

СЕКЦІЯ 4 ПРИЛАДИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ

УДК 681.5:004.5

РОЗРОБКА ДАВАЧА ТЕМПЕРАТУРИ ДЛЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ З ВИКОРИСТАННЯМ ІОТ ТЕХНОЛОГІЙ

Залужний М. Ю., Крисан Ю. О., Назарова О. С., Рудім Б. Ю.
Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Україна
E-mail: muz.nuzp@gmail.com, krisan@mail.com, nazarova16@gmail.com,
ctoker6667@gmail.com

Моніторинг температури в приміщеннях є однією з найбільш частих та типових задач в промисловості, побуті, торгівельних та офісних приміщеннях. У навчальних аудиторіях та лабораторіях температура суттєво впливає на якість та ефективність навчального процесу, а також має відповідати санітарним нормам. Тому організація автоматизованого вимірювання температури, онлайн моніторингу на основі технології інтернет речей є актуальною задачею, має науковий інтерес та практичне значення.

Мета – розробка онлайн-системи моніторингу температури повітря у приміщенні на основі бездротового зв'язку LoRaWAN та віртуального інструменту, що дозволяє дослідити коливання температури впродовж доби та оптимізувати ефективність використання систем нагрівання та охолодження повітря у навчальних приміщеннях.

На теперішній час розроблено велику кількість давачів, що використовуються для визначення температури та вологості повітря в приміщенні, збирають дані та відправляють їх на інші пристрої для відображення через модуль бездротової мережі зв'язку [1, 2]. В даний час температура і вологість є важливими факторами для правильної роботи та безпеки електронних пристроїв. Згідно зі специфікаціями International Computer Room Experts Association (ICREA) та American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), температура повинна коливатися між 64,4°F і 80°F, що дорівнює 18°C і 27°C [3]. Системи моніторингу та розумні давачі якості повітря запускають сценарії автоматизації при перевищенні порогів температури, вологості та концентрації CO₂. Основними параметрами таких систем і давачів є точність та швидкодія вимірювання температури, дальність та якість зв'язку, діапазон робочих частот, зручність встановлення та кріплення, тип та ємність елементів живлення [4].

Для організації системи моніторингу температури повітря у навчальному приміщенні розроблено давач температури на основі [5], 3-D модель якого наведена на рисунку 1. Такі давачі температури встановлені у двох аудиторіях кафедри «Електропривод та автоматизація промислових установок» НУ «Запорізька політехніка». Вони вимірюють температуру раз на хвилину, живлення

давачів від мережі 220 В. Пакет даних надсилається на сервер по бездротовому зв'язку за допомогою протоколу LoRaWAN.

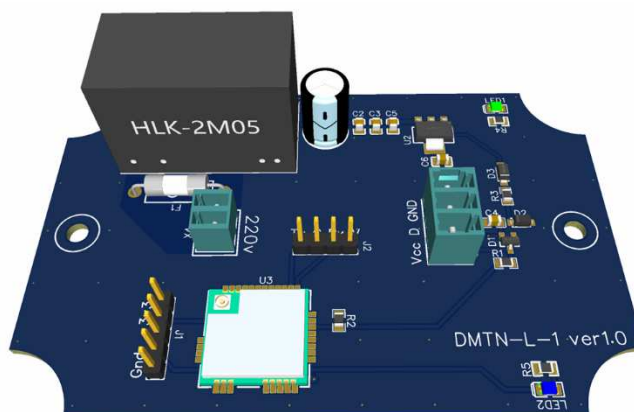


Рис. 1. 3-D модель давача температури.

LoRaWAN є поширеною малопотужною глобальною мережею, яка використовує технологію з відкритим вихідним кодом і передає інформацію за допомогою радіосигналів у неліцензованому діапазоні частот [6-8]. Таким чином LoRaWAN вирішує найбільш гострі проблеми Інтернету речей: збір даних з чималої кількості пристроїв на великій території (набагато більший радіус дії, ніж з'єднання Wi-Fi або Bluetooth); збільшений термін роботи кінцевих пристроїв за рахунок низького енергоспоживання; економія засобів та часу (мережа розгортається швидко, легко масштабується, можливе дистанційне обслуговування). Структурна схема системи моніторингу наведена на рисунку 2.

