

А. І. Атамась

## УДОСКОНАЛЕНИЙ ЦИФРОВИЙ ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС НА БАЗІ ARDUINO NANO 33 BLE SENSE

**Анотація.** Цифрові вимірювальні комплекси (ЦВК) — це сучасні засоби навчання, необхідні для ефективного розвитку STEM-освіти та повноцінного функціонування STEM-центрів, STEM-лабораторій та шкільних кабінетів фізики. Можливість широкого застосування ЦВК обмежується їхньою відносно високою вартістю, а також певними труднощами, які виникають у викладачів та учнів на початковому етапі роботи з ними. Для часткового розв'язання проблеми технічного забезпечення закладів STEM-освіти та шкільних кабінетів фізики запропоновано вдосконалений цифровий вимірювальний комплекс на базі Arduino Nano 33 BLE Sense, здатний підтримувати одночасно декілька датчиків без необхідності перепрограмування платформи. На конкретних прикладах досліджено можливості адаптації наявних методик проведення лабораторних робіт під створений ЦВК. За результатами аналізу переліку рекомендованих лабораторних робіт із фізики відповідно до чинних навчальних програм та методик їх проведення із використанням ЦВК, розміщених на ресурсі віртуального STEM-центру Малої академії наук України, визначено сім комбінацій датчиків, наявність яких дає змогу використовувати ЦВК на Arduino Nano 33 BLE Sense для виконання усіх рекомендованих лабораторних робіт, а також більшої частини навчальних демонстрацій у старших класах. Розроблено схему й виготовлено прототип ЦВК, випробування якого продемонстрували високу точність, чутливість та відтворюваність результатів вимірювань, а також на конкретних прикладах підтвердили можливість адаптації методик проведення лабораторних робіт із фізики під його використання. Для створення експериментів під час адаптації запропоновано використовувати інструмент Phurphox webeditor, що разом із відсутністю необхідності перепрограмування платформи для роботи з тією чи іншою групою датчиків спрощує і скорочує час, протягом якого учні та педагоги навчаються працювати з комплексом.

**Ключові слова:** цифровий вимірювальний комплекс, STEM-освіта, лабораторна робота, смартфон, Arduino.

**Постановка проблеми.** Одним із пріоритетних напрямів модернізації сучасної освіти є STEM-освіта, для ефективного розвитку якої важливо впроваджувати і використовувати сучасні засоби навчання [1]. До них належать цифрові вимірювальні комплекси (ЦВК), без яких важко уявити повноцінне функціонування сучасного STEM-центру або STEM-лабораторії. ЦВК застосовуються під час лабораторних та навчальних дослідницьких робіт, а також під час

навчальних демонстрацій. Вони дають змогу автоматизувати, а відповідно й прискорити процес опрацювання результатів вимірювань і представити їх у формі графіків, яка є більш наочною. Крім того, ЦВК дають змогу досліджувати швидкоплинні процеси, під час яких реєстрація фізичних величин за допомогою звичайних вимірювальних приладів не можлива.

Оскільки є певні обмеження щодо широкого застосування ЦВК (їхня відносно висока вартість, а також складнощі первинного етапу роботи з ними), розроблення та створення ЦВК разом із методичним забезпеченням як для

учнів, так і для педагогів є актуальним завданням сучасної освіти.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Роль ЦВК в освітньому процесі розкривають І. Чернецький, І. Сліпучіна, С. Меньяйлов [2; 3]. ЦВК розглядаються як засіб розвитку дослідницьких якостей учнів [2]. Дослідники вивчають педагогічні передумови використання цифрових вимірювальних комплексів як формувальний чинник STEM-орієнтованого освітнього середовища і демонструють методику їх використання під час проведення лабораторних та навчальних дослідницьких робіт [3].

Практичні і лабораторні роботи з використанням реальних об'єктів та обладнання є невід'ємною частиною будь-якої навчальної програми з природничих або технічних наук, оскільки вони забезпечують закріплення теоретичних знань, а також сприяють розвитку практичних навичок [4]. Цей висновок також підтверджується результатами проведеного дослідження [5]. Виявилось, що застосування ЦВК з маніпуляціями над реальними фізичними об'єктами, на відміну від віртуальних засобів навчання, посилило зацікавлення і мотивацію дітей вивчати теми, до яких належали досліджувані явища.

Широкодоступним ЦВК може стати смартфон завдяки наявності групи сенсорів, склад якої залежить від його моделі. Найбільш популярними застосунками, які дають змогу використовувати смартфон як ЦВК, є Arduino Science Journal [6] і Phyphox (Physical Phone Experiments) [7]. Ці застосунки розроблені саме для навчальних цілей і дають змогу зчитувати, записувати й аналізувати дані з датчиків конкретної моделі смартфона. О. Воронкін пропонує частково розв'язати проблему застарілості матеріально-технічної бази шкільних кабінетів фізики шляхом використання смартфона із застосунком Phyphox [8]. Він визначає такі важливі особливості застосунку, як наявність готових експериментів, можливість створення нових експериментів, експорту даних до Excel, керування застосунком з іншого пристрою з веббраузером, підключеного до тієї самої мережі, що й смартфон. Остання особливість є важливою у випадках, коли під час експерименту учень не має доступу до смартфона, наприклад, якщо той потрібно встановити безпосередньо на рухомий елемент тієї чи іншої експериментальної установки. Крім того, автор вбачає перспективним використання зовнішніх

датчиків, підключених до платформ Arduino, з передачею даних до застосунку Phyphox за допомогою Bluetooth. Така думка є слушною з огляду на те, що склад групи сенсорів телефону залежить від його моделі, тому й можливості учнів щодо проведення того чи іншого експерименту будуть залежати від моделі телефону.

