

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОГРАМНИХ ПЛАТФОРМ ДЛЯ СИМУЛЯЦІЇ РОБОТОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет.

### **Анотація**

В даній роботі представлено огляд найбільш популярних сучасних програмних середовищ для моделювання та емуляції робототехнічних систем призначених для освітніх цілей. Здійснено порівняльний аналіз за критеріями складності освоєння, функціональності, підтримки сучасних апаратних засобів та зручності інтеграції в навчальний процес. Висвітлено, що використання таких симуляторів дає змогу частково компенсувати нестачу лабораторного обладнання, підтримувати дистанційне та змішане навчання та формувати у студентів стійкі практичні навички програмування і налагодження робототехнічних систем.

**Ключові слова:** робототехніка, емуляція, симуляція, програмне забезпечення.

### **Abstract**

This paper presents an overview of the most popular modern software environments for modeling and emulating robotic systems intended for educational purposes. A comparative analysis is carried out according to the criteria of learning complexity, functionality, support for modern hardware, and ease of integration into the educational process. It is highlighted that the use of such simulators makes it possible to partially compensate for the lack of laboratory equipment, support distance and blended learning, and develop stable practical skills in programming and debugging robotic systems among students.

**Keywords:** robotics, emulation, simulation, software.

### **Вступ**

Сучасна робототехніка є одним із найдинамічніших напрямів інженерії, що поєднує знання з механіки, електроніки, програмування, штучного інтелекту та суміжних галузей. Для досліджень і розробок сьогодні активно використовуються програмні середовища, які дозволяють моделювати розроблювані роботи технічні пристрої без необхідності створення фізичних прототипів. Такий підхід суттєво знижує вартість розробки, підвищує гнучкість експериментів і робить навчання більш ефективним і безпечним, оскільки зникають ризики пошкодження реального обладнання при помилках у програмуванні [1]. У технічній освіті використання емуляторів та симуляторів відіграє ключову роль у формуванні практичних навичок майбутніх інженерів. В умовах обмеженого доступу до лабораторних стендів, а також при дистанційному та змішаному навчанні саме програмні симулятори дозволяють кожному працювати зі «своєю» віртуальною апаратурою, виконувати індивідуальні завдання та самостійно відлагоджувати програми. У низці сучасних робіт відзначається, що поєднання традиційних лабораторій із віртуальними середовищами є ефективним інструментом підготовки майбутніх фахівців [2].

Існує значна кількість інструментів для симуляції робототехнічних систем – від простих Arduino-емуляторів до повнофункціональних 3D-платформ із реалістичною фізикою. Огляд і аналіз таких програмних комплексів наведено в сучасних дослідженнях, де показано, що симулятори дають змогу суттєво підвищити доступність навчання, його безпеку та гнучкість.

Метою даної роботи є здійснення порівняльного аналізу найбільш простих та популярних програмних платформ таких як: UnoArduSim, Tinkercad, Wokwi та Virtual Breadboard, що орієнтовані переважно на відкриту апаратно-програмну платформу для електронних пристроїв та проєктів (Arduino) та подібні системи, а також визначення їх місця в навчальному процесі з робототехніки [3-6].

## Виклад основного матеріалу

Сучасна робототехніка є одним із най динамічніших напрямів інженерії. Для досліджень і розробок сьогодні активно використовуються програмні середовища, які дозволяють моделювати робототехнічні пристрої не створюючи фізичні прототипи. Такий підхід суттєво знижує вартість розробки, підвищує гнучкість експериментів і робить навчання більш ефективним.

В даній роботі розглянуто чотири найпопулярніших програмних рішень для робототехнічного моделювання.

Tinkercad (Рисунок 1, а) – безкоштовна онлайн-платформа для моделювання електронних схем і мікроконтролерів, розроблена компанією Autodesk. У середовищі можна створювати схеми на основі ArduinoUno, додавати базові електронні компоненти та запускати програми, написані блоковою мовою або мовою C/C++. Перевагами Tinkercad є простий інтерфейс, можливість швидкого старту без встановлення додаткового програмного забезпечення та зручне хмарне збереження проєктів. Обмеження пов'язані зі спрощеною фізикою процесів та обмеженим набором підтримуваних датчиків і модулів, що робить платформу більш придатною для початкового рівня навчання[3].

UnoArduSim (Рисунок 1, б) – безкоштовний симулятор Arduino Uno для операційної системи Windows [1]. На відміну від Tinkercad, цей інструмент не зосереджується на візуальному макетуванні, а детально емулює роботу самого мікроконтролера. Користувач отримує можливість покроково виконувати програму, аналізувати значення регістрів та стан портів, відстежувати роботу таймерів та інших внутрішніх ресурсів. UnoArduSim добре підходить для пояснення архітектури мікроконтролера та принципів роботи низькорівневих налаштувань. Обмеженням є орієнтація лише на ArduinoUno і відсутність моделювання складних зовнішніх модулів та механічних частин роботів[4].

