

Київський університет імені Бориса Грінченка  
Факультет інформаційних технологій та управління  
Кафедра комп'ютерних наук і математики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Проректор з науково-методичної та  
навчальної роботи  
Жильцов О.Б.  
« 14 » 20 18 р.

## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### Паралельні і розподілені обчислення

для студентів

спеціальності: 6.040302 Інформатика\*

освітнього рівня: першого (бакалаврського)



Київ – 2018

**Розробник:**

Литвин Оксана Степанівна, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри комп'ютерних наук і математики

**Викладач:**

Литвин Оксана Степанівна, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри комп'ютерних наук і математики

Робочу програму розглянуто і затверджено на засіданні кафедри комп'ютерних наук і математики. Протокол від 12 вересня 2018 р. № 10

Завідувач кафедри О. Лу (підпис) Литвин О.С.

**Робочу програму перевірено**

\_\_\_\_\_. 20\_\_ р.

Заступник директора/декана О. Мельник (підпис) (І.Ю.Мельник)

**Пролонговано:**

на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (ПІБ), «\_\_» 20\_\_ р., протокол № \_\_\_\_

на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (ПІБ), «\_\_» 20\_\_ р., протокол № \_\_\_\_

на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (ПІБ), «\_\_» 20\_\_ р., протокол № \_\_\_\_

на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (підпис) \_\_\_\_\_ (ПІБ), «\_\_» 20\_\_ р., протокол № \_\_\_\_

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Характеристика дисципліни за формами навчання	
	денна	заочна
Вид дисципліни	<i>обов'язкова</i>	
Мова викладання, навчання та оцінювання	<i>українська</i>	
Загальний обсяг кредитів / годин	5/150	
Курс	4	
Семестр	7	
Кількість змістових модулів з розподілом:	3	
Обсяг кредитів	5	
Обсяг годин, в тому числі:	150	
Аудиторні	56	
Модульний контроль	8	
Семестровий контроль	30	
Самостійна робота	56	
Форма семестрового контролю	екзамен	

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Робоча навчальна програма з курсу «Паралельні і розподілені обчислення» є нормативним документом Київського університету імені Бориса Грінченка, який розроблено кафедрою комп'ютерних наук і математики на основі освітньо-професійної програми підготовки здобувачів першого (бакалаврського) рівня відповідно до навчального плану спеціальності 6.040302 Інформатика\*.

Робочу навчальну програму укладено згідно з вимогами Європейської кредитної трансферно-накопичувальної системи (ЄКТС) організації навчання.

Програма визначає обсяги знань, якими повинен опанувати здобувач першого (бакалаврського) рівня в процесі вивчення навчального матеріалу дисципліни та необхідне методичне забезпечення, складові і технологію оцінювання навчальних досягнень студентів.

Навчальна дисципліна «Паралельні і розподілені обчислення» складається з трьох змістових модулів: Паралельні та розподілені обчислювальні системи, Паралельна обробка даних. Технології паралельного програмування, Паралельні методи розв'язування прикладних задач.

**Мета викладання дисципліни:** засвоєння основних методів та алгоритмів організації паралельних та розподілених обчислень, базових принципів побудови мультипроцесорних та мультикомп'ютерних систем, набуття початкових практичних навиків проектування таких засобів для розв'язання типових прикладних задач.

**Завдання** полягає у набутті студентами наступних загальних та фахових компетентностей:

- здатність до комплексного розв'язання проблем: виявляти сутність проблем у професійній сфері, знаходити адекватні шляхи їх розв'язання; володіння системним, цілісним підходом до аналізу і оцінки ситуації
- здатність до побудови логічних висновків, використання формальних мов і моделей паралельних і розподілених обчислень, проектування;
- здатність до розроблення і аналізу паралельних алгоритмів, оцінювання їх ефективності та складності та реалізації високопродуктивних обчислення при розробці та експлуатації розподілених систем паралельної обробки інформації.