Новітніми компактними платформами сімейства Arduino є плати Arduino Nano 33 BLE Sense [9] та Arduino Nano 33 BLE Sense Rev2, що містять вбудовану групу датчиків, дані з яких можуть передаватися за допомогою Bluetooth. До складу платформ входять такі датчики: акселерометр, гіроскоп, магнітометр, датчик температури й вологості, датчик тиску, датчик положення, розпізнавання жестів, кольорів та визначення рівня освітленості, а також цифровий мікрофон. Платформа має компактні розміри (45 × 18 мм) і малу споживану потужність, а її вартість не перевищує вартості сучасного телефону. До того ж Arduino Nano 33 BLE Sense окрім вбудованих до неї датчиків може аналогічно підтримувати різноманітні зовнішні датчики і так само передавати дані через Bluetooth до застосунку Phyphox.

Електронні ресурси містять програмні коди для Arduino Nano 33 BLE Sense та відповідні експерименти для Phyphox [10]. При цьому кожен експеримент передбачає одночасну роботу лише з одним сенсором. На сайті віртуального STEM-центру Малої академії наук України [11] представлено детальний опис методики створення ЦВК відповідно до [10], а також декілька методик проведення лабораторних робіт із цим ЦВК. Цей підхід дає змогу працювати з фіксованою групою сенсорів, склад якої не залежить від моделі смартфона. Однак під час того чи іншого експерименту можливо отримувати дані лише з одного з датчиків, що містяться на платформі, і це істотний недолік.

**Мета дослідження** — вдосконалити ЦВК на базі платформи Arduino Nano 33 BLE Sense, здатний підтримувати водночас декілька датчиків без необхідності перепрограмування платформи, та дослідити на конкретних прикладах можливості адаптації наявних методик проведення лабораторних робіт під створений ЦВК.

**Основні результати досліджень.** Проаналізувавши перелік рекомендованих лабораторних робіт із фізики відповідно до навчальних програм [12; 13] та методик проведення лаборатор-

них робіт із використанням ЦВК, наявних на сайті віртуального STEM-центру Малої академії наук України [11] і в посібнику [14], ми визначили сім комбінацій сенсорів, додавання яких до програмного коду [10] дасть змогу використовувати ЦВК на базі Arduino Nano 33 BLE Sense для виконання усіх рекомендованих лабораторних робіт, а також більшої частини навчальних демонстрацій із фізики у старших класах. Комбінації представлені у табл. 1.

У шифрах комбінацій цифра перед буквою означає кількість каналів, а букви — вимірювані фізичні величини. Наприклад, комбінація 2T2U означає два канали вимірювання температури і два канали напруги, а комбінація Tφр — по одному каналу вимірювань температури, відносної вологості повітря та тиску.

У стовпчику «Вбудовані сенсори» представлені сенсори, які містяться на платформі Arduino Nano 33 BLE Sense (Arduino Nano 33 BLE Sense Rev2). A0... A3 — аналогові входи платформ. У стовпчику «Зовнішні сенсори» представлені додаткові сенсори, підключення яких до платформи має бути передбачене шляхом додавання до загальної схеми ЦВК відповідних роз'ємів, пов'язаних із платформою.

Схема ЦВК представлена на рис. 1. Основою комплексу є платформа Arduino Nano 33 BLE Sense (Arduino Nano 33 BLE Sense Rev2), а його живлення здійснюється від модуля TP4056 + J5019 із літєвим акумулятором GB1. Модуль TP4056 + J5019 являє собою підвищуючий

перетворювач, об'єднаний із зарядним пристроєм. Для заряду акумулятора модуль оснащений USB-роз'ємом. Під час роботи ЦВК вимикачі SA1 і SA2 перебувають у замкненому стані, під час заряду батареї вимикач SA1 — у замкненому, а SA2 — у розімкненому стані. Допускається заряд акумулятора й у процесі роботи ЦВК. Під час зберігання ЦВК обидва вимикачі мають перебувати в розімкненому стані.

Вимірювання напруги здійснюється на аналогових входах A0... A3 через дільники на резисторах R1... R8. Між кожним аналоговим входом і «землею» підключені конденсатори C1... C4 для згладжування можливих викидів напруги та діоди Шотткі VD1... VD4 для захисту входів від напруги зворотної полярності під час вимірювання змінної напруги, а також для випадку, якщо допущено помилки при підключенні ЦВК до досліджуваної схеми.

Роз'єм X1 призначений для підключення цифрових сенсорів та модулів, що використовують протокол I2S, зокрема сенсора відстані VL53L0X. Роз'єми X2 і X3 призначені для підключення інших цифрових датчиків та модулів, наприклад датчиків температури DS18B20, або модуля підключення тензодатчиків HX711.

Для випробувань був виготовлений прототип ЦВК, фото якого представлено на рис. 2.

