

УДК 620.9;662.939.9
DOI <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-1/05>

Топал О.І.

Інститут вугільних енерготехнологій Національної академії наук України

Любарець М.І.

Інститут вугільних енерготехнологій Національної академії наук України

Прищепов Є.О.

Інститут вугільних енерготехнологій Національної академії наук України,
Дочірнє підприємство «Вуглесинтезгаз України»

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ОБЛІКУ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ: СКЛАДНИКИ, ТЕХНОЛОГІЇ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ

Широке впровадження обліку енергоресурсів на основі інтелектуальних систем (smart metering або ІСО-систем) можливе лише шляхом створення та розвитку належної розвинутої вимірювальної інфраструктури (РВІ або advanced measuring infrastructure), яка об'єднує у собі апаратно-програмні засоби (лічильники, засоби дистанційного передавання даних (далі – ЗДПД), базові станції / концентратори / шлюзи; мережі стільникового зв'язку чи/та новостворені радіомережі; комп'ютерні мережі; програмні платформи) та відповідні засади функціонування її підсистем (регламенти; протоколи телеметрії, протоколи прикладного рівня обробки даних; стандарти прикладного, каналного та фізичного доступу тощо).

Втілення ІСО-систем дозволить забезпечити щодобовий автоматизований облік споживання енергоресурсу (наприклад, природного газу) чи електроенергії, сприятиме зменшенню витрат і виробничо-технологічних витрат, підвищить дисципліну платежів споживачами, скоротить витрати на неефективний ручний облік, сприятиме подальшому впровадженню заходів з економії енергоресурсів за рахунок поглибленого аналізу його споживання населенням.

Надзвичайно перспективними методами передавання даних в ІСО-системах є методи дистанційного передавання показників споживання енергоресурсу від ЗДПД до внутрішньої мережі операторів стільникового зв'язку (чи іншої подібної радіомережі) з їх подальшим передаванням у розгалужену IP-мережу інтернет-провайдерів (інтернет-мережу загального доступу) і серверних платформ (Cloud-based platform). При цьому можуть використовуватися як існуючі, так і перспективні радіотехнології (GSM/GPRS, NB IoT, LoRa WAN та інші). Нині дистанційне передавання даних телеметрії набуває значного поширення у світі, в тому числі завдяки розвиненню технології Інтернету речей.

Створення сучасної розвинутої вимірювальної інфраструктури є складною проблемою та потребує об'єднання в єдиному комплексі РВІ різних складників і структурних елементів. Метою статті є визначення істотних особливостей кожного складника РВІ, аналіз особливостей застосування апаратних засобів і радіотехнологій, інтернет-технологій (платформ), що має становити єдиний вимірювальний комплекс. У статті також наведені рекомендації щодо впровадження систем smart-metering для обліку енергоресурсів в Україні.

Ключові слова: енергоресурси, облік, smart-метерінг, Інтернет речей, радіотехнології.

Постановка проблеми. До базових складників РВІ, призначених для обліку газу у побутових споживачів на основі інтелектуальних систем обліку, належать газові лічильники; засоби дистанційного передавання даних (далі – ЗДПД або спеціалізовані модеми), які приєднуються до газових лічильників та/або smart-лічильників із вбудованими ЗДПД; радіомережі різних типів (зокрема, стільникового зв'язку) чи/та інші мережі для дистанційного передавання даних; внутрішні мережі

операторів зв'язку (стільникового, LoRa WAN); мережі загального інтернет-доступу, зокрема на основі Low Power WAN підходів; програмні інтернет-платформи (здебільшого хмарні Cloud IoT-платформи) для приєднання ЗДПД і безпосереднього обліку спожитих енергоресурсів (газу); білінгові системи для фінансового обліку; функціональні протоколи різних рівнів: фізичного, каналного (стандарти радіозв'язку GSM/GPRS, NB IoT, LoRa WAN та інші), транспортного,

прикладного (телеметрії, наприклад DLMS/COSEM) і протоколи обробки масових запитів (MQTT, CoAP). Створення сучасної розвинутої вимірювальної інфраструктури є складною проблемою і потребує об'єднання у цілісному комплексі РВІ різних складників і структурних елементів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За даними проведеного аналізу [1–11], функціональну блок-схему розвинутої вимірювальної інфраструктури (РВІ або advanced measuring infrastructure) для обліку газу на основі інтелектуальних систем (smart metering) можна навести у такому вигляді (рис. 1).

