

# КІБЕРНЕТИКА та КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.388+681.5.08

DOI:10.34229/2707-451X.23.4.8

О.В. БАГАЦЬКИЙ, В.О. БАГАЦЬКИЙ

## ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ДАВАЧІВ ІОТ

**Вступ.** Термін «Інтернет речей» (англ. Internet of Things, IoT) вперше використав Кевін Ештон у 1999 році під час презентації для фірми *Procter and Gamble*, для опису системи, в якій фізичні об'єкти з давачами радіочастотної ідентифікації (*RFID*) могли бути з'єднані з мережею Інтернет. Така система давала можливість у корпоративних системах поставок відстежити товари без потреби в людському втручанні [1].

Інтернет речей це концепція *мережі* передачі даних між фізичними об'єктами («речами»), оснащеними вбудованими засобами і технологіями для взаємодії одним з одним чи із довкіллям.

У теперішній час системи IoT включають будь-які давачі, які перетворюють фізичні параметри об'єкта у цифровий вигляд для передавання через мережу Інтернет без участі людини. Через Інтернет можливо також керувати об'єктом без участі людини.

Практична реалізація систем IoT потребує розробки або використання існуючих *засобів ідентифікації* об'єкта та його параметрів, *давачів та засобів вимірювання* для отримання даних та *засобів первинної обробки і передавання даних* для організації за певними протоколами безпосередньо мережі. Якщо система IoT виконана у формі бездротової сенсорної мережі (БСМ), то критичним моментом є розробка *автономної системи живлення* та перелічених засобів з мінімальним енергоспоживанням.

Тому для створення конкретних систем IoT необхідні спеціалісти з розробки засобів ідентифікації, вимірювання, систем живлення, передавання даних та спеціалісти первинної обробки даних у конкретній галузі діяльності, для якої призначена система IoT. Авторів роботи передусім цікавили метрологічні характеристики аналогових та аналого-цифрових каналів перетворення даних, які забезпечують системи IoT достовірними даними у цифровому вигляді для передавання через Інтернет.

*Робота присвячена огляду та аналізу параметрів давачів, які пов'язують системи Інтернет речей (IoT) з об'єктами довкілля. В IoT використовується широкий клас засобів вимірювання, від елементарних давачів (наприклад, температури, тиску, освітленості), приладів обліку споживання (таких як інтелектуальні лічильники) до складних інтегрованих вимірювальних систем. Наведено параметри 30 типів давачів для IoT, з них 2 типи давачів температури та вологості, 2 типи давачів тиску, 13 давачів, які вимірюють потік та кількість газу або рідини, 2 типи давачів акселерометрів, 10 давачів наближення та руху та 1 давач шуму.*

**Ключові слова:** інтернет речей, мережа, огляд, аналіз, давачі, об'єкт, метрологія.

© О.В. Багацький, В.О. Багацький, 2023

Використовується широкий клас засобів вимірювання, від елементарних давачів (наприклад, температури, тиску, освітленості), приладів обліку споживання послуг (таких як інтелектуальні лічильники) до складних інтегрованих вимірювальних систем. Елементарні давачі називаються сенсорами, вони мають метрологічні параметри та атестуються державною метрологічною службою у складі вимірювальних каналів або приладів вимірювальних систем.

В роботах [2, 3] є короткі переліки найбільш розповсюджених давачів ІОТ, але, на жаль, в них відсутні систематизовані параметри.

В переліку давачів та їх параметрів, які наведені далі, присутні сенсори, давачі БСМ та вимірювальні пристрої з наведеними метрологічними, мережевими та технічними параметрами. Єдиної системи параметрів немає, кожен давач має свій перелік параметрів.

**Мета роботи.** Зробити огляд та виконати аналіз характеристик найбільш розповсюджених сучасних давачів для ІОТ.

#### **Давачі температури і вологості**

**Промислові давачі вологості Sentiur<sup>TM</sup> RS1xx** [4] – це інтегровані бездротові сенсорні платформи з живленням від батареї, які призначені для систем управління холодильниками та безпекою харчових продуктів у них, вимірювання вологості в сільському господарстві, систем промислового опалення та охолодження, моніторингу навколишнього середовища.

RS1xx має інтегрований сенсор температура/відносна вологість, оснащений зовнішнім магнітним герконовим перемикачем із рівнем захисту за IP67, використовується також для виявлення та повідомлення про стан дверей відкрито/закрито.

Зовнішні давачі температури Sentiur RS1xx та інтегровані давачі температури і вологості RS1 мають можливість локального підключення до смартфонів і планшетів.

В давачах RS1xx використовуються чипсети Semtech SX1272 (LoRaWAN) і Nordic nRF51822 (Bluetooth).

#### *Мережеві характеристики:*

- діапазон LoRaWAN на частотах 868 МГц, 915 МГц і 923 МГц, на відстані 10 миль;
- BLUETOOTH Low Energy (BLE). для локального відображення даних та налаштування;
- підключення до смартфонів та планшетів на частоті 2,4 ГГц.