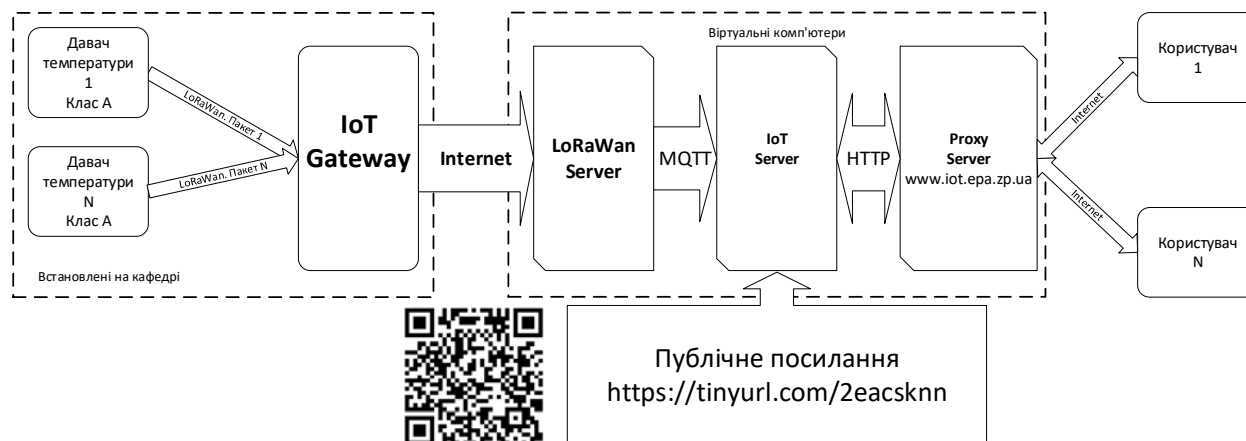


Рис. 2. Структурна схема системи моніторингу.

IoT Gateway встановлено в аудиторії кафедри та має покриття всього університету. IoT Gateway – це мережевий компонент, який діє як транслятор між пристроями IoT та іншими об'єктами мережі, такими як сервери, програми та інші пристрої. Основною функцією шлюзу IoT є переклад пакетів даних з одного протоколу в інший, щоб передача була доступною для читання одержувачем. Але пристрої IoT часто мають обмежену пропускну здатність даних і заряд

акумулятора, тому шлюзи IoT відіграють інші важливі ролі, зокрема додають рівні безпеки, з якими сам пристрій не може працювати.

LoRaWAN та IoT Server створені на віртуальному комп'ютері, це дозволяє мати доступ до них цілодобово та з будь-якої країни. До IoT Server можливе під'єднання з будь-якого пристрою, який має webbrowser та не потребує додаткового програмного забезпечення. IoT Server має складну ієрархію користувачів. Зареєстровані користувачі можуть створювати панелі приладів та ланцюги правил. Всі інші можуть зайти за публічними посиланнями та побачити панель приладів.

Зараз в публічному доступі є панель приладів, на якій можна подивитись поточну температуру в аудиторіях, графік змін температури за вибраний період, налаштувати межі температури та назву датчиків. Усі зміни на панелі приладів та виходу температури за налаштовані межі відображаються в Telegram каналі.

Отже, у цій роботі представлено базову, адаптовану та порівняно недорогу систему IoT для моніторингу в режимі реального часу температури повітря у навчальній аудиторії з точністю $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, отримані дані можна відобразити на веб-сайті в графічному вигляді. В подальшому планується удосконалення як на апаратному, так і програмному рівні, зокрема, налаштування повідомлення в мобільний додаток про вихід температури за встановлені межі.

Ключові слова: датчик температури, моніторинг, інтернет речі (IoT), бездротовий зв'язок, LoRaWAN, Індустрія 4.0.

Література.

- [1] Система моніторингу температури та вологості. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.svaltera.ua/solutions/projects/10729.php>
- [2] Датчик температури та вологості IS42R1.01. [Електронний ресурс]. Доступно: <http://www.istrim.com/uk/product/telemetry/item/datchik-temperatury-ta-vologosti>
- [3] A. Medina-Santiago et al., "Adaptive Model IoT for Monitoring in Data Centers," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 5622-5634, 2020, DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2963061.
- [4] Розумний датчик якості повітря. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://ajax.systems.ua/products/lifequality/>
- [5] Датчик температури DS18B20. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/58557/DALLAS/DS18B20.html>
- [6] S. Jiang and W. -m. Cheng, "Motor temperature based on LoRa and virtual instrument Online monitoring system research", in *2019 3rd International Conference on Electronic Information Technology and Computer Engineering (EITCE)*, Xiamen, China, 2019, pp. 398-401, DOI: 10.1109/EITCE47263.2019.9094834.
- [7] Огляд технології LoRaWAN. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://www.atiko.com.ua/articles-ua/obzor-tekhnologii-lorawan-ua/>
- [8] Specification LoRaWAN. [Електронний ресурс]. Доступно: https://loralliance.org/resource_hub/

УДК 621.382.3

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ РУХЛИВОСТІ ЕЛЕКТРОНІВ ВІД
МОЛЬНОГО СКЛАДУ У БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ
НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СПОЛУКАХ

Саурова Т. А., Шпиченко В. С.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

E-mail: saurowa-ee@lil.kpi.ua, shpichenko-ee25@lil.kpi.ua

З метою створення високоефективних електронних, оптоелектронних твердотільних приладів та пристроїв дослідники, технологи та розробники розглядають нові матеріали, серед яких значне місце займають багатокомпонентні напівпровідникові сполуки. Це обумовлено тим, що у багатокомпонентних сполуках змінення молярного складу матеріалу викликає зміну його властивостей і дозволяє дослідникам створювати прилади з кращими характеристиками. Склад багатокомпонентних сполук описують індексом x , який показує молярний склад кожного з його елементів; наприклад у потрійних сполуках групи $A^{III}B^V$ – GaN_xAs_{1-x} , $Al_xIn_{1-x}Sb$, InN_xP_{1-x} та ін.

