

УДК 004.67

DOI <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2024-1-1>

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Баранюк Олександр Філімонович,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інформатики та інформаційних технологій
Центральноукраїнського державного університету
імені Володимира Винниченка
ORCID ID: 0000-0003-1151-0092

У статті надано результати розробки вимірювальної інформаційної системи для збору даних лабораторних експериментів, призначеної для дослідження зарядно-розрядних характеристик літійонних акумуляторів. Основний акцент в дослідженні зроблено на використанні простих і доступних компонентів. Під час дослідження проаналізовано наукові публікації з питань використання інформаційно-комунікаційних технологій у навчальній і дослідницькій діяльності, розробки мікропроцесорних систем для наукових досліджень, довідкові аркуші використаних електронних компонентів. Коротко описано основні апаратні компоненти представленої системи та методи отримання й обробки даних.

Основою запропонованого рішення є плата мікроконтролера Arduino Nano, доповнена сумісними датчиками для вимірювання напруги, струму й температури. Система збору даних вимірює напругу в діапазоні від 0 до 5 В, струм – у діапазоні від –3 до +3 А, температуру – у діапазоні від –55 до +125 °С. Основними режимами роботи є заряджання і розряджання літійонного акумулятора. Вибір режиму здійснюється командою з кнопочового пульта шляхом комутації ключів на польових транзисторах. Система може бути доповнена LCD-дисплеєм для відображення поточних даних експерименту.

Мікроконтролер містить попередньо створену й завантажену програму (прошивку), яка реалізує логіку дослідження, здійснює отримання та первинну обробку даних. Зібрані дані перетворюються в послідовність форматованих текстових рядків і через вбудований USB-порт періодично передаються в комп'ютер, де отримуються й реєструються комп'ютерною програмою. Як програму для комп'ютера використано програмну надбудову PLX-DAQ до офісної програми Microsoft Office Excel, яка отримує дані через віртуальний COM-порт і заносить їх до комірок аркуша електронної таблиці.

Запропонована система призначена насамперед для проведення лабораторних досліджень у рамках освітнього процесу та студентських дослідницьких проєктів.

Ключові слова: вимірювання, інформаційна система, система збору даних, DAQ, літійонний акумулятор, Arduino Nano, лабораторні дослідження.

Baraniuk Oleksandr. Development of information system for laboratory research

The article presents the development of a simple data acquisition system for collecting data from laboratory experiments designed to study the charge-discharge characteristics of lithium-ion batteries. The main focus of the research is on the use of simple and affordable components. The research analyzed scientific publications on the use of information and communication technologies in educational and research activities, the development of microprocessor systems for scientific research, and datasheets of the used electronic components. The main hardware components of the presented system and the methods of data acquisition and processing are briefly described.

The proposed solution is based on the Arduino Nano microcontroller board, supplemented with compatible sensors for measuring voltage, current, and temperature. The data acquisition system can measure voltage within a range of 0 to 5 V, current within a range of –3 to +3 A, and temperature in the range from –55 to +125 °C. The main operating modes are charging and discharging of the Li-ion battery. The mode is selected by a command from the push button module by turning the MOSFET based switch on and off.

The microcontroller contains a user-created and preloaded program (firmware) that implements the research program logic, performs data acquisition and primary processing. The collected data is converted into a sequence of formatted text lines and periodically transmitted to the computer via the built-in USB port, where it is received and registered by a computer program. The PLX-DAQ software add-in for the Microsoft Office Excel office program is used as a computer program, which receives data through a virtual COM port and enters it into the cells of the spreadsheet.

The proposed system is primarily intended for conducting laboratory studies as part of the educational process and student research projects.

