

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-363-73>

УДК 372.862, 519.876.5

РУСУ ОЛЕКСАНДР

Міжнародний гуманітарний університет

<https://orcid.org/0000-0002-7315-2537>

e-mail: shurusu@ukr.net

ГОРБАЧОВ ВІКТОР

Міжнародний гуманітарний університет

<https://orcid.org/0000-0002-6668-6864>

e-mail: physmgu@gmail.com

ВАКАРЧУК АННА

Міжнародний гуманітарний університет

<https://orcid.org/0000-0002-4518-7919>

e-mail: tig15090808@gmail.com

ПШЕНИЧНИЙ ОЛЕКСАНДР

Міжнародний гуманітарний університет

<https://orcid.org/0009-0007-8664-9239>

e-mail: alexichemix@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ НАВЧАЛЬНИХ КУРСІВ ПО ПРОГРАМУВАННЮ МІКРОКОНТРОЛЕРІВ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ В ГАЛУЗЯХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

У статті розглянуто концепцію змішаного навчання при організації навчального процесу курсів програмування мікроконтролерів у закладах освіти технічного профілю. Показано відмінності технології програмування мікроконтролерів від традиційного програмування та обґрунтовано необхідність використання спеціалізованого апаратного й програмного забезпечення для перевірки працездатності створених програм у реальному часі. Проаналізовано найбільш поширені моделі мікроконтролерів, що застосовуються в освітньому процесі, зокрема AVR, PIC і STM8, а також визначено доцільність використання мікроконтролерів сімейства PIC16F84A для початкових етапів навчання. Особливу увагу приділено проблемам дистанційного викладання дисциплін, пов'язаних із мікроконтролерними технологіями, оскільки програмне забезпечення мікроконтролера функціонує безпосередньо з фізичними сигналами у режимі реального часу і налаштування та перевірка працездатності програмного продукту для мікроконтролерів відбувається на реальних електронних пристроях зі своїми електричними схемами, у складі яких працює мікроконтролер. Ефективним вирішенням цієї проблеми є створення віртуальних макетів, які мають свої засоби проєктування та симуляції електронних схем, що дає змогу моделювати електронні пристрої та тестувати програми у віртуальному режимі. Описано створену викладачами Міжнародного університету універсальну віртуальну лабораторію Labs і спеціалізоване програмне забезпечення PIC_Lab для створення віртуальних макетів, призначених для перевірки працездатності програмного коду без використання фізичного обладнання. Наведено приклад такого віртуального макета «Електромеханічний годинник», що демонструє принципи керування кроковим двигуном Лаве. Запропонований підхід забезпечує можливість асинхронного навчання, підвищує ефективність засвоєння матеріалу та придатний як для очної, так і дистанційної форм навчання.

Ключові слова: мікроконтролер, дистанційне навчання, PIC, PIC_Lab, віртуальна лабораторія, програмування вбудованих систем

RUSU OLEKSANDR, GORBACHEV VICTOR, VAKARCHUK ANNA, PSHENYCHNYI OLEKSANDR

International Humanitarian University

FEATURES OF CREATING TRAINING COURSES ON MICROCONTROLLER PROGRAMMING IN THE TRAINING OF SPECIALISTS IN THE FIELDS OF TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATION TECHNOLOGIES

The article considers the concept of blended learning for organizing the educational process of microcontroller programming courses in educational institutions of a technical profile. The differences between the technology of microcontroller programming and traditional programming are shown and the need to use specialized hardware and software to check the performance of the created programs in real time is substantiated. The most common models of microcontrollers used in the educational process are analyzed, in particular AVR, PIC and STM8, and the feasibility of using microcontrollers of the PIC16F84A family for the initial stages of training is also determined. Special attention is paid to the problems of distance teaching of disciplines related to microcontroller technologies, since the microcontroller software operates directly with physical signals in real time and the configuration and testing of the performance of the software product for microcontrollers takes place on real electronic devices with their own electrical circuits, which include the microcontroller. An effective solution to this problem is the creation of virtual mockups that have their own means of designing and simulating electronic circuits, which allows you to model electronic devices and test programs in a virtual mode. The universal virtual laboratory Labs created by the teachers of the International University and the specialized software PIC_Lab for creating virtual mockups designed to test the operability of the program code without using physical equipment are described. An example of such a virtual mockup "Electromechanical Clock" is given, which demonstrates the principles of controlling a Lave stepper motor. The proposed approach provides the possibility of asynchronous learning, increases the efficiency of learning the material and is suitable for both face-to-face and distance learning.

