного зв'язку. Усі провідні виробники підтримують цей тренд, так що нестачі обладнання чи програмного забезпечення немає. Для нашої країни головною проблемою є слабка цифровізація муніципального господарства. Хоча останнім часом цій проблемі приділяють більше уваги. Для вирішення цього завдання запущено проект хмарного відеоспостереження. Проект передбачає розгортання мережі із підключенням 19 тисяч камер. Це дозволить окремим людям отримати доступ до певних камер через мобільний додаток, а також правоохоронним органам для забезпечення безпеки міст. Далі планується використання відеоаналітики. Це програмна платформа буде розпізнавати особи в автоматичний режим. Таке рішення можна використовувати у освіті, медицині та інших областях [27, 28].

Запровадження розумного міста та LORAWAN у місті Львові

Чому саме це місто? Причин було кілька: це і близьке розташування до кордону, наявність необхідної інфраструктури, оптимальна кількість населення, доступність та наявність захищених каналів зв'язку та центрів обробки даних.

За перші півроку у Львові було проведено колосальний обсяг робіт. Здійснено повне покриття міста 4G та LoraWan мережами. Замінили близько 4500 лічильників



обліку витрати води та передбачили можливість надалі підключити їх до автоматичної передачі даних. Зроблено заміну 6000 лічильників обліку електроенергії також з можливістю підключення до мережі. Замінили 250 точок вуличного освітлення із системою автоматичного включення-вимкнення, що дозволить економно витратити електроенергію [29].

Цим не обмежилися і здійснили ремонт та модернізацію інфраструктури. Повністю проведено заміну понад 100 км електричних кабелів, на вулицях та будинках міста встановили понад 70 камер відеоспостереження, підключили систему контролю доступу, у тому числі ідентифікації осіб, у школах та вулицях міста. Діє система екологічного контролю, система виявлення задимлення, система моніторингу громадського транспорту. Розроблено цифрову 3D-карту міста, на якій відображаються всіпоказання з датчиків. Для зручності людей встановлені теплі зупинки з автоматами заряджання для гаджетів від сонячних батарей. Усі події фіксуються датчиками та сенсорами та виводяться на спеціальну відеостіну [30].

Саме у Львові зроблено спробу вирішити проблеми ЖКГ та перевірити на досвіді результативність застосування нових технологій. Це перше у Україні місто, де оцифрували більшість споживачів комунальних послуг.

Тепер контролерам не потрібно ходити додому та вручну збирати дані. Система сама все зчитує сама. Лічильники встановили безкоштовно для мешканців та багатоквартирних будинків та приватного сектору [29].

Використовувана платформа має аналітику на основі штучного інтелекту і визначає взаємозв'язок і взаємозалежність між різними сферами [5]. Завдяки цифровізації процесів у Львові знизили тарифи на електроенергію. Загалом зниження становило 8,4%.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проблема надзвичайних ситуацій в будинку є досить актуальною в наш час. Пов'язано це з відносно малим часом перебування на території квартири чи будинку.

Результатом є малоконтрольована ситуація безпеки дому. Досить часто чути, що під час свят збільшується кількість проникнень в квартири з метою грабунку. Або ж витік газу чи води, що приводить до вибуху, або потопу у квартирі відповідно.

На основі цих даних можна стверджувати, що досліджена система в результаті виконання дипломної роботи є досить актуальною та має неабияку користь для потенційного користувача.

Для розробки системи для будинку була вибрана платформа Arduino [31], що пов'язано з її відносною дешевизною та легкодоступністю інформації для роботи з нею.

Arduino - апаратна обчислювальна платформа для конструювання, основними компонентами якої є плата мікроконтролера з елементами вводу/виводу на мові програмування, що є спрощеною підмножиною C/C++. Arduino може використовуватися як для створення автономних інтерактивних об'єктів, так і підключатися до програмного забезпечення, яке виконується на комп'ютері. Інформація про плату знаходиться у відкритому доступі і може бути використана тими, хто бажає створювати плати власноруч.