Key words: *information system, measurement, data acquisition system, DAQ, lithium-ion battery, Arduino Nano, laboratory studies.*

Вступ. Проведення вимірювальних експериментів у наукових і промислових лабораторіях потребує відповідного лабораторного обладнання. Провідні компанії – виробники електронного обладнання пропонують широку гаму вимірювального обладнання для різних галузей і застосувань. Зазвичай це потужні високоякісні і дороговартісні лабораторні комплекси. Досить часто різноманітні вимірювальні експерименти доводиться виконувати в навчальних аудиторіях під час лабораторних робіт і в навчально-наукових дослідницьких лабораторіях під час проведення наукових експериментів.

Останнім часом вимірювальні експерименти здебільшого проводяться з використанням засобів комп'ютерної та мікропроцесорної техніки. Для цього є як мінімум дві причини. По-перше, на ринку з'явилося багато компактних, дешевих і досить якісних датчиків фізичних величин. По-друге, комп'ютеризовані системи дають змогу значно полегшити проведення навчальних і наукових експериментів та прискорити обробку даних завдяки автоматизації більшості процесів.

Бувають випадки, коли для проведення експерименту не обов'язково потрібні високоточні й дорогі прилади, достатньо відстежити і проаналізувати певні залежності й закономірності, що стосується також студентських робіт.

Аналіз досліджень і публікацій. Питанням використання інформаційно-комунікаційних технологій у навчальному процесі та дослідницькій діяльності присвячено багато наукових праць вітчизняних та зарубіжних авторів. Зокрема, такі вчені, як М. І. Жалдак, Н. В. Морзе, В. Ю. Биков, Ю. О. Жук та інші, присвятили ряд своїх досліджень проблемам впровадження інформаційно-комунікаційних технологій в освітнє середовище [1; 2; 5].

Питанням застосування ІКТ загалом та обчислювальної платформи Arduino зокрема в навчальній діяльності й навчальному експерименті студентів присвячено роботи О. Мартинюка, І. Сальник, Д. Соменка, [3; 6].

Комерційні системи збору даних (Data Acquisition System, DAQ або DAS) універсального або спеціалізованого призначення характеризуються потужною функціональністю, високою точністю, а також високою вартістю. Вони мають багатоканальні багаторозрядні аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП), цифрові входи / виходи, лічильники, комп'ютерні або мережеві інтерфейси тощо. Залежно від призначення, функціональності та точності їх вартість коливається від кількох сотень до кількох тисяч доларів. Такі потужні пристрої збору даних підходять для застосунків, де функціональність має перевагу над ціною, зокрема, у дослідницьких лабораторіях розробників і виробників акумуляторів.

Є, однак, також інші випадки застосувань, де потужні й дорогі рішення не доцільні. У навчальному процесі під час проведення лабораторних занять, у студентських дослідницьких проєктах, для прикладу, більш доречними будуть прості й недорогі пристрої збору даних, побудовані з доступних компонентів. У наш час пристрої збору даних можна реалізувати самостійно за допомогою мікроконтролерів (МК) із вбудованими АЦП або готових плат на їх основі на кшталт Arduino, ESP-32, STM32 та інших.

У літературних джерелах досить широко представлені різноманітні системи збору даних на основі МК. Найчастіше вони не є системами збору даних загального призначення, а були спеціально розроблені для вирішення конкретних задач збору даних досліджуваних систем.

Так, робота [13] представляє недорогу систему збору даних, побудовану на МК Arduino Uno, для одержання даних від аналогових датчиків і передачі їх у комп'ютер (ПК) для подальшої обробки. Програма для ПК з графічним інтерфейсом реалізована засобами мови Python. Графічні дані, одержані системою, зберігаються на ПК у форматі CSV для подальшого аналізу.

У дослідженні [11] представлено розробку системи збору даних для вимірювання потоку рідини на основі МК PIC18F2550 з USB-інтерфейсом у режимі HID. Керівна програма реалізована мовою Visual Basic.

Система в [9] використовує плату Arduino Mega 2560. Вимірювані величини швидкості, температури, положення та прискорення двигуна передаються в ПК через інтерфейс USB. Програма відображає дані графічно, зберігає їх на ПК у форматі xls, а також може зберігати графіки у форматі jpeg.