Keywords: microcontroller, distance learning, PIC, PIC_Lab, virtual laboratory, embedded systems programming.

Стаття надійшла до редакції / Received 18.02.2026

Прийнята до друку / Accepted 03.03.2026

Опубліковано / Published 26.03.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Яропуд Віталій, Колісник Микола, Штупць Андрій

Постановка проблеми

Мікроконтролери є основою більшості сучасних електронних, комп'ютерних та телекомунікаційних пристроїв і систем – від найпростіших дитячих іграшок чи побутових приладів до складних високотехнологічних рішень на кшталт систем «Розумний дім», роботизованих комплексів, дронів та елементів Інтернету речей [1, 2]. Через це спеціалісти, які володіють навичками розроблення програмного забезпечення для мікроконтролерів, мають стабільний попит як у вітчизняній галузі, так і за кордоном.

На базі сучасних педагогічних методик нами вже була розроблена система навчання процесу програмування складних операційних систем [3], однак при викладанні дисциплін з програмування мікроконтролерів ми зіткнулися з проблемою іншого плану. Справа в тому, що останнім часом невід'ємною частиною сучасної освітньої системи, стало дистанційне навчання. Завдяки використанню інтернет-технологій, здобувачі можуть отримувати доступ до освітніх матеріалів, лекцій, та виконувати практичні завдання в зручний для них час, що сприяє індивідуалізації навчання та гнучкості у виборі темпу опанування знань. На відміну від звичайного програмування, наприклад розроблення інтерфейсів або роботи з базами даних, створення програм для мікроконтролерів має низку особливостей. Мікроконтролер фактично є окремим мікрокомп'ютером, реалізованим у вигляді інтегральної схеми. Його програмне забезпечення функціонує безпосередньо з фізичними сигналами у режимі реального часу. Тому для тестування роботи програми необхідна електрична схема, у складі якої працює мікроконтролер.

Таким чином, не зважаючи на те, що мікроконтролери використовуються в техніці вже десятки років навчання програмуванню мікроконтролерів викликає певну низку складнощів, а кількість навчальних курсів по програмуванню мікроконтролерів з повноцінною підтримкою технології дистанційного навчання, обмежена. Це і обумовило мету цієї роботи, яка полягає у висвітленні методики навчання програмуванню мікроконтролерів, яка використовується авторами цієї статті при очній і дистанційній формах навчання.

Аналіз досліджень та публікацій

Швидкий розвиток мікроконтролерних технологій сприяє їх ефективному використанню у навчальному процесі, де здобувачі опановують основи програмування та принципи побудови вбудованих систем [4, 5]. Для освітніх цілей найчастіше застосовують мікроконтролери AVR, PIC і STM [6, 7]. Вони відрізняються простою архітектурою, високою продуктивністю, розвиненою периферією та зручністю освоєння. Вибір конкретної платформи визначається доступністю документації, прикладів, ціною та простотою використання.

Мікроконтролери AVR [8] історично стали одними з перших популярних мікроконтролерів загального призначення, які почали використовувати у навчальних закладах. Велику роль у популяризації мікроконтролерів AVR стала платформа Arduino [9], перші версії якої були побудовані на основі мікроконтролерів AT mega. Основним недоліком мікроконтролерів AVR є відносно висока ціна й поступове зменшення їх підтримки після переходу компанії Atmel під управління компанії Microchip, для якої мікроконтролери PIC є флагманською лінійкою [10].

Мікроконтролери PIC [11] мають просту архітектурою, що полегшує вивчення базових принципів роботи мікроконтролерів. Найпоширенішими сімействами мікроконтролерів PIC стали сімейства PIC16 і PIC18. Особливу роль у популяризації цієї лінійки відіграла мікросхема PIC16F84A [12, 13], яка поєднує простоту, надійність і достатню функціональність для навчальних завдань.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: розробка та вдосконалення системи навчання програмуванню мікроконтролерів при очній і дистанційній формах навчання, яка базується на ефективних засобах моделювання шляхом створення віртуальних макетів, які мають свої засоби проектування та симуляції електронних схем, що дає змогу моделювати електронні пристрої та тестувати програми у віртуальному режимі.

