

## РОЗДІЛ II. ТЕОРІЯ ТА МЕТОДИКА НАВЧАННЯ (З ГАЛУЗЕЙ ЗНАНЬ)

УДК 378.091.33:004.421] : 004.421

DOI <https://doi.org/10.26661/2786-5622-2022-4-03>

### МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІСТУ ДИСЦИПЛІНИ «ПАРАЛЕЛЬНІ ТА РОЗПОДІЛЕНІ ОБЧИСЛЕННЯ»

**Сіциліцин Ю. О.***Ph.D.,**старший викладач кафедри інформатики і кібернетики**Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького**вул. Гетьманська, 20, Мелітополь, Запорізька область, Україна**orcid.org/0000-0002-3888-5575**yurarud@gmail.com*

**Ключові слова:** паралельне програмування, професійна підготовка, навчання паралельного програмування, технології паралельного програмування, MPI, OpenMP.

У статті описується моделювання змісту дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення». Стаття є продовженням попереднього дослідження автора. У роботі висвітлено проблеми, які виникають у разі намагання визначення місця дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення» в сітці знань і часу її викладання. Для вирішення проблеми на основі змісту професійної підготовки майбутніх інженерів-програмістів у галузі паралельних обчислень була розроблена модель дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення». Розроблення моделі відбувалося в декілька етапів: 1) сформовано цілі вивчення дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення»; 2) розглянуто фахові компетентності, визначені Стандартом вищої освіти України першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»; 3) проведено огляд сучасного стану професійної підготовки майбутніх інженерів-програмістів із паралельних обчислень. Було розглянуто освітньо-професійні програми бакалаврського рівня вищої освіти закладів вищої освіти України.

Розроблена модель змісту дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення» є циліндром, що сегментований на шари, кожен із яких має визначене семантичне навантаження. Найнижчий шар – це область опорних знань, яка включає поняття та зв'язки між ними, необхідні для повного розуміння теоретичного матеріалу. Безпосередньо над базовим шаром знаходяться поняття першого рівня, формування яких ґрунтується на базових (підтримуючих) знаннях. Блоки третього рівня передбачають формування понять, які безпосередньо пов'язані з програмуванням MPI та OpenMP. Шар понять і зв'язків четвертого рівня поглиблює розуміння раніше засвоєного матеріалу.

Встановлено, що для переходу до роботи з паралельними бібліотеками, які в моделі посідають третій рівень, необхідно ознайомитися з поняттями першого й другого рівнів, а це передбачає наявність у студентів знань і вмінь з алгоритмізації, об'єктно-орієнтованого програмування, операційних систем, комп'ютерної схемотехніки, архітектури комп'ютерів. Тому повноцінне вивчення дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення» не можна починати раніше третього курсу навчання.

## MODELING OF THE CONTENTS OF THE DISCIPLINE “PARALLEL AND DISTRIBUTED COMPUTING”

Sitsylitsyn Yu. O.

*PhD,*

*Senior Lecturer at the Department of Computer Science and Cybernetics*

*Bogdan Khmelnsky Melitopol State Pedagogical University*

*Hetmanska str., 20, Melitopol, Zaporizhzhia region, Ukraine*

*orcid.org/0000-0002-3888-5575*

*yurarud@gmail.com*

**Key words:** *parallel programming, professional training, training in parallel programming, parallel programming technologies, MPI, OpenMP.*

The article describes the modeling of the content of the discipline “Parallel and distributed computing”. The article is a continuation of the author’s previous research. The work highlights the problems that arise when trying to determine the place of the discipline “Parallel and distributed computing” in the network of knowledge and the time of its teaching. To solve the problem, based on the content of the professional training of future software engineers in the field of parallel computing, a model of the discipline “Parallel and distributed computing” was developed. The development of the model took place in several stages: 1) the goals of studying the discipline “Parallel and distributed computing” were formed; 2) the professional competences defined by the Standard of Higher Education of Ukraine of the first (bachelor) level in specialty 122 “Computer Science” were considered; 3) a review of the current state of professional training of future software engineers in parallel computing was carried out. The educational and professional programs of the bachelor’s level of higher education of the higher education institutions of Ukraine were considered.