Моделювання кінетичних властивостей носіїв заряду у всьому діапазоні значень x потребує використання тридолинної моделі зонної енергетичної структури матеріалу. Це пов'язано з особливостями зонної структури; її трансформацією при зміні молярного складу x .

Проведено моделювання впливу молярного складу на рухливість μ електронів $Al_xGa_{1-x}As$. Вибір матеріалу обумовлений тим, що для нього у науково-технічній літературі спостерігається всебічне вивчення властивостей (оптичних, теплових, механічних, електричних,...), у тому числі накопичені знання із залежності вихідних параметрів моделювання від молярного складу матеріалу x [1].

Чисельне моделювання проведено методом релаксаційних рівнянь, який ґрунтується на рівняннях збереження концентрації, імпульсу та енергії [2]. Для верифікації результатів моделювання розглянуто відому експериментальну залежність $\mu(x)$ [3]. Слід зазначити, що у [3] не надано ґрунтового пояснення поведінки експериментальної залежності $\mu(x)$; моделювання не проведено при x , яким відповідає наближення долин з подальшою зміною їх енергетичного розташування від Γ -L-X до X-L- Γ .

Проведено моделювання процесів розсіювання за співвідношеннями, що описані у [2]. Слід підкреслити, що атоми багатокомпонентних матеріалів мають випадковий характер розташування. Це вказує на необхідність врахування додаткового внеску у процесі розсіювання – на сплавному потенціалі, зворотній час релаксації імпульсу (частота зіткнень) якого визначається співвідношенням [4]:

$$\frac{1}{\tau_{alloy}} = \frac{3\sqrt{2\pi}m_{di}^{3/2}(x)}{8\hbar^4} x(1-x)\Omega(x)(\Delta U_n)^2 \sqrt{k_B T_e},$$

де m_{ai} – ефективна маса густини станів i -долини, \hbar – стала Планка-Дірака, $\Omega(x)$ – об’єм комірки Вігнера-Зейтца, ΔU_n – сплавний потенціал сполуки, k_B – стала Больцмана, T_e – електронна температура.

Усереднена за всіма долинами рухливість визначається сумарними частотами зіткнень в окремій долині

$$\frac{1}{\tau_{\Sigma i}} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{\tau_j}$$

та заселеностями енергетичних долин:

$$b_i(x, T) = \frac{n_i(x, T)}{\sum_{i \in \Gamma, L, X} n_i(x, T)}, \quad i = \Gamma, L, X,$$

де T – температура; n_i – концентрації електронів у Γ -, X -, L -долинах відповідно.

Визначено апроксимації вихідних параметрів моделювання з найкращою відповідністю експериментальним результатам (рис. 1); отримано функціональну відповідність експериментальним результатам, включаючи специфічну ділянку із значним зменшенням μ .

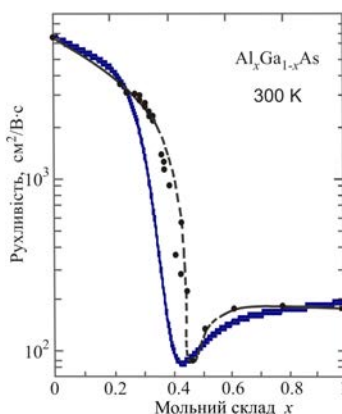


Рис. 1. Залежність рухливості електронів від мольного складу $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$. Порівняння з експериментальними результатами [3]

Запропонована методика дозволяє моделювати залежність рухливості від мольного складу для багатокомпонентних напівпровідників.

Ключові слова: рухливість електронів, багатокомпонентні напівпровідникові сполуки, арсенід алюмінію-галію.