### 3. Результати навчання за дисципліною

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен **знати:**

- архітектуру та програмне забезпечення високопродуктивних паралельних та розподілених обчислювальних систем;
- основні методи, алгоритми і засоби паралельної та розподіленої обробки інформації;
- основні методи і технології паралельного програмування;
- причини недостовірності обчислювального рішення.

**вміти:**

- розробляти та реалізовувати розпаралелення задач і алгоритмів; оцінювати необхідну конфігурацію обчислювальної системи для їх виконання
- застосовувати чисельні методи та алгоритми для паралельних структур,
- визначати ефективність паралельних обчислень в різних умовах;
- застосовувати основні технології паралельного програмування для вирішення прикладних задач.

### 4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Усього	Розподіл годин між видами робіт				
		Аудиторна				Самостійна
		Лекції	Практичні	Семинари	Лабораторні	
<b>Змістовий модуль 1. Паралельні та розподілені обчислювальні системи</b>						
Тема 1. Основні поняття про паралельні обчислення	6	2	-			4
Тема 2. Архітектура паралельних обчислювальних систем.	12	4	2			6
Тема 3. Продуктивність обчислювальної системи. Методи оцінки продуктивності паралельних алгоритмів і систем.	10	2	4			4
Тема 4. Комунікаційна трудомісткість паралельних обчислень.	8	2	2			4
Модульний контроль	2					
<b>Разом за змістовим модулем 1</b>	<b>38</b>	<b>10</b>	<b>8</b>			<b>18</b>
<b>Змістовий модуль 2. Паралельна обробка даних. Технології паралельного програмування</b>						
Тема 5. Паралельна обробка даних. Синхронізація і комунікації процесів.	12	2	2			6
Тема 6. Моделі паралельних обчислень. Розробка паралельного алгоритму.	12	2	2			6
Тема 7. Технології паралельного програмування. Мови і системи паралельного програмування.	14	2	8			8
Модульний контроль	3					
<b>Разом за змістовим модулем 2</b>	<b>41</b>	<b>6</b>	<b>12</b>			<b>20</b>
<b>Змістовий модуль 3. Паралельні методи розв'язування прикладних задач</b>						
Тема 8. Паралельні чисельні алгоритми для розв'язання деяких типових задач обчислювальної математики.	19	4	6			9
Тема 9. Паралельні методи і алгоритми лінійної алгебри.	19	4	6			9
Модульний контроль	3					
<b>Разом за змістовим модулем 3</b>	<b>41</b>	<b>8</b>	<b>12</b>			<b>18</b>
<b>Семестровий контроль</b>	<b>30</b>					
<b>Усього годин</b>	<b>150</b>	<b>24</b>	<b>32</b>			<b>56</b>

## 5. Програма навчальної дисципліни

### Змістовий модуль 1. Паралельні та розподілені обчислювальні системи

#### **Тема 1. Основні поняття про паралельні обчислення.**

Вступ. Місце дисципліни в навчальній програмі. Сучасні задачі обчислювальних систем. Проблеми та перспективи. Поняття паралельних обчислень. Области застосування і задачі паралельних обчислень. Стримуючі фактори.

#### **Тема 2. Архітектура паралельних обчислювальних систем.**

Особливості організації паралельних обчислювальних систем. Класифікація паралельних обчислювальних систем. Взаємозв'язок класифікацій. Векторно-конвеєрні та векторно-паралельні системи. Багатопроцесорні системи: PVP, SPM, MPP, NUMA. Технологія CUDA. Кластери. Концепція GRID і метакомп'ютинг. Комунікаційне середовище паралельних обчислювальних систем: компоненти, топологія. Основні характеристики комунікаційних мереж. Паралельні системи нетрадиційної архітектури

#### **Тема 3. Продуктивність обчислювальної системи. Методи оцінки продуктивності паралельних алгоритмів і систем.**

Фактори продуктивності обчислювальних систем. Методи підвищення продуктивності. Продуктивність паралельних обчислень: характеристики, оцінка. Показники ефективності паралельних обчислень. Закони Амдала і Густафсона-Барсиса.