The developed model of the content of the discipline “Parallel and distributed computing” is a cylinder segmented into layers, each of which has a defined semantic load. The lowest layer is the area of supporting knowledge, which includes concepts and connections between them, necessary for a full understanding of the theoretical material. Directly above the basic layer are concepts of the first level, the formation of which is based on basic (supporting) knowledge. The third-level blocks involve the formation of concepts that are directly related to MPI and OpenMP programming. The layer of concepts and connections of the fourth level deepens the understanding of previously learned material.

It was found that to move to work with parallel libraries, which occupy the third level in the model, it is necessary to get acquainted with the concepts of the first and second levels, and this assumes that students have knowledge and skills in algorithmizing, object-oriented programming, operating systems, computers of computer circuitry, computer architecture. Therefore, a full-fledged study of the discipline “Parallel and distributed computing” is not possible before the third year of study.

**Постановка проблеми.** Завдяки появі багатоядерних архітектур, збільшенню доступності ресурсів обробки паралельні та розподілені обчислення посіли помітне місце в індустрії програмного забезпечення. Тому програмісти повинні мати навички в цьому контексті, оскільки вони стають необхідними для вивчення й засто-

сування на практиці повного потенціалу нових комп’ютерних систем. Однак традиційне викладання програмування в закладах вищої освіти для професійної підготовки майбутніх інженерів-програмістів розглядає паралельні та розподілені обчислення як тему підвищеної складності, яка часто вважається факультативною [10].

Що стосується відповідного часу для введення в сітку знань предмета «Паралельні та розподілені обчислення», то колектив зарубіжних авторів [13] виявив, що на сьогодні було проведено багато дискусій. За відсутності консенсусу щодо змісту дисципліни та часу її викладання часто спостерігають, що дисципліну вводять до розкладу у другій половині навчання [12]. Незважаючи на це, декілька робіт стверджують важливість розвитку цього змісту в початкових семестрах [11]. Є навіть декілька робіт про експерименти та практику навчання паралельних і розподілених обчислень програмістів-початківців [8; 13; 11; 9]. Тому актуальним є встановлення місця дисципліни в сітці знань через моделювання змісту дисципліни.

Ця робота є продовженням дослідження [4], у якому описано формування змісту професійної підготовки майбутніх інженерів-програмістів у галузі паралельних обчислень за матеріалами іноземних фундаментальних робіт. На основі сформованого змісту ми намагаємося розробити модель дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення» та визначити її місце у викладанні циклу професійних дисциплін для підготовки майбутніх інженерів-програмістів.

**Мета статті** – розробити модель дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення» як складник професійної підготовки майбутніх інженерів-програмістів у галузі паралельних обчислень на основі змісту професійної підготовки майбутніх інженерів-програмістів у галузі паралельних обчислень.

**Виклад основного матеріалу.** За допомогою аналізу змісту професійної підготовки майбутніх інженерів-програмістів у галузі паралельних обчислень [4] можна виділити такі цілі викладання дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення»:

1) вивчення паралельних обчислювальних систем, методів їх програмування, принципів та фаз розроблення програмного забезпечення з використанням технологій MPI та OpenMP;

2) формування здатності застосовувати технології паралельного програмування, а також використовувати основні функції цих бібліотек;

3) формування навичок компіляції паралельного алгоритму для вирішення професійних завдань, зокрема поділу задачі на підзадачі, виявлення й аналізу інформаційних залежностей між підзадачами, інформаційної взаємодії підзадач у межах технологій MPI та OpenMP;

4) формування методу алгоритмічних дій, у якому продуманий процес складання алгоритму природно вписується в етапи розвитку паралельного алгоритму, тобто формування паралельного стилю мислення;

5) набуття досвіду програмування паралельних обчислювальних систем, застосування принципів складання паралельних алгоритмів, організації інформаційної взаємодії окремих підзадач, застосування паралелізму до планування своєї діяльності.