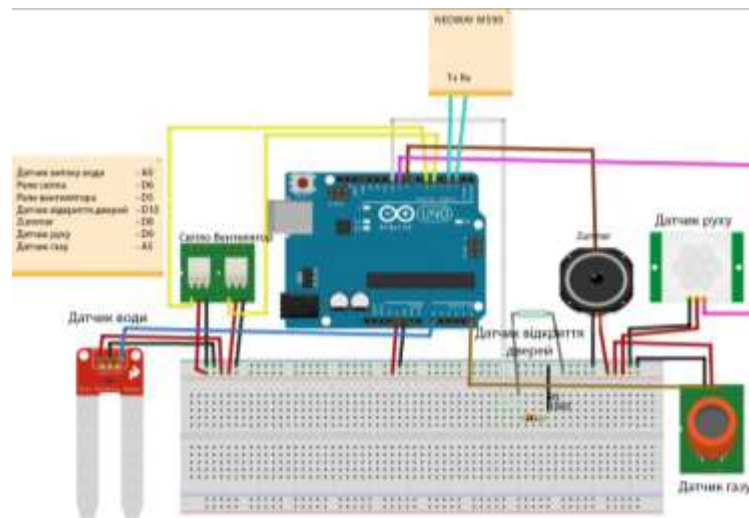


Рис.2. Схема підключення елементів системи

Всі модулі та датчики підключені до схеми (рисунок 2), на неї подається живлення, якщо вони фіксують сигнал, що задовільняє умови, прописані в програмному забезпеченні, тоді той датчик, який зафіксував сигнал – передає його на платформу Arduino.

Після цього подається команда GSM модулю на відправку повідомлення на телефон користувача. Крім того, запускається сигналізація (в нашому випадку зумер). Якщо датчик перестає фіксувати сигнал, то сирена вмикається.

Тепер про особливості роботи деяких елементів.

При спрацьовуванні датчика газу, не тільки йде відпрацювання алгоритму, описаного вище, а ще й подається сигнал на увімкнення реле, яке замикає контакти і вмикається вентилятор на витяжку.

Якщо ж сигнал фіксується датчиком руху, то додатково вмикаються реле, які відповідають за світло в домі.

Розрахункова частина технології LORA

Розробка та впровадження технології LoRa для вузькосмугової передачі даних з розширеною зоною покриття істотно посилила конкуренцію на ринку бездротових технологій IoT для стільникових технологій, що використовують смуги частот, що ліцензуються, і вимагають використання SIM-карт.

В даний час LoRa має ряд переваг за технічними параметрами, використанням неліцензійного спектру, простотою регулювання, відсутністю отримання ліцензії на надання послуг передачі даних [32].

Усі LoRaWAN пристрої класу "A"(Пристрої класу А після кожної передачі відкривають два короткі часові вікна на прийом (позначаються як RX1 і RX2)), включаючи кінцеві пристрої, а також LoRa-шлюз, використовують довільний (не синхронізований) доступ до загального середовища передачі. При цьому часові інтервали відправлення пакетів плануються кінцевими пристроями на основі потреб. Даний механізм доступу є протоколом типу "pure ALOHA" (чиста ALOHA) [33].

Оцінка пропускної спроможності системи "чиста ALOHA" визначається за наступними припущеннями:

- дані користувача, призначені для передачі, надходять на термінали випадково, утворюючи пуассонівський потік;

- відкинуті через помилки передачі пакети передаються повторно, утворюючи також пуассонівський потік;
- всі пакети даних мають однакову довжину та передаються в однаковий час;
- у мережі знаходиться нескінченна кількість віддалених терміналів (при цьому якщо термінал вже передає дані, це ніяк не впливає на можливість передачі даних іншими терміналами).
- можливість передачі даних іншими терміналами).

В цьому випадку ймовірність того, що за час передачі одного пакета T надійдуть ще пакети від усіх терміналів мережі, що визначається формулою Пуассона:

$$\Pr(k) = \frac{G^k \cdot e^{-G}}{k!},$$

де G – інтенсивність надходження пакетів (або середня кількість повідомлень для передачі, що з'явилося на всіх терміналах мережі за час T);

- колізія не виникне, якщо на інтервалі передачі повідомлення, а також на одному попередньому інтервалі не з'являться пакети для передачі від інших кінцевих пристроїв мережі ($k=0$). Отже, ймовірність успішної передачі становить $P = e^{-G}$;
- середня кількість успішно переданих за час T пакетів, тобто пропускна здатність мережі, становить $S = G \cdot P = G \cdot e^{-G}$.

Графік пропускної спроможності наведено на рисунку 3.