#### **Тема 4. Комунікаційна трудомісткість паралельних обчислень.**

Алгоритми маршрутизації. Методи передачі даних між процесорами. Аналіз трудомісткості основних операцій передачі даних: один-одному, один-всім, всі-всім. Циклічний зсув. Оцінка трудомісткості операцій передачі даних для кластерних систем.

### Змістовий модуль 2. Паралельна обробка даних. Технології паралельного програмування

#### **Тема 5. Паралельна обробка даних. Синхронізація і комунікації процесів.**

Поняття процесу, потоку, ресурсу. Види ресурсів. Багатопроцесорні операційні системи. Синхронізація процесів: критична область, семафори, блокування. Комунікації процесів. Управління розподіленою пам'яттю.

#### **Тема 6. Моделі паралельних обчислень. Розробка паралельного алгоритму.**

Види і рівні паралелізму в комп'ютерних системах. Паралелізм даних. Паралелізм задач. Організація паралельних програм як системи потоків. Поняття паралельного процесу та гранули розпаралелювання. Модель обчислень у вигляді графа. Мережі Петрі. Моделювання програм з використанням мереж Петрі. Етапи розробки паралельного алгоритму. Похибки реалізації обчислювальних алгоритмів на комп'ютерах.

#### **Тема 7. Технології паралельного програмування. Мови і системи паралельного програмування.**

Огляд засобів паралельного програмування. Труднощі використання. Класифікація мов і систем паралельного програмування. Програмування для систем із спільною пам'яттю. Технологія OpenMP. Засоби програмування з передачею повідомлень. Технологія MPI. Паралельне програмування на платформі .Net Framework та мовою Python.

### Змістовий модуль 3. Паралельні методи розв'язування прикладних задач.

#### **Тема 8. Паралельні чисельні алгоритми для розв'язання деяких типових задач обчислювальної математики.**

Обчислення частинних сум послідовності чисел. Обчислення інтегралів. Знаходження значення числа  $\pi$ . Паралельна реалізація різних методів сортування елементів масиву даних. Множення матриці на вектор. Матричне множення.

#### **Тема 9. Паралельні методи і алгоритми лінійної алгебри.**

Прямі та ітераційні методи розв'язку систем алгебраїчних рівнянь. Метод Гауса. Паралельна реалізація алгоритму Гауса. Аналіз ефективності паралелізації методу Гауса. Метод Якобі: паралельна реалізація, аналіз ефективності.

## 6. Контроль навчальних досягнень

### 6.1. Система оцінювання навчальних досягнень студентів

Вид діяльності студента	Макс. кількість балів за одиницю	Модуль 1		Модуль 2		Модуль 3	
		кількість одиниць	максимальна кількість балів	кількість одиниць	максимальна кількість балів	кількість одиниць	максимальна кількість балів
Відвідування лекцій	1	5	5	3	3	4	4
Відвідування практичних занять	1	4	4	6	6	6	6
Робота на практичному занятті	10	3	30	3	30	2	20
Виконання тестового контролю на практичному занятті	10	3	30	2	20	2	20
Виконання модульної контрольної роботи	25	1	25	1	25	1	25
Виконання завдання для самостійної роботи	5	1	5	1	5	1	5
Разом			99		99		80
<b>Максимальна кількість балів:</b>			20		20		20
Розрахунок коефіцієнта			0,20		0,20		0,25

### 6.2. Завдання для самостійної роботи та критерії її оцінювання

Самостійна робота виконується протягом опрацювання відповідного змістового модуля на лекційних та практичних заняттях і здається на перевірку викладачу у вигляді короткого (2-3 сторінки **авторського** друкованого тексту) реферативного дослідження на вказану в таблиці тему.

Кількість балів за самостійну роботу залежить від дотримання таких вимог:

- своєчасність і самостійність виконання завдань;
- повний обсяг їх виконання;
- якість виконання завдань (повнота викладення теми, наявність прикладів і джерел, на які спирався студент при опрацюванні теми, тощо);
- творчий підхід у виконанні завдань.