**Давач DHT22/AM2302** [5] використовується для вимірювання температури та вологості повітря з підвищеною точністю. Передавання даних виконується по одному дроту з використанням власного протоколу. Може бути використаний у пристроях на базі Arduino, AVR, PIC, ARM та ін.

Для роботи з Arduino існують готові бібліотеки. Від давачів DHT11 відрізняються більшою точністю та розширеними діапазонами вимірювання. Схема підключення та протокол ті ж самі.

#### *Метрологічні характеристики:*

- діапазон температур:  $-40...+80$  °C;
- похибка вимірювання температури:  $\pm 0.5$  °C;
- діапазон вологості: 0 – 100 %;
- похибка вимірювання вологості:  $\pm 2$  %;
- частота дискретизації: не більше 0,5 Гц.

#### *Енергоспоживання та конструкція:*

- напруга живлення : 3,5...5,5 В;
- максимальний струм споживання 2,5 мА (під час запиту даних);
- розмір корпусу 27 мм x 59 мм x 13,5 мм;
- 4 контакти, відстань 0,1 дюйма;
- вага (лише DHT22): 2,4 г.

### Давачі тиску для IoT

**Бездротовий двонаправлений диференціальний прецизійний давач тиску NCD IoT з вбудованим давачем температури** [6] призначений для вимірювання у промислових умовах тиску таких газів, як повітря, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, неконденсованих та інертних газів. У нього входить медичний давач тиску високої роздільної здатності серії SDP8XX, який вимірює тиск і температуру через певні проміжки часу, які визначаються споживачем.

#### *Метрологічні характеристики:*

- діапазон тиску до..... ±500 Па (±2 дюйма H<sub>2</sub>O / ±5 мбар);
- роздільна здатність за тиском до ... 0,03 Па;
- роздільна здатність ..... < 0,02 Па;
- діапазон робочих температур від ..... -20° до +85° C;
- роздільна здатність за температурою..... 2°С.

#### *Мережеві характеристики:*

- діапазон 2 милі з вбудованою антеною 900 МГц;
- діапазон LOS до 28 милі на частоті 900 МГц з додатковою антеною з високим коефіцієнтом підсилення;
- інтерфейс до Amazon AWS, Losant, Microsoft Azure і Node-Red;
- підключення до сітчастої бездротової мережі за допомогою DigiMesh®;
- відкритий комунікаційний протокол для користувальницьких інтерфейсних програм.

#### *Безпека:*

- дані, що передаються, шифруються за допомогою 128-бітного ключа шифрування AES-128.

#### *Живлення:*

з двома батарейками типу AA розрахований на 500 000 бездротових передач. Залежно від умов навколишнього середовища та інтервалу передачі даних – 10 років роботи без заміни батарейок. Додатково давач може мати зовнішнє живлення.

**Одноразовий п'єзорезистивний медичний сенсор тиску MEAS 1620** [7] призначений для одноразового використання в інвазивному моніторингу артеріального тиску. Він розташовується в одноразовому корпусі капсули для вимірювання артеріального тиску клієнта.

Сенсор розроблено відповідно до вимог специфікації Асоціації з удосконалення медичної апаратури (ААМІ) для сенсорів артеріального тиску і складається з чутливого елемента тиску, встановленого на керамічній підкладці. Товстоплівкові резистори на керамічній підкладці обрізаються лазером для компенсації та калібрування.

Пластиковий ковпачок прикріплений до керамічної підкладки, щоб забезпечити простий спосіб кріплення до збірки замовника та захист чутливого елемента. Діелектричний гель поміщений на сенсор, щоб забезпечити електричну і рідинну ізоляцію.

Сенсори тиску MEAS 1620 виготовляються серійно у масиві 120 одиниць на керамічній підкладці.

#### *Метрологічні характеристики:*

- діапазон тиску (мм рт. ст.): -50 – 300;
- діапазон перевіреного тиску: 125 psi;
- вихід/діапазон: чутливість = 5 мкВ/В/мм рт.ст.

#### **Сенсори потоку та кількості газу**

Давачі або сенсори потоку [8] вимірюють або перетворюють в аналогову величину швидкість потоку газоподібних або рідких середовищ. Вимірювання є надійними тому що пристрої не мають механічних компонентів, які зношуються, а також містять пристрої вимірювання температури.

Можливо контролювати і виявляти на ранніх стадіях відхилення від індивідуальних порогових значень, які можуть призвести до погіршення якості, пошкодження або простоїв.

Давачі потоку фірми Autosen можуть використовуватися у технологічних процесах, інженерних розробках та на виробництві.

Електронні давачі потоку охоплюють широкий спектр застосувань, починаючи від простого моніторингу граничних значень і закінчуючи точним визначенням витрат. Давачі потоку фірми Autosen існують у вигляді давачів потоку та витратомірів.

Давачі потоку Autosen базуються на трьох різних принципах вимірювання: калориметричному (AS001/AS005), електромагнітному (AS002-AS004) і вихровому (AS006-AS010).