Література

- [1] S. Adachi, *Properties of Semiconductor Alloys: Group-IV, III – V, II – VI Semiconductors*. West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd, 2009. DOI:10.1002/9780470744383
- [2] V. Moskaliuk, V. Timofeev, and A. Fedyay, *Ultra-high-speed electronic devices*. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. (in russian)
- [3] A. K. Saxena, «Electron mobility in $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ alloys», *Phys. Rev. B*, vol. 24, no. 6, pp. 3295–3302, 1981. DOI: 10.1103/PhysRevB.24.3295
- [4] I. Baida, V. Moskaliuk, «Alloy scattering relaxation time simulation», *Proc. IEEE Int. Conf. Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*, Odessa, Ukraine, 2017, pp. 1–4. DOI: 10.1109/UkrMiCo.2017.8095398

УДК 53.08:620.178.5

ОЦІНКА ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ НА ВИХОДІ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЧЕРЕЗ НАЯВНІСТЬ АЦП

Стахова А. П., Макаровський С. Л.
Національний авіаційний університет, Київ, Україна
E-mail: sap@nau.edu.ua, 888makar888@gmail.com

Сучасні вимірювальні системи включають комплекс технічних засобів вимірювань, збору та обробки інформації, об'єднаних в єдину структуру, що функціонує за певними правилами [1]. Такі системи містять у своєму складі аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), які, у свою чергу, можуть бути джерелом додаткових похибок вимірювання, викликаних неідеальністю АЦП, наприклад, кінцевим числом розрядів або нелінійністю функції перетворення АЦП.

Оскільки, наприклад, при вимірюванні вібрацій обертових і переміщуваних частин технологічної системи вхідний сигнал є безперервним сигналом, то будь-який АЦП принципово буде мати похибку квантування за рівнем. Значення похибки АЦП на вході визначається як [2]:

$$\Delta x_0 = y - x = D(x) \cdot q - x, \quad (1)$$

де y – вихідний сигнал АЦП, наведений для його входу; x – значення вхідного сигналу; q – значення одиниці молодшого розряду АЦП (ЕМР, квант АЦП); $D(x)$ – значення коду АЦП.

Значення похибки (1) у часі при асимптотично великій кількості розрядів прийнято називати шумом квантування. Для миттєвого значення шуму квантування АЦП справедливо [3]:

$$-0,5 \cdot q \leq \Delta x_0 \leq 0,5 \cdot q. \quad (2)$$

Дослідженню шуму квантування присвячено велику кількість публікацій [2-3]. Однак питання впливу кінцевої розрядності на відхилення спектра досліджено не достатньо глибоко. Потрібно розробити методикку розрахунку похибки вимірювання спектра, спричинену кінцевою розрядністю АЦП. У цьому необхідно враховувати дискретність вихідного сигналу АЦП у часі. Далі розглянемо основні відомості про шум квантування, корисні для задачі, що вирішується, і доступні з зазначених вище літературних джерел.

Форму шуму квантування визначають параметри вхідного сигналу та параметри АЦП. Для випадку синусоїдального вхідного сигналу параметрами, що впливають на значення шуму квантування, виступають: амплітудне значення, частота, частота дискретизації та початкова фаза. При полігармонійному сигналі впливають параметри кожної спектральної компоненти. З огляду на літературні джерела відомо, що наявність шуму квантування призводить до спотворення спектра цифрового сигналу на виході АЦП.

Таким чином, є актуальною задача розробки методу оцінки похибок вимірювання спектра, викликаних шумом квантування АЦП.

Ключові слова: інформаційно-вимірювальна система, аналогово-цифровий перетворювач, похибка, шум квантування

Література

- [1] Є. Т. Володарський, М. В. Добролюбова, Л. О. Кошева, “Інформаційно-вимірювальні системи та невизначеність”, *Український метрологічний журнал/Ukrainian Metrological Journal*, 2020, 3А: 30-35.
- [2] Bernard WIDROW, Istvan KOLLAR, Ming-Chang LIU, “Statistical theory of quantization”, *IEEE Transactions on instrumentation and measurement*, 45.2: 353-361, 1996.
- [3] Walt Kester, *Analog-digital conversion*. Norwood, MA: Analog Devices, 2004.

УДК 004.457

МОДЕЛЮВАННЯ МІСТА В ТРИВИМІРНОМУ ПРОСТОРИ В ПРОЄКТАХ «SMARTCITY»

Кузнецов А. В.

Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, Черкаси, Україна

E-mail: vpvlad2012@gmail.com

Сучасне містобудування встановлює високі стандарти якості проектування та планування міського середовища. Концепція розумного міста пропонує привабливий підхід до поєднання різних ІТ-технологій, спрямованих на оптимізацію управління територіями та розвитку міст. 3D-моделювання та симуляція міста є одним із таких передових методів, який забезпечує неупереджене та високоточне візуальне представлення фактичного використання міської території разом із потужними інструментами для розробки прикладних спеціалізованих програм на основі комплексних наборів просторових даних. Це допомагає оцінити архітектурно-планувальні рішення території для підтримки організаційних та управлінських рішень щодо планів сталого розвитку. Технологія 3D-моделювання, яка буде використовуватися в середовищі розробки SmartCity, повинна відповідати офіційно прийнятому міжнародному стандарту. Найголовніше, формат має бути відкритим і добре задокументованим. Моделювання міста в тривимірному просторі – це технологія, яка дозволяє візуалізувати та аналізувати міську інфраструктуру та її компоненти (наприклад, дороги, будинки, громадський транспорт, зелені насадження тощо). Це дозволяє вирішувати проблеми міста, такі як транспортні затори, велика кількість сміття та енергозатрати, шляхом аналізу ефективності міської інфраструктури та здійснення її оптимізації.