№	Назва теми для самостійного опрацювання	К-ть год.	Бали
<b>Змістовий модуль 1. Паралельні та розподілені обчислювальні системи</b>		<b>18</b>	<b>5</b>
1	Тема 1. Области застосування і задачі паралельних обчислень.	4	1
2	Тема 2. Класифікації паралельних обчислювальних систем. Технологія CUDA. Концепція GRID і метакомп'ютинг. Паралельні системи нетрадиційної архітектури: нейромережі, асоціативні та потокові системи.	6	1
3	Тема 3. Методи оцінки продуктивності паралельних систем: обчислення продуктивності складових частин; експертних оцінок; розрахунковий метод; практичний метод	4	2
4	Тема 4. Алгоритм Дейкстри пошуку оптимальних маршрутів на графі. Алгоритм узагальненого множинного розсилання даних «Циклічний зсув»	4	1
<b>Змістовий модуль 2. Паралельна обробка даних. Технології паралельного програмування</b>		<b>20</b>	<b>5</b>
5	Тема 5. Засоби операційних систем для керування паралельними та розподіленими обчисленнями. Розподілені операційні системи.	6	1
6	Тема 6. Моделювання програм з використанням мереж Петрі.	6	2
7	Тема 7. Завдання оптимального відображення паралельних процесів на архітектуру багатопроцесорної обчислювальної системи. Код Грея	8	2
<b>Змістовий модуль 3. Паралельні методи розв'язування прикладних задач</b>		<b>18</b>	<b>5</b>
8	Тема 8. Засоби для організації розподілених обчислень мовою Python.	9	2
9	Тема 9. Джерела похибок та чутливість комп'ютерного розв'язку системи лінійних алгебраїчних рівнянь	9	3
<b>Разом</b>		<b>56</b>	<b>15</b>

### 6.3. *Форми проведення модульного контролю та критерії оцінювання.*

Модульний контроль проводиться у формі комп'ютерного тесту. Тести містять 25 питань різного типу, вага кожного питання – 1 бал.

### 6.4. *Форми проведення семестрового контролю та критерії оцінювання.*

Семестровий контроль проводиться в письмовій формі за екзаменаційними білетами.

#### Приклад екзаменаційного білету:

1. Проаналізувати класифікації обчислювальних систем Флінна і Хокні та взаємозв'язок між ними. Навести приклади обчислювальних систем, що належать до того чи іншого класу за вказаними класифікаціями.

2. Навести паралельні чисельні алгоритми обчислення частинних сум послідовності чисел та проаналізувати їх продуктивність, межі та особливості застосування..

3. Оцінити, використовуючи закон Амдала, яку кількість процесорів треба підключити до виконання паралельного алгоритму, щоб отримати ефективність 30 % при послідовній частині, рівній 12 % від всього алгоритму.

### 6.5. *Перелік тем для семестрового контролю.*

#### **Змістовний модуль 1**

1. Поняття паралельних та розподілених обчислень. Мета і задачі паралельних обчислень. Області застосування паралельних обчислень.
2. Продуктивність обчислювальної системи. Методи та одиниці вимірювання продуктивності.
3. Характеристики продуктивності паралельних обчислень.
4. Закони Амдала та Густафсона-Барсіса. Приклад застосування
5. Масштабовність паралельних обчислень. Функція ізоефективності.
6. Класифікації архітектур обчислювальних систем.
7. Класифікації Флінна та Хокні. Взаємозв'язок класифікацій. Приклади обчислювальних систем, що належать до того чи іншого класу за вказаними класифікаціями.
8. Векторно-паралельні обчислювальні системи. Векторизація алгоритмів.
9. Способи паралельних обчислень. Конвеєрні обчислення. Ефективність конвеєрних обчислень.
10. Архітектури багатопроцесорних паралельних обчислювальних систем: паралельно векторні системи, SMP, MPP та NUMA системи, кластери.
11. Концепція GRID і метакомп'ютинг.
12. Комунікаційне середовище паралельних обчислювальних систем. Критерії продуктивності комунікаційної мережі.
13. Топологія багатопроцесорної системи. Типи топологій.
14. Характеристики топології мережі обчислювальної системи.
15. Паралельні обчислювальні системи нетрадиційної архітектури.
16. Алгоритми передачі даних в мережі. Комутація повідомлень. Комутація пакетів.
17. Передача даних між двома процесорами.
18. Розсилання даних від одного процесора всім іншим процесорам мережі.
19. Розсилання даних від всіх процесорів всім процесорам мережі.
20. Алгоритм узагальненого множинного розсилання даних «Циклічний зсув».
21. Оцінка трудомісткості операцій передачі даних для кластерних систем.

