

Використання програмно-апаратного комплексу Arduino у шкільному фізичному експерименті

Віталій М. Задорожній

Криворізький природничо-науковий ліцей,
вул. Володимира Великого, 32 А, Кривий Ріг, 50000, Україна
vitaliy_zadorozhniy@ukr.net

Анотація. У статті розглядається застосування апаратно-програмного комплексу Arduino з метою: залучити учнів до вивчення таких предметів, як: фізика та інформатика; надати можливість вдосконалювати та розробляти власні інженерні ідеї. Результати дослідницької діяльності учнів можуть використовуватися під час викладання курсу фізики в профільній школі, насамперед при проведенні шкільного експерименту.

Ключові слова: учень, LEGO, Arduino, інженерія, фізика, лабораторна робота, дослідницька діяльність, рівноприскорений рух.

1 Вступ

Розвиток комп'ютерної техніки дозволив значно прискорити обмін інформацією в будь-якій сфері людської діяльності. В освіті використання персональних комп'ютерів дозволяє не тільки збільшити обсяг інформації, яку вчитель передає своїм учням, а ще й створювати власні методичні розробки, які дозволяють покращити засвоєння отриманої інформації за рахунок пристосування її до вікових особливостей, поглядів суспільства, інтелектуальних здібностей тощо. Також постійне вдосконалення програмного забезпечення дозволяє вчителям створювати програмні продукти, для розробки яких раніше потрібно було мати спеціальну інженерну освіту. Але потреби сьогодення вже вийшли за межі прискорення інформаційних процесів. Зараз важлива не тільки швидкість інформаційних процесів, але й їх автоматизація. Автоматизовані пристрої все частіше з'являються в нашому житті, тому сучасна освіта повинна не відставати від потреб суспільства.

Разом з технічним прогресом змінюються й методи дослідницької діяльності учнів. Залучаючи дітей до поглибленого вивчення фізичних процесів, важко обмежуватися тільки вивченням фізики

з використанням традиційних методів та прийомів, навіть попри їх ефективність [2–5, 12], дослідники повинні мати певні знання з інформатики або інженерії. Метою статті є показати власний досвід поєднання фізики, інформатики, інженерії та елементів робототехніки в дослідженнях фізичних процесів учнями Криворізького природничо-наукового ліцею.

Вивчення роботів та робототехніки вже має велику популярність. Найпростішим та найзрозумілішим засобом для дослідження та створення роботів є набори LEGO. Вони не потребують особливих знань програмування та розуміння процесів, які відбуваються в пристроях, що забезпечують роботу моделей. Достатньо мати навички роботи з комп'ютером, конструктором та багату уяву. Але висока ціна обмежує доступ до моделювання роботів засобами LEGO. Пересічний учень має змогу моделювати на такому обладнанні тільки в рамках занять у гуртках і не може собі дозволити зробити власну модель та залишити її собі. Більш доступним за ціною категорією є апаратно-програмний комплекс Arduino. Даний програмний комплекс дозволяє учню в більшій мірі проявити свою творчість, але разом з тим, і потребує більш глибоких знань з програмування та радіоконструювання.

Мета статті — показати можливості застосування елементів робототехніки в проектній діяльності учнів старшої школи та використання результатів їхньої роботи на уроках фізики. Для поєднання робототехніки з фізичними дослідженнями як засіб дослідження обрано апаратно-програмний комплекс Arduino. Учням пропонується виконувати проекти саме з датчиками та платами Arduino. Даний комплекс був розроблений викладачем італійського технічного інституту Массімо Банці (MassimoBanzi) ще у 2005 році для студентів інституту й названий на честь італійського короля Ардуїна [11]. Основна мета розробки комплексу — навчити студентів створювати електронні пристрої, але потім можливості даного комплексу вийшли далеко за межі звичайної інженерії.

2 Аналіз попередніх досліджень

Питання використання Arduino вже неодноразово розглядалося іншими педагогами. У статті Андрєєва А.М., Кулиничка А.Г. [1] розглядається проблема використання інформаційних засобів у навчально-пізнавальній та науково-дослідній діяльності студентів — майбутніх учителів фізики — та учнів.

