

УДК [378.091.33:004.421]:004.38  
DOI 10.31494/2412-9208-2019-1-1-92-99

**Analysis of the use of Raspberry single-circuit computers  
in the teaching of distributed and parallel computing**

**Аналіз можливостей використання одноплатних комп'ютерів  
Raspberry при викладанні розподільчих та паралельних обчислень**

**Yuriy Sitsylitsyn,**  
Senior Lecturer

<https://orcid.org/0000-0002-3888-5575>  
[yurarud@gmail.com](mailto:yurarud@gmail.com)

*Bogdan Khmelniysky Melitopol State  
Pedagogical University*

✉ *20 Hetmanska Street,  
Melitopol, Ukraine, 72300*

**Юрій Сіциліцин,**  
старший викладач

*Мелітопольський державний  
педагогічний університет імені  
Богдана Хмельницького*

✉ *вул. Гетьманська, 20  
Мелітополь, Україна, 72300*

*Original manuscript received January 23, 2019*

*Revised manuscript accepted April 14, 2019*

**ABSTRACT**

*The article considers the possibility of using single-board computers in teaching disciplines related to parallel and distributed computing. To conduct practical training in parallel computing, it is a very personal computer with a multi-core processor and an appropriate operating system, but for computational computing practice it is necessary to organize a computing cluster. To develop a cluster, you need a specific software setup that can make it difficult to use a computer class to teach other disciplines. Also, the purchase of personal computers for a computing cluster can lead to significant material costs. Therefore, it is expedient to explore the possibility of using single-board computers to develop a computing cluster and use it in practical work on distributed computing. The analysis of modern single-board computers and various sources for the development of computing clusters has shown that it is suitable for the single-board computer Raspberry Pi 3 Model B +. A comparative analysis of several Raspberry Pi models and, for comparison, one-board computer of another manufacturer – ASUS Tinker Board. It is revealed that Raspberry Pi 3 Model B + characteristics are optimal in the price / quality ratio for forming a learning computing cluster for distributed and parallel computing. Such a cluster has a relatively high price and very good scalability. Also, the problems that need to be solved when designing a computing cluster are found: there is no standardized chassis for placement of boards, the absence of standard heat removal from single-board computers and the need for a non-standard protected power supply. The organization of such a cluster will greatly improve students' skills in developing distributed computing software and build and configure the cluster systems and will allow the development of such competencies of future programmers.*

**Key words.** *Parallel and distributed computing, single-board computer, computing cluster, Raspberry Pi, software.*

**Постановка проблеми.** Наше суспільство швидко стає більш залежним від високопродуктивних обчислень (ВПО) з такими галузями, як біологія (Langmead B., 2013), фінанси (Smelyanskiy M., 2012) та відновлювані джерела енергії (Paravasiliou A., 2015), що використовують великі обчислювальні потужності для моделювання. Вони залежать від запущеного коду, який має паралельну структуру і готовий працювати на розподілених обчислювальних системах. Хоча багато закладів вищої освіти визнали зростання попиту на ВПО, спостерігається відставання в змінах у навчальних планах, які передбачають ознайомлення студентів з паралельними та розподільчими обчисленнями (ПРО).

Засвоєння ПРО має бути важливим компонентом для студентів закладів вищої освіти зі спеціальності “Комп’ютерні науки”. Проте інтеграція цих тем у навчальний план для студентів не може бути ефективною, доки відсутня необхідна кількість ресурсів для розробки ВПО, які є компактними, щоб знаходитися в межах одного курсу, та достатньо автономними зі справжнім автентичним джерелом використання (Giasaman N., 2015). Більшість закладів вищої освіти не мають достатніх ресурсів для купівлі дорогих апаратних засобів для кластерних обчислень або студентам бракує навчального часу для роботи на наявних кластерних системах (Liu J., 2016). Тому є актуальним застосування в освітньому процесі апаратних засобів з низькою вартістю, а саме одноплатних комп’ютерів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Фундаментальні дослідження в галузі підготовки майбутніх інженерів-програмістів у закладах вищої освіти здійснюють В. Биков (Биков В.Ю., 2010), В. Осадчий (Осадчий В.В., 2014), З. Сейдаметова, О. Спірін, Ю.Триус. Дослідженням використання одноплатних комп’ютерів для паралельних та розподілених обчислень займалися такі вчені, як Т. Franczak, А. Nkansah, Т. Marrinan, М.Е. Рарка (Franczak T., Nkansah A., Marrinan T., Рарка М. Е., 2017). Оглядом та вибором засобів розподіленого програмування займалися С. Лупін (Лупін С.А., 2011), М. Посипкін, В. Воєводін, Е. Уільямс та інші вчені. М. Косяков, І. Скопін та W. Gardner досліджують навчання розподіленому програмуванню.