Максимальне значення пропускної спроможності досягається при інтенсивності надходження пакетів (G), що дорівнює 0,5 і становить 0,184 (при цьому ймовірність втрати пакетів через колізію – PLOSS становитиме 63%).

При інтенсивності надходження пакетів (G), що дорівнює 0,0256, ймовірність втрати пакетів через колізію (p_{LOSS}) становить 5%.

Час передачі пакетів мережі LoRa, і навіть сміть мережі визначаються використанням передачі коефіцієнтом розширення спектра, а кінцевому підсумку – якістю сигналу мережі.

Пропускна здатність

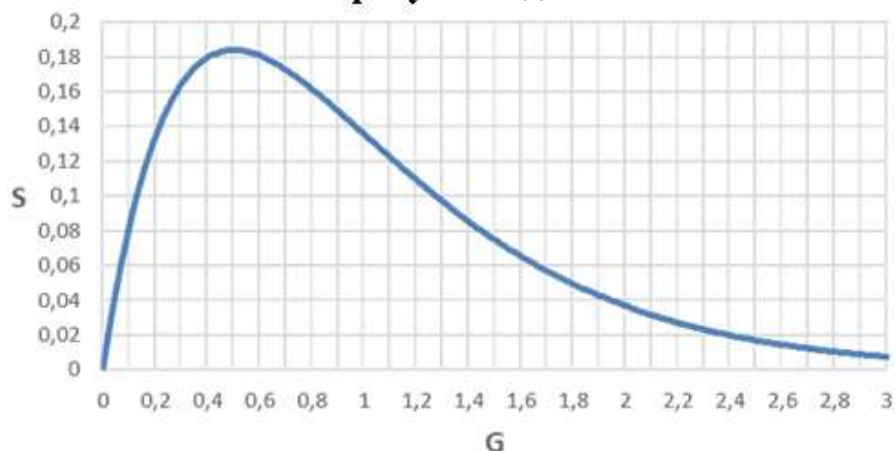


Рис. 3 – Пропускна здатність мережі LoRa

Так, тривалість передачі одного *up-link* пакета з корисним навантаженням 10 байт за мінімального коефіцієнта розширення спектра (SF=7) становить 59,65мс, а за максимального (SF=12) – 1 253,38мс.

Додатково на ємність мережі LoRa будуть впливати такі фактори, як:

- переповтори повідомлень, втрачених через помилки на радіоінтерфейсі та колізій;
- ефект множинного прийому під час знаходження клієнтських пристроїв у зоні дії кількох LoRa-шлюзів.
- використання другого вікна прийому (RX2).

Середовище розробки програмного забезпечення

Для того щоб система функціонувала правильно та стабільно, користувачу потрібно підключити між собою всі елементи відповідно до схеми, поданої на рисунку 2. Наступним кроком буде встановлення програмного забезпечення та бібліотеки *SoftwareSerial.h* [34].

Після цього треба з'єднати комп'ютер та Arduino через інтерфейс USB та завантажити на платформу скетч (програмне забезпечення).

Далі користувач перевіряє працездатність системи, встановлює датчики та модулі у потрібних місцях та з'єднує елементи проводами відповідної довжини.

Розроблено програмне забезпечення, що дозволяє попередити користувача про малоконтрольовані ситуації у будинку, а саме проникнення у будинок та витік газу чи води. Результатом програми буде сповіщення смс-повідомленням та включення сигнального звуку (рис.4 та рис.5).

```
1 #include <SoftwareSerial.h> //включення бібліотеки для програмного Rx Tx
2 #define movement 9 // Включає змінні для датчика руху і вистук піи
3
4 SoftwareSerial mySerial(2, 3); // RX, TX
5
6 int Count = 0;
7 int relay1 = 6; // Включає змінні для реле 1 + піи
8 int relay2 = 5; // Включає змінні для реле 2 + піи
9 int relay3 = 4; // Включає змінні для реле 3 + піи
10 int relay4 = 7; // Включає змінні для реле 4 + піи
11
12 const int gassensorpin = A5; //Змінні для датчика газу
13 int gassensorvalue = 0; //Включає змінні для значення датчика газу
14
15 int water = A0; //піи датчика води
16 unsigned int waterValue = 0; //Включає змінні для значення датчика води
17
18 int Door_sensor = 10; //піи датчик бібліотеки ШБурей
19 int Door_val = 0; //Включає змінні для значення датчика відкриття ШБурей
20
21 int buzzer = 8; //Змінні для підключення і номер піи
22
23 void setup() {
24 //включає яку піи void/buzio
25
```