#### **Змістовний модуль 2**

1. Концепція процесу. Поняття ресурсу. Потоки.
2. Організація програм як системи процесів. Синхронізація паралельних процесів в системах із спільними ресурсами. Засоби синхронізації.
3. Поняття критичної секції та взаємовиключення процесів. Семафори.
4. Задача про обмежений буфер (задача «постачальник-споживач»).
5. Задача про організацію доступу до кількох спільних ресурсів (задача про філософів, що обідають). Поняття тупику в паралельній системі.
6. Багатопроцесорні операційні системи.

7. Розподілені операційні системи. Комунікації процесів.
8. Рівні паралелізму операцій в комп'ютерних системах. Паралелізм даних. Паралелізм задач.
9. Ступінь паралелізму чисельного алгоритму. Гранули.
10. Модель обчислень у вигляді графа «операції – операнди». Опис схеми та визначення часу виконання паралельного алгоритму.
11. Мережі Петрі. Модель програми у вигляді мережі Петрі.
12. Етапи розробки паралельних алгоритмів.
13. Оптимальне відображення паралельних процесів на архітектуру багатопроцесорної обчислювальної системи. Код Грея.
14. Основні механізми забезпечення багатозадачності. Планування процесів в багатопроцесорних ОС.
15. Похибки реалізації обчислювальних алгоритмів на комп'ютерах.
16. Моделі паралельного програмування: SPMD, MPMD та SIMD моделі. Підходи до створення паралельних програм.
17. Програмування для систем із спільною пам'яттю. Технологія Open MP.
18. Засоби програмування з передачею повідомлень. Технологія MPI.
19. Основи багатопоточного програмування на платформі .Net Framework: основні класи, методи, засоби синхронізації.
20. Паралельне програмування на платформі .Net Framework. Класи Task та Parallel.
21. Паралельне програмування на Python.

### Змістовний модуль 3

1. Паралельні чисельні алгоритми обчислення частинних сум послідовності чисел.
2. Паралельні чисельні алгоритми обчислення визначеного інтегралу та знаходження значення числа  $\pi$ .
3. Багатопроцесорна реалізація бульбашкового сортування послідовності чисел. Аналіз ефективності алгоритму
4. Паралельна реалізація сортування послідовності чисел алгоритмом Шелла. Аналіз ефективності алгоритму.
5. Паралельні алгоритми швидкого сортування послідовності чисел. Аналіз ефективності алгоритмів.
6. Паралельне множення матриці на вектор при розділенні даних по рядках. Аналіз ефективності алгоритму.
7. Паралельне множення матриці на вектор при розділенні даних по стовпцях. Аналіз ефективності алгоритму.
8. Паралельне множення матриці на вектор при блочному розділенні даних. Аналіз ефективності алгоритму.
9. Паралельні чисельні алгоритми множення матриці на матрицю при стрічковому розділенні даних. Аналіз ефективності алгоритмів.
10. Розв'язок систем лінійних алгебраїчних рівнянь методом Гауса. Паралельна реалізація алгоритму. Аналіз ефективності паралелізації методу Гауса.
11. Ітераційні методи розв'язку систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Алгоритм Якобі. Паралельна реалізація алгоритму.

#### 6.6. Шкала відповідності оцінок

Оцінка	Кількість балів
Відмінно	100-90
Дуже добре	82-89
Добре	75-81
Задовільно	69-74
Достатньо	60-68
Незадовільно	0-59



## 7. Навчально-методична карта дисципліни

Разом: 150 год., лекції – 24 год., практичні заняття – 32 год., модульний контроль – 8 год.,  
самостійна робота – 56 год., семестровий контроль – 30 год.

