

Система дистанційного моніторингу ваги для бджільництва

Шилов^f Д. Ю., ORCID [0000-0002-9972-2219](https://orcid.org/0000-0002-9972-2219)

Ямненко^s Ю. С., д.т.н. проф., ORCID [0000-0002-9796-6420](https://orcid.org/0000-0002-9796-6420)

Кафедра електронних пристроїв та систем <https://eds.kpi.ua/>

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» ROR [00syn5v21](https://orcid.org/00syn5v21)

Київ, Україна

Анотація—У статті розглянуто існуючі системи дистанційного моніторингу ваги у бджільництві, визначено перспективи удосконалення. Представлено архітектуру розробленої системи дистанційного моніторингу ваги. Обрано параметри мережі радіозв'язку LoRa та розраховано необхідний час для передачі одного пакету даних між кінцевим пристроєм та майстер-станцією. Проведено порівняльний аналіз методів фільтрації даних тензометричного датчика ваги: рухомий середній фільтр, медіанний фільтр, експоненціальний середній фільтр, фільтр Калмана. Представлено принципові схеми майстер-станції та кінцевого пристрою.

Ключові слова — моніторинг ваги у бджільництві; тензометричний датчик ваги; LoRa; цифровий фільтр.

I. ВСТУП

Головним параметром оцінювання стану бджолосім'ї в бджільництві є її вага [1]. Показання ваги бджолосім'ї свідчить про запас кормів [2], добове прибуток нектару та її кількісний стан [3]. Тому своєчасне отримання даних про вагу вулика дозволяє бджоляру побудувати план роботи з бджолосім'єю та спрогнозувати ймовірне надходження або втрату нектару [4]. Своєчасне отримання даних про вагу бджолосім'ї забезпечується системою дистанційного моніторингу ваги з передаванням даних через мобільну мережу [5]. Однак такі системи мають обмеження щодо масштабуванні у межах пасіки та роботи за умов недостатньої якості або відсутності мобільного зв'язку.

Метою роботи є проектування системи дистанційного моніторингу ваги для бджільництва з використанням технології радіозв'язку LoRa (Long Range) [6] для усунення вищенаведених недоліків в наявних системах дистанційного моніторингу ваги для бджільництва.

II. АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ВАГИ ДЛЯ БДЖІЛЬНИЦТВА

Система дистанційного моніторингу ваги для бджільництва побудована за архітектурою «зірка» та складається з двох типів пристроїв:

- майстер-станція – забезпечує зв'язок кінцевих пристроїв системи з користувачем через мобільну мережу;
- кінцевий пристрій – забезпечує збір даних про вагу вулика, температуру навколишнього повітря, оброблення даних, передавання даних до майстер-станції.

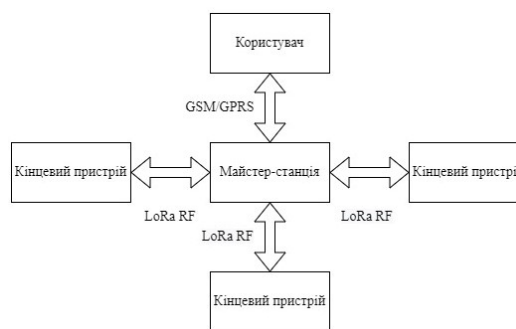


Рис. 1 Архітектура системи дистанційного моніторингу ваги

Архітектуру системи дистанційного моніторингу ваги зображено на Рис. 1.

Згідно класифікації пристроїв в мережі LoRa пристрої системи відносяться до класу «В» [7] та мають часове вікно приймання, яке синхронізується спеціальним сигналом майстер-станції і відкривається один раз на годину [8]. Після синхронізації часового вікна кінцевий пристрій виконує збір даних про вагу вулика, температури навколишнього повітря та передає зібрані дані до майстер-станції засобами системи радіозв'язку LoRa. Отриманні дані майстер-станція відправляє користувачу системи мобільною мережею.

III. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖИ LoRa

Пристрої в мережі LoRa використовують несинхронізований доступ до спільного середовища прийому/передачі [9]. Для узгодження часу передавання даних між пристроями розраховано час, необхідний для передачі пакету розміром 10 байтів. В мережі радіозв'язку LoRa використовують циклічне кодування з безпосереднім виправленням знайдених

помилки та визначається як відношення кількості корисних байтів в пакеті даних до кількості додатково згенерованих байтів даних необхідних для виправлення помилок при радіопередачі. Параметри мережі LoRa:

- коефіцієнт розповсюдження SF : 9;
- швидкість кодування: 4/7;
- ширина смуги пропускання: 125 кГц.

Розрахунок часу необхідного для передавання одного символу в пакеті даних треба робити за формулою:

$$R_s = \frac{BW}{2^{SF}}. \quad (1)$$

Швидкість передачі символів визначається, як кількість переданих символів за одну мілісекунду та розраховується за формулою:

$$T_s = \frac{1}{R_s}, \quad (2)$$

де R_s – час передавання одного символу, мс.