Програмний код для ЦВК створювався шляхом додавання до коду, що вже існує [10], фрагментів для вимірювання фізичних величин

Таблиця 1

Комбінації сенсорів ЦВК

| № з/п | Комбінації       | Вбудовані сенсори                        | Зовнішні сенсори       |
|-------|------------------|--|------------------------|
| 1     | 4U               | A0, A1, A2, A3                           | —                      |
| 2     | 2T2U             | A0, A1                                   | 2 × DS18B20            |
| 3     | USBE             | A0, APDS-9960, LSM9DS1 (BMI270 + BMM150) | —                      |
| 4     | 2U <sub>AC</sub> | A0, A1                                   | —                      |
| 5     | SF               | —  | VL53L0X, HX711 + SC133 |
| 6     | Tφр              | HTS221 (HS3003), LPS22HB                 | —                      |
| 7     | Saωω             | APDS-9960, LSM9DS1 (BMI270 + BMM150)     | —                      |

*U* — напруга, *T* — температура, *S* — відстань, *B* — магнітна індукція,  
*E* — освітленість, *U<sub>AC</sub>* — змінна напруга, *F* — сила, *a* — прискорення, *ω* — кутова швидкість,  
*φ* — відносна вологість повітря, *p* — тиск

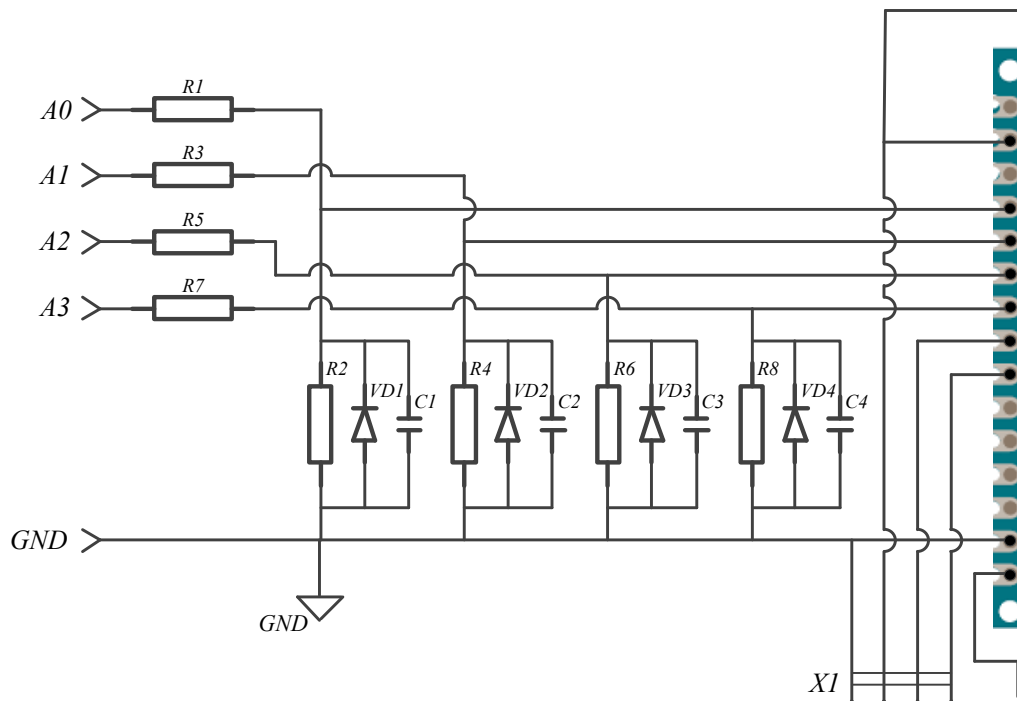


Рис. 1. Схема ЦВК

та передачі їхніх значень через Bluetooth відповідно до табл. 1.

На рис. 3 представлено фрагмент коду для конфігурації 2T2U.

Під кожну методику передбачається створення експериментів за допомогою сервісу Phyrphox webeditor [15]. Цей сервіс дає можливість здійснювати математичну обробку даних, що над-

ходять через Bluetooth, і виводити результати до застосунку Phyrphox у потрібному вигляді.

На рис. 4 представлено схему лабораторної установки для проведення лабораторної роботи «Дослідження теплової дії електричного струму» [11] із розробленим ЦВК. Згідно з методикою, під час експерименту проводиться вимірювання напруги і струму нагрівача й температури

