

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ СЕМЕНА КУЗНЕЦЯ

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Заступник керівника
(професор, директор з науково-педагогічної роботи)



М.В. Афанасьєв М.В. Афанасьєв

Розподілені та паралельні обчислення
робоча програма навчальної дисципліни

Галузь знань	12 Інформаційні технології
Спеціальність	122 Комп'ютерні науки
Освітній рівень	перший (бакалаврський)
Освітня програма	122 Комп'ютерні науки

Вид дисципліни
Мова викладання, навчання та оцінювання

базова
українська

Завідувач кафедри інформаційних систем

Руденко О.Г.

Харків
ХНЕУ ім. С. Кузнеця

2018

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри інформаційних систем
Протокол № 1 від 27.08.2018 р.

Розробники:
Мінухін Сергій Володимирович, доктор технічних наук, професор кафедри
інформаційних систем.

**Лист оновлення та перезатвердження
робочої програми навчальної дисципліни**

Навчальний рік	Дата засідання кафедри – розробника РПНД	Номер протоколу	Підпис завідувача кафедри

1. Вступ

Анотація навчальної дисципліни: Для багатьох сучасних підприємств і під час проведення наукових досліджень і розроблень майже у будь-якій галузі актуальною є проблема оброблення структурованих і неструктурованих великих даних. Розвиток грід-систем і технологій хмарних обчислень, а також наявність потужних кластерних рішень, які є загальнодоступними для комерційних та науково-дослідних організацій дозволяють ефективно обробляти великі потоки даних.

Умови зростання обсягів даних і збільшення залежності бізнес-процесів підприємств від потоків даних визначають потреби створення розподілених інформаційних систем (PIS) різних рівнів, які повинні забезпечити достатній рівень оперативності оброблення даних в умовах масштабованості систем та збільшення інтенсивності даних на оброблення. Такі завдання вирішуються на основі розроблення PIS, що використовують відповідні технології та програмне забезпечення відповідно до архітектур розподілених обчислювальних систем (POS) з використанням паралельних технологій програмування.

Технології розподілених систем та паралельних обчислень є основою побудови розподілених IC від рівня обчислювального кластера до рівня грід-систем і систем хмарних обчислень. Також принципи побудови, методи та технології створення, розгортання POS та застосування паралельних обчислень є основою для розв'язання складних з точки зору обчислень трудомістких задач у різних предметних областях.

Навчальна дисципліна "Розподілені та паралельні обчислення" (РПО) є базовою навчальною дисципліною та вивчається згідно з навчальним планом підготовки фахівців освітнього ступеня "бакалавр" зі спеціальності 122 "Комп'ютерні науки" денної та заочної форм навчання першого (бакалаврського) рівня.

Мета навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни "Технології розподілених систем та паралельних обчислень" є формування системи теоретичних знань і придбання практичних умінь і навичок з питань використання технологій POS, встановлення та налаштування відповідного програмного забезпечення запуску та виконання завдань на обчислювальному кластері та використання технологій і засобів паралельного програмування.

Для досягнення мети поставлені такі основні завдання:

ознайомлення з основними принципами побудови та технологіями оброблення інформації в POS;

–ознайомлення з основними парадигмами паралельного програмування у високопродуктивних системах рівнів грід і обчислювального кластера;

–встановлення та конфігурування системного програмного забезпечення обчислювального кластера, отримання практичних навичок роботи з системним програмним забезпеченням для створення та запуску додатків;

–вивчення технологій паралельного програмування - MPI та OpenMP та їх реалізацій при виконанні практичних завдань;

–придбання практичних навичок щодо застосування паралельного програмування для розв'язання наукових та інженерних задач.