Система моніторингу погоди [8] на основі МК-плати Arduino Mega 2560 контролює, записує на карту пам'яті та виводить на LCD-дисплей параметри аналогових і цифрових атмосферних датчиків. Виходи аналогових датчиків підключаються до МК через окремий АЦП.

У роботі [10] описано стенд для лабораторних випробувань літійонних акумуляторів. Він складається з блоку живлення Voltcraft HPS-11560, що використовується як зарядний пристрій, електронного навантаження AIM-TTI LD300 для підтримки струму розрядження, пристрою збору даних NI USB-6008 і датчика струму Tektronix. Датчик струму розміщений на плюсовому проводі, а датчик температури прикріплений до поверхні акумулятора. Виводи акумулятора, виходи датчиків струму й температури підключені до входів пристрою введення-виведення, який підключений до комп'ютера з програмою реєстрації даних типу VI Logger від National Instruments.

Отже, використовуючи недорогі та доступні МК-плати й модулі до них цілком реально побудувати необхідну систему збору даних для проведення лабораторних досліджень.

Матеріали та методи. Під час цього дослідження було розроблено вимірювальну інформаційну систему збору даних для довготривалих випробувань. Передбачено, що система використовуватиметься для дослідження зарядно-розрядних характеристик літійонних акумуляторів популярного формату 18650.

Система складається з плати Arduino Nano на основі МК Atmega328P, тримача (холдера) акумуляторів, датчиків напруги, струму й температури, лабораторного блоку живлення та навантаження.

Arduino Nano [7] – це мініатюрна плата розробки, призначена для створення швидких прототипів систем з МК. Вона подібна до базової плати Arduino Uno, але має значно менші розміри розміри (18 * 45 мм). Основою плати є 8-розрядний МК ATmega328P, що працює на частоті 16 МГц. Контролер має 32 КБ пам'яті програм, 2 КБ оперативної пам'яті, 1 КБ постійної пам'яті даних. Інтерфейс плати має 22 виводи, з яких 20 можуть виконувати функції цифрових входів / виходів (D0–D13, A0–A5), а 8 можуть бути використані як аналогові входи (A0–A7). Крім цього, плата має виводи живлення, порт mini-USB для зв'язку з комп'ютером та роз'єм ICSP для внутрішньосхемного програмування процесора. Контролер підтримує послідовні інтерфейси UART, I2C, SPI.

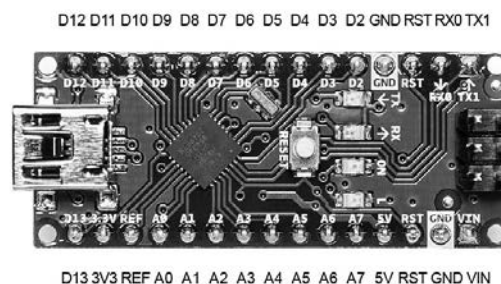


Рис. 1. Плата мікроконтролера Arduino Nano

Для вимірювання напруги використовується вбудований аналого-цифровий перетворювач контролера. Його діапазон вхідних напруг (0...5 В) охоплює діапазон робочих напруг літійонного акумулятора (2,5...4,2 В), тому можна обійтися без окремого датчика напруги.

Роль датчика струму виконує модуль GY-471 на основі високоточного датчика струму MAX471 з програмованим коефіцієнтом підсилення.

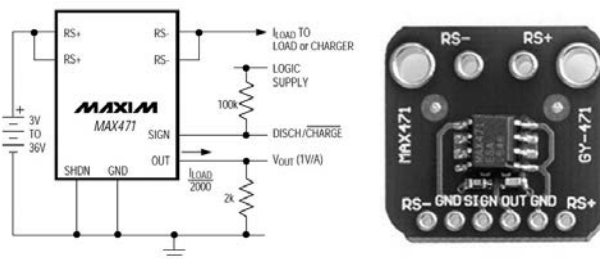


Рис. 2. Модуль датчика струму GY-471

MAX471 має вбудований шунт (опором 35 мΩ) для вимірювання струму до ±3 А на високій стороні блока живлення. Вихідний струм сенсора за допомогою зовнішнього резистора перетворюється на напругу з відліком відносно землі. Коефіцієнт підсилення за струмом становить 0,5 мА/А, що за номіналу зовнішнього резистора 2 кΩ дає коефіцієнт передачі 1 В/А.