Викладання дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення» спрямоване на формування у здобувачів вищої освіти фахових компетентностей, визначених Стандартом вищої освіти України першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» [5].

Окрім аналізу змісту професійної підготовки майбутніх інженерів-програмістів у галузі паралельних обчислень [4], було проведено огляд сучасного стану професійної підготовки майбутніх інженерів-програмістів із паралельних обчислень. Розглянуто освітньо-професійні програми бакалаврського рівня вищої освіти закладів вищої освіти України зі спеціальностей галузі знань 12 «Інформаційні технології», а також робочі програми з окремих дисциплін [1; 2; 3; 6; 7].

Оскільки в різних закладах вищої освіти назви дисциплін можуть відрізнятися, ми розглядали робочі програми освітніх компонентів «Паралельні та розподілені обчислення», «Технології розподілених систем та паралельних обчислень», «Паралельне програмування».

Проведений огляд дає підстави зробити висновок, що паралельні обчислення є обов'язковим елементом професійної підготовки майбутніх інженерів-програмістів за освітніми програмами першого (бакалаврського) рівня спеціальностей галузі знань 12 «Інформаційні технології» в закладах вищої освіти України. Вивчення дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення» передбачає наявність у студентів знань і вмій з алгоритмізації, об'єктно-орієнтованого програмування, операційних систем, комп'ютерної схемотехніки, архітектури комп'ютерів.

Шляхом послідовного застосування етапів моделювання системи до змісту дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення» ми отримали його модель.

Модель є циліндром, що сегментований на шари, кожен із яких має визначене семантичне навантаження. Найнижчий шар – це область опорних знань, яка включає поняття та зв'язки між ними, необхідні для повного розуміння теоретичного матеріалу. Наступні шари «концепт-циліндра» визначаються ієрархічно. Безпосередньо над базовим шаром знаходяться поняття першого рівня, формування яких ґрунтується на базових (підтримуючих) знаннях. Блоки третього рівня передбачають формування понять, які безпосередньо пов'язані з програмуванням MPI та OpenMP. Шар понять і зв'язків четвертого рівня

поглиблює розуміння раніше засвоєного матеріалу, передбачає формування більш абстрактних ідей: про необроблені типи даних і про те, як їх проектувати, про способи керування комунікаторами й використання віртуальних топологій (зв'язок із рівнем 2). Знання цього рівня використовуються для вирішення більш складних завдань лінійної алгебри, чисельних методів, теорії графів. Як можна побачити, «концепт-циліндр» не має верхньої межі, оскільки вивчення паралельних обчислень не повинне обмежуватися лише однією дисципліною. Відносини на моделі не просто виникають між сусідніми рівнями, тому можна побачити прямий зв'язок між теорією графів і моделюванням паралельних обчислень, теорією алгоритму й аналізом трудомісткості паралельного алгоритму.

Розглянемо докладніше елементи моделі. Блоки понять першого рівня – це набір основних понять, необхідних для засвоєння понять наступних рівнів (див. рис. 1). Вони відображають основні блоки рівня, кожен із яких може бути представлений окремою логічно-семантичною схемою.

Наприклад, блок «Види паралелізму» включає поняття про чотири рівні паралелізму: паралелізм завдань, паралелізм на рівні програми, паралелізм команд та паралелізм на рівні машинних слів.

Блок «Багатопроесорні обчислювальні системи» сам по собі надзвичайно об'ємний і включає різні підходи до класифікації таких обчислювальних систем, зокрема класифікацію Флінна та різні способи її уточнення.

Блоки понять другого рівня (див. рис. 2) слугують опорою для вибудовування змістової частини наступного розділу навчальної програми. Усередині цих блоків також містяться поняття, частина з яких увійшла в наповнення лекцій і лабораторних робіт, а інша стала матеріалом для проєктів. Наприклад, блок «Процеси обміну даними» в поєднанні з блоком «Потоки команд і даних» передбачає ознайомлення студентів із поняттям програмних потоків та їх рівнів, поняттям про потокову обробку (синхронізацію, її концепції і примітиви, огорожі та бар'єри тощо). Зміст цього блоку відбивається тільки в темах проєктних робіт та не входить до матеріалу лекцій і лабораторних робіт.