**Метою статті** є вивчення використання одноплатних комп’ютерів у розподілених обчисленнях.

**Виклад основного матеріалу.** Дисципліна “Паралельні та розподілені обчислення” викладається при професійній підготовці інженерів програмістів і повинна сприяти розвитку в студентів відповідних навичок. Якщо з точки зору апаратного забезпечення для навчання паралельному програмуванню студентам досить мати багатоядерний персональний комп’ютер, то для роботи з розподіленим обчисленням – обчислювальний кластер з можливістю його масштабування.

Розглянемо можливість формування такого кластеру за допомогою одноплатних комп’ютерів.

Для цього, насамперед, розглянемо типи сучасних одноплатних комп’ютерів. Одноплатний комп’ютер зібраний на одній друкованій платі,

на якій встановлені мікропроцесор, оперативна пам'ять, системи введення-виведення і інші модулі, необхідні для його функціонування [17]. На відміну від традиційних персональних комп'ютерів форм-фактора "desktop", одноплатні комп'ютери часто не вимагають установки якихось додаткових периферійних плат. Така економія, з одного боку, робить пристрій більш компактним і набагато дешевшим за рахунок використання системи на кристалі, з іншого боку, розширює можливості – зміна процесора або пам'яті – утруднене, так як найчастіше ці компоненти напаяні на плату [17].

Raspberry Pi – одноплатний комп'ютер, розроблений британським фондом Raspberry Pi Foundation. Його головне призначення – стимулювати навчання базових комп'ютерних наук у школах [7]. У жовтні 2013 р. розробники одноплатного комп'ютера Raspberry Pi оголосили про продаж більше двох мільйонів цих плат [7], що закріпило за Raspberry Pi звання найпопулярнішої платформи для ентузіастів. Причиною успіху проекту можна назвати низьку ціну, відкритий характер розробки та орієнтацію на навчання й експерименти [7]. Найдешевшими мікрокомп'ютерами в лінійці виробника є моделі Raspberry Pi Zero вартістю всього \$ 5 і Raspberry Pi Zero W вартістю \$ 10 (Кулеш С). У 2018 році модельний ряд мікрокомп'ютерів Raspberry Pi поповнився новим пристроєм під назвою Raspberry Pi 3 Model B +. Модифікація Raspberry Pi 3 Model B + отримала більш продуктивний 4-ядерний процесор, що працює на частоті 1,4 ГГц. Також були покращені комунікаційні можливості комп'ютера. Наприклад, була додана підтримка стандарту бездротового зв'язку Bluetooth 4.2 (замість Bluetooth 4.1 в попередньої версії), використовується двоходіапазонний модуль Wi-Fi, що підтримує діапазони 2,4 і 5 ГГц. При цьому модуль Wi-Fi в новій моделі Raspberry Pi 3 Model B + має "модульну сертифікацію відповідності". Це означає, що якщо розробники будуть використовувати цей мікрокомп'ютер Raspberry Pi у своїх фінальних продуктах, то їм не доведеться проходити додаткову сертифікацію Wi-Fi в регулюючих органах. Ціна Raspberry Pi 3 Model B + становить \$ 35 (Карпусь В.).