Контроль температури акумулятора здійснюється цифровим датчиком температури DS18B20 з програмованою роздільною здатністю 9...12 біт, що відповідає кроку вимірювання температури в межах 0,5...0,0625 °С. Точність вимірювання становить 0,5 °С. Датчик DS18B20 живиться від джерела напруги 5 В, хоча може отримувати й паразитне живлення від лінії даних. Контролер спілкується з датчиком DS18B20 через однопровідний інтерфейс 1-Wire.

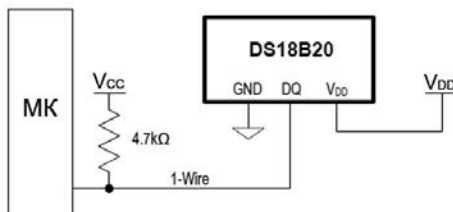


Рис. 3. Датчик температури DS18B20

Зарядження літійіонного акумулятора відбувається від блока живлення з підтримкою режимів постійного струму та постійної напруги (Constant Current/Constant Voltage або CC/CV) [4; 12]. Тобто на початковому етапі заряд акумулятора здійснюється постійним струмом (стандартно струм дорівнює половині номінальної ємності акумулятора або 0,5С) до досягнення напруги $4,2 \pm 0,05$ В, а потім постійною напругою до досягнення заданої виробником мінімальної величини струму (зазвичай 0,02...0,05С).

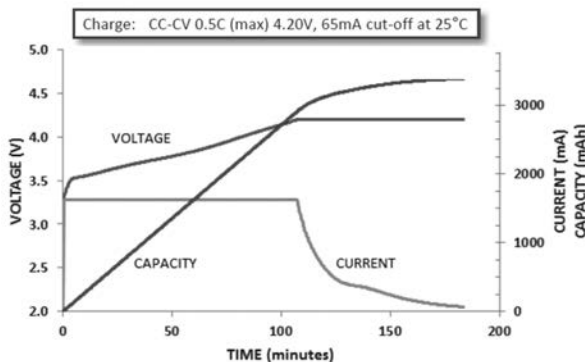


Рис. 4. Характеристики заряду акумулятора NCR18650BF [12]

Розрядження акумулятора здійснюється постійним струмом (типово 0,2С) до досягнення визначеного виробником мінімального значення напруги (2,5–3 В). У цьому режимі можна виміряти реальну ємність (в ампер-годинах), яку здатний віддати акумулятор. Роль навантаження виконує резистор достатньої потужності або електронне навантаження (пристрій, здатний підтримувати постійний струм розрядки з високою точністю). Довідкові аркуші (datasheet) виробників подають номінальну ємність акумулятора за розрядження струмом 0,2С, хоча можуть вказувати й інші режими розрядження, як-от 0,5С, 1,0С, 2,0С або 1 А, 2А, 5А [12].

Процес заряджання чи розряджання триває кілька годин, тому контролер автоматично збирає дані в реальному часі, фільтрує, проводить обчислення ємності та передає їх в комп'ютер через USB-інтерфейс. У разі підключення LCD-дисплея дані також виводяться на екран.