Wokwi (Рисунок 1, в) – сучасний браузерний симулятор, який підтримує не тільки Arduino, а й платформи ESP32 та Raspberry Pi Pico. Проєкти створюються і запускаються он-лайн, без встановлення додаткового програмного забезпечення. Головною особливістю Wokwi є сумісність із реальним Arduino-кодом і популярними бібліотеками, що полегшує перехід від віртуальних експериментів до роботи з фізичними платами. Окрім цього, симулятор дозволяє аналізувати часові діаграми сигналів та спостерігати за поведінкою периферійних пристроїв. Перевагами Wokwi є більш широка функціональність і підтримка сучасних мікроконтролерів, а також зручність для виконання більш складних навчальних і проєктних завдань. Серед недоліків – обмеження безкоштовної версії та дещо вищі вимоги до підготовки користувача порівняно з Tinkercad [3], [5].

VirtualBreadboard (Рисунок 1, г) – десктопне середовище для Windows, призначене для створення віртуальних макетів з використанням мікроконтролерів і логічних схем. Користувач може будувати схеми на основі макетної плати, додавати компоненти, налаштовувати їх взаємодію та запускати симуляцію роботи. Інструмент підтримує інтеграцію з Visual Studio, що дає змогу розробляти і налагоджувати код різними мовами програмування та поєднувати схемотехнічні і програмні аспекти в одному проєкті. Virtual Breadboard доцільно застосовувати на середньому рівні підготовки, коли студенти вже опанували базові поняття та можуть працювати з більш складними схемами. До недоліків належать платна ліцензія повної версії, менш інтуїтивний інтерфейс і певні вимоги до досвіду користувача [5].

## Порівняльна характеристика

Розглянуті програмні засоби можна розподілити за рівнем складності та призначенням. Tinkercad і UnoArduSim доцільно використовувати на початковому етапі навчання. Перший забезпечує візуальне моделювання схем і простих мікроконтролерних застосувань, другий дозволяє глибше зрозуміти внутрішню роботу плати Arduino Uno та навчитись налагоджувати код на рівні регістрів мікроконтролера. Wokwi та Virtual Breadboard формують наступний рівень, орієнтований на більш складні задачі: моделювання сучасних мікроконтролерів, використання бібліотек, роботу з розгалуженими схемами та інтеграцію з середовищами розробки [3-6].

З точки зору доступності Tinkercad і Wokwi є повністю онлайн-інструментами, що особливо зручно для дистанційного навчання та роботи з різних пристроїв. UnoArduSim і Virtual Breadboard потребують встановлення на комп'ютер під керуванням Windows, але натомість надають більш детальний контроль над симуляцією та можуть бути використані в навчанні. За ліцензійною політикою UnoArduSim і Tinkercad безкоштовні, Wokwi пропонує умовно безкоштовний доступ із

розширенням функцій у платній версії, а Virtual Breadboard має платну ліцензію з можливістю використання демоверсії.

Оглядом дослідження програмних симуляторів для робототехнічних систем підтверджують доцільність поєднання простих Arduino-емуляторів із більш функціональними середовищами, що підтримують сучасні мікроконтролери та засоби аналізу роботи системи. Це узгоджується з результатами аналізу розглянутих у роботі платформ [7].