Компактна комп'ютерна система Raspberry Pi є відмінним рішенням для створення різних саморобних пристроїв. Однак недоліком Raspberry Pi є порівняно невисока продуктивність. Компанія ASUS вирішила усунути цю проблему, випустивши власний мікрокомп'ютер Tinker Board, який має підвищену продуктивність (Карпусь В.). Так, в ASUS Tinker Board використовується 4-ядерний процесор Rockchip (ARM Cortex-A17, 1,8 ГГц), здатний відтворювати відео з роздільною здатністю 4K і підтримувати 24-бітний звук. Завдяки цьому система може використовуватися в якості основи для медіа центру. Крім того, пристрій несе на борту 2 ГБ оперативної пам'яті LPDDR3 (в 2 рази більше, ніж у Raspberry Pi), порт Micro SD з підтримкою UHS-I, 40-контактний роз'єм для підключення зовнішніх пристроїв. Також наявні вбудовані модулі бездротового зв'язку Bluetooth 4.0 і Wi-Fi 802.11 b / g / n, гігабітний мережевий порт Ethernet, 4 порти USB 2.0, 3,5-міліметровий звуковий

роз'єм, відеовихід HDMI 2.0, порти CSI і DSI, контакти для PWM і S / PDIF сигналів. Tinker Board працює на версії Debian Linux і підтримує Kodi. Комп'ютерна система ASUS Tinker Board оцінюється виробником в \$ 68 (Карпусь В.).

Подаємо показники сучасних моделей у таблиці 1.

Таблиця 1

	Raspberry Pi Zero	Pi Zero W	Raspberry Pi 3 Model B+	ASUS Tinker Board
Процесор та частота	ARM1176JZ-F, 1 ГГц	ARM1176JZ-F, 1 ГГц	ARM Cortex-A53 x64, 1,4 ГГц	ARM Cortex-A17, 1,8 ГГц
Ядер	1	1	4	4
ОЗП	512МБ DDR2	512МБ DDR2	1ГБ DDR2	2 ГБ LPDDR3
USB	1 порт	1 порт	4 порти	4 порти
Ethernet	Ні	Ні	Так	Так
WiFi	Ні	Так	Так	Так
Bluetooth	Ні	Так	Так	Так
Ціна, дол.	5	10	35	68

Виходячи з даних цієї таблиці, можна зробити висновок, що підвищення показників продуктивності на 30 процентів у ASUS Tinker Board призводить до підвищення ціни на 50 % у порівнянні з Raspberry Pi 3 Model B+. А відсутність мережевого порту Ethernet у новіших моделях Raspberry робить їх не придатними до роботи в кластері. Тому для розробки кластерних систем оптимальним рішенням буде Raspberry Pi 3 Model B+.

Розглянемо алгоритм створення кластеру для навчальних цілей під час професійної підготовки майбутніх інженерів-програмістів у процесі вивчення дисципліни “Паралельні та розподілені обчислення” на базі платформи Raspberry Pi.

Коло тих, хто займається розробкою кластерних систем, дуже широке, це і ентузіасти, і ЗВО, і комерційні структури. Головна проблеми цих розробок – розташування ПК, їх безперервне живлення, мережеве з'єднання та виведення тепла.

Відсутність у одноплатних ПК корпусів та будь-яких стандартів монтажу призводить до того, що більшість розробників починають проектувати кластер та виготовляти власноруч монтажну рейку для закріплення необхідної кількості ПК [1, 8, 12]. Головне, на що потрібно звернути увагу на цьому етапі, – це необхідність забезпечити такі фактори: можливість заміни ПК, підведення мережевих кабелів та кабелів живлення, охолодження системи в цілому. Розробники [1, 12] проблему охолодження розв'язують розробкою каркасної стійки. При цьому досягається потрібне повітряне охолодження та доступ до ПК для заміни. Але при такому підході плати піддаються загрози зовнішніх факторів, наприклад, збільшення вологості, і, як наслідок зменшення терміну використання. Альтернативним підходом є розробка закритого корпусу з примусовим повітряним охолодженням [8]. Недоліки такого підходу – проблеми з заміною ПК та масштабуванням системи в цілому.

Живлення Raspberry Pi здійснюється за допомогою роз'єму microUSB. Для живлення кластера з Raspberry Pi всі дослідники використовують USB-хаби [1, 8, 12], які приєднуються до блоку живлення стандарту ATX. У зібраних кластерах максимальна потужність не перевищувала 55 W.

Для мережевого з'єднання Raspberry Pi можна використовувати як WiFi, так і Ethernet. Але загальна вартість використання WiFi-інтерфейсу буде вищою за рахунок вартості роутера, або кількох роутерів, тому для навчального кластера доцільно використовувати Ethernet-з'єднання.