Модулі (назви, бали)	Змістовий модуль 1. Паралельні та розподілені обчислювальні системи (77 балів)				Змістовий модуль 2. Паралельна обробка даних. Технології паралельного програмування (97 балів)			Змістовий модуль 3. Паралельні методи розв'язування прикладних задач (97 балів)				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Лекції (теми, бали)	Лекція 1. Основні поняття про паралельні обчислення (1 бал)	Лекції 2, 3. Архітектура паралельних обчислювальних систем (2 бали).	Лекція 4. Продуктивність обчислювальної системи. Методи оцінки продуктивності паралельних алгоритмів і систем (1 бал).	Лекція 5. Комунікаційна трудомісткість паралельних обчислень (1 бал)	Лекція 6. Паралельна обробка даних. Синхронізація і комунікації процесів (1 бал)	Лекція 7. Моделі паралельних обчислень. Розробка паралельного алгоритму (1 бал)	Лекція 8. Технології паралельного програмування. Мови і системи паралельного програмування (1 бал).	Лекція 9, 10. Паралельні числові алгоритми для розв'язання типових задач обчислювальної математики (1 бал)	Лекція 11, 12. Паралельні методи і алгоритми лінійної алгебри (1 бал)			
Практичні заняття (теми, бали)		1. Методи декомпозицій задач. (21 бал)	2-3. Прискорення та ефективність паралельного алгоритму із послідовною частиною (22 бали)	4. Кластер на базі мікрокомп'ютерів Raspberry Pi (22 бали)	5. Синхронізація процесів та потоків в паралельних обчислювальних системах (21 бал)	6. Розробка паралельного алгоритму (21 бал)	7, 8. Створення багатопоточних програм в середовищі .Net Framework (12 балів)	9, 10. Організація паралельних обчислень на кластері засобом MPI (12 балів)	11. Програмна реалізація паралельного алгоритму знаходження числа пі (11 балів)	12. Програмна реалізація паралельного алгоритму множення матриць (11 балів)	13. Програмна реалізація паралельного алгоритму розрахунку означеного інтеграла (11 балів)	14-16. Програмна реалізація паралельного алгоритму розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь методом Гауса (13 балів)
Самостійна робота	Самостійна робота (5 балів)				Самостійна робота (5 балів)			Самостійна робота (5 балів)				
Поточний контроль (вид, бали)	Модульна контрольна робота 1 (25 балів)				Модульна контрольна робота 2 (25 балів)			Модульна контрольна робота 3 (25 балів)				
Підсумковий контроль (вид, бали)	Екзамен (40 балів)											

## 8. Рекомендована література

### Базова

1. Дорошенко А.Ю. Паралельні обчислювальні системи. Методичний посібник і конспект лекцій. – Київ: Видавничий дім «КМ Академія», 2013.– 46 с.
2. Організація паралельних обчислень: Навчальний посібник / Укладачі: Є. Ваврук, О. Лашко. – Львів: Національний університет “Львівська політехніка”, 2007. – 70 с.
3. Кузьменко Б.В., Чайковська О.А. Технологія розподілених систем та паралельних обчислень. (конспект лекцій, частина 1. Розподілені об’єктні системи, паралельні обчислювальні системи та паралельні обчислення, паралельне програмування на основі MPI) Навчальний посібник. – К.: Видавничий центр КНУКІМ, 2011 – 126 с.
4. Гергель В.П. Теория и практика параллельных вычислений: учебное пособие /В.П. Гергель. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 423 с.