**Калориметричні витратоміри**, до яких належить давач AS001, є термальним витратоміром. Наконечник сенсора давача розміщується безпосередньо у трубі в контакт з середовищем. У середині зонда є два давачі температури. Один давач нагрівається, інший використовується як опорний. Якщо середовище, швидкість якого вимірюється, тече через трубу, тепло відводиться від нагрітого давача температури, і різниця температур змінюється як функція швидкості потоку. Якщо середовище знаходиться у спокої, різниця температур між нагрітим давачем і еталонним дорівнює нулю. Індикація вимірних витрат речовини здійснюється на рідинно-кристалічну стрічку.

**Сенсор AS005** це сенсор швидкості потоку речовини, у якого немає підсумовувача, вихід аналоговий, з комутацією. Калориметричні давачі не рекомендовані для вимірювань швидкості потоку речовини, якщо її температура змінюється. Використовуються для вимірювань швидкості потоку та витрат надчистих рідких та газоподібних середовищ, моніторингу мішалок, контурів охолодження, як сухий захист насоса, для контролю потоку в трубах.

**Вихрові витратоміри** засновані на принципі вихрового потоку Кармана.

У трубі, через яку тече середовище, та/або в спеціальній вимірювальній трубі встановлено перегородку, за якою струмінь середовища створює вихор. Зворотні вихори створюють місцеві різниці тиску і вимірюються п'єзоелементом. Давач розраховує швидкість потоку на основі кількості імпульсів тиску, що виникають за одиницю часу.

Вихрові витратоміри застосовуються для води, водогліколевих сумішей і теплоносіїв.

**Давачі Autosen AS006-AS010** це вихрові давачі, які не мають комутованого та імпульсного виходів і не підходять для середовищ, в яких змінюється в'язкість.

**Електромагнітний давач витрати (MID).**

Принцип роботи електромагнітних давачів витрати ґрунтується на законі індукції Фарадея. Вони складаються з металевої вимірювальної трубки з внутрішнім електроізоляційним покриттям і двох вимірювальних електродів, розташованих поперек магнітного поля. Середовище, швидкість якого буде вимірюватися, повинне мати мінімальну провідність 20 мкСм/см.

Провідне середовище тече через магнітне поле під прямим кутом. Вимірювальні електроди, розташовані поперек магнітного поля, виявляють напругу, створювану індукцією. Напруга, що виникла у провіднику, пропорційна швидкості провідника. Таким чином витратомір розраховує швидкість потоку середовища.

Принцип вимірювання не залежить від температури середовища, коливань тиску та його складу. Повинні бути дотримані лише наступні основні умови: електропровідні рідкі середовища повинні мати такі параметри: провідність:  $\geq 20$  мкСм/см; в'язкість: 70 мм<sup>2</sup>/с при 40 °С.

**Давачі AS002, AS003 і AS004 є електромагнітними витратомірами.**

Електромагнітні витратоміри оптимально підходять для вимірювань швидкості та витрат води, стічних вод, інших електропровідних або забруднених середовищ.

Витратоміри MID не підходять для масла, вуглеводнів, розчинів не на водній основі, деіонізованої воді.

Деякі технічні дані сенсорів та давачів наведені в табл. 1.

ТАБЛИЦЯ 1

Тип давача	Аналоговий вихід	Діапазон витрат	Температурний діапазон	Діапазон тиску
AS001	No	3...300 cm/s	2...80°C	300 bar
AS002	4...20mA/ 0...10 V	0.1...25 l/min	-20...80°C	16 bar
AS003	4...20mA/ 0...10 V	0.2...50 l/min	-20...80°C	16 bar
AS004	4...20mA/ 0...10 V	0.2...100 l/min	-20...80°C	16 bar
AS005	4...20 mA	0.04...3 m/s	-20...90°C	100 bar
AS006	4...20 mA	0.9...15 l/min	-25...125°C	12 bar (up to 40 °C)
AS007	4...20 mA	1.8...32 l/min	-25...125°C	12 bar (up to 40 °C)
AS008	4...20 mA	3.5...50 l/min	-25...125°C	12 bar (up to 40 °C)
AS009	4...20 mA	5.0...85 l/min	-25...125°C	12 bar (up to 40 °C)
AS0010	4...20 mA	9.0...125 l/min	-25...125°C	12 bar (up to 40 °C)

**Модуль побутового ультразвукового лічильника газу USM-G2.5M/G4M [9]** використовує запатентований L-подібний канал потоку газу, в якому ефективна відстань між двома перетворювачами досить велика, що сприяє точності та стабільності вимірювання. Модуль застосовується у побутових лічильниках природного газу. Модуль не має механічних рухомих частин, тому відсутній механічний знос та забезпечена безшумна робота.

У модуля є засоби для вимірювання температури.

Відповідає OIML R137 і EN14236 клас 1.5.

*Метрологічні характеристики:*

- діапазон вимірювань: USM-G2.5M: 0.025~4 m<sup>3</sup>/h ; USM-G4M: 0.04~6 m<sup>3</sup>/h ;
- точність: Клас 1.5;
- відносна похибка: ±3 %; ±1.5 %;
- робочий тиск: 0~50kPa / 0 температури~7.25psi;
- втрата тиску: 200 pA/0,029 psi або менше.