Блоки понять третього рівня (див. рис. 3) містять матеріал наступного розділу, у межах якого починається вивчення технологій MPI та OpenMP. Ці блоки понять практично повністю увійшли в аудиторну частину курсу. У разі появи технічних можливостей зміст цього рівня може бути замінений на іншу технологію програмування за умови відповідного опрацювання її понять.



Рис. 1. Перший рівень моделі понять

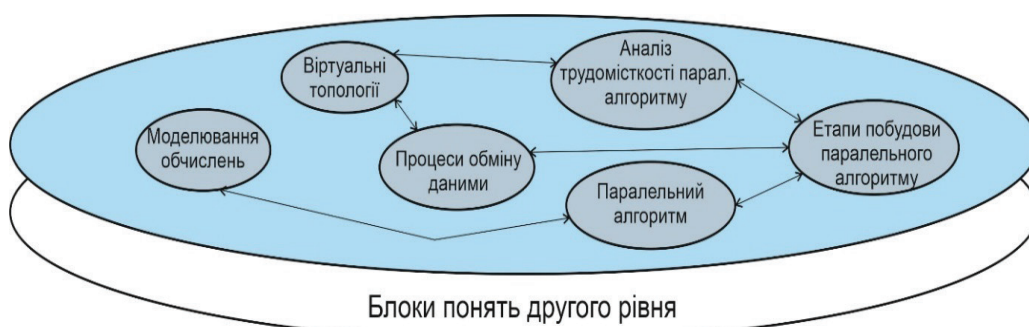


Рис. 2. Другий рівень моделі понять

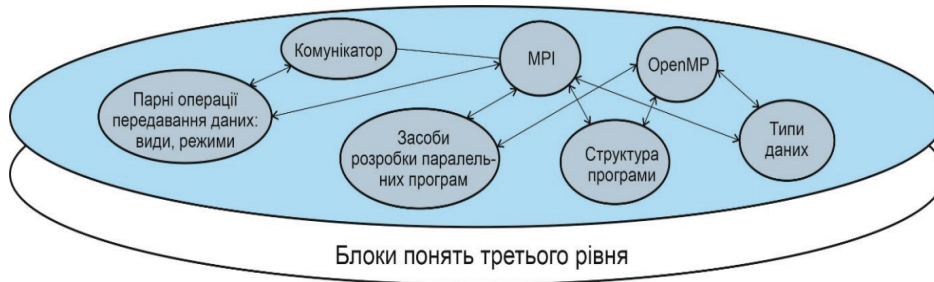


Рис. 3. Третій рівень моделі понять

Четвертий рівень моделі (див. рис. 4) є основою для опрацювання змісту наступного розділу модуля. До навчального матеріалу цього рівня моделі увійшли тільки основні поняття: створення комунікаторів, опис і конструювання призначених для користувача типів даних тощо. На основі блоків цього рівня можуть бути запропоновані нескладні проєкти, спрямовані на програмну реалізацію математичних моделей із курсів «Математична фізика», «Чисельні методи», «Математичне моделювання».

**Висновки** і перспективи подальших розробок у цьому напрямі. Після аналізу змісту професійної підготовки майбутніх інженерів-програмістів у галузі паралельних обчислень та проведення огляду сучасного стану професійної підготовки

майбутніх інженерів-програмістів із паралельних обчислень можна зробити певні висновки. Для переходу до роботи з паралельними бібліотеками, які в моделі посідають третій рівень, необхідно ознайомитися з поняттями першого та другого рівнів, а це передбачає наявність у студентів знань і вмінь з алгоритмізації, об'єктно-орієнтованого програмування, операційних систем, комп'ютерної схемотехніки, архітектури комп'ютерів. Тому повноцінне вивчення дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення» не можна починати раніше третього курсу навчання. Однак, на нашу думку, деякі елементи паралельного програмування можна використовувати під час викладання програмування на першому та другому курсах.