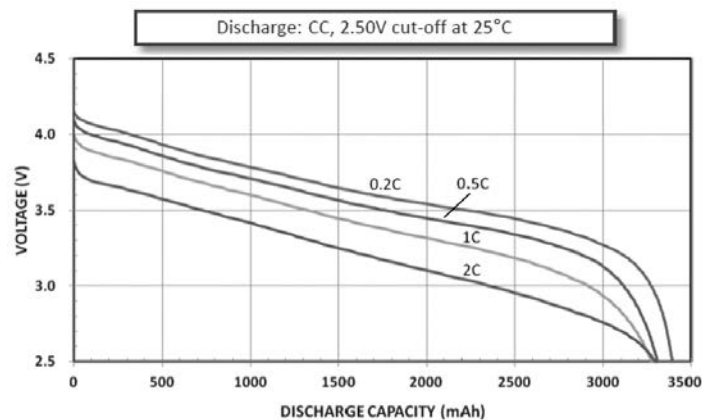


Рис. 5. Характеристики розряду акумулятора NCR18650BF [12].

У цій роботі використані загальнонаукові та спеціальні методи дослідження. Загальнонаукові методи: спостереження за перебігом експерименту в процесі заряджання / розряджання; порівняння технічних характеристик акумуляторів різних виробників; порівняння характеристик заряду / розряду за різних струмів; вимірювання напруги на акумуляторі, струму заряду / розряду, температури; індукція для виведення загальних закономірностей поведінки акумуляторів на підставі узагальнення даних експериментів над різними акумуляторами.

Спеціальні методи: одержання струму шляхом вимірювання напруги на відомому опорі згідно із законом Ома; фільтрація вихідних даних АЦП методом ковзного середнього (рухомого вікна) з метою зниження рівня перешкод; метод чисельного інтегрування за квадратурною формулою прямокутників для обчислення ємності, отриманої / відданої акумулятором за час T на основі вимірювання струму I_k через фіксовані проміжки часу Δt .

$$C = \int_0^T I(t)dt = \sum_{k=0}^n I_k \Delta t$$

Результати. Вимірювальна інформаційна система, побудована на основі плати МК Arduino Nano, забезпечує два основні режими роботи: заряджання і розряджання акумулятора. Зміна режиму роботи здійснюється через керовані ключі SW1, SW2, роль яких виконують модулі-драйвери на основі реле або польових транзисторів. МК здійснює моніторинг процесів заряджання-розряджання за допомогою датчиків напруги, струму й температури.

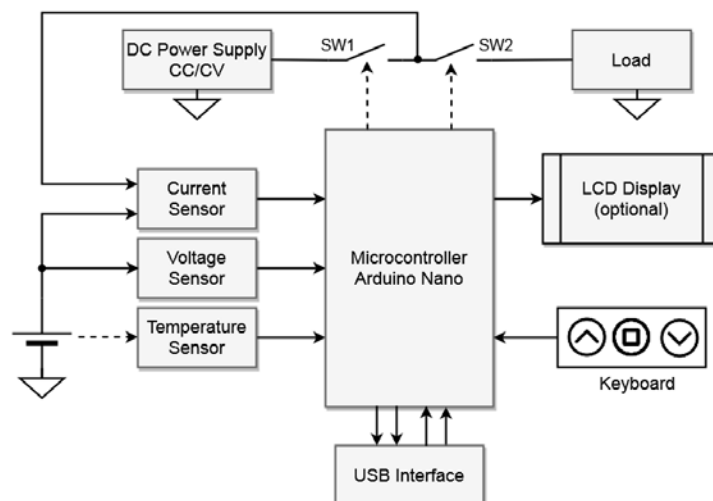


Рис. 6. Система збору даних для дослідження акумуляторів

Дані, отримані в процесі експерименту, передаються в ПК через вбудований міст USB-UART МК Arduino Nano. Операційна система комп'ютера сприймає плату контролера як віртуальний COM-порт. USB-порт плати використовується як для програмування контролера, так і для передачі даних в ПК. У разі потреби до системи можна підключити LCD-дисплей для відображення поточних даних напруги, струму і ємності.

Керівна програма для контролера мовою C/C++ розроблена в середовищі Arduino IDE. Основні функції програми: перевірка наявності акумулятора та його напруги, вибір режиму роботи, вимірювання значень напруги і струму, облік зарядної / розрядної ємності, моніторинг температури акумулятора, збір і передача даних у комп'ютер. Параметри акумулятора вимірюються кожні дві секунди, фільтруються і щохвилини передаються в комп'ютер.