Зокрема, розглядається потенціал створеної універсальної віртуальної лабораторії PIC_Lab, яка по суті є спеціалізованим середовищем для налагодження програмного коду мікроконтролерів сімейства PIC на віртуальних макетах за допомогою інструментів моделювання, математичних моделей досліджуваних схем та віртуальних вимірювальних приладів. Інтерактивна схема дозволяє змінювати параметри електронних компонентів, а висока швидкість моделювання забезпечує можливість перевірки роботи програмного забезпечення у режимі реального часу.

У межах дослідження окреслюються перспективи впровадження універсальних віртуальних лабораторій в якості засобу навчання для реалізації повноцінного навчального процесу при змішаній фірмі навчання без необхідності доступу до фізичного обладнання.

Виклад основного матеріалу

Вибір моделі мікроконтролера. Новіша серія мікроконтролерів STM8 від компанії ST-Microelectronics [14] вирізняється розвиненою периферією та низькою вартістю, що робить її привабливою для навчальних закладів. Плати розробника на основі мікросхем STM8S003F3P6 і STM8S103F3P6 дозволяють створювати складніші проекти без додаткових компонентів. Однак мікроконтролери STM випускаються у корпусах, орієнтованих на серійне виробництво, що утруднює їх використання аматорами, які ще не вміють добре паяти. Крім того, наявність розвиненої апаратної основи утруднює розуміння принципів програмування мікроконтролерів.

Тому мікроконтролери STM8 найкраще підходять для використання фахівцями, що вже мають певний досвід програмування та займаються вирішенням практичних питань, наприклад, у форматі студентських стартапів. А на початковій стадії – для опанування принципів роботи апаратної частини мікроконтролерів та принципів створення програмного забезпечення для них – найкращим вибором, незважаючи на обмежену продуктивність і відносно високу вартість, і надалі залишаються прості проекти на основі мікроконтролерів PIC16F84A.

Вибір платформи для перевірки працездатності програмного коду. На відміну від звичайного програмування, яке потребує лише комп'ютера, робота з мікроконтролерами має специфіку. Мікроконтролер функціонує в реальному часі та взаємодіє з реальними фізичними сигналами, тому для перевірки роботи програми потрібна електрична схема та вимірювальне обладнання. У навчальних закладах для цього створюють спеціалізовані лабораторії, де здобувачі працюють із готовими макетами, наприклад на основі плати розробника EasyPIC [15].

Однак при використанні технології дистанційного навчання доступ до фізичного обладнання відсутній, тому ефективним рішенням стають віртуальні лабораторії. Найпоширенішим програмним середовищем для цього є Proteus [16], розроблений компанією Labcenter Electronics. Він поєднує засоби проектування та симуляції електронних схем і підтримує мікроконтролери AVR, PIC та платформу Arduino [17], що дає змогу тестувати програми у віртуальному режимі. Proteus широко використовується у навчальних закладах, проте має недоліки – високу вартість ліцензії та складний інтерфейс для новачків.

Одним із рішень для реалізації поставлених навчальних завдань стала універсальна віртуальна лабораторія Labs, створена викладачами факультету кібербезпеки, програмної інженерії та комп'ютерних наук Міжнародного університету [18–20]. Перші версії системи містили універсальне ядро та набір лабораторних макетів, реалізованих у вигляді динамічно зв'язаних бібліотек (рис. 1). Ядро забезпечувало інтерактивне відображення схеми з можливістю зміни параметрів елементів, інструменти моделювання та віртуальні вимірювальні прилади. Лабораторні макети містили налаштування ядра – визначення потрібних приладів і способів їх використання – а також математичні моделі досліджуваних схем.