Рис. 4. Четвертий рівень моделі понять

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Добровольський Г.А. Робоча програма навчальної дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2019. 10 с. URL: <https://moodle.znu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=152709>.
2. Оксіюк О.Г. Робоча програма навчальної дисципліни «Сучасні технології багатопроекторних обчислень». Київ : Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2018. 9 с. URL: <http://fit.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2020/03/Сучасні-технології-багатопроекторних-обчислень-122.pdf>.
3. Прохоров О.В. Робоча програма «Технології розподілених систем та паралельних обчислень» для студентів за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» освітньою програмою «Комп'ютеризація обробки інформації та управління». Харків : Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 2019. 13 с. URL: [https://khai.edu/assets/files/robochi-programi/122/koiu/tr\\_m\\_122\\_tehnologii-rozpodilениh-sistem-ta-paralelnih-obchislen\\_komp.obrobki-inf.pdf](https://khai.edu/assets/files/robochi-programi/122/koiu/tr_m_122_tehnologii-rozpodilениh-sistem-ta-paralelnih-obchislen_komp.obrobki-inf.pdf).
4. Сіциліцин Ю.О. Формування змісту професійної підготовки майбутніх інженерів-програмістів у галузі паралельних обчислень. *Педагогічні науки: теорія та практика*. 2022. № 2. С. 105–111.

5. Стандарт вищої освіти України першого (бакалаврського) рівня ступеня «бакалавр» за галуззю знань 12 «Інформаційні технології» спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки». Київ : МОН України, 2019. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2019/07/12/122-kompyut.nauk.bakalavr-1.pdf>.
6. Робоча програма навчальної дисципліни «Паралельні та розподілені обчислення» факультету комп'ютерних інформаційних технологій Тернопільського національного економічного університету. URL: [https://www.wunu.edu.ua/opp/fkit/kompyuterni\\_nayku/kompyuterni\\_nayku\\_bakalavr/tehnolohiy\\_rozpodilenuh\\_sistem\\_ta\\_parelelnuh\\_obchuslen/Work.pdf](https://www.wunu.edu.ua/opp/fkit/kompyuterni_nayku/kompyuterni_nayku_bakalavr/tehnolohiy_rozpodilenuh_sistem_ta_parelelnuh_obchuslen/Work.pdf).
7. Хиленко В.В. Робоча програма навчальної дисципліни «Технології розподілених систем та паралельних обчислень». Київ : Національний університет біоресурсів і природокористування України, 2021. 12 с. URL: [https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u286/kn\\_rp\\_tehnologiyi\\_rozpodilnih\\_sistem\\_ta\\_parelelnih\\_obchislen\\_rp\\_2021.pdf](https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u286/kn_rp_tehnologiyi_rozpodilnih_sistem_ta_parelelnih_obchislen_rp_2021.pdf).
8. Teaching Parallel Programming for Beginners in Computer Science / D.J. Conte, P.S.L. de Souza, G. Martins, S.M. Bruschi. *2020 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, Uppsala, Sweden, October 21–24, 2020. URL: <https://aic-atlas.s3.eu-north-1.amazonaws.com/projects/e7299991-eb2b-4764-a849-4909e01fb07d/documents/iQ2aDCshOAsjNsFHMLYOizMKALLtTBTQCVB17SIh.pdf>.
9. Figueiredo J., García-Peñalvo F. Teaching and learning tools for introductory programming in university courses. *Proceedings of the 2021 International Symposium on Computers in Education (SIEE)*, Málaga, Spain, September 23–24, 2021. URL: [https://repositorio.grial.eu/bitstream/grial/2420/1/Teaching\\_and\\_Learning\\_postprint.pdf](https://repositorio.grial.eu/bitstream/grial/2420/1/Teaching_and_Learning_postprint.pdf).
10. Giacaman N., Sinnen O. Preparing the software engineer for a modern multicore world. *Journal of Parallel and Distributed Computing*. 2018. Vol. 118. Part 1. P. 247–263.
11. Ko Y., Burgstaller B., Scholz B. Parallel from the beginning: The case for multicore programming in the computer science undergraduate curriculum. *SIGCSE 2013: Proceedings of the 44<sup>th</sup> ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, Denver, USA, March 6–9, 2013. New York : Association for Computing Machinery, 2013. P. 415–420.
12. Sitsylitsyn Yu. Methods, tools for teaching parallel, distributed computing in universities: a systematic review of the literature. *The International Conference on History, Theory and Methodology of Learning (ICHTML 2020)*, Kryvyi Rih, Ukraine, May 13–15, 2020. URL: [https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2020/03/shsconf\\_ichtml\\_2020\\_04017.pdf](https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2020/03/shsconf_ichtml_2020_04017.pdf).
13. Teaching parallel programming to freshmen in an undergraduate computer science program / L.B.A. Vasconcelos, F.A.L. Soares, P.H.M.M. Penna, M.V. Machado, L.F.W. Góes, C.A.P.S. Martins, H.C. Freitas. *2019 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, Covington, USA, October 16–19, 2019. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9028566>.