Деталізацію можливих методів (протоколи, стандарти) функціонування такої системи у наближенні моделі OSI наведено на рис. 2.

Так, система має базуватися на взаємоузгодженій роботі різних підсистем, які об'єднують у собі апаратно-програмні засоби (лічильники, ЗДПД, базові станції / концентратори / шлюзи; мережі стільникового зв'язку чи/та новостворені радіомережі; комп'ютерні мережі; програмні платформи) та відповідні засади функціонування її підсистем (регламенти; протоколи телеметрії, протоколи прикладного рівня обробки даних; стандарти

прикладного, каналного та фізичного доступу). Визначення оптимального складу такої системи для впровадження є складним завданням, яке потребує розгляду недоліків / переваг складників системи, аналізу технічних і вартісних показників електронних компонентів, вивчення особливостей технологій радіозв'язку та умов їх використання в Україні.

Постановка завдання. Метою роботи є верхньорівневий аналіз істотних особливостей кожного складника РВІ/ІСО-системи як такої, що становить цілісний вимірювальний комплекс, у тому числі й аналіз нормативного регулювання ІСО-систем, вивчення особливостей застосування апаратних засобів, радіотехнологій, інтернет-технологій (платформ). Завданнями роботи також були вибір елементної бази ЗДПД, попередня розробка макетів ЗДПД та електронної веб-платформи, здатної до приймання та обробки даних щодо спожитого енергоресурсу (природного газу). Результати роботи містять рекомендації із впровадження систем smart-метрингу для обліку енергоресурсів (природного газу) в Україні.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розгляд інтелектуальних систем обліку проводився



Рис. 1. Типова функціональна блок-схема розвинутої вимірювальної інфраструктури (АМІ) обліку енергоресурсів на основі ІСО-системи передавання даних телеметрії від газових лічильників

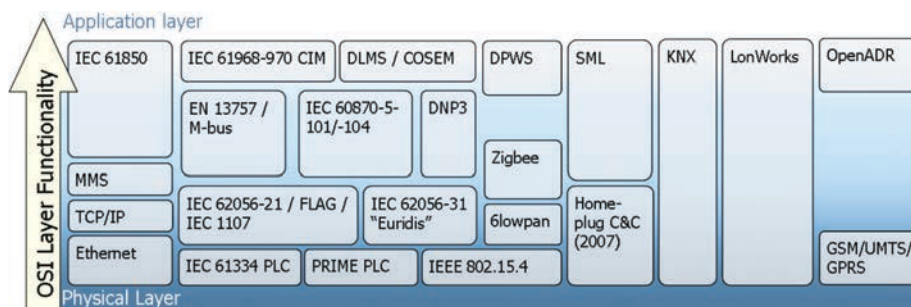


Рис. 2. Можливі стандарти та протоколи у моделі OSI [1]

на прикладі обліку споживання природного газу для побутових споживачів. За результатами проведеного аналізу чинників, які впливають на впровадження ІСО-систем в Україні, можна зазначити таке.

Нормативне регулювання. Впровадження інтелектуальних систем обліку газу у вигляді смарт-лічильників і програмного забезпечення (платформ) постійно розширюється у розвинутих країнах світу: ЄС, Великобританія, США, КНР. Цей процес здійснюється провідними енергетичними компаніями: British Gas, EDF, Dual Energy, E-On, OVO Energy, GoldCard та іншими.