Для приймання даних із віртуального COM-порту та їх обробки потрібна комп'ютерна хост-програма. Універсальні лабораторні стенди комплектуються спеціалізованими програмами від виробника. Монітор послідовного порту Arduino IDE чи інші популярні термінальні програми здатні лише виводити отримані дані на екран, отже, їх функціонал дуже обмежений. Часто науковці пишуть власні програми для обробки результатів експерименту, хоча далеко не всі з них мають для цього достатньо навичок і кваліфікації.

Разом із тим існує простий і доступний програмний засіб Parallax Data Acquisition Tool (PLX-DAQ) у вигляді надбудови (макросу) для табличного процесора Microsoft Office Excel, призначений для отримання даних із COM-порту комп'ютера. Надбудова підтримує до 15 COM-портів, стандартні швидкості передачі в діапазоні 300–128К, до 26 стовпчиків даних в Excel, може автоматично додавати мітки дати / часу. Фірма Parallax Inc. створювала цей продукт для власних плат із контролерами BASIC Stamp та Propeller, але його можна використовувати з будь-якими іншими контролерами.

PLX-DAQ отримує дані з COM-порту в реальному часі й розміщує їх у комірки аркуша Excel. Дані передаються у вигляді текстових рядків, формат рядків для обміну простий і добре документований. Перший рядок містить назви стовпчиків у таблиці Excel, наступні рядки – значення, розділені комами, що відповідає формату CSV.

МК Arduino Nano вимірює параметри заряду / розряду, формує з них текстовий рядок, що містить мітку часу, напругу, струм, ємність і температуру, і передає його в комп'ютер через послідовний порт, використовуючи функції програмного об'єкта Serial, які дають змогу подавати дані в різних форматах і системах числення. Надбудова PLX-DAQ приймає дані з COM-порту і заносить їх до чергового рядка таблиці поточного відкритого аркуша Excel, де ці дані

можна переглянути, зберегти у файл, роздрукувати, побудувати графік чи діаграму. Якщо графік з відповідною йому областю даних таблиці Excel підготувати заздалегідь, то можна спостерігати побудову графіка в реальному часі. На рис. 7 наведено фрагмент таблиці з даними, одержаними в процесі розряду акумулятора, і графік розряду літійіонного акумулятора, на якому представлено зміну напруги акумулятора LGDAS31865 у процесі розряду від 4,11 В до 3,00 В та зміну ємності, відданої акумулятором. Експеримент показав, що за час розряду акумулятор віддав 1875 mAh ємності, або 7 Wh енергії.

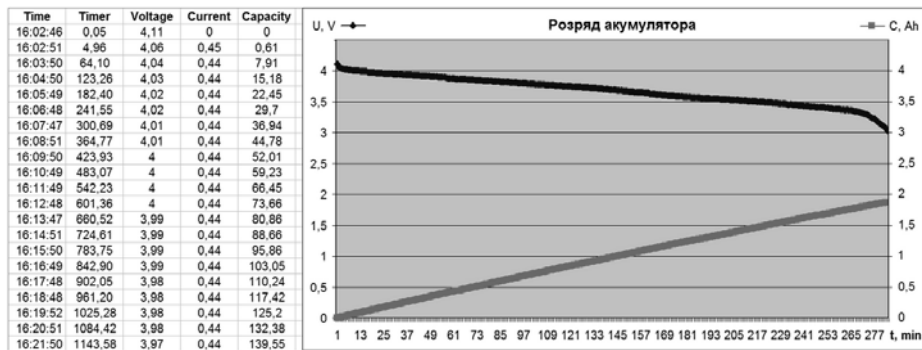


Рис. 7. Таблиця даних та графік розряду Li-ion акумулятора

Висновки. Певні лабораторні дослідження передбачають проведення довготривалих експериментів з великим обсягом даних. Промислові реєстратори даних, доступні на ринку, занадто дорогі для використання в навчальному експерименті. Пропонується організувати первинний збір даних за допомогою простої системи на основі плати Arduino Nano та інших доступних сумісних компонентів, а також програмної надбудови PLX-DAQ до табличного процесора Excel. Розроблена система дає можливість отримувати аналогові та цифрові сигнали в реальному часі, здійснювати первинну обробку й передачу даних у комп'ютер. Представлене апаратно-програмне рішення протестоване на прикладі системи для дослідження процесів заряду / розряду літійіонних акумуляторів і підтвердило свою працездатність.