Із аналізу алгоритму побудови кластеру та аналізу його складників можна зробити висновок, що створення навчального кластеру на базі ЗВО є можливим виключно за рахунок використання людських та матеріальних ресурсів самого ЗВО. Побудований кластер буде корисним для викладання дисципліни “Паралельні та розподілені обчислення”, а саме тем, пов'язаних з розподіленими обчисленнями: “Обмін даними точка-точка у розподіленій мережі”, “Колективний обмін даними між вузлами в розподіленій мережі”, “Розподілені алгоритми сортування та пошуку”, “Організація обміну даними в кластері”. Це дозволить значно покращити навички студентів при розробці програмного забезпечення для розподілених обчислень та побудові й налаштуванні кластерних систем; дозволить розвинути такі компетентності майбутніх інженерів-програмістів, як:

- здатність застосовувати теоретичні та практичні основи методології й технології моделювання, реалізовувати алгоритми моделювання для дослідження характеристик і поведінки складних об'єктів і систем, проводити експерименти за програмою моделювання з обробкою й аналізом результатів;

- здатність проектувати та розробляти програмне забезпечення із застосуванням різних парадигм програмування: структурного, об'єктно-орієнтованого, функціонального, логічного, з відповідними моделями, методами та алгоритмами обчислень, структурами даних і механізмами управління;

- здатність забезпечити організацію обчислювальних процесів в інформаційних системах різного призначення з урахуванням архітектури, конфігурування, показників результативності функціонування операційних систем і системного програмного забезпечення;

- здатність до аналізу та функціонального моделювання бізнес-процесів, побудови і практичного застосування функціональних моделей організаційно-економічних і виробничо-технічних систем, методів оцінювання ризиків проектування ІС, синтезу складних систем на засадах використання її комп'ютерної моделі;

- здатність застосовувати методології, технології та інструментальні засоби для управління процесами життєвого циклу інформаційних і програмних систем, продуктів і сервісів інформаційних технологій відповідно до вимог замовника.

**Висновки.** Отже, для здобуття студентами з комп'ютерних наук

необхідних компетенцій з розподілених обчислень необхідно застосування у процесі їх обчислювального кластеру. Він повинен мати можливість масштабування. Для зниження затрат на обладнання можлива організація кластеру на одноплатних ПК. Розробка кластеру на одноплатних ПК допоможе проводити практичні заняття з декількох дисциплін, а саме: “Програмування на мові Python”, “Аналіз даних” та “Паралельне програмування”.

### **Література**

1. 96-ядерный суперкомпьютер на одноплатниках NanoPi Fire3. [Електронний ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/429488/>

2. Papavasiliou A., Oren S. S., Rountree B. Applying high performance computing to transmission-constrained stochastic unit commitment for renewable energy integration. – 2015. – IEEE Transactions on Power Systems. – vol. 30. №. 3, p. 1109–1120.

3. Langmead B. Practical software for big genomics data. – 2013. – IEEE 3rd International Conference on Computational Advances in Bio and medical Sciences (ICCABS). p. 1–1.

4. Liu J., 20 years of teaching parallel processing to computer science seniors. – 2016. – Workshop on Education for High-Performance Computing (EduHPC). p. 7–13.

5. Smelyanskiy M., Sewall J., Kalamkar D. D., Satish N., Dubey P., Astafiev N., Burylov I., Nikolaev A., Maidanov S., Li S., Kulkarni S., Finan C. H., Gonina E., Analysis and optimization of financial analytics benchmark on modern multi- and many-core ia-based architectures. – 2012. – SC Companion: High Performance Computing, Networking Storage and Analysis. – p. 1154–1162.

6. Giacaman N., Kalra S., and Sinnen O., The active classroom: Students and instructors parallel programming in parallel. – 2015. – IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshop. – p. 739–745.

7. Raspberry Pi. // Вікіпедія – [Електронний ресурс]. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://uk.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi)

8. Franczak T., Nkansahz A., Marrinan T., Papka M. E. A Path from Serial Execution to Hybrid Parallelization for Learning HPC. – 2017. – Workshop on Education for High-Performance Computing ser. EduHPC '17.

9. Биков В.Ю. Сучасні завдання інформатизації освіти [Електронний ресурс] / В.Ю. Биков // Інформаційні технології і засоби навчання. — 2010. — № 1 (15). — Режим доступу : <http://journal.iitta.gov.ua/index.php/itit>.