Рис. 4. Приклад програми (скетч)

```
178 #include <SoftwareSerial.h> //Розширення бібліотеки для програмування на Tx
179 #define movement 9 //Положення зв'язки для датчика руху і Buzzar pin
180
181 SoftwareSerial mySerial(2, 3); //Rx, Tx
182
183 int count = 0;
184 int relay1 = 6; //Положення зв'язки для реле 1 + pin
185 int relay2 = 5; //Положення зв'язки для реле 2 + pin
186 int relay3 = 4; //Положення зв'язки для реле 3 + pin
187 int relay4 = 7; //Положення зв'язки для реле 4 + pin
188
189 const int gassensorpin = A5; //Пин для датчика газу
190 int gassensorvalue = 0; //Мінімальне значення для значення датчика газу
191
192 int water = A0; //Пин датчика води
193 unsigned int waterValue = 0; //Мінімальне значення для значення датчика води
194
195 int door_sensor = D0; //Пин датчика відкриття дверей
196 int door_val = 0; //Мінімальне значення для значення датчика відкриття дверей
197
198 int buzzer = 8; //Зв'язка для піпетки і номер пін
199
200 void setup() {
201 //Ініціалізація всіх пін на вход/вихід
202
203 pinMode(movement, INPUT); //Пин руху
204 pinMode(door_sensor, INPUT); //Датчик відкриття дверей
205 pinMode(relay1, OUTPUT); //Реле 1
206
207 platformio run
208
209 checking size .pio\build\uno\firmware.elf
210 Advanced Memory Usage is available via "PlatformIO Home > Project Inspect"
211 RAM: [====] 19.5% (used 488 bytes from 2848 bytes)
212 Flash: [====] 17.6% (used 5672 bytes from 32256 bytes)
213 ***** [SUCCESS] Took 1.72 seconds *****
```

Рис. 5 Результат програми – УСПІШНО

Алгоритм програмного забезпечення зображений на рисунку 6.

У даному алгоритмі зображено принцип роботи програмного забезпечення, зокрема включення всіх датчиків, зчитування даних датчиків та смс-інформування користувача про небезпеку у квартирі/будинку [35, 36].