Курс	4	
Семестр	7	
Кількість кредитів ECTS	5x30 – 150 годин.	
Аудиторні навчальні заняття	лекції	34

	Лабораторні заняття	34
Самостійна робота		82
Форма підсумкового контролю	залік	

Структурно-логічна схема вивчення навчальної дисципліни:

Попередні дисципліни	Наступні дисципліни
Операційні системи	Розподілені бази та сховища даних
Комп'ютерні мережі	Хмарні обчислення
Програмування	

2. Компетентності та результати навчання за дисципліною:

Компетентності	Результати навчання
Здатність до проведення аналізу завдань щодо застосування розподілених обчислювальних систем	Визначати умови та характеристики задач що розв'язуються, для обґрунтування використання розподілених систем
Здатність використовувати ПЗ проміжного рівня для розв'язання інженерних і наукових завдань	Встановлювати на налаштовувати системне та прикладне забезпечення для проведення кластерних обчислень
Здатність налаштовувати ПЗ проміжного рівня для розв'язання інженерних і наукових завдань	Обирати тип ПЗ проміжного шару при використанні сучасних промислових розподілених обчислювальних систем
Здатність обирати певну технологію паралелізму при вирішенні певних задач	Обґрунтовувати вибір технології та відповідного інтерфейсу для розв'язку трудомістких задач
Здатність обирати певну мову програмування для створення паралельного програмного додатку	Обґрунтовувати вибір мови паралельного програмування та відповідного інтерфейсу для розв'язку трудомістких задач
Здатність розгортати та адмініструвати обчислювальні системи, що застосовують технології паралельних обчислень	Встановлювати та налаштовувати програмні пакети та засоби для забезпечення паралельних обчислень
Здатність розв'язувати інженерні та наукові задачі різних предметних областей інтерфейсами паралельного програмування	Програмувати за допомогою паралельних інтерфейсів базові задачі сортування, розв'язку СЛАР різними методами, проводити порівняльний аналіз ефективності застосування мов паралельного програмування з точки зору часу виконання та потрібної розділюваної або розподіленої пам'яті

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Технології розподілених систем

Тема 1. Основні поняття та класифікація розподілених систем. Класифікація грід-систем. Склад та призначення рівнів відкритої архітектури грід

1.1. Основні терміни та визначення.

Класифікація розподілених обчислювальних систем (РОС). Поняття та типи грід-систем. Мультикластерні системи та обчислювальні кластери.

1.2. Склад та призначення відкритої архітектури РОС.

Склад та функції 5-рівневої архітектури РОС: рівень додатку, рівень зв'язності, рівень доступу, апаратний рівень. Тенденції розвитку сучасних архітектур РОС.

Тема 2. Принципи організації оброблення даних в розподілених системах. Поняття та склад проміжного програмного забезпечення грід-систем: Globus Toolkit, glite, ARC, Gridway, Condor, SETI@HOME.

2.1. Організація оброблення даних у РОС.

Типи ресурсів грід: обчислювальні ресурси, на яких обробляється саме виконання завдань: ("обчислювальний елемент", Computing Element, CE); ресурси зберігання даних (Storage Element, SE), інформаційні ресурси (каталоги), мережні ресурси для транспортування даних між аналогічними ресурсами або даним ресурсом і користувачем в середовищі грід; підсистема управління завантаженням (Workload Management System, WMS).

2.2. Поняття та склад проміжного програмного забезпечення РОС.

Поняття проміжного програмного забезпечення РОС. Порівняльний аналіз Globus Toolkit, glite, ARC, Gridway, Condor, SETI@HOME.

Тема 3. Архітектура OGSA для РОС. Поняття та класифікація систем управління ресурсами. Поняття та типи брокерів ресурсів. Планувальники завдань: Локальні систем управління ресурсами.

3.1. Архітектура OGSA.

OGSA визначає Grid-службу як Web-сервіс, що підтримує специфічні угоди Open Grid Services Infrastructure (OGSI). Типи сервісів. Основні стандартні інтерфейси грід-сервісів.

3.2. Поняття та класифікація планувальників ресурсів та завдань.

Поняття брокера ресурсів. Планувальники рівня проміжного шару програмного забезпечення грід. Метапланувальники та локальні планувальники. Технології взаємодії планувальників з локальними системами управління ресурсами (Torque/Maui, SGE, PBS Pro, Slurm, LoadLeveral).

Тема 4. Математичні моделі НЖС. Методи планування завдань на основі математичних моделей.

4.1. Методи планування на основі математичних моделей.

Визначення складу завдань планування. Математичні моделі планування як формалізми щодо вибору ресурсів для вирішення задач їх призначення завданням..

4.2. Огляд та аналіз моделей планування.