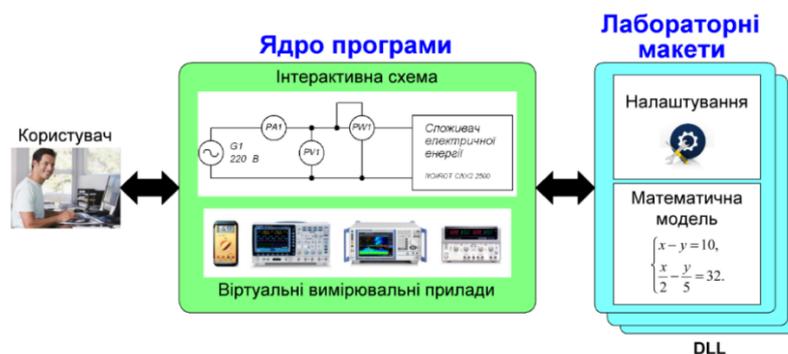


Рис. 1. Структура універсальної віртуальної лабораторії Labs

Використання віртуальної лабораторії Labs дозволило дистанційно викладати курси, що потребують моделювання електричних схем, зокрема і схем на основі мікроконтролерів. Однак останні версії лабораторних макетів середовища Labs, розроблені ще у 2003 році, були призначені для роботи в 32-розрядних операційних системах Windows. На сучасних апаратних і програмних платформах через часткову несумісність виникли проблеми з коректним відображенням елементів інтерфейсу.

У зв'язку з цим улітку 2024 року було проведено повну модернізацію програмного коду з відмовою від використання технології динамічно зв'язаних бібліотек і універсальних компонентів. Результатом оновлення стало створення спеціалізованого програмного забезпечення PIC_Lab, призначеного для створення спеціалізованого середовища перевірки працездатності програмного коду мікроконтролерів сімейства PIC.

Основними перевагами віртуальної лабораторії PIC_Lab є її повна відповідність навчальним потребам і практична орієнтованість. Лабораторія містить лише ті макети, які безпосередньо передбачені навчальним курсом, що спрощує роботу здобувачів і підвищує ефективність засвоєння матеріалу. Інтерфейс програми зручний і лаконічний, без надлишкових елементів керування, що забезпечує інтуїтивну взаємодію користувача з моделлю.

Інтерактивна схема дозволяє змінювати параметри електронних компонентів, а висока швидкість моделювання забезпечує можливість перевірки роботи програмного забезпечення для більшості схем у режимі, наближеному до реального часу. Лабораторія передбачає кілька варіантів електричних схем для одного і того ж завдання, що виключає повторюваність результатів під час виконання практичних завдань різними здобувачами.

Віртуальна лабораторія PIC_Lab. На момент написання статті склад віртуальної лабораторії PIC_Lab налічує дев'ять повноцінних інтерактивних схем, призначених для перевірки працездатності програмного коду, написаного для мікроконтролерів PIC16F84 (рис. 2):

- «Вітаю, Світе!» (керування одиничним світлодіодом);

- автомат світлових ефектів;
- однорозрядний семисегментний світлодіодний індикатор;
- контроль кнопок;
- секундомір;
- світлофор;
- електромеханічний годинник;
- рядок, що біжить;
- колекторний двигун.