Знаходження кількості символів даних в пакеті даних відбувається за формулою:

$$n_{pl} = 8 + \left(\frac{8 \cdot PL - 4 \cdot SF + 28 + 16 \cdot CRC - 20 \cdot IH}{4 \cdot (SF - 2 \cdot DE)} \right) \times (CR + 4), \quad (3)$$

де PL – кількість байт корисних даних, CRC – змінна перевірки контрольної суми, що дорівнює 1, IH – змінна передачі заголовку пакету, що дорівнює 0, DE – змінна наявності оптимізації для низьких швидкостей передачі, що дорівнює 0, CR – швидкість кодування даних.

Пакет даних, який передають в мережі LoRa складається з преамбули та основної частини. Преамбулу в пакеті даних використовують для синхронізації приймача з вхідним потоком даних. Стандартом передбачено використовувати преамбулу, що містить 12 символів. Радіоприймач виявляє преамбулу пакету даних в радіопросторі та ініціалізує процес отримання пакету даних, тому значення преамбули мають бути ідентичні в радіопередавачі та радіоприймачі. Основна частина пакету даних має змінний розмір та містить винятково корисні данні, які передаються в пакеті даних [10].

Час необхідний для передавання преамбули визначають за формулою:

$$T_{pr} = (n_{pr} + 4.25) \cdot T_s, \quad (4)$$

де n_{pr} – кількість символів в преамбулі, T_s – швидкість передачі символів.

Час передачі блоку корисних даних розраховується за формулою:

$$T_{pl} = n_{pl} \cdot T_s, \quad (5)$$

де n_{pl} – кількість символів в пакеті даних.

ТАБЛИЦЯ 1 ПАРАМЕТРИ ПЕРЕДАЧІ ОДНОГО ПАКЕТУ З ДАНИМИ В РАДІОМЕРЕЖІ LoRa

Параметр	Значення
Час передачі одного символу, мс	0,24
Швидкість передачі символів, визначається, як кількість переданих символів за одну мілісекунду	4,167
Кількість символів в пакеті даних	25
Час передачі блоку корисних даних, мс	104,175
Час передачі преамбули, мс	42,71
Час передачі всього пакету даних, мс	146,89

Розраховані часові параметри передачі одного пакету даних між майстер-станцією та кінцевим пристроєм представлені в Таблиці 1.

IV. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ФІЛЬТРАЦІЇ ДАНИХ З ТЕНЗОМЕТРИЧНОГО ДАТЧИКА

Для покращення якості отриманих даних про вагу бджолиного вулика, що надходять з тензометричних датчиків розглянуті цифрові методи фільтрації даних. В сигналі, який надходить з тензометричного датчика, шуми поділяються на: постійні шуми з постійною величиною амплітуди відносно рівня сигналу; випадкові шуми з амплітудою імпульсного характеру [11]. Дослідження цифрових методів фільтрації здійснено із застосуванням мови програмування Python. Для порівняльного аналізу було розглянуто такі типи фільтрів:

- рухоме середнє [12];
- медіанний фільтр [13];
- експоненціальний середній фільтр [14];
- фільтр Калмана [15].

Рухоме середнє є фільтром з кінцевою імпульсною характеристикою [12]. Рухомий середній фільтр описують формулою:

$$x = \frac{x_i + x_{i-1} + \dots + x_{i-k+1}}{k}, \quad (6)$$

де x – відліки сигналу, що надходять на вхід фільтру, k – розмір вікна.

Результати моделювання рухомого середнього фільтра представлені на рис. 2, де чорним кольором зображено сигнал до обробки фільтром, жовтим кольором зображено сигнал після обробки фільтром. Моделювання фільтра рухоме середнє виконано з розміром вікна відліків 10. За результатами моделювання роботи фільтра виявлено ефективність у боротьбі з шумами з величиною амплітуди відносно рівня сигналу до 0,4 мВ та з імпульсними шумами з максимальною амплітудою відносно сигналу до 2 мВ. Для покращення якості роботи фільтру можливо збільшити кількість відліків у вікні вибірки.

Медіанний фільтр є нелінійним фільтром з кінцевою імпульсною характеристикою. Значення, які знаходяться у вікні вибірки розташовуються в порядку



зростання або спадання. Вихідними значеннями фільтру є значення з середини впорядкованого списку [13]. Медіанний фільтр описується формулою:

$$x_k = \text{med}(x_{k-n}, x_{k-n+1}, \dots, x_{k-1}, x_k, x_{k+1}), \quad (7)$$

Результати моделювання роботи медіанного фільтру наведено на рис. 3, де чорним кольором зображено сигнал до обробки фільтром, жовтим кольором зображено сигнал після обробки фільтром. За результатами моделювання визначено, що медіанний фільтр ефективно усуває імпульсні шуми з максимальною амплітудою відносно сигналу 2 мВ та не є ефективним у боротьбі з шумами величиною амплітудою відносно рівня сигналу 0,5 мВ.