Моделі планування на основі розв'язку задачі про рюкзак, про призначення, про найменше покриття.

Тема 5. Інформаційні сервіси та системи РОС. Склад та призначення інформаційних систем. Організація інформаційних систем на основі архітектур R-GMA та MDS.

5.1. *Поняття інформаційного сервісу РОС. Моделі даних та доступу до інформаційних служб РОС.*

Завдання інформаційного сервісу та інформаційної систем РОС.. Інформаційний сервіс як основа реалізації парадигми «постачальник-користувач». Організація моделі даних на основі реляційної моделі R-GMA. Особливості реалізації моделі даних MDS в системі Globus Toolkit.

5.2. *Типи інформаційних сервісів. Семантичний інформаційний сервіс.*

Тема 6. Склад та призначення сервісів грид-систем. Принципи роботи та організація моніторингових систем у РОС

6.1. *Особливості рішення завдань моніторингу стану вузлів та сервісів у грид-системах та на базі хмарних обчислень.*

Завдання системи моніторингу. Моніторинг РОС на базі Nagios, Icinga, Ganglia.

6.2. *Принципи взаємодії служб ПЗ проміжного шару грид з програмним забезпеченням локальних ресурсів.*

Технологічні схеми взаємодії сервісів проміжного шару із програмним забезпеченням локальних систем управління ресурсами. Інтерфейси взаємодії сервісів проміжного шару із програмним забезпеченням локальних систем управління ресурсами.

Тема 7. Промислові грид-системи, засоби доступу та запуск завдань. Економічні моделі РОС.

7.1. *Промислові грид-системи та їх використання в наукових та комунальних обчисленнях..*

Застосування грид-систем в E-science. Призначення та доступ до ресурсів за допомогою порталів. Особливості порталів при застосуванні в різних галузях.

7.2. *Класифікація економічних моделей РОС.*

Економічні моделі рівня РОС: типи аукціонів та їх характеристика. Економічні моделі рівня операційної системи. Економічні моделі рівня кластеру на основі методів управління частотою та напругою процесорів для збереження енергопостачання.

Змістовий модуль 2. Технології паралельних обчислень

Тема 8. Поняття та класифікація паралельних обчислювальних систем (ПОС). Класифікації Флінна. Багатопроесорні та багатокомпютерні системи. Суперкомпютери. Принципи побудови ПОС зі спільною і розподіленою пам'яттю. Типи топологій комунікаційного зв'язку.

8.1. *Поняття та класифікація паралельних обчислювальних систем (ПОС). Класифікації Флінна. Багатопроесорні та багатокомпютерні системи*

8.2. *Поняття паралельної обчислювальної системи (ПОС). парадигми ПОС: одночасне виконання однієї або множини команд на однією та множиною областями пам'яті. Паралелізм задач та паралелізм даних.*

8.3. *Принципи побудови ПОС зі спільною і розподіленою пам'яттю. Типи топологій зв'язку.*

8.4. *Поняття спільної та розподіленої пам'яті. Типи топологій комунікаційного зв'язку: кільце, решітка, зірка, повнозв'язаний граф, гіперкуб. Основні характеристики топологій та їх розрахунок для вибору певної архітектури для паралельних обчислень.*

Тема 9. Послідовна та паралельні моделі програмування. Паралельні моделі програмування: паралелізм задач та паралелізм даних. Базові етапи розроблення паралельної програми (алгоритму).

Організація багатопотокових програм.

9.1. *Послідовна та паралельні моделі програмування. Паралельні моделі програмування: паралелізм задач та паралелізм даних.*

Послідовна та паралельні моделі програмування.

9.2. *Базові етапи розроблення паралельної програми (алгоритму). Багатопотокові програми.*

Етапи розроблення паралельної програми: визначення глобальних та локальних змінних. Парадигма передачі повідомлень між фрагментами програми та результатами. Багатопоточність як засіб реалізації паралельної програми на багатопроцесорних та багатоядерних архітектурах.

Тема 10. Принципи виконання багатопотокових програм в ОС.

10.1. *Багатопотокові програми.*

Поняття процесу та потоку. Управління потоками та процесами з боку ОС. Засоби обміну даними в ПОС: передача повідомлень у системах з розподіленою пам'яттю і спільні змінні у системах зі спільною пам'яттю.