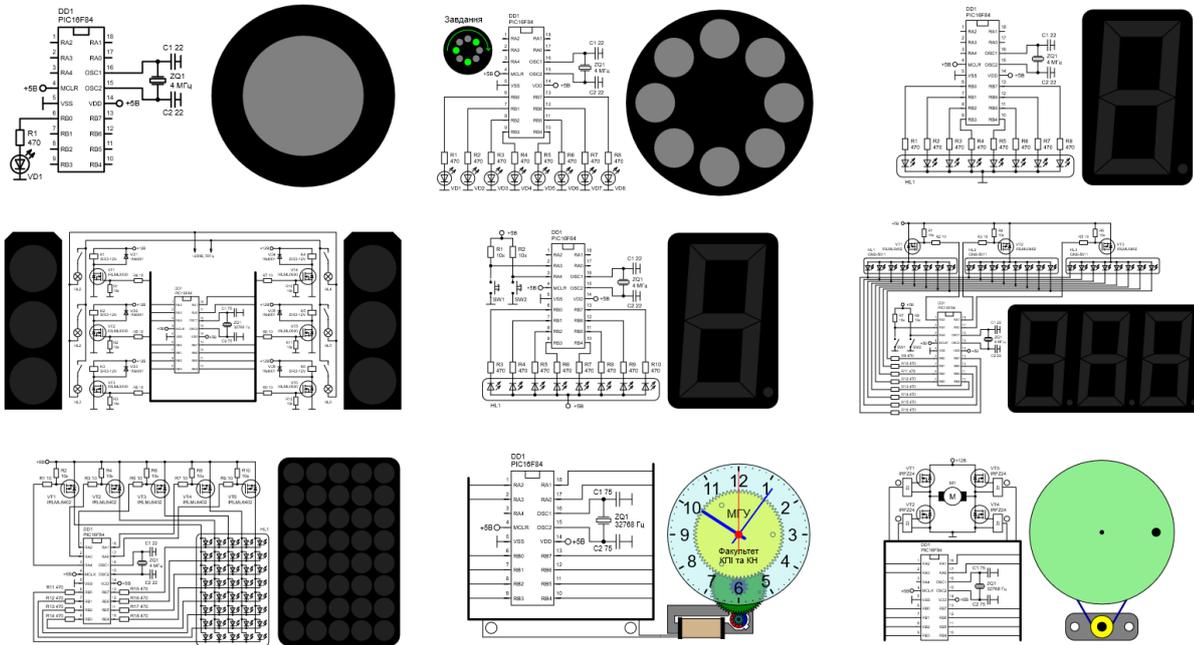


Рис. 2. Лабораторні макети віртуальної лабораторії PIC_Lab

Зовнішній вигляд одного з лабораторних макетів, призначеного для створення електромеханічного годинника, наведено на рис. 3. Ця схема призначена для ознайомлення здобувачів із принципами керування безколекторними електродвигунами на прикладі крокового двигуна Лаве. У межах цієї практичної роботи необхідно розробити програмне забезпечення, яке здійснює керування кроковим двигуном, з'єднаним із механічною частиною електромеханічного годинника.

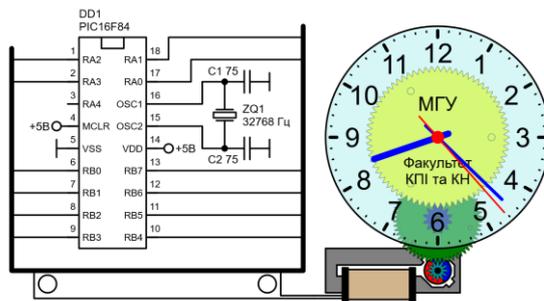


Рис. 3. Зовнішній вигляд віртуального макету «Електромеханічний годинник»

Апаратна частина макета містить мікроконтролер DD1, що виконує функцію керування двигуном Лаве, який підключено безпосередньо до ліній введення-виведення мікроконтролера.

Головним елементом апаратної частини є мікроконтролер DD1. Електрична енергія, необхідна для роботи мікроконтролера DD1, подається на пари виводів VSS-VDD. Напруга живлення мікроконтролера дорівнює 5 В. Вивід MCLR, призначений для апаратного перезавантаження мікроконтролера, у цій схемі не використовується, тому він підключений до джерела живлення, і на ньому завжди присутній сигнал з рівнем логічної одиниці. До виводів OSC1 та OSC2 підключений кварцовий резонатор ZQ1 із резонансною частотою 32768 Гц. Необхідний режим роботи кварцового резонатора та тактового генератора забезпечується за допомогою двох керамічних конденсаторів C1 та C2 ємністю 75 пФ.

Кроковий двигун підключається до портів введення-виведення мікроконтролера DD1, причому схема підключення двигуна до мікроконтролера (який вивід двигуна підключається до якого виводу мікроконтролера) залежить від номеру варіанту і заздалегідь невідома, тому здобувач повинен це визначити самостійно.