Одним з головних завдань моделювання міста є покращення ефективності міської інфраструктури та зниження її енергозатрат. Це може бути досягнуто за допомогою аналізу взаємодії між компонентами міської інфраструктури, включаючи пішохідні зони, велосипедні доріжки, громадський транспорт, автомобільні дороги та парковки.

Згідно зі статистикою, у 2020 році ринок моделювання міста в тривимірному просторі склав 2,3 мільярди доларів США, а до 2026 року очікується зростання ринку до 6,5 мільярдів доларів США з річним темпом зростання більше 17%. Також прогнозується, що кількість міст, які використовують технології моделювання міста, збільшиться до 50% у 2025 році. Один з прикладів використання такої технології – це проект «VirtualSingapore», який був розроблений у співпраці з компанією Dassault Systemes. Цей проект передбачає створення віртуальної моделі Сінгапуру в тривимірному просторі, яка дозволяє аналізувати та оптимізувати міську інфраструктуру. На рисунку 1 зображений скріншот програми, на якому програма візуалізує та обраховує кількість авто біля будівлі, що дає змогу розподілити потік автотранспорту. Наприклад, за допомогою цієї моделі можна аналізувати рух транспорту в реальному часі та розробляти нові шляхи для його оптимізації. Також ця модель допомагає прогнозувати ефективність нових проєктів інфраструктури та забезпечувати моніторинг впливу цих проєктів на навколишнє середовище.



Рис. 1. Скріншот програми «Virtual Singapore».

Також тривимірні моделі міст можуть бути використані для планування нових будівельних проєктів. Інженери та архітектори можуть створювати віртуальні моделі будівель, щоб визначити оптимальне розташування будівлі, а також розробити візуалізації та дизайн будівлі. Це дозволяє виявити можливі проблеми з будівництвом та оптимізувати процес будівництва.

Сучасні технології змінюють міське середовище, економічний ландшафт, соціальні відносини, створюють можливість управління муніципальними господарствами на якісно новому рівні та формують активний попит на нові цифрові послуги в цій сфері.

У сфері міського розвитку вже реалізується багато різноманітних ініціатив, у тому числі важливий крок – створення публічних 3D-платформ, які дуже до-

поможуть у вирішенні різноманітних міських проблем. Основна мета 3D-моделі: забезпечити тісний зв'язок між проєктами розумного міста – вуличним відеоспостереженням, громадськими послугами, інтелектуальною транспортною системою та іншими; у масштабі міст і регіонів інтелектуальна транспортна система.

Ключові слова: розумне місто, моделювання, технологія, віртуальна модель, транспорт.

Література

- [1] G. Floros, E. Dimopoulou, “Investigating the enrichment of a 3D city model with various CITYGML modules”, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W2, 3–9, 2013. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W2-3-2016
- [2] J-C. Michelin, J. Tierny, F. Tupin, C. Mallet, and N. Paparoditis, “Quality evaluation of 3D city building models with automatic error diagnosis”, [Online]. Available: https://www-pequan.lip6.fr/~tierny/stuff/papers/michelin_ssg13.pdf.
- [3] F. Biljecki, K. Kumar, & C. Nagel, “CityGML Application Domain Extension (ADE): overview of developments”, *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 3:13, pp. 8–14, 2018. DOI: 10.1186/s40965-018-0055-6
- [4] M. Alberti, & P. Waddell, “An integrated urban development and ecological simulation model”, *Integrated Assessment*, 1(3), pp. 215–227, 2000.

УДК 531.7

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

¹⁾Безвесільна О. М., ²⁾Подчашинський Ю. О., ²⁾Чепюк Л. О., ²⁾Криворучко М. Г.

¹⁾Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна

²⁾Державний університет “Житомирська політехніка”, Житомир, Україна

E-mail: o.bezvesilna@gmail.com, jup@ztu.edu.ua, traveller2762@gmail.com

Структурна схема комп'ютеризованої вимірювальної системи на основі мікроконтролера та датчика кутової швидкості (ДКШ), що дозволить обробляти результати виміру швидкості обертання механічного або електромеханічного об'єкта, зображена на рис. 1.

За допомогою ДКШ ми отримуємо значення вимірної кутової швидкості об'єкта, ці сигнали надходять до мікроконтролера, який обчислює швидкість обертання та показує результати на відповідних периферійних пристроях або індикаторах.