Висвітлено навчальні можливості апаратно-програмного комплексу Arduino у контексті підготовки майбутніх учителів фізики до організації інноваційної діяльності учнів, зокрема, на конкретних прикладах показано можливість його використання для постановки і розв'язування фізичних задач, а також для створення студентами (учнями) власних інноваційних продуктів. Автори пропонують використовувати плати Arduino для вимірювання температури, освітленості та вологості в різних точках кімнати. А також отримання залежності опору фоторезистора від освітленості та опору терморезистора від температури. У своїй роботі наводять декілька прикладів проведення експерименту, що охоплюють різні теми (світлові та електричні явища, молекулярна фізика) Соменко Д.В. та Соменко О.О. аналізують переваги використання апаратно-обчислювальної платформи Arduino для створення навчального фізичного обладнання із застосуванням електронно-обчислювальної техніки [8]. Виділяють такі переваги комплексу, як: зручне програмне забезпечення з відкритим кодом для обробки результатів досліджень, доступність складових компонентів для виготовлення обладнання, можливість самостійно змінювати програмне забезпечення та складові обладнання для вимірювань. Наводять приклад експерименту для дослідження конвекції в рідині.

Мартинюк О.С. у своїй роботі розглядає актуальні проблеми розроблення методичних основ використання мікроелектронної схемотехніки в системі фахової підготовки студентів-фізиків. Описує можливості застосування платформи Arduino в науково-дослідній роботі з фізики та в процесі проектування й виготовлення нового навчального обладнання [7]. Пропонує використовувати таке обладнання для вимірювання вологості, температури, освітленості, швидкості, відстані та ін. Рекомендує використовувати різні датчики для вимірювання однієї величини для досягнення точного результату та використовує сторонні програмні продукти для обробки даних експериментів.

Серед закордонних викладачів, можна відзначити Кловіса Петрі та Фернандо Сантану Пачеко, педагоги з Бразилії, які в статті «Позаурочне проектне навчання з фізики: інтеграція Arduino до лабораторії» пропонують за допомогою платформи Arduino здійснювати експерименти з фізики із розділів оптики, термодинаміки та хвилі. Загалом пропонується 11 лабораторних робіт для виконання на факультативних заняттях [6]. Серед запропонованих робіт такі, як: заломлення та відбивання світла, сферична лінза, чутливе та приховане тепло, теплове розширення у твердих тілах і рідинах, фотоелектрична

енергія. Автори наводять приклади проведених експериментів учнями старшої школи.

Брайан Хуанг, інженер з освіти SparkFunElectronics та викладач середньої освіти США, розробив серію експериментів, заходів та лабораторних робіт для дослідження, вимірювання та аналізу явищ фізики на уроці із використанням недорогих мікроконтролерів та електроніки з відкритим кодом. На основі власних досліджень запропонував низку заходів, які показують наукові дослідження, використовуючи недорого та легко доступну електроніку та обладнання [9]. Він описує два експерименти. Перший, з механіки, використовує власноруч виготовлений пристрій, який має назву «фотоворота». Другий, з теми «Теплові явища», використовує напівпровідниковий датчик температури.

3 Методи та прийоми

Програми Arduino пишуться на мові програмування C або C++ [10]. У концепцію Arduino не входять корпусні або монтажні деталі. Розробник вибирає метод установки й механічного захисту процесорних плат та компонентів розширення самостійно. Іншими виробниками випускається велика кількість різноманітних датчиків і виконавчих пристроїв, сумісних між собою та процесорними платами Arduino. Цими виробниками також випускаються набори електромеханічних елементів, орієнтованих на роботу спільно з платами Arduino, та розроблено спеціальні бібліотеки (програми), які пов'язують роботу апаратної та програмної частин.