Практичне завдання полягає у створенні програмного забезпечення яке буде керувати кроковим двигуном таким чином, щоб годинник почав лічити час у реальному часі, тобто щоб секундна стрілка годинника робила оберт за одну хвилину. При цьому здобувач повинен правильно налаштувати слово конфігурації мікроконтролера (тип тактового генератора, сторожовий таймер, таймер затримки роботи тощо), режими роботи портів введення-виведення, таймер та переривання. На сучасних комп'ютерах швидкість моделювання дозволяє обчислювати роботу мікроконтролера у режимі реального часу, тому програмне забезпечення, створене здобувачем, можна використовувати в реальних застосунках без будь-якої додаткової доробки.

Створені віртуальні лабораторні макети разом із методичними матеріалами для виконання практичних робіт розміщуються у системах дистанційного навчання, таких як Google Classroom або Moodle, звідки здобувачі можуть у будь-який момент їх завантажити. Після виконання завдання здобувач формує файл прошивки мікроконтролера, який викладач має змогу відкрити у власному віртуальному макеті, обрати потрібний варіант і перевірити працездатність програмного коду. Такий підхід забезпечує можливість асинхронного навчання, коли викладач і здобувач виконують свої частини роботи у різний час, що значно підвищує гнучкість освітнього процесу.

Висновки

Розроблення навчальних курсів із програмування мікроконтролерів потребує комплексного підходу, який враховує як технічні, так і методичні аспекти. Використання віртуальних лабораторій, таких як PIC_Lab, дозволяє реалізувати повноцінний навчальний процес без необхідності доступу до фізичного обладнання. Здобувачі мають можливість виконувати практичні роботи дистанційно, а викладачі – перевіряти результати у зручний час, що створює умови для асинхронного навчання. Практичні завдання, засновані на моделюванні реальних схем, сприяють глибшому розумінню принципів роботи мікроконтролерів і формуванню професійних компетентностей у галузі вбудованих систем. Запропонована методика навчання є ефективним рішенням для підготовки фахівців у галузях телекомунікацій та інформаційних технологій, забезпечуючи поєднання теоретичної бази з практичним відпрацюванням навичок у віртуальному середовищі.

Література

1. Morze N. Освітня робототехніка як перспективний напрям розвитку STEM-освіти / N. Morze, O. Strutynska, M. Umryk // Електронне наукове фахове видання «Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету». – 2018. – № 5. – С. 178–187. DOI: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2018.5.178187>.
2. Рижова А.Р. Аналіз особливостей використання ресурсів мікроконтролера для розпізнавання мовлення / А.Р. Рижова, Ю.О. Оникієнко // Мікросистеми, Електроніка та Акустика. – К.: КПІ ім. І. Сікорського, 2022. – Т. 27. – В. 2. – С. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.20535/2523-4455.mea.265406>.
3. Strelkovskaya I. Applying Adaptive Learning Techniques for Studying of Installation Process an Operating System on a Personal Computer / I. Strelkovskaya, T. Hryhorieva, V. Gorbachev, R. Bykov // Applied Innovations in Information and Communication Technology. Lecture Notes in Networks and Systems. – Cham: Springer, 2025. – V. 1338. – P. 212–230. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-89296-7_11.
4. Abdiakhmetova Z. Using of microcontroller for student learning process / Z. Abdiakhmetova, et al. // Journal of Mathematics Mechanics and Computer Science. – 2024. – V. 122. – No. 2. – P. 114–123. DOI: <https://doi.org/10.26577/JMMCS2024-122-02-b9>.
5. Іл'кович S. Modernization of science education using teaching aids based on microcontrollers / S. Іл'кович // Міжнародний науковий журнал «ОСВІТА І НАУКА». – 2023. – В. 1. – № (34), – С. 26–32. URL: <https://surl.li/enypsg>.
6. Rafique A. Microcontrollers: A Comprehensive Overview and Comparative Analysis of Diverse Types / A. Rafique, M.Z. Irfan, M. Samiullah // Engineering archive, 2024. Preprint. – Version 3. – 5 P. DOI: <https://doi.org/10.31224/3228>.
7. Odunlade E. Top 10 Popular Microcontrollers Among Makers / E. Odunlade // Electronics-lab.com, 2020. URL: <https://www.electronics-lab.com/top-10-popular-microcontrollers-among-makers/>.
8. 8-bit AVR Microcontrollers (MCUs). Official website of Microchip Technology: Empowering Innovation. URL: <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers/8-bit-mcus>.
9. Arduino Education. Higher Education Solutions. Official website of Arduino. URL: <https://www.arduino.cc/education/high-school/>.
10. Global AVR Microcontrollers Market Share Analysis [2024-2032]. 15.03.2024. Official website of LinkedIn Corporation, 2025. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/global-avr-microcontrollers-market-share-analysis-zfolc/>.
11. 8-bit PIC Microcontrollers (MCUs). Official website of Microchip Technology: Empowering Innovation. URL: <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers-and-microprocessors/8-bit-mcus/pic-mcus>.
12. PIC16F84A Projects. Official site of Simple Circuit. URL: <https://simple-circuit.com/pic16f84a-projects/>.
13. Sahin F. Practical and Experimental Robotics / F. Sahin, P. Kachroo. – Boca Raton: CRC Press, 2017. – 464 p., DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420059106>.
14. STM8S Series – 8-bit Microcontrollers (MCU). Official website of ST Microelectronics: Our technology starts with you. URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm8s-series.html>.