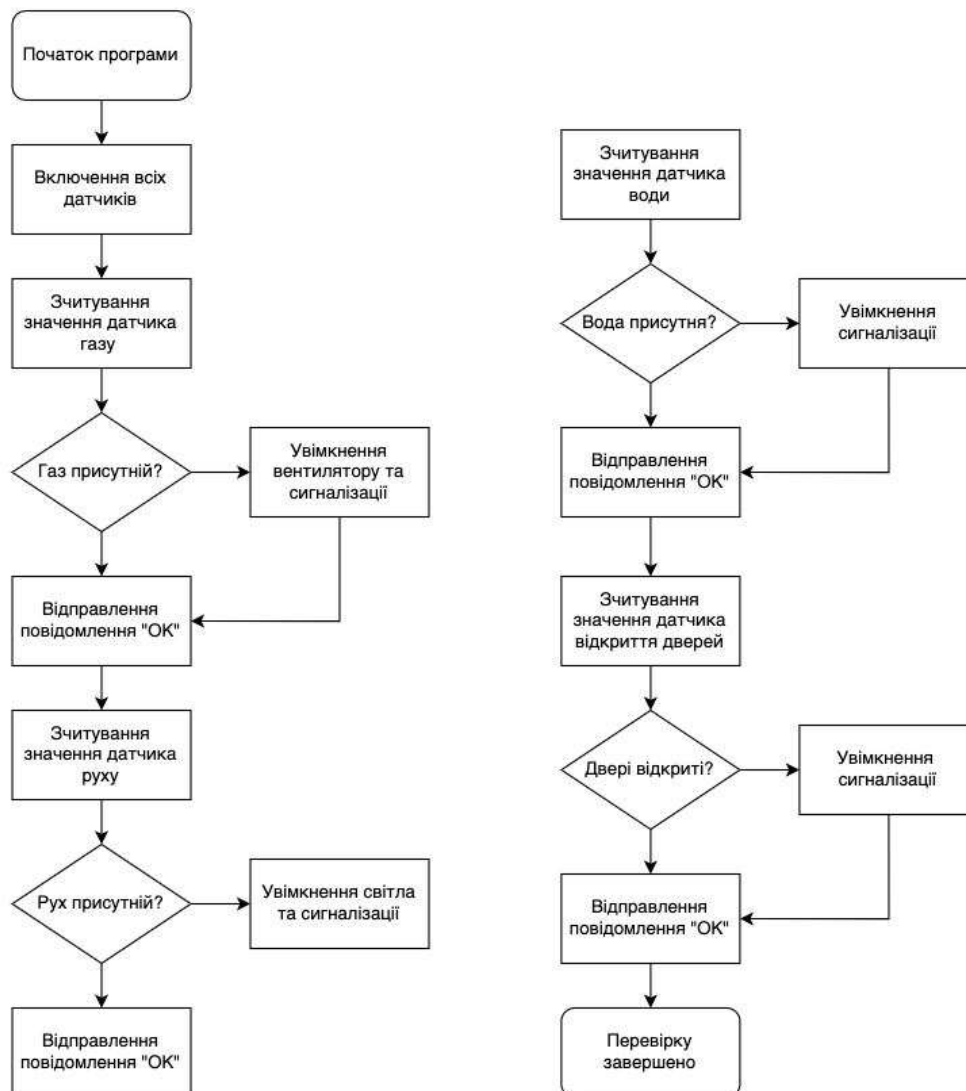


Рис. 6. Алгоритм програми

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вивчаючи та аналізуючи теоретичні джерела зроблено висновки, що застосування цих технологій Інтернету речей надає величезні можливості для покращення умов життя людей, оптимізації всіх систем міського життя.

Проаналізовано існуючі технології для передачі даних на великі відстані в мережах Інтернету речей. На основі проведених розрахунків зроблено обґрунтування ефективності застосування технології LORA, наведено енергетичний потенціал лінії зв'язку для технології LORA, визначено місткість мережі LoRa.

Архітектура мережі має найкраще співвідношення між збільшенням терміну служби батарей IoT пристроїв та забезпеченням дальності зв'язку. Протокол працює в діапазоні, що не ліцензується, і в цьому його унікальність за вартістю і швидкості впровадження.



На основі вивчення досвіду запровадження протоколу в місті Львові, виявлено переваги та проблеми впровадження. Проведено оцінку можливості застосування технології у великих містах.

В результаті, в статті, розроблено структурну схему інформаційної системи розумного міста на базі технології LORA, створено алгоритм роботи системи. Розроблено програмне забезпечення, що дозволяє попередити користувача про слабоконтрольовані ситуації у будинку, а саме проникнення у будинок та витік газу чи води. Результатом програми буде сповіщення sms-повідомленням та включення сигнального звуку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Таненбаум, Е., & Уезеролл, Д. (2012). Комп'ютерні мережі (5-те вид.).
- 2 Kirichek, R., & Kulik, V. (2016). Long-Range Data Transmission on Flying Ubiquitous Sensor Networks (FUSN) by Using LPWAN Protocols. У *Communications in Computer and Information Science* (с. 442–453). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51917-3_39.
- 3 <http://orion-m2m.kz/ru/news/lora-alliance/>
- 4 http://www.tadviser.ru/index.php/Стаття:Стандарт_NB-IoT_LowPower_and_Wide-Area_LPWAN_
- 5 Жураковський, Б. Ю. (2021). *Технології інтернету речей* (Б. Жураковський & І. О. Зенів, Ред.). КПІ ім. Ігоря Сікорського. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42078>
- 6 Полторак, В. П. (1998). Полиномиальное кодирование информации в системах управления. У В. П. Полторак & Ю. П. Жураковский (Ред.) (с. 270–271).
- 7 Жураковський, Б.Ю. (2012). Дослідження використання нових заводських кодів для каналів зі стиранням. *Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій*, 2, 93–96.
- 8 <https://smartiko.ru/products/radiomodemy-i-gotovye-ustroystva/>
- 9 <https://telecom.kz/ru/news/view/28369>
- 10 Zhurakovskiy, B., & Tsopa, N. (2019e). Assessment Technique and Selection of Interconnecting Line of Information Networks. У *2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/aiact.2019.8847726>
- 11 <https://www.crn.ru/numbers/spec-numbers/detail.php?ID=11794>
- 12 Semtech.(2022). <https://www.semtech.com/>
- 13 Кабанова, А. Б., Бодрова, А. А., Логвін, В. І. (2016). Дослідження інтернету речей та його застосування у створенні розумного будинку. *Символ науки*, 11.
- 14 Cisco.(2022). <https://www.britannica.com/topic/Cisco-Systems-Inc>
- 15 IBM.(2022). <https://www.ibm.com/us-en/>
- 16 Kerlink.(2022). <https://www.kerlink.com/>
- 17 IMST.(2022). <http://www.imst.com/>
- 18 Microchip Technology.(2022). <https://www.microchip.com/>
- 19 Zhurakovskiy, B., Toliupa, S., Otrokh, S., Dudarieva, H., Zhurakovskiy, V. (2021). [Coding for information systems security and viability](#). In CEUR Workshop Proceedings, 2859, 71–84.
- 20 Zhurakovskiy, B., Toliupa, S., Druzhynin, V., Bondarchuk, A., & Stepanov, M. (2021b). Calculation of Quality Indicators of the Future Multiservice Network. У *Lecture Notes in Electrical Engineering* (с. 197–209). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92435-5_11
- 21 Shevchenko, O., Bondarchuk, A., Polonevych, O., Zhurakovskiy, B., Korshun, N. (2021). Methods of the objects identification and recognition research in the networks with the IoT concept support. In CEUR Workshop Proceedings, 2923, 277–282. <http://ceur-ws.org/Vol-2923/>
- 22 Moshenchenko, M., & Zhurakovskiy, B. (2021a). Information protection in “smart city” technologies. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 3(11), 100–109. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.11.100109>.
- 23 Мошенченко, М.С., Жураковский, Б. Ю. (2020). Стандарти Smart City. *Актуальные научные исследования в современном мире*, 2, 41–44.
- 24 Специфікація LoRaWAN. (2016). Вступ. Основні поняття та класи кінцевих пристроїв. <https://habr.com/ua/post/316954/>