Порівняно з комерційними DAQ-пристроями це рішення має такі переваги: система складається з доступних компонентів, автоматично отримує в реальному часі та передає дані експерименту, придатна для довготривалих експериментів. У подальшому планується розширити функціональність системи додатковими режимами та можливістю налаштування параметрів.

Література:

1. Биков В., Спірін О., Пінчук О. Сучасні завдання цифрової трансформації освіти. *Вісник Кафедри ЮНЕСКО Неперервна професійна освіта XXI століття*. 2020. № 1. С. 27–36. DOI: doi.org/10.35387/ucj.1(1).2020.27-36.
2. Жалдак М. І. Проблеми інформатизації навчального процесу в середніх і вищих навчальних закладах. *Комп'ютер в школі та сім'ї*. 2013. № 3. С. 8–15.
3. Мартинюк О. С. Технології проектування та особливості використання апаратно-програмного комплексу навчального призначення. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки. Випуск 177*. Том 1. Кропивницький, 2019. С. 237–242.
4. Методика дослідження ефективності електрохімічного акумуляювання електроенергії / Боярчук В. та ін. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2023. Вип. 13 (1). DOI: doi.org/10.31388/sbtsatu.v13i1.390.
5. Роль цифрових технологій у розвитку екосистеми STEM-освіти / Гриневич Л. М., Морзе Н. В. та ін. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2021. Т. 83. № 3. С. 1–25. DOI:doi.org/10.33407/itlt.v83i3.4461
6. Сальник І. В., Сірик Е. П., Соменко Д. В. Використання ІКТ в системі підготовки вчителів фізики до запровадження STEM-освіти. Тези доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці». 23–25 червня 2022 р. Черкаси : ЧДТУ, 2022. С. 178–180.

7. Arduino Nano. Product Reference Manual. Modified: 16/02/2024. URL: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000005-datasheet.pdf>.
8. Development of Ultra Low-Cost Data Acquisition System (DAS) for Developing Countries / Osinowo M. et. al. *Trends in Sciences*. 2022. Vol. 19 (13). P. 4639.
9. Khattak A., Ahmad M.M., Khan F.U. Arduino Based Control And Data Acquisition System Using Python Graphical User Interface (GUI). *International Journal of Scientific & Technology Research*. 2021. Vol. 10 (6), pp. 124–131.
10. Kopczyński A., Liu Z., & Krawczyk P. Parametric analysis of Li-ion battery based on laboratory tests. *E3S Web of Conferences*. 2018. Vol. 44, p. 00074. DOI: doi.org/10.1051/e3sconf/20184400074.
11. Microcontroller based data acquisition system using error reduction technique / Biswas D. et. al. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 2019. Vol. 11 (3), pp. 40–48.
12. Panasonic NCR18650BF Batteries. URL: na.industrial.panasonic.com/file-download/3441.
13. Sarma P., Singh H.K., Bezboruah T. A Real-Time Data Acquisition System for Monitoring Sensor Data. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*. 2018. Vol. 6 (6). C. 539–542.