## REFERENCES

1. Dobrovolskyi, H.A. (2019). *Robocha prohrama navchalnoi dystsypliny "Paralelni ta rozpodileni obchyslennia" [Work program of the educational discipline "Parallel and distributed computing"]*. Zaporizhzhia: Zaporizhzhia National University, 10 p. Retrieved from: <https://moodle.znu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=152709> [in Ukrainian].
2. Oksiiuk, O.H. (2018). *Robocha prohrama navchalnoi dystsypliny "Suchasni tekhnolohii bahatoprotse-sornykh obchyslen" [Work program of the educational discipline "Modern technologies of multiprocessor computing"]*. Kyiv: Taras Shevchenko National University of Kyiv, 9 p. Retrieved from: <http://fit.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2020/03/Сучасні-технології-багатопроесорних-обчислень-122.pdf> [in Ukrainian].
3. Prokhorov, O.V. (2019). *Robocha prohrama "Tekhnolohii rozpodilenykh system ta paralelnykh obchyslen" dlia studentiv za spetsialnistiu 122 "Kompiuterni nauky" osvithoiu prohramoiu "Kompiuteryzatsiia obrobky informatsii ta upravlinnia" [Work program "Technologies of distributed systems and parallel computing" for students majoring in 122 "Computer science" educational program "Computerization of information processing and management"]*. Kharkiv: National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", 13 p. Retrieved from: [https://khai.edu/assets/files/robochi-programi/122/koiu/rp\\_m\\_122\\_tehnologii-rozpodilennykh-sistem-ta-paralelnykh-obchislen\\_komp.obrobki-inf.pdf](https://khai.edu/assets/files/robochi-programi/122/koiu/rp_m_122_tehnologii-rozpodilennykh-sistem-ta-paralelnykh-obchislen_komp.obrobki-inf.pdf) [in Ukrainian].
4. Sitsylitsyn, Yu.O. (2022). Formuvannia zmistu profesiinoi pidhotovky maibutnykh inzheneriv-prohramistiv u haluzi paralelnykh obchyslen [Formation of the content of professional training of future software engineers in the field of parallel computing]. *Pedahohichni nauky: teoriia ta praktyka – Pedagogical sciences: theory and practice*, no. 2, pp. 105–111 [in Ukrainian].