Масштабне встановлення інтелектуальних систем обліку (за даними інформаційної довідки «Законодавче регулювання процесу встановлення розумних лічильників (smart meter) у країнах ЄС») розпочалося ще у 2000-х роках. Італія в інтересах власної енергетичної безпеки започаткувала процес встановлення розумних лічильників у 2001 році; Швеція – у 2003 році, Фінляндія – у 2007 році.

У багатьох країнах ЄС функціональні вимоги до інтелектуальних систем обліку закріплені законодавчо, зокрема в Австрії, Великобританії, Ірландії та Нідерландах, де встановлення розумних лічильників вже відбувається. Рішення міністерств про встановлення смарт-лічильників прийнято в Данії та Німеччині (у випадку Німеччини – тільки для окремих споживачів електроенергії). В Люксембурзі та на Мальті програма встановлення інтелектуальних систем обліку реалізується, але поки що законодавчо не регулюється. У Греції, Естонії, Румунії, Франції, Латвії, Словаччині рішення про встановлення смарт-лічильників прийнято, але процес встановлення розглядається на рівні аналізу чи пілотних програм (у випадку Латвії та Словаччини буде відбуватися селективне встановлення лічильників).

На законодавчому рівні регулювання встановлення смарт-лічильників пов'язане із такими *Директивами ЄС:*

1. *Директива з енергоефективності 2012/27/EU.* Відповідно до статті 9 обов'язком країн-членів ЄС є надання доступу кінцевим споживачам енергії до енергетичного аудиту, придбання за конкурентними цінами індивідуальних лічильників, які надають інформацію стосовно кількості спожитої енергії та часу користування енергією (розумні лічильники). Держави-члени зобов'язані вживати заходів щодо заохочення і забезпечення ефективного використання енергії малими споживачами, в тому числі домашніми господарствами.

2. *Директиви з Електроенергетики 2009/72/ЄС та з Газу 2009/73/ЄС* зобов'язують країн-чле-

нів забезпечити впровадження розумних систем обліку, які повинні сприяти зростанню активності споживачів на ринку електропостачання.

3. *Директива з Вимірювального обладнання 2004/22/ЄС* встановлює вимоги, яким мають відповідати розумні лічильники як вимірювальні прилади з метою використання у ЄС. Відповідно до *Третього Енергетичного Пакету* держави-члени ЄС зобов'язані забезпечити впровадження інтелектуальних (розумних) систем обліку для довгострокової вигоди споживачів.

Серед країн ЄС системи smart metering (інтелектуальні системи обліку) і смарт-лічильники поступово втілюються разом із додатковими енергосервісними послугами на їх основі. Значних успіхів у впровадженні ІСО-систем здобула Великобританія, де нині вже встановлено понад 11,0 млн смарт-лічильників (газ та електроенергія), а до кінця 2021 року планується встановити ще 53 млн одиниць. Споживачі вказаних послуг мають можливість контролювати поточне споживання енергоресурсів (газу та електроенергії) в реальному часі (за допомогою інформ-дисплеїв / In-Home-Display) та корегувати свою поведінку у бік заощадження енергоресурсів, що було доведено під час кількарічних досліджень.

Нині в Україні відповідно до Кодексу газорозподільних систем (далі – ГРМ) встановлення систем дистанційного обліку газу є обов'язковим для певних категорій споживачів. Має сприяти розвитку всіх галузей економіки прийнята «Концепція розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки», схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 січня 2018 року № 67-р. Водночас в Україні нормативне регулювання впровадження ІСО-систем потребує подальшого розвитку та удосконалення і нині вважається стримуючим фактором широкого втілення таких систем.

Вибір інтернет-мереж і радіотехнологій.

Вважається, що бездротове підключення кінцевих пристроїв, зокрема для телеметрії, в рамках концепції Інтернету речей (IoT-речей або nodes / motes вузлів), розповсюджених на значній території, насамперед буде здійснюватися із застосуванням мереж з низьким енергоспоживанням (Low Power Wide Area Network, LPWAN).