10. Биков В.Ю., Спірін О.М., Пінчук О.П. Проблеми та завдання сучасного етапу інформатизації освіти. Наукове забезпечення розвитку освіти в Україні: актуальні проблеми теорії і практики (до 25-річчя НАПН України). Видавничий дім «Сам». 2017. с. 191-198

11. Воеводин В.В. Параллельные вычисления. СПб.: БХВ-Петербург, 2002. 608 с.

12. Как мы создавали кластер из Raspberry Pi. [Електронний ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/post/170305/>

13. Карпуть В. ASUS выпустила конкурента Raspberry Pi с более высокой производительностью. [Електронний ресурс]. URL: <https://itc.ua/news/asus-vyipustila-konkurenta-raspberry-pi-s-bolee-vyisokoy-proizvoditelnostyu/>

14. Карпуть В. Вышла новая версия Raspberry Pi с более производительным CPU и улучшенными модулями беспроводной связи. [Електронний ресурс]. URL: <https://itc.ua/news/vyishla-novaya-versiya-raspberry-pi-s-bolee-proizvoditelnym-cpu-i-uluchshennymi-modulyami-besprovodnoy-svyazi/>

15. Кулеш С. Представлен микрокомпьютер Raspberry Pi 3 Model A+ с модулями Wi-Fi и Bluetooth по цене \$25. [Электронный ресурс]. URL: <https://itc.ua/news/predstavlen-mikrokompyuter-raspberry-pi-3-model-a-s-modulyami-wi-fi-i-bluetooth-po-tsene-25/>

16. Лупин С.А., Посыпкин М.А. Технологии параллельного программирования. М.: ИД "ФОРУМ": ИНФРА-М, 2011. 208 с.

17. Одноплатный компьютер. //Вікіпедія – [Електронний ресурс]. URL:[https://ru.wikipedia.org/wiki/Одноплатный компьютер](https://ru.wikipedia.org/wiki/Одноплатный_компьютер)

18. Осадчий В.В. Анализ проблемы профессиональной подготовки программиста и пути ее решения. Образовательные технологии и общество. 2014. №3. Т. 17. с. 362-377

#### References

1.96-yadernyj superkomp`yuter na odnoplatny`kax NanoPi Fire3. URL: <https://habr.com/ru/post/429488/>

2.Papavasiliou A., Oren S. S., Rountree B. Applying high performance computing to transmission-constrained stochastic unit commitment for renewable energy integration. – 2015. – IEEE Transactions on Power Systems. – vol. 30. №. 3, p. 1109–1120.

3.Langmead B. Practical software for big genomics data. – 2013. – IEEE 3rd International Conference on Computational Advances in Bio and medical Sciences (ICCBAS). p. 1–1.

4.Liu J., 20 years of teaching parallel processing to computer science seniors. – 2016. – Workshop on Education for High-Performance Computing (EduHPC). p. 7–13.

5.Smelyanskiy M., Sewall J., Kalamkar D. D., Satish N., Dubey P., Astafiev N., Burylov I., Nikolaev A., Maidanov S., Li S., Kulkarni S., Finan C. H., Gonina E., Analysis and optimization of financial analytics benchmark on modern multi- and many-core ia-based architectures. – 2012. – SC Companion: High Performance Computing, Networking Storage and Analysis. – p. 1154–1162.

6.Giacaman N., Kalra S., and Sinnen O., The active classroom: Students and instructors parallel programming in parallel. – 2015. – IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshop. – p. 739–745.

7.Raspberry Pi. URL:[https://uk.wikipedia.org/wiki/Raspberry Pi](https://uk.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi)

8.Franczak T., Nkansahz A., Marrinan T., Papka M. E. A Path from Serial Execution to Hybrid Parallelization for Learning HPC. – 2017. – Workshop on Education for High-Performance Computing ser. EduHPC '17.