*Технічні параметри:*

- напруга живлення: 3~3.6 VDC;
- споживання енергії: MAX: 350mAh/рік (40uA/h);
- температура зберігання: -30°C~70°C;
- робоча вологість: ≤95% RH без конденсації.

*Мережеві характеристики:*

- UART/TTL інтерфейс з прямим виходом для підключення.

**Давач потоку рідини типу SLF3S-4000B [10]** призначений для вимірювання потоку води.

*Метрологічні характеристики:*

- максимальна швидкість потоку (H<sub>2</sub>O).....600000 .... мкл/хв.;
- точність (H<sub>2</sub>O)..... 5 %;
- повторюваність (H<sub>2</sub>O)..... 0,5 %.

*Технічні параметри:*

- максимальний робочий тиск..... 3 бар;

- напруга живлення..... 3,2 – 3,8 В;
- максимальний струм живлення..... 6 мкА;
- розмір корпусу (ДхШхВ).... 48 x 15,5 x 8,6 мм<sup>3</sup>.

*Мережеві характеристики:*

- інтерфейси..... І<sup>2</sup>С, RS485.

**Високоточний, швидкий мультигазовий давач SFM5400 [11].**

*Метрологічні характеристики:*

- діапазони витрат..... 0,05, 0,1, 0,2, 0,5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 см<sup>3</sup>;
- точність..... 0,08 % повної шкали або 0,8 % вим.;
- калібрування..... Потік: повітря, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Ar, CO<sub>2</sub>, He, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub> та C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>.

*Технічні параметри:*

- максимальний робочий тиск... 10 бар;
- порти рідинного роз'єму.....Swagelock, VCO, VCR, Downmount;
- напруга живлення..... 14 – 26,4 В;
- середній струм живлення.....50000 мкА;
- максимальний струм живлення...320000 мкА;
- розмір корпусу (ДхШхВ).....101,1 x 24,4 x 91 мм<sup>3</sup>.

*Інтерфейс:*

- інтерфейси .....аналогова напруга, аналоговий струм, мережа пристрою, ІО link, RS485;
- бібліотека програм LabVIEW, С, С# SFc5xxx/SFM5xxx;
- програмне забезпечення 06/2022 MSI 1.7 MB.

**Давачі акселерометра та гіроскопи**

**Триосьові цифрові акселерометри Kionix / ROHM Semiconductor KX [12]** це кремнієві мікромашинні мікросхеми (MEMS). Сенсорний елемент виготовляється за допомогою технології плазмової мікрообробки Kionix і герметично закривається на рівні пластини шляхом приєднання другої кремнієвої пластини-кришки до пристрою за допомогою скляної пасти.

Окремий пристрій ASIC, укомплектований сенсорним елементом, забезпечує формування сигналу та цифровий зв'язок або обробку даних за допомогою запрограмованих користувачем прикладних алгоритмів.

Для підтримки постійної внутрішньої робочої напруги живлення використовуються стабілізатори напруги. Завдяки цьому акселерометри KX Tri-Axis характеризуються стабільними робочими характеристиками у діапазоні входних напруг живлення та невеликою систематичною похибкою.

Цифровий протокол І<sup>2</sup>С або SPI використовується для зв'язку з мікросхемою, щоб налаштувати частину та виходи моніторингу.

Акселерометри виробляються в корпусі SMD для поверхневого монтажу.

*Технічні характеристики:*

- корпус LGA;
- діапазон входного живлення від 1,71 В до 3,6 В;
- діапазон робочих температур від –40°С до +85°С.

Технічні характеристики для різних типів мікросхем наведені в табл. 2.

ТАБЛИЦЯ 2.

Тип м/с	Діапазон прискорення	Чутливість	Роздільна здатність	Споживаний струм
KX134-211	8 g, 16 g, 32 g, 64 g	4096 counts/g	8 bit, 16 bit	148 uA
KXTJ3-057	2 g, 4 g, 8 g, 16 g	8 counts/g to 1024 counts/g	8bit, 12 bit, 14 bit	155 uA
KX132-211	2 g, 4 g, 8 g, 16 g	16384 counts/g	8 bit, 16 bit	148 uA
KX224-053	8 g, 16 g, 32 g	4096 counts/g, 2048 counts/g, 1024 counts/g	8 bit, 16 bit	145 uA

**Акселерометр з невеликою споживаною потужністю ADXL335** [13] – це триосьовий акселерометр з аналоговим виходом і діапазоном вимірювання  $\pm 3$  g. Невеликий розмір (1 дюйм x 1 дюйм) окремої плати дозволяє легко монтувати акселерометр до наявної системи без необхідності додаткового обладнання та з мінімальним впливом на продуктивність системи та акселерометра.

Призначений для побудови давачів та акселерометрів.

*Технічні характеристики:*

- однополярне живлення: від 1.8 В до 3.6 В;
- невеликий споживаний струм: 350 мкА, тип.;
- корпус LFCSP, 4 мм × 4 мм × 1.45 мм.;
- витримує ударні навантаження до 10000 g;
- задовільна температурна стабільність;
- регулювання ширини полоси за допомогою конденсатора на одну вісь;
- відповідає вимогам RoHS/WEEE.