15. EasyPIC v7a Development System. MikroElektronika d.o.o.: Time-saving embedded tools. URL: <https://www.mikroe.com/easypic-v7a>.
16. Proteus: PCB Design and Circuit Simulator Software. Official website of Labcenter Electronics Ltd. URL: <https://www.labcenter.com/>.
17. Mohammed M. Arduino Programming: Syntax, Concepts, Arduino and Proteus, and Examples (3rd Edition) / M. Mohammed, M. Beerbohm, [translator: J. Bach]. – Independently Published, 2020. – 185 p. URL: <https://books.google.com.ua/books?id=wBBlzQEACAAJ>.
18. Русу О.П. Універсальна віртуальна лабораторія для традиційної та дистанційної форм навчання / О.П. Русу // Матеріали VIII всеукраїнської науково-практичної конференції «Гуманітарний і інноваційний ракурс професійної майстерності: пошуки молодих вчених». Одеса, 18 листопада 2022 р. – Львів-Торунь: Liha-Pres, 2022. – С. 385–388. DOI: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-266-4/113>.
19. Русу О.П. Віртуальна лабораторія для програмування мікроконтролерів / О.П. Русу, А.С. Маркітан, Н.Р. Султанзаде // Матеріали IX всеукраїнської конференції «Чорноморські наукові студії», Одеса, 12 травня 2023 р. – Львів-Торунь: Liha-Pres, 2023. – С. 214–216. DOI: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-300-5-64>.
20. Русу О.П. Метод навчання програмуванню мікроконтролерів при дистанційній формі навчання / О.П. Русу, В.В. Бучацький // Міжнародна конференція «Передові технології в інформаційно-комунікаційній інженерії», Одеса, 17-20 липня 2024 р. – Одеса: Міжнародний гуманітарний університет, 2024. – С.151–154. URL: <https://doi.org/10.32837/11300.28155>.