### Допоміжна

5. Бройнль Т. Паралельне програмування: Початковий курс: Навчальний посібник для вузів. – К.: Вища школа, 1997. – 358 с.
6. Ashwin Pajankar. Raspberry Pi Supercomputing and Scientific Programming. – Nashik, Maharashtra, India, 2017. – 171 p.
7. Гергель В.П. Высокопроизводительные вычисления для многопроцессорных многоядерных систем. Учебное пособие. – М.: Издательство Московского университета, 2010. – 421 с.
8. Дорошенко А.Ю. Алгеброалгоритмічні основи програмування. Об’єктна орієнтація і паралелізм/ А.Ю. Дорошенко, Г.С. Фінін, Г.О. Цейтлін. – Київ: «Наукова думка», 2004. – 458 с.
9. Антонов А.С. Параллельное программирование с использованием технологии OpenMP: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2009. – 77 с.
10. Gropp, William. Using MPI : portable parallel programming with the Message-Passing Interface / William Gropp, Ewing Lusk, and Anthony Skjellum. Third edition. –Massachusetts Institute of Technology, 2014. – 330 с.
11. Эндриус Г.Р. Основы многопоточного, параллельного и распределенного программирования: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 512 с.
12. Blaise Barney. Introduction to Parallel Computing. – Режим доступу: [https://computing.llnl.gov/tutorials/parallel\\_comp/](https://computing.llnl.gov/tutorials/parallel_comp/)
13. Эхтер Ш., Робертс Дж. Многоядерное программирование. – СПб.: Питер, 2010. – 316 с. (Серия «Библиотека программиста»).
14. Шилдт Г. C# 4.0: полное руководство.: Пер. с англ. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2011. – 1056 с.
15. Уильямс Э. Параллельное программирование на C++ в действии. Практика разработки многопоточных программ. – Москва, ДМК Пресс, 2012. - 673 с.

### Інформаційні ресурси

1. Сайт Української команди розподілених обчислень. – Режим доступу: <http://distributed.org.ua/>.
2. Крюков В.А. Операционные системы распределенных вычислительных систем (распределенные ОС). Курс лекций. – Режим доступу: <http://parallel.ru/krukov/>
3. Алексеев А. Основы параллельного программирования с использованием Visual Studio 2010. Учебный курс Интернет-университета информационных технологий. – Режим доступу: <http://www.intuit.ru/studies/courses/4807/1055/info>
4. Паралельна обробка і паралелізм в .NET Framework. – Режим доступу: [http://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/hh156548\(v=vs.110\).aspx](http://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/hh156548(v=vs.110).aspx)

5. Форум программистов // CyberForum.ru - форум программистов и сисадминов. – Режим доступа: <http://www.cyberforum.ru/programming/>
6. Туральчук К. Параллельное программирование с помощью языка C#. Учебный курс Интернет-университета информационных технологий. – Режим доступа: <http://www.intuit.ru/studies/courses/5938/1074/info>
7. Joseph Albahari. Работа с потоками в C#. Часть 1 / Перевод: А. Кирюшкин. – Режим доступа: <http://rdsn.ru/article/dotnet/CSThreading1.xml>. Исправлено: 20.06.2010.
8. Joseph Albahari. Работа с потоками в C#. Часть 2 / Перевод: А. Кирюшкин. – Режим доступа: <http://rdsn.ru/article/dotnet/CSThreading2.xml>. Исправлено: 15.04.2009.
9. Joseph Albahari. Работа с потоками в C#. Часть 3 / Перевод: А. Кирюшкин. – Опубликовано: 28.07.2011. – Режим доступа: [http://rdsn.ru/article/dotnet/Threading\\_In\\_C\\_Sharp\\_Part\\_3.xml](http://rdsn.ru/article/dotnet/Threading_In_C_Sharp_Part_3.xml).
10. Проект Globus для наукових досліджень. – Режим доступа: <http://parallel.ru/>  
<http://www.globus.org>.
11. Форум з використання ГРІД-технологій. – Режим доступа: <http://www.gridforum.org>.
12. Характеристики 500 найпотужніших комп'ютерів в світі. – Режим доступа: <http://www.top500.org>
13. Стандарти MPI. – Режим доступа: <http://www.mpiforum.org>
14. Netlib is a collection of mathematical software, papers, and databases. – Режим доступа: <http://netlib.org>