На відміну від класичних мереж стільникового зв'язку, LPWAN-мережі спеціально розроблялися, враховуючи концепцію Інтернету речей, і забезпечували такі важливі для цього застосування характеристики: низька вартість обладнання самої мережі (або низька вартість переоснащення

уже існуючої); низька вартість мікросхем для кінцевих пристроїв; мале енергоспоживання, тривалий час автономної роботи кінцевих пристроїв від елементів живлення (до 10 років).

Для розбудови LPWAN-мереж уже розроблено багато бездротових технологій (стандартів) з'єднання, серед яких можна згадати LoRa (Long Range WAN), NB-IoT (Narrow Band IoT), Sigfox та інші. Варто зауважити, що альянсом 3GPP, який забезпечує стандартизацію протоколів на ринку стільникового зв'язку (GSM, GPRS), передбачається підтримка таких перспективних радіотехнологій (фактично їх стандартизація) для Інтернету речей [1, 4]: 1) eMTC (LTE for Machine-Type Communications (LTE-M)); 2) NB IoT (Narrowband Internet of Things); 3) EC-GSM-IoT (Extended Coverage GSM Internet of Things).

Особливості технологій радіозв'язку та організації енергоощадних режимів роботи пристроїв, які їх використовують

Технологію NB-IoT [5–8] можна розглядати як рух телекомунікаційних операторів стільникового зв'язку до Інтернету речей. Головною організацією зі стандартизації у сфері телекомунікації (3GPP) було розроблено низку стандартів у цьому напрямі: у 2012 році у стандарті Release 11 з'явилися функції для машинних комунікацій (Machine Type Communications, MTC). У Release 12 (2015 року) для MTC визначений так званий пристрій Категорії 0 (Category 0) з однією антеною та іншими спрощеннями. У специфікаціях Release 13 (2016 рік) були здійснені подальші кроки для підтримки впровадження IoT, в тому числі заходи зі зниження вартості пристроїв, розширення покриття та збільшення часу автономної роботи. Зокрема, визначена Категорія M1 (для її позначення також використовується абревіатура eMTC і LTE-M).

Для зниження енергоспоживання поряд із технологією Power Saving Mode (PSM), яка була визначена й для категорій 0 та 1, передбачаються механізми Extended Discontinuous Reception (Extended DRX, eDRX). Вказані технології дозволяють знизити частоту обміну обов'язковими службовими повідомленнями, оптимізувати інтер-

вали прийому та отримання інформації, а також підтримувати тривалі періоди «мовчання» (коли пристрій залишається під'єднаним до мережі, не передаючи та не отримуючи інформації).

В Україні для NB-IoT можуть використовуватися практично всі ті ж діапазони частот, що й для 2G/3G/4G у «низьких» band-діапазонах частот: B20 (800 МГц), B8 (900 МГц), B3 (1800 МГц). Більш «високі» частоти використовувати немає сенсу у зв'язку зі значним згасанням сигналу. Варто зауважити, що чим менша обрана частота, тим більше покриття. Можливі варіанти використання частотного ресурсу для NB-IoT наведені на рис. 3.

Телекомунікаційні оператори, які вже використовують технології / частоти GSM 900 МГц, мають можливість переоснащення та впровадження NB IoT. Аналогічною є ситуацій й щодо LTE 800 МГц. Використання частот 1800 МГц також прийнятне з огляду на значне поширення цього діапазону частот серед телекомунікаційних операторів та мереж LTE у світі.

Технологія LoRa була представлена на початку 2015 року фірмою Semtech і дослідницьким центром IBM Research. Вона базується на методі модуляції LoRa, який запатентований компанією Semtech, а також відкритому мережевому протоколу Long Range Wide Area Networks (LoRa WAN). Модуляція LoRa базується на технології розширення спектру (Spread Spectrum Modulation) та варіації лінійної частотної модуляції (Chirp Spread Spectrum, CSS). Таке рішення забезпечує високу стійкість зв'язку на великих відстанях. Модуляція LoRa визначає фізичний рівень мережі радіодоступу, яка може мати різну топологію: коміркову (mesh), зірка, «точка-точка» та інші [1; 3].