Програмне забезпечення Arduino IDE дозволяє учням розробляти алгоритми (прошивки, скетчі) для мікропроцесорів та датчиків. Працюючи з комплексом, учні мають можливість побачити принципи зв'язку між програмним забезпеченням та пристроями, для яких воно розроблене. Творчість учнів завжди пов'язана з прикладним втіленням ідей. Під час створення роботів або автоматизованих пристроїв учні залучені до процесів, які відбуваються в технічних пристроях. Прикладні дослідження, проектування, конструювання, розробка технологій виготовлення — це перелік видів діяльності, до яких залучена дитина під час процесу створення нового або відтворення вже існуючого пристрою. Діти працюють з мікропроцесорами та іншою радіoeлектронікою, виготовляють корпуси та деталі для пристроїв, розробляють та планують роботу рухомих частин. Таким чином видно, що використання Arduino дозволяє їм стати справжніми інженерами, проявити свою творчість та набути досвіду роботи з електротехнікою.

Працюючи з комплексом, дослідники постійно мають справу з електричним струмом. Варто відмітити, що найбільша напруга, яка використовується для живлення плат Arduino, не перевищує 12 В, що є цілком безпечно. А постійне підключення та відключення датчиків, використання резисторів, світлодіодів тощо дає можливість учням краще зрозуміти закони постійного струму, послідовне та паралельне з'єднання провідників. Розробку схем підключення можна проводити в два етапи. На першому етапі необхідно зробити теоретичну розробку за допомогою он-лайн сервісу tinkercad [13], у якому є майже всі датчики, що під'єднуються до плати Arduino UNO. Розробити та перевірити схему підключення. А вже потім, на другому етапі, працювати з реальними пристроями. Так можна уникнути пошкодження деталей або плати.

Кінцевим результатом вищевказаної дослідницької діяльності учнів є створення автоматизованого або керованого пристрою. Одним з варіантів підвищення якості вивчення фізики є залучення дітей до виготовлення вимірювальних пристроїв, які згодом можна використовувати під час проведення лабораторних робіт з фізики. Обробка даних мікропроцесором дає можливість з більшою точністю проводити вимірювання фізичних величин. Датчики Arduino дозволяють вимірювати атмосферний та механічний тиск, температуру, вологість, час, відстань, опір, напругу, силу струму, освітленість та ін., а також поєднання декількох датчиків з програмою написаною в середовищі Arduino IDE дає можливість визначити значення інших фізичних величин, наприклад, середньої швидкості руху.

4 Приклади використання готових проектів з Arduino під час фізичних експериментів

Одним із проектів, над яким працювали учні — «Дослідження рівноприскореного руху». Метою проекту є вимірювання часу рівноприскореного руху тіла. У звичайних дослідженнях вимірювання часу проводять за допомогою механічного секундоміру. Як правило, саме вимірювання часу дає найбільшу похибку під час досліджень через людський фактор (невчасне вмикання та вимикання секундоміру). Вимірювальний пристрій (Рис. 1) був зібраний на базі плати Arduino UNO та сумісних з нею елементів: сервоприводу та кнопки. Такий пристрій дозволяє з точністю до мікросекунд виміряти час руху. Результати вимірювань можна бачити на рідкокристалічному дисплеї, під'єднаному до плати. Такий пристрій можна використовувати

під час лабораторних робіт з темами «Визначення прискорення рівноприскореного руху» 10 клас, «Визначення середньої швидкості руху» 7 клас, «Визначення прискорення вільного падіння» 10 клас. Установка для вимірювання часу рівноприскореного руху (Рис. 2) складається з плати Arduino UNO , LCD-дисплея, сервоприводу, кнопки, пульта дистанційного керування, приймача інфрачервоних променів, жолоба, кульки та штатива з тримачем.