5. Ministry of Education and Science of Ukraine (2019). *Standart vyshchoi osvity Ukrainy pershoho (bakalavrskoho) rivnia stupenia "bakalavr" za haluzziu znan 12 "Informatsiini tekhnolohii" spetsialnistiu 122 "Kompiuterni nauky"* [The standard of higher education of Ukraine of the first (bachelor) level of the "bachelor" degree in the field of knowledge 12 "Information technologies" specialty 122 "Computer science"]. Kyiv: Ministry of Education and Science of Ukraine. Retrieved from: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2019/07/12/122-kompyut.nauk.bakalavr-1.pdf> [in Ukrainian].
6. n. a. (n. d.). *Robocha prohrama navchalnoi dystsypliny "Paralelni ta rozpodileni obchyslennia" fakultetu komp'uternykh informatsiinykh tekhnolohii Ternopilskoho natsionalnoho ekonomichnoho universytetu* [Work program of the educational discipline "Parallel and distributed computing" of the Faculty of Computer Information Technologies of the Ternopil National University of Economics]. Retrieved from: [https://www.wunu.edu.ua/opp/fkit/kompyuterni\\_nayku/kompyuterni\\_nayku\\_bakalavr/tehnolohiy\\_rozpodilenuh\\_sistem\\_ta\\_paralelnuh\\_obchuslen/Work.pdf](https://www.wunu.edu.ua/opp/fkit/kompyuterni_nayku/kompyuterni_nayku_bakalavr/tehnolohiy_rozpodilenuh_sistem_ta_paralelnuh_obchuslen/Work.pdf) [in Ukrainian].
7. Khylenko, V.V. (2021). *Robocha prohrama navchalnoi dystsypliny "Tekhnolohii rozpodilenykh system ta paralelnykh obchyslen"* [Working program of the educational discipline "Technologies of distributed systems and parallel computing"]. Kyiv: National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine, 12 p. Retrieved from: [https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u286/kn\\_rp\\_tehnologiyi\\_rozpodilnih\\_sistem\\_ta\\_paralelnih\\_obchislen\\_rp\\_2021.pdf](https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u286/kn_rp_tehnologiyi_rozpodilnih_sistem_ta_paralelnih_obchislen_rp_2021.pdf) [in Ukrainian].
8. Conte, D.J., de Souza, P.S.L., Martins, G., Bruschi, S.M. (2020). Teaching Parallel Programming for Beginners in Computer Science. *2020 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, Uppsala, Sweden, October 21–24, 2020. Retrieved from: <https://aic-atlas.s3.eu-north-1.amazonaws.com/projects/e7299991-eb2b-4764-a849-4909e01fb07d/documents/iQ2aDCshOAsjNsFHMLYOizMKALLtTBTQCVB17SIh.pdf> [in English].
9. Figueiredo, J., García-Peñalvo, F. (2021). Teaching and learning tools for introductory programming in university courses. *Proceedings of the 2021 International Symposium on Computers in Education (SIIE)*, Málaga, Spain, September 23–24, 2021. Retrieved from: [https://repositorio.grial.eu/bitstream/grial/2420/1/Teaching\\_and\\_Learning\\_postprint.pdf](https://repositorio.grial.eu/bitstream/grial/2420/1/Teaching_and_Learning_postprint.pdf) [in English].
10. Giacaman, N., Sinnen, O. (2018). Preparing the software engineer for a modern multicore world. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 118, part 1, pp. 247–263 [in English].
11. Ko, Y., Burgstaller, B., Scholz, B. (2013). Parallel from the beginning: The case for multicore programming in the computer science undergraduate curriculum. *SIGCSE 2013: Proceedings of the 44<sup>th</sup> ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, Denver, USA, March 6–9, 2013. New York: Association for Computing Machinery, pp. 415–420 [in English].
12. Sitsylitsyn, Yu. (2020). Methods, tools for teaching parallel, distributed computing in universities: a systematic review of the literature. *The International Conference on History, Theory and Methodology of Learning (ICHTML 2020)*, Kryvyi Rih, Ukraine, May 13–15, 2020. Retrieved from: [https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2020/03/shsconf\\_ichtml\\_2020\\_04017.pdf](https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2020/03/shsconf_ichtml_2020_04017.pdf) [in English].
13. Vasconcelos, L.B.A., Soares, F.A.L., Penna, P.H.M.M., Machado, M.V., Góes, L.F.W., Martins, C.A.P.S., Freitas, H.C. (2019). Teaching parallel programming to freshmen in an undergraduate computer science program. *2019 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, Covington, USA, October 16–19, 2019. Retrieved from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9028566> [in English].