У якості індикатора системи передбачається використання дворядкового знаковинтезуючого рідкокристалічного індикатора, що має зручні інструменти для показу інформації. Система також використовує клавіатуру для введення певних налаштувань, наприклад одиниць вимірювання кутової швидкості.

Система обладнана стандартним для сучасних персональних комп'ютерів інтерфейсом – RS232, що дозволяє безперервно отримувати дані від вимірювача кутової швидкості, а також перепрограмувати пристрій без апаратного

проектування системи для вимірювання кутової швидкості рухомих об’єктів, більш детальні характеристики наведено у табл. 1 [1, 2].

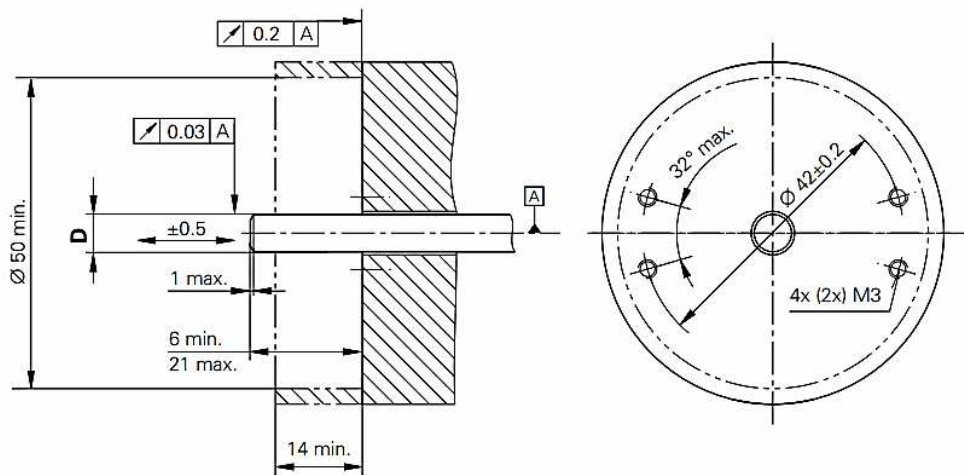


Рис. 2. Габаритне креслення енкодера ERN 1020

Таблиця 1. Технічні характеристики енкодера ERN 1020

Інкрементальні сигнали	TTL
Кількість штрихів	2500
Тактова частота	> 300 кГц
Напруга живлення	5 В ± 10 %
Споживання струму	> 120 мА
Вал	порожнистий вал діаметром 6 мм
Допустима частота обертання	10 000 об/хв
Початковий пусковий момент	< 0,001 Нм (при 20 °С)
Зсув валу вздовж осі	± 0,5 мм
Мін. робоча температура	-10 °С
Макс. робоча температура	100 °С
Ступінь захисту	IP 64

В якості електричного підключення використовують кабель 1-5 м, з роз’ємом або без різьбленням M23, що зображені на рис. 3, контакти роз’єму енкодера ERN 1020 наведено у табл. 2.

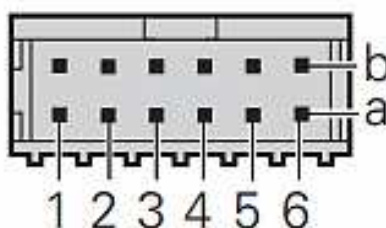


Рис. 3. Роз’єм кабелю підключення енкодера ERN 1020

Таблиця 2. Контакти роз'єму енкодера ERN 1020

6b	6a	5b	5a	4b	4a	2a	2b	1a	1b	3a	3b
U_{a1}	$\overline{U_{a1}}$	U_{a2}	$\overline{U_{a2}}$	U_{a0}	$\overline{U_{a0}}$	5V U_P	5V S	0V U_N	0V S	$\overline{U_{a5}}$	/

Ключові слова: комп'ютеризована вимірювальна система, швидкість обертання, датчик кутової швидкості.

Література

- [1] Encyclopedia of Sensors [Tutorial]. С. А. Grimes, E. C. Dickey, and M. V. Pishko; American Scientific Publishers, 2006.
- [2] Incremental rotary encoder ERN 1020 Heidenhain [Online]. Available: <https://www.heidenhain.com/products/rotary-encoders/external/ern-1000>

УДК 531.7

СТАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВІБРАЦІЙНОГО ГРАВІМЕТРА

Безвесільна О. М., Чепюк Л. О.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна

E-mail: o.bezvesilna@gmail.com, traveller2762@gmail.com

Авіаційна гравіметрична система (АГС) використовується для визначення характеристик гравітаційного поля Землі [1].

Ефективність роботи АГС значною мірою забезпечується вибором чутливого елемента системи – гравіметра.