Рис. 1. Секундомір для вимірювання часу рівноприскореного руху



Рис. 2. Установка для вимірювання часу рівноприскореного руху

Вимірювання проводяться наступним чином: плата Arduino підключається до джерела живлення; кулька встановлюється в початкове положення; на пульті керування натискаємо кнопку початку руху в цей момент сервопривід розвертається на 900 і програма завантажена в плату починає відлік часу; коли кулька досягає кнопки, разом з натисканням, зупиняється відлік часу і зафіксований час можна бачити на дисплеї; за допомогою пульта керування повертаємо сервопривід у початкове положення; далі можна виконати наступний дослід. Зазвичай на лабораторній роботі кульку відпускають рукою і намагаються синхронно ввімкнути секундомір, а зупиняють відлік часу при ударі кульки об металевий циліндр. Саме такі дії призводять до великої похибки під час виконання досліджень. Результати досліджень наведені в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1. Вимірювання часу рівноприскореного руху за допомогою пристрою на базі плати Arduino

№	t , с	$t_{\text{ср}}$, с	Δt , с	E , %
1	1.432	1.458	0.026	1.78
2	1.489		0.031	2.12
3	1.458		0	0
4	1.455		0.003	0.2
5	1.468		0.01	0.68
6	1.430		0.028	1.92
7	1.442		0.016	1.09
8	1.486		0.028	1.92
9	1.457		0.001	0.06
10	1.469		0.011	0.75
максимальна похибка 2.12%				

Проведені дослідження показують, що результати вимірювань, отримані за допомогою пристрою на базі плати Arduino, мають похибку в п'ять разів меншу ніж результати, які отримали за допомогою класичних вимірювань, що зазвичай використовуються під час виконання лабораторних робіт. Можна зробити висновок, що використання мікроконтролерів дозволяє підвищити якість проведених експериментів.

Дану установку також можна використати для вимірювання прискорення вільного падіння. Для цього достатньо просто закріпити датчики на штативі вздовж вертикальної прямої (Рис. 4).

Таблиця 2. Вимірювання часу рівноприскореного руху класичним способом

№	t , с	$t_{\text{сеп}}$, с	Δt , с	E , %
1	1.46	1.48	0.02	1.35
2	1.35		0.13	8.78
3	1.40		0.08	5.40
4	1.47		0.01	0.67
5	1.37		0.11	7.43
6	1.63		0.15	10.13
7	1.48		0	0
8	1.62		0.14	9.45
9	1.63		0.15	10.13
10	1.45		0.03	2.02
максимальна похибка 10.13%				

Крім виготовлення готової установки, працюючи над проектом, учні провели дослідження, зміст яких вийшов за межі навчальної програми профільної школи. Щоб дослідити значення прискорення вільного падіння, було взято п'ять кульок різної маси (Рис. 3).

Науковий метод дослідження, який для цього використано, має назву екстраполяція. Кидаючи в повітрі всі кульки по черзі, можна отримати значення прискорення вільного падіння у вакуумі, екстраполюючи залежність цього прискорення для кожної кульки в повітрі від зворотної величини їхньої маси. Тобто, можна визначити прискорення вільного падіння для кульки з нескінченною масою, а в такому разі можна знехтувати опором повітря на кульку. У якості тіл з різною масою використали звичайні кульки для настільного тенісу діаметром 40 мм.

Щоб вимірювання часу падіння різних за масою кульок дало максимально точний результат, бажано домогтися найбільшої різниці в масах кульок. Для зміни маси їх наповнили різним матеріалом (Рис. 3): найлегша використана кулька була порожня, а найважча — наповнена металом (дрібними цвяхами). Маса кульок були в межах від 3 г до 40 г.

До звичайного шкільного штативу зверху приєднали сервопривід із трубою, яку зафіксували тримачем (Рис. 4), знизу закріплено механічну кнопку, на яку падатиме кулька. За допомогою рухливих тримачів можна змінити відстань від точки запуску кульки до кнопки, експериментуючи з різною висотою падіння. Аби кулька влучала в кнопку, а також, щоб важка кулька не розбивалася об залізний тримач та підлогу, на кнопку закріплено щиток. Під час досліджень встановлено, що щиток на результати вимірювань не впливає. Через кабель підключено плату до ноутбука та завантажено на неї написану учнями програму, за алгоритмом якої і повинен працювати пристрій. Для вимірювання часу використано точність вимірювання у мікросекундах.