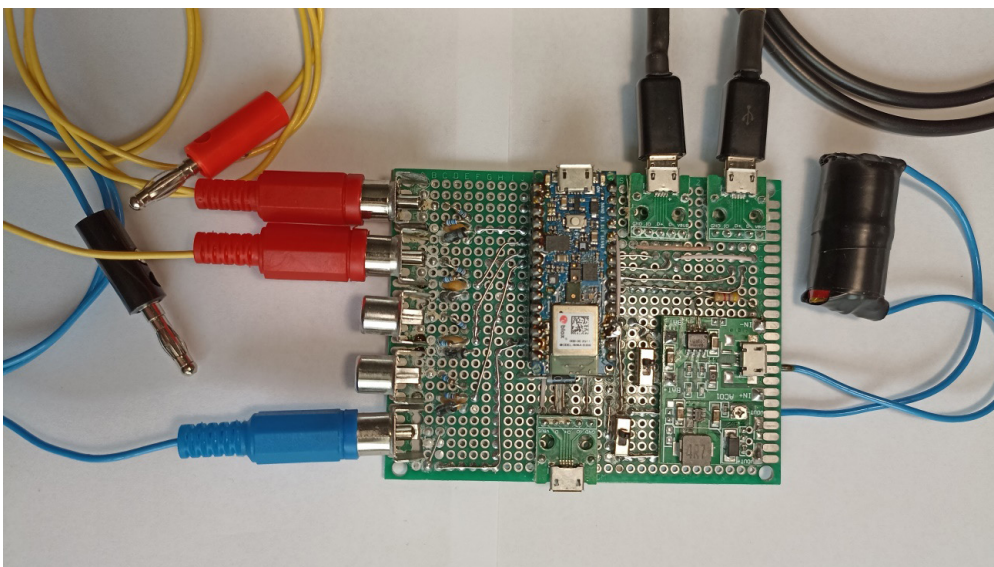


Рис. 2. Прототип ЦВК на макетній платі

```

void extsensortemp() {
    first_time = millis();
    first_difference_float = ((float)first_time - (float)initial_time) / 1000;
    if (device1.IsValid()) {
        temp1 = device1.GetTemperature<float>(bus1);
        if (!isnan(temp1)) {
            device1.Update(bus1);
        } else {
            device1.Reset();
        }
    } else {
        if (bus1.Discover().FindNextDevice(device1) && device1.GetModelCode() ==
MaximWire::DS18B20::MODEL_CODE) {
            device1.Update(bus1);
        } else {
            device1.Reset();
        }
    }
    if (device2.IsValid()) {
        temp2 = device2.GetTemperature<float>(bus2);
        if (!isnan(temp2)) {
            device2.Update(bus2);
        } else {
            device2.Reset();
        }
    } else {
        if (bus2.Discover().FindNextDevice(device2) && device2.GetModelCode() ==
MaximWire::DS18B20::MODEL_CODE) {
            device2.Update(bus2);
        } else {
            device2.Reset();
        }
    }
    voltage1 = analogRead(analogInPin1);
    voltage2 = analogRead(analogInPin2);
    PhyphoxBLE::write(first_difference_float, temp1, temp2, voltage1, voltage2);
    delay(1000);
}

```

Рис. 3. Фрагмент коду для конфігурації 2T2U

води у калориметрі. Використовуючи розроблений ЦВК, потрібно послідовно з нагрівачем підключити точний резистор  $R1$  із відомим опором, який слугуватиме шунтом для вимірювання струму. В такому випадку струм через нагрівач у мА дорівнюватиме напрузі на аналоговому вході A1. Напруга на нагрівачі дорівнюватиме різниці між напругами на A0 і A1. Температуру пропонується вимірювати за допомогою зовнішнього датчика DS18B20. Для цього комплексу вимірювань підходить програмна конфігурація 2T2U (другий датчик температури підключений, але не використовується).

На рис. 5 зображено блоки вхідних даних та аналізу, а на рис. 6 — блок виведення даних у Phyphox webeditor.

Вихідні дані, які передаються з платформи Arduino Nano 33 BLE Sense до телефону із застосунком Phyphox, розділяються на канали. Для цього прикладу: CH0 — час, CH1 — температура з першого датчика (°C), CH2 — температура з дру-

гого датчика (°C), CH3 — напруга на аналоговому вході A0 (3,3 mV), CH4 — напруга на аналоговому вході A1 (3,3 mV). У блоці аналізу напруга на нагрівачі (мВ) (CH3\_norm) визначається як різниця між напругою на входах A0 та A1 з урахуванням коефіцієнта ділення вхідного дільника (рис. 1), опорної напруги та розрядності АЦП. Струм через нагрівач (мА) (CH4\_norm) дорівнює напрузі на вході A1, поділений на опір резистора  $Rsh$ , і визначається також з урахуванням коефіцієнта ділення дільника та параметрів АЦП. Електрична потужність нагрівача (Вт) (CH5\_norm) визначається як добуток напруги і струму, помножений на  $10^{-6}$ . Енергія, що виділилася на нагрівачі (Дж) (CH6\_norm), визначається шляхом інтегрування залежності електричної потужності від часу.

Дані вимірювань для цієї роботи в застосунку Phyphox передбачається виводити у вигляді графіків залежностей величин від часу у двох вкладниках: Initial data й Energy (рис. 6). Опір

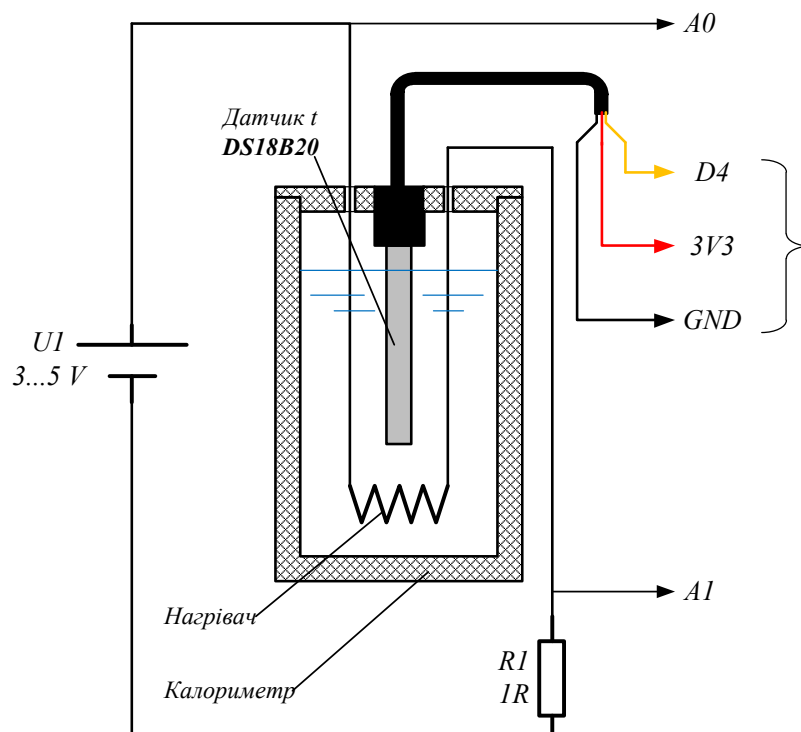


Рис. 4. Схема лабораторної установки для дослідження теплової дії електричного струму

шунта  $R_{sh}$  вводиться перед запуском вимірювань у застосунку, після чого враховується під час поточного опрацювання результатів вимірювань.

Під час випробувань ЦВК маса води, що заливалася у калориметр, становила 50 г, а опір шунта  $R_{sh}$  дорівнював 0,1 Ом. На рис. 7 показано приклад реєстрації даних у застосунку.