Експоненціальний середній фільтр відноситься до рухомого середнього фільтру, але в якому дані, які надходять пізніше, отримують ваговий коефіцієнт значенням від 0 до 1 [14]. Експоненціальний середній фільтр представлено у формулі:

$$x_t = k \cdot p_t + (1-k) \cdot x_{t-1}, \quad (8)$$

де k – ваговий коефіцієнт, p_t – значення сигналу в момент часу t , x_{t-1} – значення експоненціального середнього в точці $t-1$. За результатами моделювання роботи фільтру, які наведені на рис. 4, де чорним кольором зображено сигнал до обробки фільтром, жовтим кольором зображено сигнал після обробки фільтром. За результатами виявлено ефективність використання даного фільтру у боротьбі з імпульсними шумами з величиною амплітуди 0,6 мВ відносно рівня сигналу та з шумами з величиною амплітуди до 0,2 мВ відносно рівня сигналу.

Фільтр Калмана є фільтром з нескінченною імпульсною характеристикою та містить два етапи – прогнозування та корекцію [15]. Рівняння прогнозування – прогнозує стан інформації, що надійде до входу фільтру в момент часу t наведено у формулі:

$$\hat{x}_{\bar{k}} = A_k \hat{x}_{k-1} + B u_k, \quad (9)$$

де A_k – матриця стану в даний момент t , $x_{(k-1)}$ – стан системи в попередній момент часу, B – матриця керування, u_k – вектор керуючого впливу.

Прогнозування помилки коваріації в момент часу t наведено у формулі:

$$P_k = A_k P_{k-1} A_k^H + Q_k, \quad (10)$$

де A_k – матриця стану, $P_{(k-1)}$ – помилка коваріації, Q_k – матриця коваріації шуму процесу.

Матриця стану A_k задає систему лінійних рівнянь, які описують утворення нового стану інформації, що надійде з врахуванням попереднього стану. Матриця керування B пов'язує сигнали керування, з поточним станом. Матриця коваріації шуму процесу Q_k вказує, на які змінні стану будуть впливати помилки математичної моделі.

Рівняння, які відносяться до етапу корекції, порівнюють прогнозований стан інформації, отриманий на етапі прогнозування з поточним станом інформації на вході фільтру.

Розрахунок коефіцієнту підсилення Калмана представлено формулою:

$$K_k = P_k H_k^H (H_k P_k H_k^H + R_k)^{-1}, \quad (11)$$

де P_k – помилка коваріації, H_k – матриця, яка пов'язує поточний стан інформації з вимірюваннями, R_k – матриця, яка визначає коваріацію шуму вимірювання.

Процес оновлення оцінки з урахуванням виміру z_k представлено формулою:

$$\hat{x}_k = \hat{x}_{\bar{k}} + K_k (z_k - H_k \hat{x}_{\bar{k}}), \quad (12)$$

де x_k – оцінений стан інформації, K_k – матриця, яка представляє підсилення Калмана, z_k – вимірювання в даний момент часу, H_k – матриця, яка пов'язує поточний стан системи з вимірюваннями.

Оновлення помилки коваріації представлено формулою:

$$P_k = (I - K_k H_k P_k), \quad (13)$$

де K_k – матриця, яка визначає коефіцієнт підсилення Калмана, H_k – матриця, яка пов'язує поточний стан системи з вимірюваннями, P_k – помилка коваріації.

Матриця K_k представляє підсилення Калмана, що вказує на довіру к спостережуваним даним. Матриця H_k пов'язує поточний стан інформації з вимірювальною інформацією. Матриця R_k показує коваріацію шуму вимірювання та залежить від використаного датчика, розмір цієї матриці залежить від кількості вимірювальних параметрів.

Фільтр Калмана є динамічною моделлю вимірювальної системи в якій задіяно зворотній зв'язок та множині послідовні вимірювання стану інформації, що надходить до системи для формулювання оптимальної оцінки стану інформації. Для роботи фільтру Калмана задіяні два повторювані етапи – прогнозування та корекції. На етапі прогнозування виконується прогнозування стану інформації в момент часу t з урахуванням попереднього стану інформації. На етапі корекції прогнозований стан інформації в момент часу t корегується з урахуванням нової інформації, що надходить до фільтру.

Результат моделювання роботи фільтра Калмана представлено на рис. 5, де чорним кольором зображено сигнал до обробки фільтром, жовтим кольором зображено сигнал після обробки фільтром. За результатами моделювання роботи фільтра Калмана виявлено ефективність боротьби з шумами імпульсного характеру з амплітудою 2 мВ та з шумами постійного характеру з амплітудою до 1,5 мВ відносно рівня еталонного сигналу.