Розглянемо статичну характеристику одного вібраційного гравіметра (рис. 1.), де g – прискорення сили тяжіння, u – вихідний сигнал вібраційного гравіметра Г, ПВП – первинний вимірювальний перетворювач – струна вібраційного гравіметра [2].

Сила інерції від дії прискорення сили тяжіння

$$F = m \cdot g$$

Вихідний сигнал одного вібраційного гравіметра: $U_{вих} = U_{вих}(g)$.



Рис. 1. Структурна схема вібраційного гравіметра

Передатна функція одного вібраційного гравіметра:

$$W_{1Г}(p) = -\frac{m}{mp^2 + np + \kappa}, \tag{1}$$

де m – величина маси, n – коефіцієнт опору (затухання), κ – коефіцієнт пружності.

У двоканальній мостовій схемі включення вібраційного гравіметра (рис. 2) вихідний сигнал буде у двічі більше:

$$W_{2CG}(p) = -2 \frac{m}{mp^2 + np + \kappa}.$$

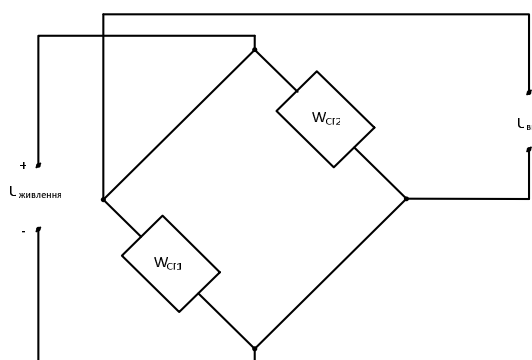


Рис. 2. Двоканальна мостова схема включення вібраційного гравіметра

Статична характеристика одного вібраційного гравіметра буде

$$S_{1CG} = -\frac{m}{\kappa}.$$

Статична характеристика нового двоканального вібраційного гравіметра буде

$$S_{2CG} = -\frac{2m}{\kappa}.$$

Для класичного вібраційного гравіметра структурна схема зображена на рис. 3.

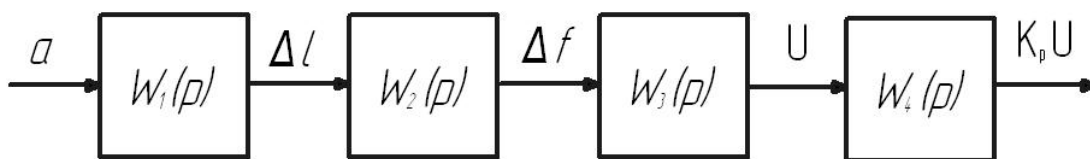


Рис. 3. Структурна схема вібраційного гравіметра

У динамічному режимі з обліком інерційності рухомої системи, передаточна функція першої ланки може бути представлена у вигляді:

$$W_1(p) = \frac{\frac{m}{c}}{\frac{m}{c}p^2 + \frac{R}{c}p + 1}, \tag{2}$$

де $p = \frac{d}{dt}$ – оператор диференціювання.

Другий перетворювач перетворює вхідну величину переміщення x у відповідну частоту коливань струни. Передатний коефіцієнт цього елемента:

$$K_2 = \frac{f}{x}.$$

З урахуванням отриманої залежності частоти f від розтягування струни x :

$$f = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{Ex}{\lambda l}},$$

отримаємо для коефіцієнта K_2 вираз:

$$K_2 = \frac{f^2}{x} = \frac{E}{4\ell^2 \lambda},$$

тобто передатна функція матиме вигляд:

$$W_2 = \frac{E}{4\ell^2 \lambda}. \quad (3)$$

Вхідною величиною третього перетворювача є частота коливань струни f , а вихідною – ЕРС, яка наводиться в струні під час її переміщення у магнітному полі. З огляду на це:

$$K_U = \frac{8iB^2 l_M l^4 f}{\pi^5 EJ} \left[\cos \frac{\pi(l-l_M)}{2l} - \cos \frac{\pi(l+l_M)}{2l} \right] \varphi_1(U), \quad (4)$$

де B – індукція поля магніту; i – струм, що проходить через струну; l_M – довжина струни в зоні дії магнітного поля; l – довжина струни; J – момент інерції поперечного перерізу струни.

Передатна функція третього перетворювача матиме вигляд:

$$W_3 = K_U. \quad (5)$$

Ланка $W_4(p)$ відповідає передатній характеристиці підсилювача напруги:

$$W_4 = K_p, \quad (6)$$

де K_p – коефіцієнт підсилення операційного підсилювача.

Отже кінцева передатна характеристика матиме вигляд:

$$W(p) = W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_4(p). \quad (7)$$

Отримана передатна функція має вигляд так званого коефіцієнта прямого перетворення й характеризується коливальним процесом.

Ключові слова: вібраційний гравіметр, передаточна функція, статична характеристика системи, гравіметрія.