Протягом досліду температура води у калориметрі зросла на 21,2 °С (із 22,3 до 43,5 °С). Якщо прийняти питому теплоємність води рівною 4200 Дж/кг·К, то кількість теплоти, отримана водою у калориметрі, становить 4452 Дж. Електрична енергія, витрачена на нагрівання води, в цьому досліді становила близько 4767 Дж (рис. 7). Різниця між кількістю

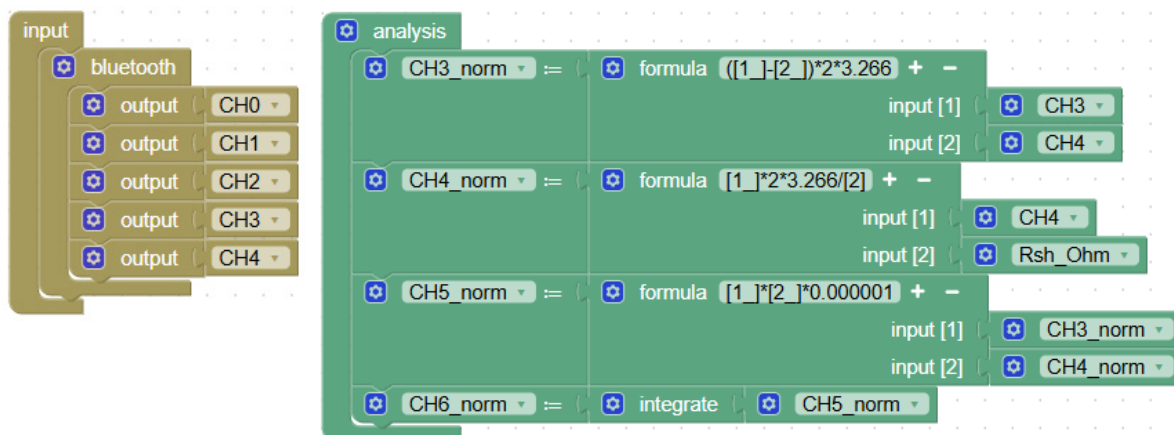


Рис. 5. Блоки вхідних даних (input) та аналізу (analysis) у Phyphox webeditor

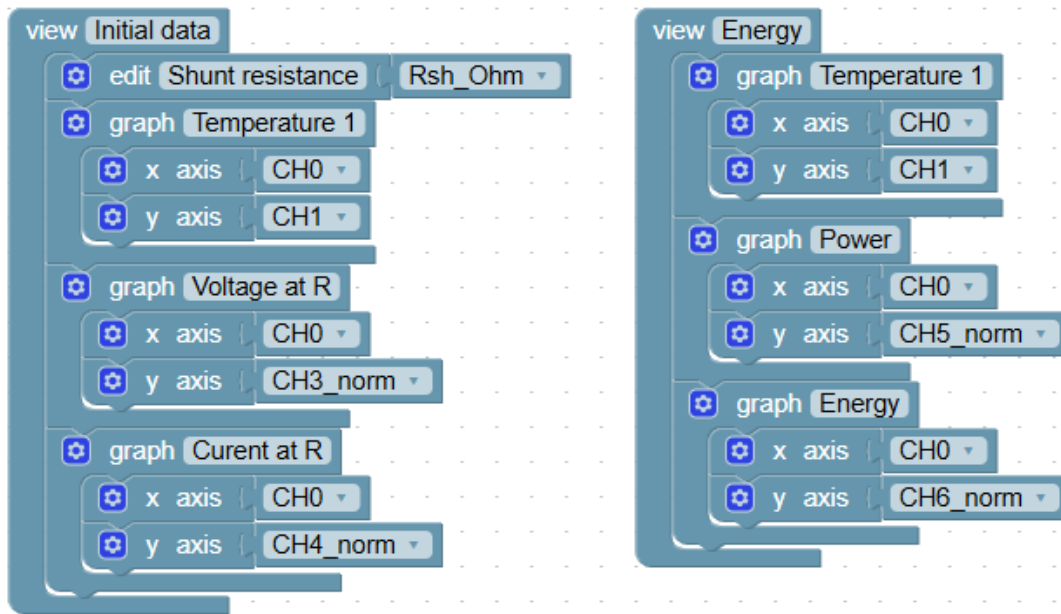


Рис. 6. Блок виведення даних у Phyxox webeditor

електричної енергії і кількістю теплоти перебуває в межах 7 %, що з урахуванням теплових втрат (нагрівання калориметра, зовнішніх проводів і т. п.) є цілком нормальною.

Випробування ЦВК проводилися також під час експериментів, передбачених методиками проведення інших лабораторних робіт. Phyxox webeditor дає можливість