Розвитком технології LoRaWAN опікується некомерційна організація LoRa Alliance, яка об'єднує такі компанії як IBM, Semtech, Cisco, Actility та інші. У листопаді 2015 року LoRa Alliance представила програму сертифікації для забезпечення гарантованої сумісності обладнання LoRa різних виробників. Радіус дії концентратора (шлюза) в мережі LoRaWAN становить до 20 км, швидкість передавання даних – від 290 біт/с до



Рис. 3. Варіанти реалізації NB-IoT: режими stand-alone (окремий радіочастотний канал / смуга); in-band (внутрішньо-смуговий режим); guard-band (режим реалізації у захисній смузі) [8]

50 Кбіт/с (табл. 2, 4). Задекларована тривалість автономної роботи кінцевого пристрою (при використанні елементу живлення ємністю 2000 мА×год) – 105 місяців, тобто майже дев'ять років.

Використання стандартів і служб GSM/GPRS для передавання даних телеметрії.

У Release 13 в частині подальшого розвитку технології GSM був визначений режим EC-GSM-IoT (або просто EC-GSM). У ньому також використовуються механізми енергозбереження PSM і eDRX. Крім цього, передбачається можливість багаторазового повторення переданої інформації для поліпшення покриття (+20 дБ) порівняно з традиційними системами GSM.

В EC-GSM спрощена система сигналізації (виключена та частина, яка забезпечує спільну роботу з мережами WCDMA/LTE), вдосконалені механізми аутентифікації і забезпечення безпеки з'єднань. При використанні даних шириною 200 кГц (у смузі GSM900 і 1800 МГц) технологія EC-GSM-IoT забезпечує максимальну швидкість 240 кбіт/с і дозволяє обслуговувати до 50 тисяч пристроїв на сектор базової станції. Порівняння основних параметрів різних радіотехнологій, які нині найбільш розповсюджені у світі та використовуються для цілей телеметрії, наведено у табл. 1.

Існуюча та нова компонентна база ЗДПД: недоліки та переваги. Елементна база та методи (стандарти) дистанційного передавання даних, які використовувалися раніше, не були орієнтовані на забезпечення завдань енергоефективного споживання чи тривалої (понад кілька років) роботи кінцевих приладів, оскільки здебільшого передбачалася наявність (доступність) постійного живлення. З огляду на це електронні компоненти споживали значні токи (як у період виходу на зв'язок, так і в режимі очікування). Режими (стандарти) передавання даних не передбачали переведення пристрою у stand-by-режим із надзвичайно низьким рівнем енергоспоживання, який нині реалізується в рамках підходу Інтернету речей і відповідних стандартів радіозв'язку.

Особливості енергоспоживання існуючих радіомодулів. Поточна елементна база передбачає використання порівняно високих струмів і напруг: режим виходу на зв'язок може характеризуватися імпульсним струмом до 2 А та базовим струмом 146-210 мА; модеми потребують живлення в діапазоні 3,4-4,4 В із рекомендованим 4,0 В. Споживання струму в енергоощадних режимах досить значні: сплячий режим (sleep mode) – 0,9-1,5 мА; режим очікування (idle mode) – 12,5 мА

Таблиця 1

Порівняння різних бездротових LPWAN радіотехнологій

	LoRa	SIGFOX	NB-IoT	LTE-M
Модуляція	SS Chirp	UL: BPPSK DL: GFSK	OFDMA	OFDMA
Частота сигналу радіопередавання, МГц	868	868	LTE band (stand-alone, in-band, Guard-band)	LTE band
Необхідність ліцензування	ні	ні	так	так
Стандартизація	LoRa Alliance	ETSI	3GPP	3GPP
Максимальна швидкість передавання даних	До 50 кбіт/с	До 1 кбіт/с	До 200 кбіт/с	До 1 Біт/с
Ширина полоси радіоканалу, кГц	125	100	200	1400
Потужність передавача у пристрої, мВт	25-50	25	до 2000	25
Потужність базової станції (в Україні дозволено до 25)*, мВт	25	2000	до 200	40
Максимальний бюджет зв'язку, Дб	163	166	164	148
Тривалість автономної роботи передавача у пристрої, років	до 10	до 10	до 10	Кілька місяців
Вартість модуля, долл. США	7-10	8-10	Близько 10	20