Порівняльний аналіз цифрових фільтрів дозволив оцінити їхню ефективність у боротьбі з шумами, які мають постійну величину амплітуди відносно рівня сигналу, випадкові імпульсні шуми та складність технічної реалізації.

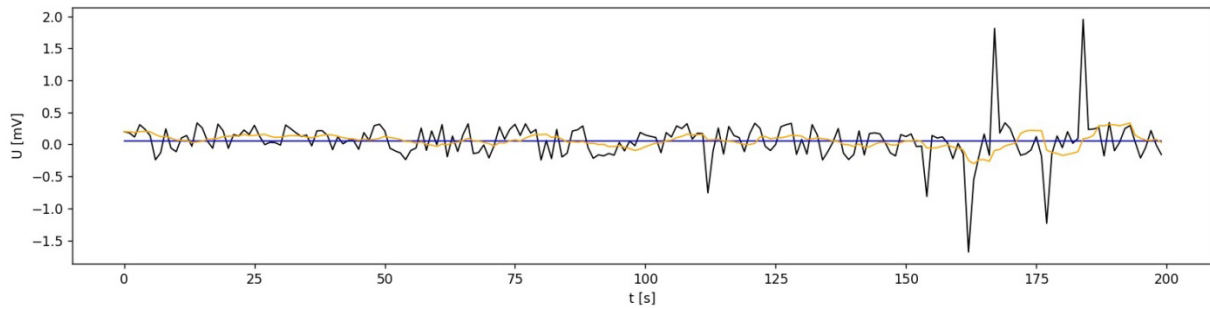


Рис. 2 Результат моделювання роботи рухомого середнього фільтра

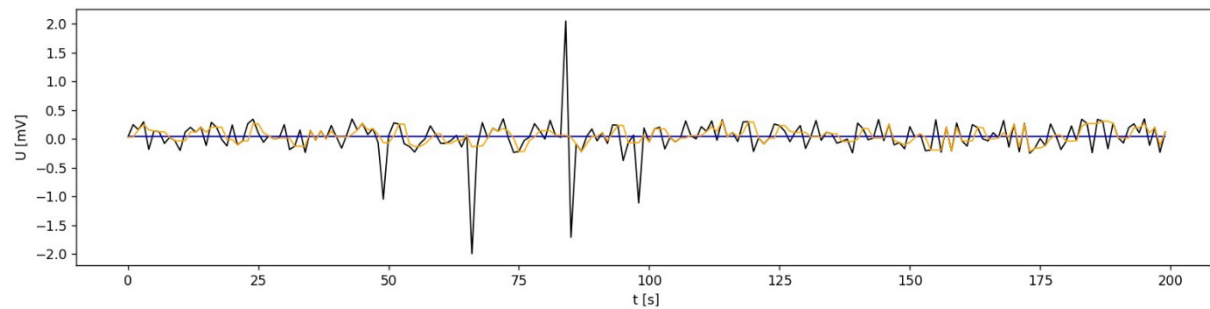


Рис. 3 Результат моделювання роботи медіанного фільтра

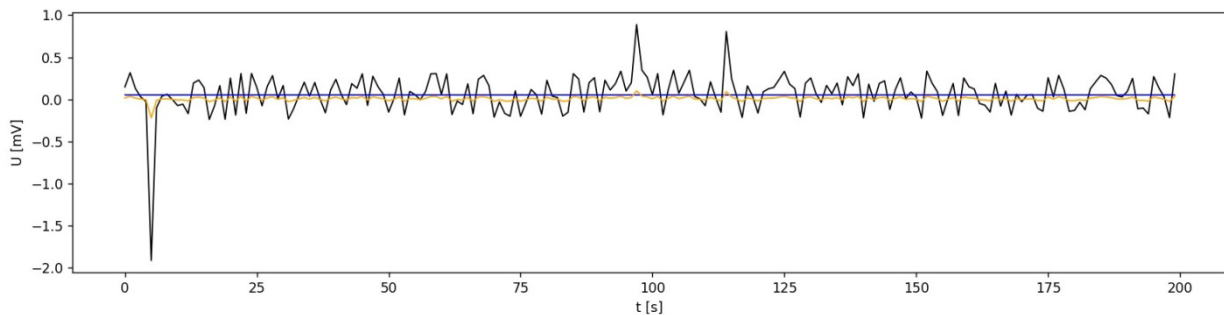


Рис. 4 Результат моделювання роботи експоненціально середнього фільтра

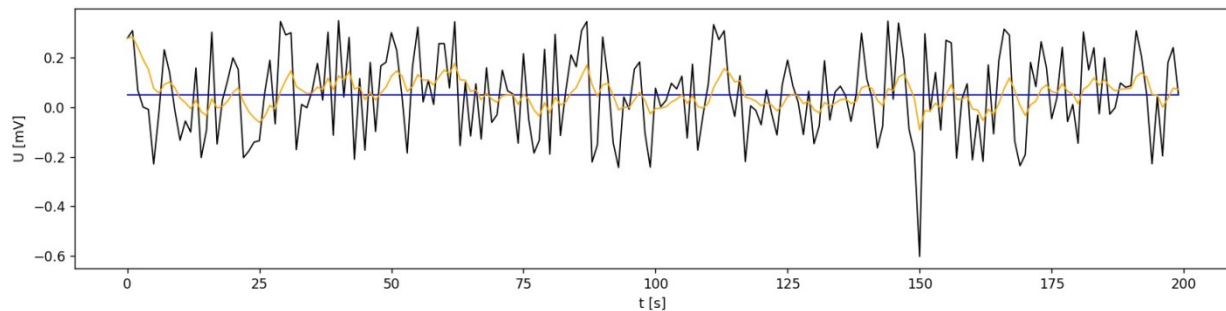


Рис. 5 Результат моделювання роботи фільтра Калмана

Найефективнішим цифровим фільтром є фільтр Калмана, що дозволяє отримати найбільш точні значення вимірювальних даних з придушенням шумів імпульсного та постійного характеру. Складна технічна реалізація, є недоліком для використання в системах з обмеженою обчислювальною потужністю.

бджільництва для фільтрації даних з тензометричного датчика використано експоненціальний середній фільтр через ефективність у боротьбі з шумами імпульсного характеру та можливість використання у системах з обмеженою обчислювальною потужністю.

На підставі проведеного порівняльного аналізу для системи дистанційного моніторингу ваги для



V. ФУНКЦІОНАЛЬНІ СХЕМИ МАЙСТЕР-СТАНЦІЇ ТА КІНЦЕВОГО ПРИСТРОЮ

Апаратна частина майстер-станції складається з трьох функціональних блоків. Головний функціональний блок пристрою представлено мікроконтролерною платформою Arduino Uno на базі мікроконтролера Atmega328P [16], який виконує керування модемом для зв'язку з користувачем через мобільну мережу, модемом радіозв'язку LoRa та обробку отриманих даних про вагу вулика від кінцевого пристрою. Функціональний блок зв'язку складається з модема мобільної мережі SIM900, для підключення якого у мікроконтролері задіяний інтерфейс UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). Зв'язок в мережі LoRa забезпечується модемом SX1278 з максимальним рівнем чутливості -148 дБм та робочою частотою 433МГц [17], який підключений до мікроконтролеру інтерфейсом SPI (Serial Peripheral Interface). Джерело живлення майстер-станції складається з сонячної панелі з максимально генерованою потужністю 30 Вт та номінальною напругою 12 В, літій-іонної акумуляторної батареї ємністю 3000 мА·год