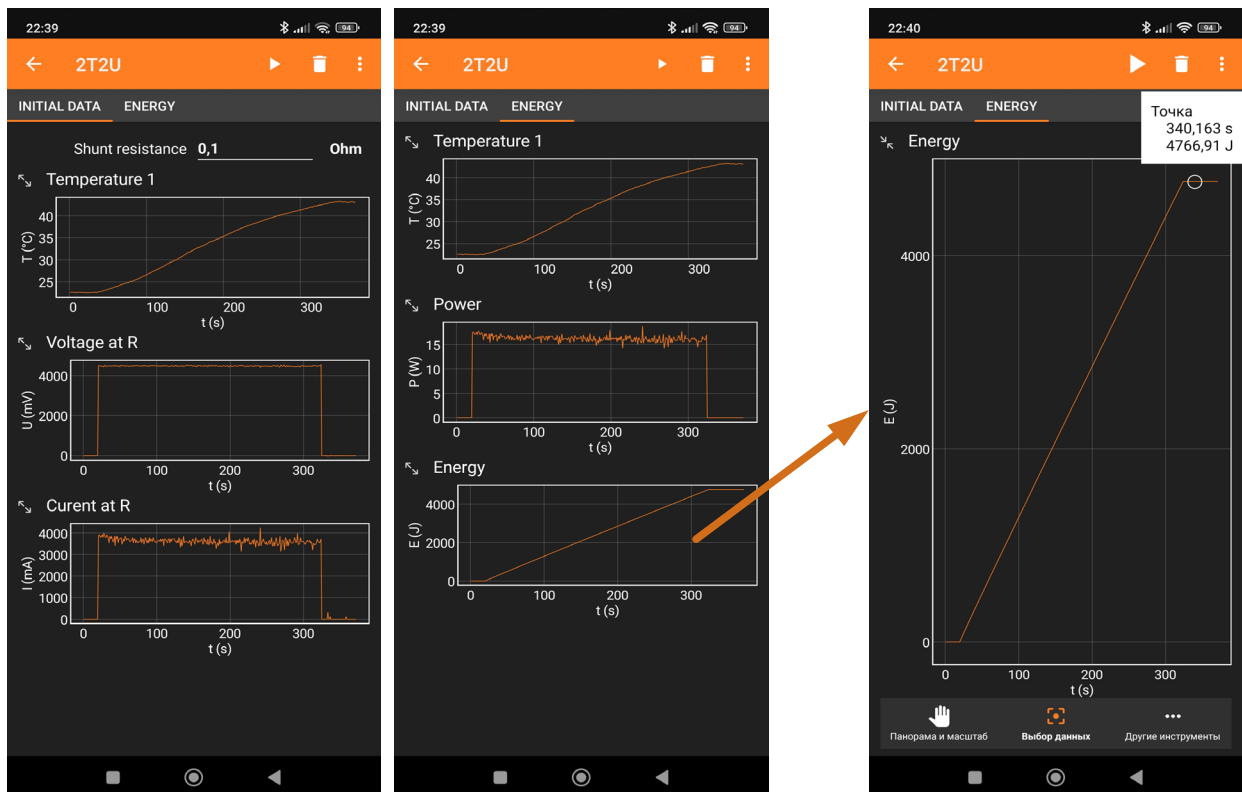


Рис. 7. Приклад виведення даних у застосунок Phyxox

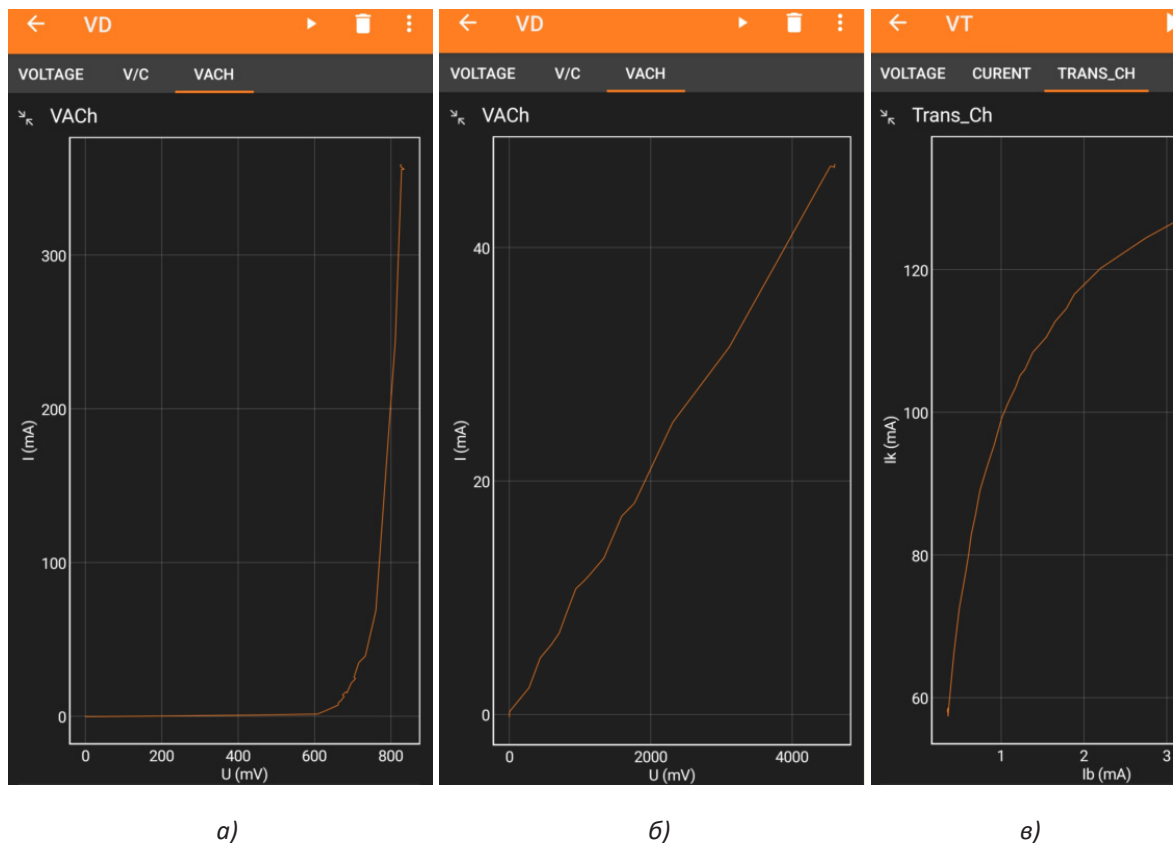


Рис. 8. Вольт-амперні характеристики діода (а) та резистора (б), передатна характеристика транзистора (в)

виводити графіки залежностей вимірних величин не лише від часу, а й однієї величини від іншої, а це, своєю чергою, дає можливість відразу отримувати вольт-амперні характеристики без додаткового опрацювання результатів (рис. 8).