- 25 Жураковський, Б. Ю., Пархомей, І. Р., & Дружинін, В. А. (2018). Обробка інформації в сенсорних мережах. *Адаптивні системи автоматичного управління*, 1(32), 42–57. <https://doi.org/10.20535/1560-8956.32.2018.145610>
- 26 Moshchenko, N., & Zhurakovskiy, B. (2021). SMARTCITY WIRELESS FENCE AND INTERACTIVE INFRASTRUCTURE MODEL. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 1(13), 63–80. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.13.6380>
- 27 Koucheryavy, A. E. (2013). Internet of Things. *Electrosvyaz'*, 1, 21–24.
- 28 Киричек, Р. В., Парамонов, А. И., Прокопьев, А. В., Кучерявый, А. Е. (2014). Эволюция исследований в области беспроводных сенсорных сетей. *Информационные технологии и телекоммуникации*, 4(8), 29–41. <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/4-14.pdf>
- 29 Технологія розуму: Коли Львів стане SMART CITY 2022 https://tvoemisto.tv/exclusive/tehnologiya_rozumu_koly_lviv_stane_smart_city_74653.html
- 30 Zhurakovskiy, B., & Nedashkivskiy, O. (2022b). SYSTEM TO COLLECT INFORMATION WHEN TRANSFERRING DATA TO RADIO CHANNELS. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 3(15), 6–34. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2022.15.634>
- 31 Arduino. (2022): <https://www.arduino.cc/>
- 32 Druzhynin, V., Toliupa, S., Pliushch, O., Stepanov, M., & Zhurakovskiy, B. (2020). Features of processing signals from stationary radiation sources in multi-position radio monitoring systems. У *Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems 2020* (с. 46–65). CEUR Workshop Proceedings. <http://ceur-ws.org/Vol-2746/>
- 33 Pure ALOHA. (2022). <https://www.tutorialspoint.com/what-is-pure-aloha-in-computer-networks>
- 34 SoftwareSerial.h. (2022). <https://docs.arduino.cc/learn/built-in-libraries/software-serial>
- 35 Жураковський, Б.Ю., Варфоломеева, О.Г., Гладких, О.В., Хахлюк, О.А. (2013). Об'єктно-орієнтована технологія проектування систем управління. *Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій*, 1, 49-53.
- 36 Жураковський, Б.Ю. (2012). Об'єктно-орієнтована модель системи управління мережею NGN. *Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій*, 3, 81-84.