#### **Давачі наближення**

**Бездротовий світловий давач IoT Long Range від NCD типу VCNL 4010** [14], який містить давач наближення та зміни зовнішнього освітлення, а також модуль передавача типу Digi 900HP-S3B. Давач призначено для використання у бездротових пристроях безпеки, бездротовому визначенню близькості для стійок і панелей, автоматизації входу з сервера, бездротовому оптичному комутаторі для побутових, обчислювальних або промислових пристроїв, бездротовому керуванні затемненням, безконтактних перемикачах, автоматизації стикувальних дверей за допомогою Proximity, формуванні даних для AWS/Azure.

Давач має додаткову функцію визначення зміни близькості та навколишнього освітлення кожні 3 секунди (налаштовується на заводі) і надсилає дані, якщо зміна перевищує 10 % (налаштовується на заводі).

Давач може перебувати у режимі «сон» або «формування та надсилання даних» для мінімізації споживання енергії.

*Метрологічні характеристики:*

- бездротова близькість промислового класу та давач навколишнього світла з роздільною здатністю 16 біт;
- відстань близькості: до 200 мм;
- швидкість оновлення даних про близькість: 32 відліків/сек.;

- діапазон навколишнього світла: від 0,25 до 16 кл.;
- швидкість оновлення даних про навколишнє світло: 3 відліків/сек.;
- автоматична передача вибірки на близькість або виявлення зміни навколишнього світла на 10 % : кожні 3 сек. (налаштовується на заводі).

*Мережеві характеристики:*

- відстань передавання даних: 2 милі з антеною давача;
- максимальна відстань передавання даних – до 28 миль (з спеціальними антенами);
- можливість підключення до Raspberry Pi, Microsoft Azure, Arduino та ін.;
- прикладне програмне забезпечення для Visual Studio та LabView;
- підключення до бездротової mesh-мережі за допомогою Digimesh®;
- 256 давачів у мережі;
- протокол відкритого зв'язку для спеціальних програм взаємодії;
- невеликий розмір (3 × 3 дюйма);
- два режими роботи;
- режим конфігурації для налаштувань давача та мережі;
- тривалість сну, що налаштовується: від 0 до 500 000 передач від 2 батарей типу AA;
- режим API X-Bee, який використовується для надійного зв'язку;
- функція валідації втрачених пакетів;
- передається статус акумулятора у режимі реального часу;
- альфа-станція – програмне забезпечення давача та управління для Windows за допомогою Visual Studio;
- наявність документації до бездротового давача;
- конфігураційні файли модуля бездротового зв'язку.

**Двоканальний індуктивний давач (LDC1612)** побудований на 28-бітній індуктивності цифрового перетворювача фірми Texas Instruments LDC1612 для вимірювання індуктивності. Індуктивність спричинена магнітним полем провідника, по якому тече струм, що діє на провідник. Отже, вимірюючи індуктивність, цей давач може виявити близькість провідників, особливо металу.

2 канали з відповідними давачами дозволяють компенсувати похибки із-за зміни параметрів навколишнього середовища та старіння.

Давач призначений для використання у ручках у техніці та автомобілях, лінійних та обертових кодерах, кнопках у домашній електроніці, виробництві та автомобілях, клавіатурі, виявленні металів, POS і EPS, лічильниках потоку в приладах споживача.

*Метрологічні параметри:*

- найкраща роздільна здатність: 15 мм.

*Конструкція та енергоспоживання:*

- параметри котушки: діаметр: 16 мм/ обертів: 20;
- напруга живлення: 3.3 В / 5 В;
- температура стику: –55 ~ 150 °С;
- діапазон частот давачів: 1 кГц ~ 10 МГц;
- вага: 12 г.;
- інтерфейс I2C.

**12 двопозиційних ємнісних сенсорних давачів I2C V2 (MPR121)** – це модуль 3-в-1 з такими функціями: вимірювання ємності, контролю дотику та контролю близькості.



Модуль вимірює ємності на постійному струмі. Він може вимірювати ємність від 10 pF до понад 2000 pF з роздільною здатністю до 0,01 pF.

Контроль дотику: після отримання даних про ємність електрода визначається статус дотику/вивільнення електрода, шляхом порівняння його з базовим значенням ємності.

Контроль близькості: одна нова особливість MPR121 – це система контролю близькості. Це означає, що всі електроди системи можна підключити паралельно для створення єдиного великого електрода.

Давач Freescale MPR121 має 12 незалежних електродів. Завдяки інтерфейсу I2C можливо виявити всі 12 сигналів електродів лише через один порт Grove, а адреса I2C налаштована на апаратне забезпечення від 0x5b до 0x5d.

За допомогою декількох ключових ємнісних давачів I2C Touch V2 (MPR121) можливо створити сенсорну систему, яка містить до 36 електродів.