з номінальною напругою 7,4 В. Для пониження напруги до необхідного рівня заряду літій-іонної акумуляторної батареї, а саме 8,4 В використано DC-DC (Direct current) перетворювач напруги з використанням мікросхеми XL4015. Забезпечення живлення компонентів майстер-станції постійною напругою у 5 В та максимальним струмом споживання 2,5 А використовується DC-DC перетворювач напруги з використанням мікросхеми LM2596. На рис. 6 наведено принципова схема майстер-станції системи дистанційного моніторингу ваги для бджільництва.

Кінцевий пристрій побудовано з використанням мікроконтролерної платформи Arduino Uno з мікроконтролером Atmega328P, що забезпечує отримання значень ваги бджолиного вулика з тензOMETричних датчиків, їх фільтрацію експоненціальним середнім фільтром, отримання значення температури з давача температури та формування пакету даних для подальшого відправлення до майстер станції. Зв'язок з майстер-станцією виконується модемом радіозв'язку LoRa SX1278.

Для отримання показників температури оточуючого повітря в кінцевому пристрої використано цифровий датчик температури DS18B20 з діапазоном вимірювальних температур від -55 до +125 °С, зв'язок з мікроконтролером забезпечується шиною даних 1-Wire [18]. Отримання значень ваги вулика забезпечує високоточний тензOMETричний датчик одноточкового типу PC1 з максимально допустимим

навантаженням 200 кг з класом точності С3[19]. ТензOMETричний датчик підключено до зовнішнього АЦП (аналого-цифровий перетворювач) НХ711 з розрядністю 24 біти за чотириохпровідною схемою та оснащений підсилювачем з низьким рівнем шуму, який має коефіцієнт підсилення 128 з частотою дискретизації 80 Гц [20].

Живлення кінцевого пристрою забезпечує літій-іонна акумуляторна батарея ємністю 1100 мА·год з номінальною напругою 3,7 В та сонячна панель з максимально генерованою потужністю 10 Вт з рівнем номінальної напруги 12 В. Для пониження рівня напруги до рівня напруги заряду акумуляторної батареї, а саме 4,2 В, використано понижуючий перетворювач на базі мікросхеми XL4015. Живлення компонентів кінцевого пристрою виконується напругою у 5 В та забезпечується підвищуючим перетворювачем постійної напруги на базі мікросхеми ME2108. На рис. 7 наведено принципову схему кінцевого пристрою системи дистанційного моніторингу ваги для бджільництва.