Загалом випробування ЦВК засвідчили доволі високу для навчальних дослідів точність вимірювань та відтворюваність результатів. Надалі програмний код, а також Phyphox-експерименти можуть бути вдосконалені.

**Висновки.** Запропонований удосконалений ЦВК на базі Arduino Nano 33 BLE Sense може використовуватися під час виконання лабораторних та навчальних дослідницьких робіт віртуального STEM-центру Малої академії наук України після адаптації відповідних методик. Комбінації датчиків, передбачені у ЦВК, є такими, що дають змогу використати його також для виконання усіх рекомендованих лабораторних робіт та більшої частини навчальних демонстрацій із фізики у старших класах. Відсутність необхідності перепрограмування платформи для роботи з тією чи іншою групою датчиків

спрощує і скорочує час, протягом якого учні та педагоги навчаються працювати з комплексом. Використовуючи інструмент Phyphox webeditor, можна створювати й експерименти під конкретну методику, й базові експерименти, які передбачають лише передачу до застосунку первинних даних із подальшою обробкою у Phyphox або Excel.

Висока точність і відтворюваність результатів вимірювань, підтверджена результатами випробувань, з одного боку, та низька вартість — з іншого, разом із переліченими вище особливостями дає змогу частково вирішити питання оснащення STEM-центрів, STEM-лабораторій та шкільних кабінетів фізики сучасними засобами навчання.

#### Список використаних джерел

1. STEM-освіта. URL: <https://imzo.gov.ua/stem-osvita/> (дата звернення: 23.05.2025).
2. Чернецький І. С., Сліпухіна І. А., Меньяйлов С. М. Цифрові вимірювальні комплекси — засіб розвитку дослідницьких якостей суб'єктів пізнавальної діяльності. *Науковий часопис Націо-*

- нального педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія 5: Педагогічні науки: реальність та перспективи. 2013. Вип. 40. С. 259–269.
3. Сліпукхіна І. А., Чернецький І. С. Використання цифрового вимірювального комплексу в STEM-орієнтованому освітньому середовищі. *Інформаційні технології в освіті й науці*. 2016. Вип. 8. С. 261–272.
  4. Hrynevych L., Morze N., Vember V., Boiko M. Use of digital tools as a component of STEM education ecosystem. *Educational Technology Quarterly*. 2021. Vol. 2021. № 1. Pp. 118–139. DOI: <https://doi.org/10.55056/etq.24>.
  5. Chen S., Chang W.-H., Lai Ch.-H., Tsai Ch.-Y. A Comparison of Students' Approaches to Inquiry, Conceptual Learning, and Attitudes in Simulation-Based and Microcomputer-Based Laboratories. *Science Education*. 2014. Vol. 98. № 5. Pp. 905–935. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.21126>.
  6. Arduino Science Journal. URL: <https://www.arduino.cc/education/science-journal> (дата звернення: 23.05.2025).
  7. Phyphox — Physical Phone Experiments. URL: <https://phyphox.org/> (дата звернення: 23.05.2025).
  8. Воронкін О. С. Методичні особливості використання датчиків смартфона в шкільному лабораторному практикумі з фізики (на прикладі Phyphox). *Наукові записки Малої академії наук України*. 2022. № 3 (25). С. 47–58. DOI: <https://doi.org/10.51707/2618-0529-2022-25-06>.
  9. Kurniawan A. IoT Projects with Arduino Nano 33 BLE Sense. Step-by-step Projects for Beginners. Berkeley, CA : Apress, 2021. 161 p.
  10. Remote sensors with a smartphone. URL: [https://vulgarisation.fr/projet/arduino\\_nano/?lang=en](https://vulgarisation.fr/projet/arduino_nano/?lang=en) (дата звернення: 23.05.2025).
  11. Віртуальний STEM-центр Малої академії наук України. URL: <https://stemua.science/> (дата звернення: 23.05.2025).
  12. Фізика і астрономія : навчальні програми для закладів загальної середньої освіти (рівень стандарту, профільний рівень) / авт. кол. під кер. О. І. Ляшенка. Київ : [б. в.], 2017. 55 с.
  13. Фізика : навчальні програми для загальноосвітніх навчальних закладів (рівень стандарту, профільний рівень) / авт. кол. під кер. В. М. Локтева. Київ : [б. в.], 2017. 34 с.
  14. Чернецький І. С., Сліпукхіна І. А., Поліхун Н. І. Фізика. Прикладні методики інструментальної цифрової дидактики : навч.-метод. посіб. Київ : Національний центр «Мала академія наук України», 2020. 204 с.
  15. Phyphox webeditor. URL: <https://phyphox.org/webeditor/> (дата звернення: 23.05.2025).
- ### References
1. STEM-osvita [STEM education]. Retrieved from <https://imzo.gov.ua/stem-osvita/> [in Ukrainian].
  2. Chernetskyi, I. S., Slipukhina, I. A., & Mienailov, S. M. (2013). Tsyfrovі vymiriuvalni kompleksi — zasib rozvytku doslidnytskykh yakosti subiektiv piznavalnoi diialnosti [Digital measurement complexes as a means of developing research skills of learners]. *Naukovyi chasopys Natsionalnoho pedahohichnoho universytetu imeni M. P. Drahomanova. Seriiia 5: Pedahohichni nauky: realii ta perspektyvy — Scientific Journal of the National Pedagogical Dragomanov University. Series 5: Pedagogical Sciences: Realities and Prospects*, 40, 259–269 [in Ukrainian].
  3. Slipukhina, I. A., & Chernetskyi, I. S. (2016). Vykorystannia tsyfrovoho vymiriuvalnoho kompleksu v STEM-orientovanomu osvitnomu seredovyshchi [Use of a digital measurement complex in a STEM-oriented educational environment]. *Informatsiini tekhnolohii v osviti y nauksi — Information Technologies in Education and Science*, 8, 261–272 [in Ukrainian].
  4. Hrynevych, L., Morze, N., Vember, V., & Boiko, M. (2021). Use of digital tools as a component of STEM education ecosystem. *Educational Technology Quarterly*, 2021 (1), 118–139. DOI: <https://doi.org/10.55056/etq.24>.
  5. Chen, S., Chang, W.-H., Lai, Ch.-H., & Tsai, Ch.-Y. (2014). A Comparison of Students' Approaches to Inquiry, Conceptual Learning, and Attitudes in Simulation-Based and Microcomputer-Based Laboratories. *Science Education*, 98 (5), 905–935.
  6. Arduino Science Journal. Retrieved from <https://www.arduino.cc/education/science-journal>
  7. Phyphox — Physical Phone Experiments. Retrieved from <https://phyphox.org/>
  8. Voronkin, O. (2022). Metodychni osoblyvosti vykorystannia datchyiv smartfonu v shkilnomu laboratornomu praktykumi z fizyky (na prykladi Phyphox) [Methodological features of using smartphone sensors in school physics laboratory practice (based on Phyphox)]. *Naukovi zapysky Maloi akademii nauk Ukrainy — Scientific Notes of Junior Academy of Sciences of Ukraine*, 3 (25), 47–58. DOI: <https://doi.org/10.51707/2618-0529-2022-25-06> [in Ukrainian].
  9. Kurniawan, A. (2021). *IoT Projects with Arduino Nano 33 BLE Sense*. Step-by-step projects for beginners. Berkeley, CA : Apress.
  10. Remote sensors with a smartphone. Retrieved from [https://vulgarisation.fr/projet/arduino\\_nano/?lang=en](https://vulgarisation.fr/projet/arduino_nano/?lang=en)
  11. Virtualnyi STEM-tsentr Maloi akademii nauk Ukrainy [Virtual STEM-center of the Junior Academy