References:

1. Bykov, V., Spirin, O., & Pinchuk, O. (2020). Suchasni zavdannia tsyfrovoy transformatsii osvity [Modern Tasks of Digital Transformation of Education]. *Visnyk Kafedry YuNESKO Neperervna profesiina osvita XXI stolittia*, (1), 27–36. DOI: [doi.org/10.35387/ucj.1\(1\).2020.27-36](https://doi.org/10.35387/ucj.1(1).2020.27-36) [in Ukrainian].
2. Zhaldak, M.I. (2013). Problemy informatyzatsii navchalnoho protsesu v serednikh i vyshchyykh navchalnykh zakladakh [Problems of informatization of the educational process in secondary and higher educational institutions]. *Kompiuter v shkoli ta simi*, (3), 8–15 [in Ukrainian].
3. Martyniuk, O.S. (2019). Tekhnologii proektuvannia ta osoblyvosti vykorystannia aparatno-prohramnoho kompleksu navchalnoho pryznachennia [Design technologies and features of the use of educational hardware and software complex]. *Naukovi zapysky. Seriya: Pedagogichni nauky*, 177 (1), 237–242. Kropyvnytskyi: RVV TsDPU im. V. Vynnychenka [in Ukrainian].
4. Boyarchuk, V., Korobka, S., Stukalets, I., Babych, M., & Syrotyuk, S. (2023). Metodyka doslidzhennia efektyvnosti elektrokhimichnoho akumuluvannia elektroenerhii [Method of research the efficiency of electrochemical electricity accumulation]. *Naukovyi visnyk Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnologichnoho universytetu*, 13 (1). Zaporizhzhia: TDATU. DOI: doi.org/10.31388/sbtsatu.v13i1.390 [in Ukrainian].
5. Hrynevych, L.M., Morze, N.V., Vember, V.P., & Boiko, M.A. (2021). Rol tsyfrovyykh tekhnologii u rozvytku ekosystemy STEM-osvity [The role of digital technologies in the development of the STEM education ecosystem]. *Informatsiini tekhnologii i zasoby navchannia*, 83 (3), 1–25. DOI: doi.org/10.33407/itlt.v83i3.4461 [in Ukrainian].
6. Salnyk, I.V., Siryk, E.P., & Somenko, D.V. (2022). Vykorystannia IKT v systemi pidhotovky vchyteliv fizyky do zaprovadzhennia STEM-osvity [Employment of ICT in the system of training physics teachers for the introduction of STEM education]. *Tezy dopovidei VI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Informatsiini tekhnologii v osviti, nauksi i tekhnitsi»*. 23–25 chervnia 2022 r. Cherkasy: ChDTU. 178–180 [in Ukrainian].
7. Arduino Nano. Product Reference Manual. Last modified: 16/02/2024. <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000005-datasheet.pdf>.
8. Osinowo, M., Willoughby, A., Dairo, O., Ewetumo, T., & Kolawole, L. (2022). Development of Ultra Low-Cost Data Acquisition System (DAS) for Developing Countries. *Trends in Sciences*, 19 (13), 4639. DOI: doi.org/10.48048/tis.2022.4639.
9. Khattak, A., Ahmad, M. M., Khan, F. U. (2021). Arduino Based Control and Data Acquisition System Using Python Graphical User Interface (GUI). *International Journal of Scientific & Technology Research*, 10 (6). 124–131.
10. Kopczyński, A., Liu, Z., & Krawczyk, P. (2018). Parametric analysis of Li-ion battery based on laboratory tests. *E3S Web of Conferences*, (44), 00074. DOI: doi.org/10.1051/e3sconf/20184400074.
11. Biswas, D., Kumar, K., Rohilla, V., Kathait, G. S., Thapliyal, P., Bahuguna, A. S., Pundir, Y., & Tamta, V. P. (2019). Microcontroller based data acquisition system using error reduction technique. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 11 (3), 40–48. DOI: doi.org/10.4314/ijest.v11i3.5.
12. Panasonic NCR18650BF Batteries. <http://na.industrial.panasonic.com/file-download/3441>.
13. Sarma, P., Singh, H.K., & Bezboruah, T. (2018). A Real-Time Data Acquisition System for Monitoring Sensor Data. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 6 (6), 539–542. DOI: doi.org/10.26438/ijcse/v6i6.539542.