(на прикладі модуля SIM800С). Крім того, перевірка приладів на їх наявність у мережі може проводитися досить часто, ніж це потрібно порівняно із оптимізованим механізмом. Значні струми в режимах сеансу та неоптимізовані режими ідентифікації в мережі не дають змоги реалізувати тривалу роботу елементу живлення, оскільки добуток (мА*год) фактично визначає необхідну ємність батареї і має бути оптимальним.

Особливості енергоспоживання перспективних радіомодулів (для LP WAN технологій). Сучасна елементна база передбачає використання менших струмів і напруг: режим виходу на зв'язок може характеризуватися меншим імпульсним струмом і меншим робочим струмом у 30-116 мА; модеми потребують меншого живлення в діапазоні 2,1-3,6 В, типово – 3,3 В. Передбачено використання таких енергоощадних режимів: сплячий режим (sleep mode) – 236 мкА; режим очікування (idle mode) – 5,6 мА; режим енергозбереження (PSM – power saving mode) – 3,4 мкА, а також режими eDRX (на прикладі модуля SIM7020). Крім того, перевірка приладів на їх наявність у мережі може програмуватися від кількох секунд до десятків годин без необхідності реєстрації в мережі.

Сучасна елементна база ЗДПД підтримує різні протоколи телеметрії прикладного рівня, які реалізовані апаратно із базовою станцією: MQTT (Message Queue Telemetry Transport), COAP (Constrained Application) та інші.

Загальний підхід до створення схематехнічного рішення ЗДПД для телеметрії енергоресурсів. Основу розроблених принципових електричних схем ЗДПД складають: 1) мікроконтролер, 2) модем, який перебуває під його управлінням, а також допоміжні елементи (рис. 4).

Для тестування принципів роботи взаємодії ЗДПД і веб-платформи була обрана існуюча елементна база, яка у подальшому має бути замінена на більш енергоощадну. Принципова схема розробленого прототипу містить такі елементи: елемент живлення – БАТ 3,6 В-Li-ва батарея великої ємності для тривалої роботи (в макеті батарею імітує блок живлення 3,6 В); FUSE – запобіжник; SIM800С – GSM/GPRS модуль; DC/DC – перетворювач 3,6 В в 4,1 В, які необхідні для функціонування SIM800С (потужність мінімум 8,5 Вт); SWITCH – електронний ключ на р-канальному MOSFET-транзисторі для вимикання одночасно DC/DC і SIM800С; uC – мікроконтролер STM32F103, який на наступному етапі буде замінено на STM32L1xx, що живиться значно меншим струмом; VD – діод Шоткі для електричної

розв'язки та одночасно доведення напруги живлення мікроконтролера до необхідних 3,3В.

Управління модемним модулем здійснюється за допомогою AT-команд. Розроблені ЗДПД пристрої та веб-платформа дали змогу передавати дані телеметрії щодо споживання природного газу у домогосподарстві.