**Borkivska Olga**

Student

Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0003-0490-6371

skratty13@gmail.com**Zhurakovskiy Bohdan**

Doctor of Technical Sciences, Professor

Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0003-3990-5205

zhurakovskiybyu@ik.kpi.ua**Platonenko Artem**

PhD in Technical Sciences, associate professor of the Department of Information and Cyber Security named after Professor Volodymyr Buriachok

Borys Grinchenko Kyiv University, Kyiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0002-2962-5667

a.platonenko@kubg.edu.ua**SMART CITY INFORMATION SYSTEM BASED ON LORA TECHNOLOGY ANNOTATION**

Abstract. This article discusses issues related to the concept of the Internet of Things and its application to the development of the Smart City. Smart City or "Smart City" is a new concept for the introduction of technologies (information and communication) to manage the life of the modern city. Existing technologies for long-distance data transmission in the Internet of Things are analyzed. Based on the calculations, the justification of the efficiency of LORA technology is substantiated, the energy potential of the communication line for LORA technology is given, the capacity of the LoRa network is determined. The network architecture has the best relationship between increasing the battery life of IoT devices and providing communication range. The protocol operates in a non-licensed range, and this is its uniqueness in cost and speed of implementation. Based on the study of the experience of implementing the protocol in the city of Lviv, the advantages and problems of implementation were identified. The possibility of using the technology in large cities was assessed. Software has been developed that allows the user to check that everything in his house is in order and that there are no gas leaks, water leaks and no movement in the house. The practical use of IoT in the "Smart City", the use of LoRaWAN technology, the principle of the network are shown. The experience of using the LoRaWAN protocol in Ukraine has been studied and analyzed. The experience of cities on the introduction of Internet of Things technologies in the housing system is considered.

Keywords: LORA, LoRaWAN, Internet of Things technology.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- 1 Tanenbaum, E., & Uezeroll, D. (2012). *Kompiuterni merezhi (5-te vyd.)*.
- 2 Kirichek, R., & Kulik, V. (2016). Long-Range Data Transmission on Flying Ubiquitous Sensor Networks (FUSN) by Using LPWAN Protocols. *U Communications in Computer and Information Science (s. 442–453)*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51917-3_39.
- 3 <http://orion-m2m.kz/ru/news/lora-alliance/>
- 4 http://www.tadviser.ru/index.php/Stattia:Standart_NB-IoT_LowPower_and_Wide-Area_LPWAN_
- 5 Zhurakovskiy, B. Yu. (2021). *Tekhnolohii internetu rechei (B. Zhurakovskiy & I. O. Zeniv, Red.)*. KPI im. Ihoria Sikorskoho. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/42078>
- 6 Poltorak, V. P. (1998). Polynomyalnoe kodyrovanye ynformatsyy v systemakh upravleniya. U V. P. Poltorak & Yu. P. Zhurakovskiy (Red.) (s. 270–271).
- 7 Zhurakovskiy, B.Iu. (2012). Doslidzhennia vykorystannia novykh zavadostiikykh kodiv dlia kanaliv zi styranniam. *Visnyk Derzhavnoho universytetu informatsiino-komunikatsiinykh tekhnolohii*, 2, 93-96.
- 8 <https://smartiko.ru/products/radiomodemy-i-gotovyie-ustroystva/>