Рис. 3. Виготовлення кульок для вимірювання прискорення вільного падіння



Рис. 4. Установка для дослідження прискорення вільного падіння

Після налаштування пристрою таким чином, щоб кулька падала точно на кнопку без найменших відхилень, виміряли відстань та визначили час вільного падіння кульок. Під час досліджень виявлено, що час, за який падає одна й та сама кулька, відхиляється від свого середнього значення приблизно на 5 мс. Це пов'язано з тим, що кулька, падаючи вниз, може відхилятися від вертикалі, на якій знаходяться центральна вісь установки, через рухливі потоки повітря, або якщо штатив в момент запуску дещо коливається. Відхиляючись, кулька кожен раз попадає у різновіддалені від кнопки точки на щитку, через

що виникає затримка в часі. Також причиною різних значень часу є те, що Arduino обробляє інформацію, що надходить у процесор плати за різний час, внаслідок чого «таймер» на пристрої може спрацьовувати із затримками. Щоб мінімізувати розбіжність часу, провели по 15 вимірювань для всіх п'ятьох кульок та визначили середнє значення часу падіння. Також встановили затримку, яка виникає внаслідок обробки даних мікропроцесором, вона складає в середньому 8 мс.

Врахувавши вище сказане та опрацювавши результати вимірювань, визначили прискорення вільного падіння у вакуумі для кабінету фізики, у якому проводили дослідження. Отримане значення прискорення вільного падіння у вакуумі було рівним $9,8093 \text{ м/с}^2$. Дослідження представлене на конкурсі захисті науково-дослідницьких робіт Дніпропетровського відділення МАН, учень, що проводив дослідження, отримав високу оцінку журі та став призером конкурсу.

5 Висновки

Варто зауважити, що використання автоматизованих пристроїв є доцільним тільки для вимірювання деяких фізичних величин, і не слід ними замінювати всі класичні вимірювальні пристрої. Наприклад, під час виконання лабораторної роботи з темою «Визначення прискорення рівноприскореного руху» у 10-му класі, потрібно виміряти дві величини — час та шлях. Для вимірювання часу доцільно використати вище згаданий пристрій замість секундоміру, оскільки людський фактор дає суттєву похибку, яку неможливо розрахувати в подальшому, а використання лінійки дозволяє з високою точністю провести вимірювання, розрахувати похибку вимірювань та вдосконалити уміння та навички вимірювання довжини (ширини, висоти, шляху, відстані тощо).

Отже, використання апаратно програмного комплексу Arduino в навчальній та дослідницькій діяльності є ефективним інструментом підвищення інтересу до таких сфер діяльності, як: інформатика, інженерія, фізика. Комплексний підхід дозволить викликати інтерес в учнів до вивчення природничо-математичних наук, розв'язування сучасних проблем інженерії та електроніки, а також розвиватиме їхні творчі здібності. Робота над власними проектами дозволяє дітям проявити здібності та представити свої проекти на різних конкурсах, що додатково мотивує юних дослідників. Розроблені учнями пристрої дозволяють значно підвищити точність вимірювань під час проведення експерименту, підвищують рівень теоретичної

підготовки до лабораторної роботи, підвищують загальний інтерес до виконання лабораторної роботи учнями за рахунок осучаснення обладнання та формують нові уявлення про фізичні явища та процеси.