References

1. Morze N. Osvitnia robototekhnika yak perspektyvnyi napriam rozvytku STEM-osvity / N. Morze, O. Strutynska, M. Umryk // Elektronne naukove fakhove vydannia «Vidkryte osvितnie e-seredovysheche suchasnoho universytetu». – 2018. – № 5. – С. 178–187. DOI: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2018.5.178187>.
2. Рижова А.Р. Аналіз особливостей використання ресурсів мікроконтролера для розпізнавання мовлення / А.Р. Рижова, Ю.О. Онькієнко // Mikrosystemy, Elektronika ta Akustyka. – К.: KPI im. I. Sikorskoho, 2022. – Т. 27. – В. 2. – С. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.20535/2523-4455.me.265406>.
3. Strelkovskaya I. Applying Adaptive Learning Techniques for Studying of Installation Process an Operating System on a Personal Computer / I. Strelkovskaya, T. Hryhorieva, V. Gorbachev, R. Bykov // Applied Innovations in Information and Communication Technology. Lecture Notes in Networks and Systems. – Cham: Springer, 2025. – В. 1338. – P. 212–230. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-89296-7_11.
4. Abdiakhmetova Z. Using of microcontroller for student learning process / Z. Abdiakhmetova, et al. // Journal of Mathematics Mechanics and Computer Science. – 2024. – В. 122. – No. 2. – P. 114–123. DOI: <https://doi.org/10.26577/JMMCS2024-122-02-b9>.
5. Іл'кови́ч С. Modernization of science education using teaching aids based on microcontrollers / S. Іл'кови́ч // Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal «OSVITA I NAUKA». – 2023. – В. 1. – № (34), – С. 26–32. URL: <https://surl.li/enypsg>.
6. Rafique A. Microcontrollers: A Comprehensive Overview and Comparative Analysis of Diverse Types / A. Rafique, M.Z. Irfan, M. Samiullah // Engineering archive, 2024. Preprint. – Version 3. – 5 P. DOI: <https://doi.org/10.31224/3228>.
7. Odunlade E. Top 10 Popular Microcontrollers Among Makers / E. Odunlade // Electronics-lab.com, 2020. URL: <https://www.electronics-lab.com/top-10-popular-microcontrollers-among-makers/>.
8. 8-bit AVR Microcontrollers (MCUs). Official website of Microchip Technology: Empowering Innovation. URL: <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers/8-bit-mcus>.
9. Arduino Education. Higher Education Solutions. Official website of Arduino. URL: <https://www.arduino.cc/education/high-school/>.
10. Global AVR Microcontrollers Market Share Analysis [2024-2032]. 15.03.2024. Official website of LinkedIn Corporation, 2025. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/global-avr-microcontrollers-market-share-analysis-zfolc/>.
11. 8-bit PIC Microcontrollers (MCUs). Official website of Microchip Technology: Empowering Innovation. URL: <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers-and-microprocessors/8-bit-mcus/pic-mcus>.
12. PIC16F84A Projects. Official site of Simple Circuit. URL: <https://simple-circuit.com/pic16f84a-projects/>.
13. Sahin F. Practical and Experimental Robotics / F. Sahin, P. Kachroo. – Boca Raton: CRC Press, 2017. – 464 p., DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420059106>.
14. STM8S Series – 8-bit Microcontrollers (MCU). Official website of ST Microelectronics: Our technology starts with you. URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm8s-series.html>.
15. EasyPIC v7a Development System. MikroElektronika d.o.o.: Time-saving embedded tools. URL: <https://www.mikroe.com/easypic-v7a>.
16. Proteus: PCB Design and Circuit Simulator Software. Official website of Labcenter Electronics Ltd. URL: <https://www.labcenter.com/>.
17. Mohammed M. Arduino Programming: Syntax, Concepts, Arduino and Proteus, and Examples (3rd Edition) / M. Mohammed, M. Beerbohm, [translator: J. Bach]. – Independently Published, 2020. – 185 p. URL: <https://books.google.com.ua/books?id=wBBlzQEACAAJ>.
18. Rusu O.P. Universalna virtualna laboratoriiia dlia tradytsiinoi ta dystantsiinoi form navchannia / O.P. Rusu // Materialy VIII vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Humanitarnyi i innovatsiinyi rakurs profesiinoi maisternosti: poshuky molodykh vchenykh». Odessa, 18 lystopada 2022 r. – Lviv-Torun: Liha-Pres, 2022. – S. 385–388. DOI: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-266-4/113>.
19. Rusu O.P. Virtualna laboratoriiia dlia prohramuvannia mikrokontroleriv / O.P. Rusu, A.S. Markitan, N.R. Sultanzade // Materialy IKh vseukrainskoi konferentsii «Chornomorski naukovi studii», Odessa, 12 travnia 2023 r. – Lviv-Torun: Liha-Pres, 2023. – S. 214–216. DOI: <https://doi.org/10.36059/978-966-397-300-5-64>.
20. Rusu O.P. Metod navchannia prohramuvanniu mikrokontroleriv pry dystantsiini formi navchannia / O.P. Rusu, V.V. Buchatskyi // Mizhnarodna konferentsiia «Peredovi tekhnolohii v informatsiino-komunikatsiini inzhenerii», Odessa, 17-20 lypnia 2024 r. – Odessa: Mizhnarodnyi humanitarnyi universytet, 2024. – S.151–154. URL: <https://doi.org/10.32837/11300.28155>.