Пристрої системи дистанційного моніторингу ваги для бджільництва побудовані за модульно-ієрархічним принципом, що дозволяє змінювати функціональні блоки для покращення функціоналу системи, інтегрувати в інші системи моніторингу та аналізу стану пасіки.

ВИСНОВКИ

Розробка присвячена вирішенню проблеми усунення недоліків існуючих систем дистанційного моніторингу ваги для бджільництва. Зокрема, розроблена система дозволяє забезпечити масштабування в межах пасіки та роботу в умовах поганого мобільного зв'язку. Для вирішення наведених недоліків розроблено технічне рішення системи дистанційного моніторингу ваги вуликів з використанням технології радіозв'язку LoRa. Виконано розрахунок параметрів радіомережі, відповідно до якого необхідний час для радіопередачі одного пакету даних розміром 10 байтів складає 146,89 мс. Досліджено методи покращення даних з тензOMETричного датчика ваги. На підставі порівняльного аналізу фільтрів: рухоме середнє, медіанного, експоненціального середнього та фільтру Калмана доведено, що найефективнішим цифровим фільтром у боротьбі з шумами постійного та імпульсного характеру є фільтр Калмана, але через його технічну складність не можливо використовувати в системах з обмеженою обчислювальною потужністю. Тому в системі дистанційного моніторингу ваги доцільно використовувати експоненціальний середній фільтр.



DOI: [10.20535/2523-4455.me.267186](https://doi.org/10.20535/2523-4455.me.267186)

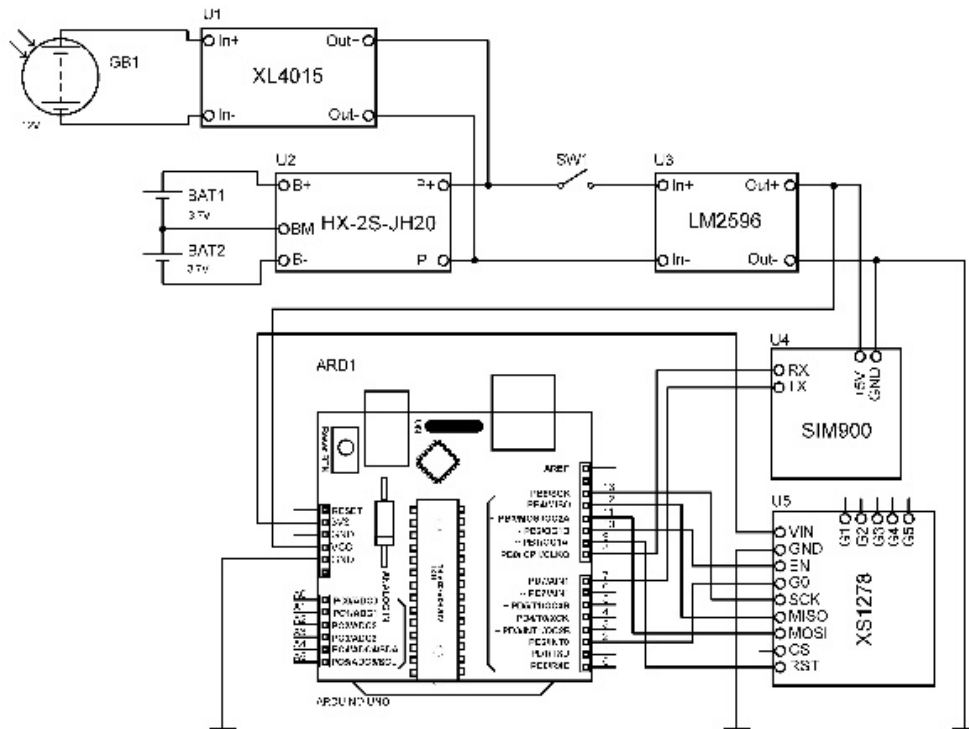


Рис. 6 Функціональна схема майстер-станції системи дистанційного моніторингу ваги для бджільництва