- of Sciences of Ukraine]. Retrieved from <https://stemua.science/> [in Ukrainian].
12. Liashenko, O. I. (Ed.). (2017). *Fizyka i astronomiia: navchalna prohrama dlia zakladiv zahalnoi serednoi osvity (riven standartu, profilnyi riven) [Physics and astronomy: curriculum for institutions of general secondary education (standard and profile level)]*. Kyiv [in Ukrainian].
  13. Loktiev, V. M. (Ed.). (2017). *Fizyka: navchalna prohrama dlia zahalnoosvitnikh navchalnykh zakladiv (riven standartu, profilnyi riven) [Physics: curriculum for general education institutions (standard and profile level)]*. Kyiv [in Ukrainian].
  14. Chernetskyi, I. S., Slipukhina, I. A., & Polikhun, N. I. (2020). *Fizyka. Prykladni metodyky instrumentalnoi tsyfrovoy dydaktyky [Physics. Applied methods of instrumental digital didactics]*. Kyiv : Natsionalnyi tsentr "Mala akademiia nauk Ukrainy" [in Ukrainian].
  15. Phyphox webeditor. Retrieved from <https://phyphox.org/editor/>

A. I. Atamas

#### ADVANCED DIGITAL MEASUREMENT COMPLEX BASED ON ARDUINO NANO 33 BLE SENSE

**Abstract.** Digital measurement complexes (DMCs) are modern educational tools essential for the effective development of STEM education and the full-scale operation of STEM centers, STEM laboratories, and contemporary physics classrooms. The widespread implementation of DMCs is constrained by their relatively high cost and certain difficulties encountered by teachers and students in the initial stages of learning to work with them. To partially address the issue of technical equipment for STEM institutions and school physics classrooms, an improved digital measurement complex based on the Arduino Nano 33 BLE Sense is proposed. This system can support multiple sensors simultaneously without the need to reprogram the platform. Specific examples are used to explore the adaptation possibilities of existing laboratory work methodologies for the developed DMC. Based on the analysis of the lists of recommended physics laboratory experiments in accordance with current curricula, as well as laboratory methodologies using DMCs provided by the Virtual STEM Center of the Junior Academy of Sciences of Ukraine, seven sensor combinations were identified. These combinations enable the use of the Arduino Nano 33 BLE Sense-based DMC to perform all recommended laboratory experiments and the majority of classroom demonstrations for senior students. A circuit diagram and prototype of the DMC were developed, with testing results demonstrating high accuracy, sensitivity, and reproducibility of measurements. The findings confirmed the feasibility of adapting physics lab methodologies for use with this DMC on specific examples. To facilitate experiment creation during the adaptation process, the use of the Phyphox webeditor tool is proposed. Together with the absence of a need for platform reprogramming to switch between sensor groups, this simplifies and accelerates the training process for both students and educators.

**Keywords:** Digital measurement complex, STEM education, laboratory work, smartphone, Arduino.

#### ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРА

**Атамась Артем Іванович** — канд. техн. наук, старший науковий співробітник відділу створення навчально-тематичних систем знань, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, [art.atamas@gmail.com](mailto:art.atamas@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8709-3208>

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Atamas A. I.** — PhD in Engineering, Senior Research Scientist of the Department for Creating Educational and Thematic Knowledge Systems, NC "Junior Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine, [art.atamas@gmail.com](mailto:art.atamas@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8709-3208>

Стаття надійшла до редакції / Received 23.05.2025