Давач призначено для периферійних пристроїв ПК, MP3 – плеєрів, дистанційного управління, мобільних телефонів, управління освітленням.

*Метрологічні характеристики:*

- внутрішній 10-бітний АЦП;
- діапазон ємності: від 10 pf до 2000 pf.;
- роздільна здатність 0,01 pf.;
- інтегроване незалежне автокалібрування для кожного електроду;
- окремі пороги дотику та відпускання для кожного електроду, які забезпечують незалежний для кожного електрода гістерезис.

*Живлення та енергоспоживання:*

- робоча напруга 3.3 В / 5 В ;
- струм нуля GPIO на виводі 12 мА;
- струм одиниці GPIO на виводі 1,2 мА;
- робоча температура –40 ° С до +85 ° С;
- діапазон температури зберігання –40 ° С до +125 ° С.

*Інтерфейс:*

- інтерфейс I2C;
- діапазон адресів I2C ADDRSS 0x5b, 0x5c, 0x5d;
- за замовчуванням адреса I2C 0x5b.

**Ультразвуковий давач Ultrasonic** – це безконтактний модуль вимірювання відстані, який працює на частоті 42 кГц, використовується для вирішення задач, що потребують вимірювання середньої відстані.

*Метрологічні характеристики:*

- діапазон вимірювання: 3–400 см;
- роздільна здатність: 1 см.

*Живлення та енергоспоживання:*

- робоча напруга 3.3 ~ 5В;
- робочий струм 15 мА;
- ультразвукова частота 42 кГц;
- вихідна ШІМ.

**Інфрачервоні давачі вимірювання відстані** за допомогою лазера вимірюють відстані між собою та будь-якою твердою поверхнею без контакту. Точність таких вимірювань досягає кількох міліметрів.

Інфрачервоні давачі LDM можуть використовуватися для широкого спектру застосувань, у жорстких промислових умовах та протягом тривалого періоду часу.

Технічні характеристики давачів наведені в табл. 3.

ТАБЛИЦЯ 3

Тип	LDM4x	LDS10A	LDS30A	LDS70A	LDM301A
Принцип вимірювань	Phase shift comparison	Pulsed time-of-flight			
Діапазон вимірювань без відбиття	0.1 m ... 30 m	0.1 m ... 10 m	0.2m...30 m	0.2 m ... 70 m	0.5m ... 300m
Максимальний діапазон з відповідним відбиттям	100 m	40 m	250 m	270 m	3000 m
Точність вимірювань	± 2 mm	± 50 mm	± 60 mm (2 kHz) ± 20 mm (100 Hz)	± 60 mm (2 kHz) ± 20 mm (100 Hz)	≤ ± 50 mm
Джерело світла	650 nm visib., red Laser	850 nm, invisib., IR LED	905 nm, invisible, IR Laser		
Клас лазера (EN60825-1:2014)	2	–	1	1	1
Лазерне відхилення	0.6 mrad	3° (receiver)	3 mrad × 1 mrad	2 mrad × 0,4 mrad	1.7 mrad
Послідовний зв'язок	RS232 or RS422	RS485 Modbus/RTU	RS232 or RS422	RS232, RS422 (selectable)	RS232 or RS422

### Давач шуму

**Давач шуму типу Ranos dB 1** [15] призначений для визначення рівня шуму в аудіо діапазоні у приміщеннях та в навколишньому середовищі.

У функціональному відношенні давач складається з електретного мікрофону, мікросхеми DSP, внутрішнього годинника, схеми геолокації ublox GPS, мікросхеми радіопередавача RN2483, системи живлення від сонячної панелі та свинцевого акумулятора. Крім того, давач може живитися від роз'єму USB.

GPS використовується для синхронізації внутрішнього годинника. Час надсилається безпосередньо разом із виміряними значеннями шуму. Свинцевий акумулятор має регулятор заряду.

Конструктивно давач складається з корпусу, сонячної панелі, електретного мікрофону, який може зніматися з корпусу з комплектом кабелів різної довжини, встановленої на корпусі антени. Корпус виготовлений з спеціальної пластмаси типу HIPS UL94-V0, яка стійка до зміни параметрів

зовнішнього середовища та легко утилізується. На корпусі є роз'єм порту USB для підключення мобільного телефону та зовнішнього живлення, є також кнопка для включення або відключення мікрофона.

Корпус водонепроникливий, має вентиляційні отвори та 3 монтажні пристрої для кріплення корпусу на стовп, на стіну, на стільницю. Розмір сонячної панелі адаптується до енергоспоживання давача. Якщо енергії не вистачає, можливо зменшувати кількість вимірів в одиницю часу. Тип мікрофона – «електретний конденсаторний мікрофон», а спрямованість – всенаправлена.

*Метрологічні характеристики:*

- діапазон вхідних частот: 20 Гц – 20 кГц;
- частотне зважування: А і С;
- зважування часу: Швидко, повільно, Lseq;
- динамічний діапазон 33 – 121 дБ;
- одиниці вимірювання: LAeq, LSeq, дБ(А)швидко, дБ(А)повільно, дБ(С)швидко, дБ(С)повільно;
- регульований інтервал вимірювань;
- частота дискретизації DSP: 48 кГц;
- сертифікований клас: 1 згідно з ІЕС 61672;
- калібрування частотної характеристики: Калібрована частотна характеристика / кінцева імпульсна характеристика (FIR).