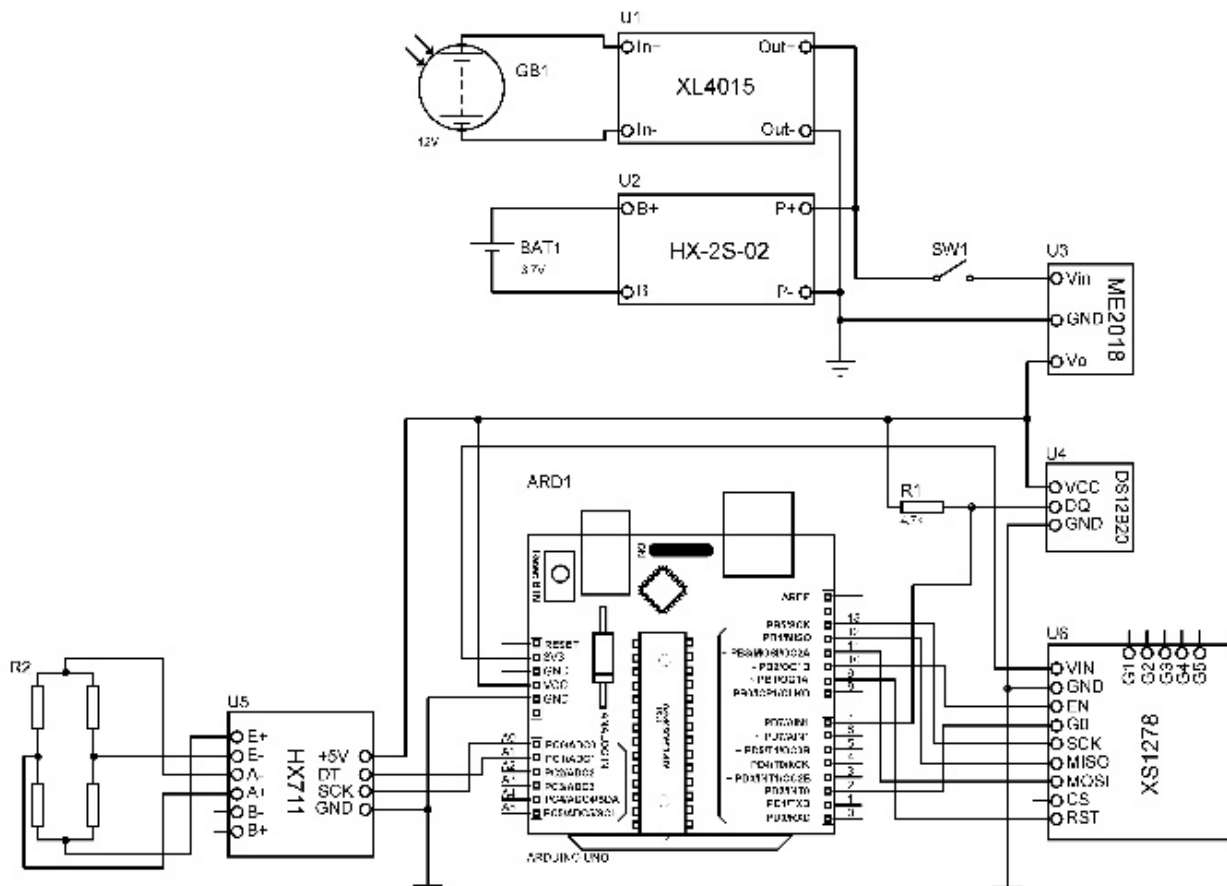


Рис. 7 Функціональна схема кінцевого пристрою системи дистанційного моніторингу ваги для бджільництва



ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] R. Brown, «*Beekeeping a seasonal guide*», London, 2021. p.192 ISBN: 978-1-84994-599-8.
- [2] A. Lecocq, P. Kryger, F. Vejsnæs, A. Bruun Jensen, and O Smagghe, “Weight Watching and the Effect of Landscape on Honeybee Colony Productivity: Investigating the Value of Colony Weight Monitoring for the Beekeeping Industry”, PLOS ONE, vol. 10, no. 7, p. e0132473, Jul. 2015. DOI: [10.1371/journal.pone.0132473](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132473)
- [3] A. Terenzi, S. Cecchi, S. Spinsante, S. Orcioni, and F. Piazza, “Real-time System Implementation for Bee Hives Weight Measurement”, in 2019 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor), Portici, Italy, 2019, pp. 231–236. DOI: [10.1109/MetroAgriFor.2019.8909252](https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor.2019.8909252)
- [4] T. Matsuzawa, R. Kohsaka, Y. Uchiyama, «*Modern Beekeeping-Bases for Sustainable Production*», London, 2020. p.202 ISBN: 978-1-83880-155-7
- [5] W. G. Meikle, “Using within-day hive weight changes to measure environmental effects on honey bee colonies”, PLOS ONE, vol. 13, no. 5, p. e0197589, May 2018. DOI: [10.1371/journal.pone.0197589](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197589)
- [6] P. Senevirat «*Beginning LoRa Radio Networks with Arduino: Build Long Range, Low Power Wireless IoT Networks*», Apress, 2019. p.320 ISBN: 978-1-48424-356-5
- [7] Semtech Corporation, «*LoRa and LoRaWAN: A Technical Overview*», Camarillo, 2019. p.26
- [8] L. Prade, J. Moraes, E. de Albuquerque, D. Rosário, and C. B. Both, “Multi-radio and multi-hop LoRa communication architecture for large scale IoT deployment”, Computers and Electrical Engineering, vol. 102, p. 108242, Sep. 2022. DOI: [10.1016/j.compeleceng.2022.108242](https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.108242)
- [9] A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, and W. Townsley, “A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things”, Sensors, vol. 16, no. 9, p. 1466, Sep. 2016. DOI: [10.3390/s16091466](https://doi.org/10.3390/s16091466).
- [10] Sujuan Liu, Chuyu Xia, Zhenzhen Zhao. A low-power real-time air quality monitoring system using LPWAN based on LoRa. 2016 13th IEEE international conference on solid-state and integrated circuit technology (ICSICT), Hangzhou, China, 25–28 October 2016. 2016. DOI: [10.1109/ICSICT.2016.7998927](https://doi.org/10.1109/ICSICT.2016.7998927)
- [11] Strain gauges General information and principle of operation. URL: <https://asvik.kiev.ua/ua/articles/5>
- [12] S. Smith, «*Digital Signal Processing: A Practical Guide for Engineers and Scientists*», Newnes, 2003. p.650. ISBN: 978-0-75067-444-7.
- [13] I. Pitas, «*Digital image processing algorithms and applications*», New York, 2000. p 419. ISBN: 978-0-47137-739-9.
- [14] V. Arunachalam, K. Sivasankaran, «*Microelectronic Devices, Circuits and Systems*», Vellore, 2021. p. 486. ISBN: 978-9-81165-048-2.
- [15] C. Urrea, R. Agramonte, and G. Diraco, “Kalman Filter: Historical Overview and Review of Its Use in Robotics 60 Years after Its Creation”, Journal of Sensors, vol. 2021, pp. 1–21, Sep. 2021. DOI: [10.1155/2021/9674015](https://doi.org/10.1155/2021/9674015)
- [16] Arduino® Uno Product Reference Manual. URL: <https://docs.arduino.cc/static/605fc523967f7b4fe4cce1720ae3b6c7/A000073-full-pinout.pdf>
- [17] Semtech. SX1276/77/78/79. URL: https://semtech.my.salesforce.com/sfc/p/#E0000000JelG/a/2R0000001Rc1/QnUuV9TviODKUgt_rpBIPz.EZA_PNK7Rpi8HA5..Sbo
- [18] DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire® Digital Thermometr. Technical Note. URL: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temp/DS18B20.pdf>
- [19] Flintec PC1 Single point load cell. URL: <https://www.flintec.com/media/datasheets/pc1-datasheet-en.pdf>
- [20] HX711 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales URL: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711_english.pdf

Надійшла до редакції 30 серпня 2022 року

Прийнята до друку 22 грудня 2022 року



System of Remote Weight Monitoring for Beekeeping

D. Yu. Shylov^f, ORCID [0000-0002-9972-2219](https://orcid.org/0000-0002-9972-2219)

Yu. S. Yamnenko^g, Dr.Sc.(Eng.) Prof., ORCID [0000-0002-9796-6420](https://orcid.org/0000-0002-9796-6420)

Department of Electronic Devices and Systems <https://eds.kpi.ua/>

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" ROR [00syn5v21](https://ror.org/00syn5v21)
Kyiv, Ukraine

Abstract—Existing remote weight monitoring systems in beekeeping have disadvantages: lack of scaling of the system within the apiary, limited use in conditions of poor mobile communication. The use of LoRa energy-efficient long-distance radio communication technologies is proposed. The architecture of the developed remote weight monitoring system for beekeeping has a "star" structure and consists of two types of devices: a master station, an end device with two-way data exchange. The master station - provides communication between the end devices of the system and the user through the mobile network. The end device - provides collection of data on the weight of the hive, ambient air temperature, data processing, data transmission to the master station. The parameters of the LoRa radio communication network are selected: propagation coefficient, coding speed, bandwidth frequencies of the communication channel. The time required for the transfer of one data packet between the end device and the master station is calculated. The results of the study of methods of filtering continuous noise and impulse noise of strain gauge weight sensor data using the Python programming language are presented: moving average filter, median filter, exponential average filter, Kalman filter. According to the results of the research of digital filtering methods, the final device of the remote weight monitoring system for beekeeping uses an exponential average filter with effective filtering of continuous noise and impulse noise. The schematic diagrams of the master station and the final device are presented. The hardware part of the master station consists of three functional blocks: The main functional block is a microcontroller; the communication unit consists of a mobile network modem and a LoRa radio communication modem; the functional power supply is represented by a lithium-ion battery and a solar panel. The final device is built using a microcontroller, an external analog-to-digital converter, a high-precision strain-gauge weight sensor, and a LoRa radio modem. The final device is powered by a lithium-ion battery and a solar panel. The devices of the remote weight monitoring system for beekeeping are built according to the modular and hierarchical principle.

Keywords — *weight monitoring in beekeeping; strain gauge weight sensor; LoRa; digital filter.*