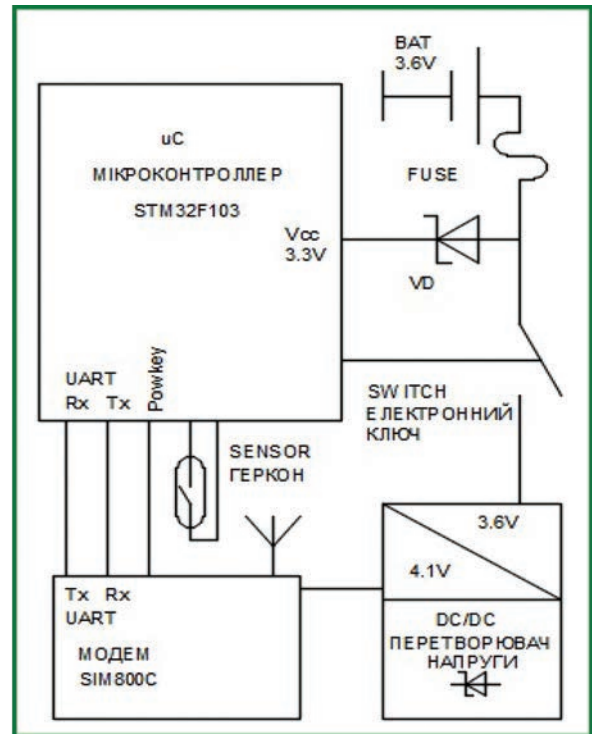


Рис. 4. Принципова схема ЗДПД для тестування клієнт-серверного підходу передавання даних телеметрії щодо спожитого природного газу

Висновки. За результатами виконання роботи можна зробити певні висновки. Так, нині у світі для обліку енергоресурсів поступово переходять до використання засобів дистанційного передавання даних, які базуються на різних видах радіотехнологій: вдосконалені GSM/GPRS, NB IoT, LoRa WAN та інші, які належать до групи так званих LP WAN-технологій або технологій із низьким рівнем енергоспоживання. Істотною особливістю радіотехнологій, які розробляються та плануються до подальшого розповсюдження у цій сфері, є діапазон використовуваних частот і необхідність / відсутність отримання ліцензій на його використання.

Радіотехнології GSM/GPRS та NB IoT потребують ліцензування частот і здебільшого використовуються телекомунікаційними операторами стільникового зв'язку. Технології LoRa WAN та подібні до них використовують неліцензовані діапазони частот. Можна вважати, що радіотехнології GSM/GPRS та NB IoT є більш захищеними з точки зору передавання даних, а також є більш стандартизова-

ними. Технології LoRa WAN та подібні до них розробляються окремими альянсами чи фірмами, що становить певні загрози до їх широкого поширення.

Нині найбільш поширеними та перспективними для використання вважаються технології на основі NB IoT, вдосконаленого GSM/GPRS, на відміну від LoRa WAN. Найбільш перспективною для реалізації ЗДПД для телеметрії енергоресурсів у країнах ЄС є технологія NB IoT. Вважається, що впровадження технології NB IoT найбільш доцільне для смуг частот 900 МГц та 1800 МГц: чим менша радіочастота, тим більший радіус її розповсюдження, що дозволяє охопити більшу територію.

На відміну від технологій NB IoT/(GSM/GPRS), впровадження технології LoRa WAN (та аналогічних до неї) потребує розгортання мережі концентраторів / шлюзів та їх обслуговування. У зв'язку з цим вважається, що найбільш перспективними для реалізації ЗДПД в Україні є технології NB IoT, впровадження яких базуватиметься на розгалужених мережах телекомунікаційних операторів стільникового зв'язку в рамках їх базових станцій без необхідності оновлення апаратної частини (не лише програмної). Діапазони частот, які є можливими для використання, – 1800 МГц, а найбільш прийнятними – 900 МГц.

Особливістю реалізації технології NB IoT в Україні є неврегульованість питання щодо прин-

ципу «технологічної нейтральності», застосування якого передбачає можливість телекомунікаційним оператором використовувати обрану ним на свій розсуд радіотехнологію для діапазону частот, яким він володіє. У разі недотримання цього принципу телекомунікаційний оператор має погоджувати використання радіотехнології (за наявності в оператора дозволу на використання смуги частот 1800 МГц за стандартом GSM може виникнути потреба в узгодженні (покупці) ліцензії на використання технології NB IoT у цій же смузі). Певним обмеженням розповсюдження NB IoT можуть стати значні тарифи телекомунікаційних операторів на обслуговування IoT-пристроїв.