*Мережеві характеристики:*

- сумісність з LoRaWAN™;
- діапазон частот EU868, US915, AS923;
- клас С;
- додаток DSS Connect;
- атрибут GPS u-blox M8 GNSS;
- геолокація Lat, dol.

*Технічні характеристики:*

- ефективна номінальна потужність 170 мВт;
- тип батареї Sealed Lead Acid;
- матеріал корпусу НІРС UL94-V0;
- захист від зовнішніх впливів: IP67;
- вага 4350 грам;
- глибина 252 мм;
- ширина 246 мм;
- висота 193 мм;
- об'єм 6,8 дм<sup>3</sup>;
- площа 0,23 м<sup>2</sup>;
- робоча температура –10 ~ +60 °С;
- робоча вологість 0 ~ 95% RH, без конденсації.

## **Висновки**

1. Наведено параметри 30 типів давачів для ІоТ, з них 2 типи давачів температури та вологості, 2 типи давачів тиску, 13 давачів, які вимірюють потік та кількість газу або рідини, 2 типи давачів акселерометрів, 10 давачів наближення та руху та 1 давач шуму.

2. Серед них 4 давачі для бездротових сенсорних мереж (БСМ), медичний одноразовий сенсор для внутрішнього вимірювання тиску крові, давачі для калориметричного, вихрового та елект-

ромагнітного вимірювання потоку та кількості газу або рідини, акселерометри на базі MEMS мікросхем, ємнісні, ультразвукові, інфрачервоні вимірювачі наближення та руху, прилад вимірювання рівня шуму в діапазоні звукових коливань.

3. Для давачів типів Sentiur<sup>TM</sup> RS1xx, ADXL335 взагалі не наводяться метрологічні характеристики, у кращому випадку (давачі MEAS 1620, AS002x, KX132-xxx, Ultrasonic) є тільки діапазон вимірювань та роздільна здатність.

4. За величиною роздільна здатність давачів коливається від 8 біт до 16 біт з частотою дискретизації сигналу від 0,5 Гц до 48 кГц. Є навіть мікросхема цифрової індуктивності типу LDC1612 з роздільною здатністю 28 біт.

5. Давачі для БСМ призначені для роботи з протоколами в DigiMesh, LoRaWAN та Arduino, Raspberry.

6. У багатьох давачах застосовуються послідовні інтерфейси RS 232, RS 432, I2C.

#### Список літератури

1. Ashton K. That 'Internet of Things' Thing. In the real world, things matter more than ideas. *RFID Journal* (June 22, 2009). <https://www.itrco.jp/libraries/RFIDjournal-That%20Internet%20of%20Things%20Thing.pdf>
2. Macharla M. List of Commonly used Sensors in the Internet of Things (IoT) Devices you need to know. *Sensors*. Sep. 14, 2020. <https://iot4beginners.com/commonly-used-sensors-in-the-internet-of-things-iot-devices-and-their-application/>
3. Pelaez A. 12 IoT Sensor Types To Keep An Eye On [With Examples]. *Devices and Sensors, Hardware*. April, 16, 2020. <https://ubidots.com/blog/iot-sensor-types/>
4. Laird Connectivity Sentiur<sup>TM</sup> RS1xx Industrial Humidity Sensors. <https://eu.mouser.com/new/laird-connectivity/laird-rs1-humidity-sensors/> (звернення: 17.08.2023)
5. Temperature sensor DNT-22 Asair AM2302. <https://www.mini-tech.com.ua/datchik-temperature-i-vlzhnosti-dht22> (звернення: 17.08.2023)
6. IoT Long Range Wireless Precision Pressure Sensor Bidirectional Differential. <https://store.ncd.io/product/iot-wireless-precision-pressure-sensor-bidirectional-differential/> (звернення: 17.08.2023)
7. MEAS 1620 Pressure Sensors for Medical Applications. <https://www.te.com/usa-en/plp/pressure-sensors-1620-medical-applications/YG2A8Xoye8mU8Ae.html> (звернення: 17.08.2023)
8. The right flow velocity sensor for each application. [https://autosen.com/en/Process-Sensors/Flow-sensors?gclid=EAJaIQobChMlo\\_rwj](https://autosen.com/en/Process-Sensors/Flow-sensors?gclid=EAJaIQobChMlo_rwj) (звернення: 17.08.2023)
9. Ultrasonic Gas Meter And Module. <https://en.gassensor.com.cn/UltrasonicGasMeterAndModule/list.html> (звернення: 17.08.2023)
10. Liquid flow sensing on a new level: flow rates up to 1l/min. <https://sensirion.com/products/catalog/SLF3S-4000B/> (звернення: 17.08.2023)
11. Sfm5400 Datasheet, PDF - Datasheet, Pdf and Online Shop. <https://sensirion.com/products/catalog/SFM5400> (звернення: 17.08.2023)
12. Kionix / ROHM Semiconductor KX Tri-Axis Digital Accelerometers. <https://ro.mouser.com/new/rohm-semiconductor/kionix-kx-tri-axis-accelerometers/> (звернення: 17.08.2023)
13. ADXL335 Miniature, which is not consuming a three-axle accelerometer, measurement range  $\pm 3$  g. <https://www.analog.com/ru/products/adxl335.html#product-overview> (звернення: 17.08.2023)
14. IoT Long Range Wireless Proximity and Light Sensor. <https://www.google.com/search?q=IoT+Long+Range+Wireless+Proximity+and+Light+Sensor&ie=utf-8&oe=utf-8> (звернення: 17.08.2023)
15. Measurement accuracy according to IEC 61672-1:2014 Class 1\* Out-of-the-box solution for the professional market. <https://www.iotsoundsensor.com/product/ranos-db-1/> (звернення: 17.08.2023)