Література

1. Andrieiev A. M., Kulynych A. H. Vykorystannia aparatno-prohramnoho kompleksu Arduino v innovatsiinii diialnosti maibutnikh uchyteliv fizyky ta uchniv. URL: http://ite.kspu.edu/webfm_send/943
2. Antsyferov L. I. Praktikum z fizyky v serednii shkoli: Dydakt. Material : posibnyk dlia vchytelia / L. I. Antsyferov, V. O. Burov, Yu. I. Dik. — K.: Rad.shk., 1990. — 176 s.
3. Havrilov D. V., Osadchuk O. V., Zviahin O. S., Osnovy kompiuternoho proektuvannia ta modeliuvannia REA. Laboratornyi praktikum chastyna 1. URL: http://osadchuk_ov.vk.vntu.edu.ua/file/b8d2601c704a6b8add17860f1195774a.pdf
4. Zadorozhnii V. M. Vykorystannia aparatno-prohramnoho kompleksu Arduino v doslidnytskii diialnosti uchniv / Innovatsiini tekhnolohii navchannia obdarovanoi molodi : materialy Kh Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii — Kyiv : Instytut obdarovanoi molodi NAPN Ukrainy, 2018. — 89–91 s.
5. Zadorozhnii V. M., Primas A. Yu. Elektronnyi zoshyt dlia laboratornykh robit z fizyky / Teoriia ta metodyka navchannia matematyky, fizyky, informatyky : zbirnyk naukovykh prats. Vypusk Kh v 3-kh tomakh — Kryvyi Rih: Vydavnychyi viddil NMetAU, 2012. — T. 2 — 110–115 s.
6. Klovis P., Fernando S.-P. Pozaurochne proektne navchannia z fizyky: intehratsiia Arduino do laboratorii. URL: <https://www.researchgate.net/publication/305908350>
7. Martyniuk O. S. Vyvchennia osnov mikroelektronnoi skhemotekhniky v systemi fakhovoi pidhotovky studentiv-fizykyiv. URL: www.irbis-nbuv.gov.u/irbis_nbuv/cgiirbis_64
8. Somenko D. V., Somenko O. O., Vykorystannia mozhlyvostei aparatno obchysliuvalnoi platformy Arduino v laboratornomu praktikumi z fizyky. Naukovi zapysky. Seriia: Problemy metodyky fizyko-matematychnoi i tekhnolohichnoi osvity. Vypusk 9(1), Kirovohrad — 2016, s. 173–184.

9. Khuan Braian. Obladnannia z vidkrytym kodom — mikrokontrolery ta fizychna osvita — intehtatsiia DIY-datchykyv ta zbir danykh z Arduino / 122-ha shchorichna konferentsiia ta vystavka ASEE, 14–17 chervnia 2015 r., Sietl, Vashynhton.
10. Arduino [Elektronnyi resurs]. — URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino>
11. Istoriia stvorennia Arduino [Elektronnyi resurs]. — URL: https://arduino.ua/art2-arduino_istoriya_sozdaniya
12. Laboratorne zaniattia, metodyka yoho pidhotovky i provedennia [Elektronnyi resurs]. — URL: https://pidruchniki.com/70152/pedagogika/laboratorne_zanyattya_metodika_yogo_pidgotovki_provedennia
13. Tinkercad [Elektronnyi resurs]. — URL: <https://www.tinkercad.com>

The use of Arduino software and hardware in a school physical experiment

Vytaly M. Zadorozhnyi

Kryvyi Rih Natural Science Lyceum, 32 A, Vladimir the Great Str.,
Kryvyi Rih, 50000, Ukraine

vitaliy_zadorozhnyi@ukr.net

Abstract. The article considers the use of hardware and software Arduino in order to involve students in the study of such subjects as: physics and computer science; provide an opportunity improve and develop their own engineering ideas. The article proves that the use of hardware and software Arduino complex in teaching and research activity is an effective tool for improvement interest in such areas of activity as computer science, engineering, physics. The study found that an integrated approach allows arousing students' interest in the study of natural sciences and mathematics, solving modern problems engineering and electronics, and developing them creativity. Work on your own projects allows children to show abilities and present their projects in various competitions, in addition motivates young researchers. Developed by students devices can significantly increase accuracy measurements during the experiment, increase the level of theoretical preparation for laboratory work, increase the general interest to perform laboratory work by students for due to the modernization of equipment and form new ones ideas about physical phenomena and processes. The results of students' research activities can be used during the teaching of physics in a specialized school, especially during school experiment.

Keywords: student, LEGO, Arduino, engineering, physics, laboratory work, research activity, uniformly accelerated motion.