Найбільш перспективним може стати впровадження ЗДПД на основі технології NB IoT (та вдосконаленої GSM/GPRS) на територіях, які покривають вежі телекомунікаційних операторів (у великих містах і населених пунктах). Реалізація технології в пілотних режимах може бути здійснена в режимі Guard-Band у смузі частот 1800 МГц із шириною смуги NB IoT каналу 180 кГц. Впровадження ЗДПД на основі технології LoRa WAN вважається доцільним на територіях, де відсутнє (або ненадійне) покриття існуючої мережі стільникового зв'язку та є необхідним створення нової мережі на основі концентраторів / шлюзів із відповідними витратами на її утримання.

Список літератури:

1. А. Барсков. Сети для IoT: LPWAN. // Журнал сетевых решений. № 11, 2016. URL: <https://www.osp.ru/FileStorage/ARTICLE/>
2. Якушков К.В. Автоматизированные системы коммерческого учета электроэнергии для розничного рынка // Информатизация и системы управления в промышленности (ИСУП). 2009. № 3.
3. Ray P.P. A survey on Internet of Things architectures. Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences. 2016.
4. Philippe Reininger. 3GPP Standards for the Internet-of-Things. Smart Summit Singapore November 2016. Презентація. 2016. 17 с. URL: http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1906-c_10t.
5. NB-IoT and LTE-M: Global Market Status. Буклет асоціації Global mobile Suppliers Association GSA. 2018. 21 с.
6. Jian Hua Wu. CAT-M & NB-IoT Design and Conformance Test. Keysight Technology. Презентація. 2017. 53 с.
7. Evolution from LTE to 5G: Global Market Status. Буклет асоціації Global mobile Suppliers Association GSA. 2018. 19 с.
8. NB-IoT Deployment Guide to Basic Feature set Requirements Version 1.0. Буклет асоціації Global mobile Suppliers Association GSA. 2017. 30 с.
9. SIM800C Hardware Design. Керівництво розробника апаратних схем. 2016 87 с.
10. SIM7000 Hardware Design. V 1.01 Керівництво розробника апаратних схем. 2017. 62 с.

Topal O.I., Liubarets M.I., Pryshchepov Ye.O. SMART METERING TO CONTROL ENERGY RESOURCES CONSUMPTION: KEY COMPONENTS, RADIOTECHNOLOGIES, AND PROSPECTS TO IMPLEMENT IN UKRAINE

A wide implementation of a system to control energy resource consumption based on smart metering can only be done by creating and developing an appropriate advanced measuring infrastructure (AMI) that combines hardware and software (meters, remote transmission, wireless modem, base stations / hubs / gateways; existing cellular networks and/or newly created radio networks; computer networks; software platforms, etc.) and the

relevant principles of its subsystems operation (regulations; telemetry protocols, protocols of applied data processing; standards of application, channel and physical access).

Implementation of smart metering systems will provide daily automated accounting of energy consumption (eg, natural gas) or electricity, will reduce losses and production and technological expenditures, increase the discipline of payments to consumers, reduce the cost of inefficient manual metering, will promote further implementation of energy savings due to in-depth analysis of its consumption by householders.

Highly promising methods of data transmission in smart metering system are ones of remote data transfer sending the readings of energy consumption from wireless modem to the internal network of cellular operators (or other similar radio network) with their subsequent transmission to an IP network of Internet providers (Internet sharing) and further to server platforms (Cloud-based platform). For this reason, it is possible to use existing and promising radio technologies (GSM/GPRS, NB IoT, LoRa WAN and others). At present, remote transmission of telemetry data is becoming widespread in the world, including through the development of Internet of Things technology.

At the same time, the creation of an advanced measuring infrastructure is a complex problem and requires the integration of various components and structural elements into a single complex AMI-solution. In view of the above the objective of the work was to determine the essential features of each component of AMI, to analyze the features of the use of hardware and radio technologies, Internet technologies (e-platforms), which should be a single measuring complex. The article also provides recommendations for the implementation of smart metering systems for energy accounting in Ukraine.

Key words: *energy resources, control, smart metering, IoT, radio technologies.*