9.By`kov V.Yu. Suchasni zavdannya informaty`zacyi osvity`. Informacijni tehnologiyi i zasoby` navchannya. – 2010. – № 1 (15). – URL: <http://journal.iitta.gov.ua/index.php/itit>

10. By`kov V.Yu., Spirin OM, Pinchuk OP. Problemy` ta zavdannya suchasnogo etapu informaty`zacyi osvity`. Naukove zabezpechennya rozvy`tku osvity` v Ukraini: aktual`ni problemy` teorii i prakty`ky` (do 25-richchya NAPN Ukrainy). Vy`davny` chy`j dim «Sam». 2017. c. 191-198

11. Voyevodin V.V. Parallel`nyye vychisleniya. SPb.: BKHV-Peterburg, 2002. 608 c.

12. Kak my sozdavali klaster iz Raspberry Pi. URL: <https://habr.com/ru/post/170305/>

13. Karpus` V. ASUS vypustila konkurenta Raspberry Pi s boleye vysokoy proizvoditel`nost`yu. URL: <https://itc.ua/news/asus-vyipustila-konkurenta-raspberry-pi-s-bolee-vyisokoy-proizvoditelnostyu/>

14. Karpus` V. Vyshla novaya versiya Raspberry Pi s boleye proizvoditel`nym CPU i uluchshennymi modulyami besprovodnoy svyazi. URL: <https://itc.ua/news/vyishla-novaya-versiya-raspberry-pi-s-bolee-proizvoditelnym-cpu-i->

[uluchshennyimi-modulyami-besprovodnoy-svyazi/](#)

15. Kulesh S. Predstavlen mikrokompyuter Raspberry Pi 3 Model A+ s modulyami Wi-Fi i Bluetooth po tsene \$25. URL: <https://itc.ua/news/predstavlen-mikrokompyuter-raspberry-pi-3-model-a-s-modulyami-wi-fi-i-bluetooth-po-tsene-25/>

16. Lupin S.A., Posypkin M.A. Tekhnologii paralel'nogo programmirovaniya. M.: ID «FORUM»: INFRA-M, 2011. 208 s.

17. Odnoplatnyy komp'yuter. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Одноплатный\\_компьютер](https://ru.wikipedia.org/wiki/Одноплатный_компьютер).

18. Osadchiy V.V. Analiz problemy professional'noy podgotovki programmista i puti yeye resheniya. Obrazovatel'nyye tekhnologii i obshchestvo. 2014. №3. T. 17. s. 362-377

### **АНОТАЦІЯ**

*У статті розглядається можливість використання одноплатних комп'ютерів при викладанні дисциплін, пов'язаних з паралельними та розподіленими обчисленнями. Для проведення практичних занять з паралельних обчислень досить персонального комп'ютера з багатоядерним процесором та відповідною операційною системою, але для проведення практичних занять з розподілених обчислень необхідно організувати спеціальний обчислювальний кластер. Для розробки кластера необхідне специфічне налаштування програмного забезпечення, що може зробити незручним використання комп'ютерного класу для викладання інших дисциплін. Також придбання персональних комп'ютерів для обчислювального кластера може привести до значних матеріальних витрат. Тому доцільним є вивчення можливості використання одноплатних комп'ютерів для розробки обчислювального кластера та використання його на практичних заняттях з розподілених обчислень. Аналіз сучасних одноплатних комп'ютерів та різних джерел з розробки обчислювальних кластерів показав, що для цього підходить одноплатний комп'ютер Raspberry Pi 3 Model B+. Проведений порівняльний аналіз декількох моделей Raspberry Pi та одноплатного комп'ютера іншого виробника – ASUS Tinker Board. Виявлено, що характеристики Raspberry Pi 3 Model B+ є оптимальними у співвідношенні ціна/якість для формування навчального обчислювального кластера для розподілених та паралельних обчислень. Такий кластер має порівняно невисоку ціну та дуже хорошу масштабованість. Виявлені проблеми, які необхідно вирішити при проектуванні обчислювального кластера: стандартизованих шасі для розміщення плат, відсутність стандартних засобів відводу тепла від одноплатних комп'ютерів та необхідність розробки нестандартного захищеного блоку живлення. Організація такого кластера дозволить значно покращити навички студентів при розробці програмного забезпечення для розподілених обчислень та навички побудови й налаштування кластерних систем, що дозволить розвину відповідні компетентності майбутніх інженерів-програмістів.*

**Ключові слова:** паралельні та розподілені обчислення, одноплатний комп'ютер, обчислювальний кластер, Raspberry Pi, програмне забезпечення.