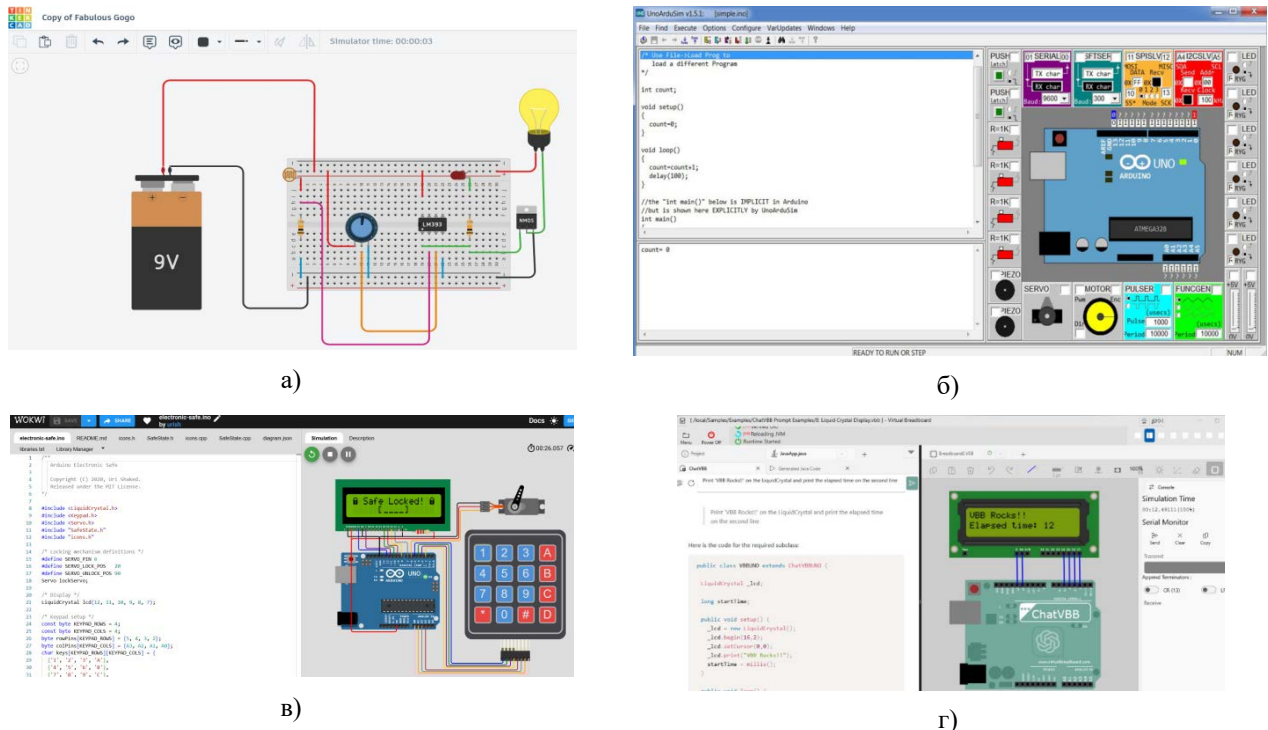


Рисунок 1 – Програмні середовища для моделювання: а) Tinkercad; б) UnoArduSim; в) Wokwi; г) Virtual Breadboard

## Висновок

Використання емуляторів Arduino та робототехнічних симуляторів дозволяє побудувати поетапну систему підготовки фахівців з робототехніки. На початковому рівні раціонально застосовувати UnoArduSim і Tinkercad, які забезпечують базове ознайомлення з мікроконтролерами, електронними схемами та простими алгоритмами керування. На вищому рівні доцільним є використання Wokwi та Virtual Breadboard, що дають змогу працювати зі складнішими схемами, сучасними мікроконтролерами та інтегрованими середовищами розробки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Koenig N., Howard A. Design and Use Paradigms for Gazebo, An Open-Source Multi-Robot Simulator [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1109/IROS.2004.1389727> (дата звернення: 17.03.2025).
2. ChernovaS., ThomazA. Robot Learning from Human Teachers [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.2200/S00658ED1V01Y201402AIM028> (дата звернення: 17.03.2025).
3. Tinkercad [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tinkercad.com> (дата звернення: 17.03.2025).
4. UnoArduSim [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sites.google.com/site/unoardusim/> (дата звернення: 17.03.2025).
5. Wokwi [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://wokwi.com> (дата звернення: 17.03.2025).
6. VirtualBreadboard [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.virtualbreadboard.com> (дата звернення: 17.03.2025).

7. Efremova S., Mishchuk D., Horbatiuk E. Review and analysis of software simulators for robotic information systems // Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини. – 2024. – Вип. 103. – С. 71–85. – DOI: 10.32347/gbdmm.2024.103.0501 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2024.103.0501> (дата звернення: 17.03.2025).

**Будяк Віта Максимівна** – студентка групи ЗКН-246, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [budiak.vitaa@icloud.com](mailto:budiak.vitaa@icloud.com)

**Дацюк Анна Миколаївна** – студентка групи ЗКН-246, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [annadatsyuk1608@gmail.com](mailto:annadatsyuk1608@gmail.com);

**Мороз Наталія Русланівна** – студентка групи ЗКН-246, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [moroznatasa052@gmail.com](mailto:moroznatasa052@gmail.com);

**Белзетський Руслан Станіславович** – канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [belzetskyi@vntu.edu.ua](mailto:belzetskyi@vntu.edu.ua);

**Budiak Vita M.** – Student of group 3KN-24b, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: [budiak.vitaa@icloud.com](mailto:budiak.vitaa@icloud.com)

**Datsiuk Anna M.** – Student of group 3KN-24b, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: [annadatsyuk1608@gmail.com](mailto:annadatsyuk1608@gmail.com);

**Moroz Nataliia R.** – Student of group 3KN-24b, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: [moroznatasa052@gmail.com](mailto:moroznatasa052@gmail.com);

**Belzetskyi Ruslan S.** – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Integration Education with Production, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [belzetskyi@vntu.edu.ua](mailto:belzetskyi@vntu.edu.ua).