Література.

[1] О. М. Безвесільна, *Авіаційні гравіметричні системи та гравіметри: Монографія*/ Житомир, Україна: ЖДГУ, 2007.

[2] О. М. Безвесільна, Л. О. Чепюк, *Вібраційний чутливий елемент приладового комплексу: монографія.* Київ: Україна: Пріоритети. 2018.

УДК 681.2

МЕТОДИ ОТРИМАННЯ ПРИЄДНУВАЛЬНОГО ЕЛЕМЕНТУ

Литвиненко П. Л., Нечай С. О.

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна

E-mail: pavel.l.litvinenko@gmail.com, prilad@ukr.net

У сучасному високорозвиненому виробництві стрімко зростає доля контрольно-вимірювальних операцій. Значна частина цих операцій на підприємствах машино та приладобудування пов'язана з визначенням геометричних параметрів деталей. При застосуванні для цих цілей різного роду автоматизованих пристроїв та систем, як правило, такі операції виконуються з використанням координатного методу вимірювань.

При цьому визначаються координати необхідного числа точок, що належать до контрольованого елемента, та подальшою обробкою отриманих даних для визначення геометричних параметрів об'єкту.

Попередньо отримується математичне представлення реальної поверхні з використанням тих чи інших методів апроксимації. Наступним кроком є порівняння цієї моделі з номінальним профілем. Для визначення відхилення від заданого номінального профілю проводиться їх порівняння за обраним критерієм. Таким чином отримують, так звані, приєднувальний елемент. Він повинен найкращим чином бути узгоджений з отриманими координатами вимірюваних точок.

Найбільш уживаними критеріями, що використовуються при проведенні координатних вимірювань є критерій прилеглої поверхні (принцип Тейлора), критерій мінімуму середньоквадратичного відхилення (апроксимація за Гаусом або метод середніх поверхонь) та критерій мінімальної зони.

Слід зауважити, що кожен з критеріїв дає різні результати та має з аналітичної точки зору різну складність і для отримання найбільш достовірного результату вимагають різного числа вимірюваних точок, отже і загального об'єму виконуваних операцій.

Для отримання приєднувального елемента за тим чи іншим критерієм можуть бути використані різні методи апроксимації. При їх виборі необхідними вимогами є отримання найбільш достовірної інформації з точки зору відповідності отриманого аналітичного представлення реальній поверхні. Використання того чи іншого методу апроксимації визначається головним чином характером вимірюваної поверхні, а саме хвиляста вона чи плавна.

Приєднувальний елемент з аналітичної точки зору за звичай являє собою лінійну комбінацію степеневих, тригонометричних, експоненціальних та інших функцій. Класичні методи апроксимації, такі наприклад, як апроксимація за Лагранжем або поліноми Ньютона хоч і дозволяють отримати доволі точний результат, вимагають вирішення рівнянь з великими степенями, що суттєво збільшує час на виконання математичних операцій. При цьому приєднувальний елемент будується таким чином, щоб він проходив через виміряні точки.

Метод найменших квадратів дозволяє вирішити поставлену задачу з використанням поліномів меншого степеня і при цьому має достатню точність. На відміну від попередніх методів приєднувальний елемент не проходить через вимірні точки, а будується так, щоб отримати мінімальне значення суми квадратів відстаней до реального або номінального профілю.

Апроксимація тригонометричними рядами (рядами Фур'є) аналітично представляє собою послідовність тригонометричних функцій. Найкраще її використовувати для апроксимації періодичних кривих.

Апроксимація експоненціальними функціями, на відзнаку від попередніх, описується нелінійними рівняннями, тому вимагає проведення лінеаризації. Вона використовується для апроксимації поверхонь, що змінюються плавно. Перевагою цієї апроксимації є значно менший час, необхідний для проведення обчислень.

Слід зазначити, що апроксимація тригонометричними та експоненціальними функціями може бути проведена з проходженням по координатах вимірних точок, але частіше виконується з використанням методу найменших квадратів.

Одним із способів підвищення точності отримання приєднувального елемента є застосування апроксимації сплайнами. Більш висока точність, ніж при інтерполяції багаточленами, досягається при цьому тому, що контрольована ділянка розбивається на ряд елементів, які можуть бути аналітично описані поліномами невисоких степенів і навіть елементарними функціями. При цьому апроксимація на цих ділянках виконується описаними вище методами з накладанням відповідних додаткових умов. Але поряд із спрощенням аналітичних операцій, збільшення їх числа не призводить до суттєвого зменшення загального об'єму обчислювальних витрат.

Підсумовуючи можна зробити висновок, що кожен з методів апроксимації має свої недоліки та переваги, і, обирати той чи інший метод необхідно залежно від характеру вимірюваної поверхні.

Ключові слова: приєднувальний елемент, методи апроксимації.