Одержано 22.08.2023

**Багацький Олексій Валентинович,**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник  
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,

**Багацький Валентин Олексійович,**

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник  
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ.

[bagatskijva@gmail.com](mailto:bagatskijva@gmail.com)

УДК 004.388+681.5.08

**О.В. Багацький, В.О. Багацький \***

## **Огляд та аналіз характеристик датчиків IoT**

*Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ*

\* *Листування:* [bagatskijva@gmail.com](mailto:bagatskijva@gmail.com)

Інтернет речей (IoT) є концепцією *мережі* передачі даних між фізичними об'єктами («речами»), оснащеними вбудованими засобами і технологіями для взаємодії одним з одним чи із довкіллям.

Робота присвячена огляду та аналізу параметрів датчиків, які пов'язують системи IoT з об'єктами довкілля.

Наведено параметри 30 типів датчиків для IoT, з них 2 типи датчиків температури та вологості, 2 типи датчиків тиску, 13 датчиків, які вимірюють потік та кількість газу або рідини, 2 типи датчиків акселерометрів, 10 датчиків наближення та руху та 1 датчик шуму.

Серед них 4 датчачі для бездротових сенсорних мереж (БСМ), медичний одноразовий сенсор для внутрішнього вимірювання тиску крові, датчачі для калориметричного, вихрового та електромагнітного вимірювання потоку та кількості газу або рідини, акселерометри на базі MEMS мікросхем, ємнісні, ультразвукові, інфрачервоні вимірювачі наближення та руху, прилад вимірювання рівня шуму в діапазоні звукових коливань.

Для деяких датчиків взагалі не наводяться метрологічні характеристики, у кращому випадку є тільки діапазон вимірювань та роздільна здатність.

За величиною роздільна здатність коливається від 8 біт до 16 біт з частотою дискретизації сигналу від 0,5 Гц до 48 кбіт/с. Є навіть мікросхема цифрової індуктивності типу LDC1612 з роздільною здатністю 28 біт.

Датчачі для БСМ призначені для роботи з протоколами в DigiMesh, LoRaWAN та Arduino, Raspberry.

У багатьох датчачах застосовуються послідовні інтерфейси RS 232, RS 432, I2C.

**Ключові слова:** інтернет речей, мережа, огляд, аналіз, датчачі, об'єкт, метрологія.

UDC 004.388+681.5.08

**Oleksiy Bahatskji, Valentyn Bahatskji \***

## **Review and Analysis of the Characteristics of IoT Sensors**

*V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Kyiv*

\* *Correspondence:* [bagatskijva@gmail.com](mailto:bagatskijva@gmail.com)

Internet of things (IoT) is the concept of data transmission network between physical objects ("things"), equipped with built-in tools and technologies for interaction with each other or with the environment.

The work is devoted to the inspection and analysis of sensors, how the IoT systems are associated with environmental objects.

IOT uses a wide class of measurement tools, from elementary sensors (eg, temperature, pressure, light), consumption metering devices (such as intellectual meters) to complex integrated measuring systems.

The parameters of 30 types of sensors for IoT are given, 2 of them of the type of temperature and humidity sensors, 2 type of pressure sensors, 13 sensors that measure the flow and amount of gas or liquid, 2 type of accelerometers, 10 approach and movement sensors and 1 noise sensor.

Among them are 4 sensors for wireless sensory networks (WSM), a single-time medical sensor for internal blood pressure measurement, calorimetric, vortex and electromagnetic flow sensors and gas or fluid, accel-

erometer, and memes of memes, and e-memometers, and electromagnetic measurement motion, a device of measuring noise level in the range of sound vibrations.

For some sensors, there are no metrological characteristics at all, at best there is only a range of measurements and resolution.

The resolution ranges from 8 bits to 16 bits with a signal sampling rate from 0.5 Hz to 48 kHz. There is even a LDC1612 digital induction chip with 28 bits.

WSM sensors are designed to work with DigiMesh, LoraWan and Arduino, Raspberry.

Many sensors use outdated RS 232, RS 432, I2C.

**Keywords:** internet of things, network, review, analysis, sensors, objects, metrology.