- 9 <https://telecom.kz/ru/news/view/28369>
- 10 Zhurakovskiy, B., & Tsopa, N. (2019e). Assessment Technique and Selection of Interconnecting Line of Information Networks. U 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT). IEEE. <https://doi.org/10.1109/aiact.2019.8847726>
- 11 <https://www.crn.ru/numbers/spec-numbers/detail.php?ID=11794>
- 12 Semtech.(2022). <https://www.semtech.com/>
- 13 Kabanova, A. B., Bodrova, A. A., Lohvin, V. I. (2016). Doslidzhennia internetu rechei ta yoho zastosuvannya u stvorenni rozumnoho budynku. *Symvol nauky*, 11.
- 14 Cisco.(2022). <https://www.britannica.com/topic/Cisco-Systems-Inc>
- 15 IBM.(2022). <https://www.ibm.com/us-en/>
- 16 Kerlink.(2022). <https://www.kerlink.com/>
- 17 IMST.(2022). <http://www.imst.com/>
- 18 Microchip Technology.(2022). <https://www.microchip.com/>
- 19 Zhurakovskiy, B., Toliupa, S., Otrokh, S., Dudarieva, H., Zhurakovskiy, V. (2021). Coding for information systems security and viability. In *CEUR Workshop Proceedings*, 2859, 71–84.
- 20 Zhurakovskiy, B., Toliupa, S., Druzhynin, V., Bondarchuk, A., & Stepanov, M. (2021b). Calculation of Quality Indicators of the Future Multiservice Network. U *Lecture Notes in Electrical Engineering* (s. 197–209). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92435-5_11
- 21 Shevchenko, O., Bondarchuk, A., Polonevych, O., Zhurakovskiy, B., Korshun, N. (2021). Methods of the objects identification and recognition research in the networks with the IoT concept support. In *CEUR Workshop Proceedings*, 2923, 277–282. <http://ceur-ws.org/Vol-2923/>
- 22 Moshenchenko, M., & Zhurakovskiy, B. (2021a). Information protection in “smart city” technologies. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 3(11), 100–109. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.11.100109>.
- 23 Moshenchenko, M.S., Zhurakovskiy, B. Yu. (2020). Standarty Smart City. *Aktualnye nauchnye yssledovaniya v sovremennom myre*, 2, 41–44.
- 24 Spetsyifikatsiia LoRaWAN. (2016). Vstup. Osnovni poniattia ta klasy kintsevykh prystroiv. <https://habr.com/ua/post/316954/>
- 25 Zhurakovskiy, B. Yu., Parkhomei, I. R., & Druzhynin, V. A. (2018). Obrobka informatsii v sensorykh merezhakh. *Adaptyvni systemy avtomatichnoho upravlinnia*, 1(32), 42–57. <https://doi.org/10.20535/1560-8956.32.2018.145610>
- 26 Moshenchenko, N., & Zhurakovskiy, B. (2021). SMARTCITY WIRELESS FENCE AND INTERACTIVE INFRASTRUCTURE MODEL. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 1(13), 63–80. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.13.6380>
- 27 Koucheryavy, A. E. (2013). Internet of Things. *Electrosvyaz*, 1, 21–24.
- 28 Kyrychek, R. V., Paramonov, A. Y., Prokorev, A. V., Kucheriavyyi, A. E. (2014). Evoliutsiia yssledovanyi v oblasti besprovodnykh sensorykh setei. *Ynformatsionnye tekhnolohyy u telekommunikatsyy*, 4(8), 29–41. <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/4-14.pdf>
- 29 Tekhnolohiia rozumu: Koly Lviv stane SMART CITY 2022 https://tvoemisto.tv/exclusive/tehnologiya_rozumu_koly_lviv_stane_smart_city_74653.html
- 30 Zhurakovskiy, B., & Nedashkivskiy, O. (2022b). SYSTEM TO COLLECT INFORMATION WHEN TRANSFERRING DATA TO RADIO CHANNELS. *Cybersecurity: Education, Science, Technique*, 3(15), 6–34. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2022.15.634>
- 31 Arduino. (2022). <https://www.arduino.cc/>
- 32 Druzhynin, V., Toliupa, S., Pliushch, O., Stepanov, M., & Zhurakovskiy, B. (2020). Features of processing signals from stationary radiation sources in multi-position radio monitoring systems. U *Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems 2020* (s. 46–65). *CEUR Workshop Proceedings*. <http://ceur-ws.org/Vol-2746/>
- 33 Pure ALOHA. (2022). <https://www.tutorialspoint.com/what-is-pure-aloha-in-computer-networks>
- 34 SoftwareSerial.h. (2022). <https://docs.arduino.cc/learn/built-in-libraries/software-serial>
- 35 Zhurakovskiy, B.Iu., Varfolomeieva, O.H., Hladkykh, O.V., Khakhliuk, O.A. (2013). Obiektno-orientovana tekhnolohiia proektuvannya system upravlinnia. *Visnyk Derzhavnoho universytetu informatsiino-komunikatsiinykh tekhnolohii*, 1, 49–53.
- 36 Zhurakovskiy, B.Iu. (2012). Obiektno-orientovana model systemy upravlinnia merezheiu NGN. *Visnyk Derzhavnoho universytetu informatsiino-komunikatsiinykh tekhnolohii*, 3, 81–84.