Тема 11. Графові моделі виконання паралельних програм.

12.1. *Графові моделі виконання паралельних програм (операції-операнди).*

Поняття та представлення графа для виконання паралельної програми. Паралельно-ярусна організація паралельної програми. Інформаційні та алгоритмічні залежності. Склад дій, що відбувається у вершинах графа. Склад дій, що відбуваються у дугах графу.

12.2. *Приклади застосування моделі графу при виконанні простих програм паралельних обчислень.*

Тема 12. Технологія OpenMP для розпаралелювання програм.

14.1. *OpenMP - модель паралелізму з управлінням.*

Принципи організації виконання OpenMP-програми. Базова модель розгалуження програми віток Fork and Join. Модель розподілюваної пам'яті.

Тема 13. Програмні особливості реалізації OpenMP-програми.

13.1. *Класи змінних.*

13.1. *Функціональне налагодження OpenMP-програми.*

13.2. *Основні поняття: директиви, функції та клаузи. Поняття структурного блоку. Директива parallel. Змінні оточення, які керують виконанням OpenMP-програм.*

13.3. *Директиви для визначення паралельної області. Директива for, директива sections, директива single, директива workshare.*

Директиви для розподілу обчислень всередині паралельної області: директиви for, sections, single.

13.4. *Бібліотека функцій OpenMP.*

13.5. *Компіляція OpenMP-програми.*

Тема 14. Технологія паралелізму на основі передачі повідомлень MPI.

14.1. *Сутність передачі повідомлень: процеси взаємодіють за допомогою відправки та прийому повідомлень.*

14.2. *Стандарти MPI 1.1, MPI 2.0, MPI 2.1.*

14.3. *Функції колективної зв'язку: : синхронізація (barrier) - синхронізує всі процеси групи, глобальні функції зв'язку.*

14.4. *Колективні взаємодії. Типи комунікаторів.*

14.5. Блокові паралельні алгоритми, особливості реалізації з використанням функцій MPI. Функції підтримки розподілених операцій: виконання глобальних операцій з поверненням результатів в головний процес. виконання глобальних операцій з поверненням результатів в усі процеси.

14.6. Застосування OpenMPI для розв'язку типових задач: сортування, розв'язку SLAR, роботи з графами. Приклади та коментарі з поясненням результатів.

Тема 15. Загальний огляд сучасних технологій надпродуктивних обчислювальних систем. Системи розподіленого зберігання та обробки великих даних.

4. Порядок оцінювання результатів навчання

Система оцінювання сформованих компетентностей у студентів враховує види занять, які згідно з програмою навчальної дисципліни передбачають лекційні, семінарські, практичні заняття, а також виконання самостійної роботи. Оцінювання сформованих компетентностей у студентів здійснюється за накопичувальною 100-бальною системою. Відповідно до Тимчасового положення "Про порядок оцінювання результатів навчання студентів за накопичувальною бально-рейтинговою системою" ХНЕУ ім. С. Кузнеця, контрольні заходи включають:

поточний контроль, що здійснюється протягом семестру під час проведення лекційних, практичних, семінарських, лабораторних занять і оцінюється сумою набраних балів (максимальна сума – 60 балів; мінімальна сума, що дозволяє студенту скласти іспит, – 35 балів);

модульний контроль, що проводиться у формі колоквиуму як проміжний міні-екзамен з ініціативи викладача з урахуванням поточного контролю за відповідний змістовий модуль і має на меті *інтегровану* оцінку результатів навчання студента після вивчення матеріалу з логічно завершеної частини дисципліни – змістового модуля;

підсумковий/семестровий контроль, що проводиться у формі семестрового екзамену, відповідно до графіку навчального процесу.

Порядок проведення поточного оцінювання знань студентів. Оцінювання знань студента під час семінарських, практичних і лабораторних занять та виконання індивідуальних завдань проводиться за такими критеріями:

розуміння, ступінь засвоєння теорії та методології проблем, що розглядаються; ступінь засвоєння фактичного матеріалу навчальної дисципліни; ознайомлення з рекомендованою літературою, а також із сучасною літературою з питань, що розглядаються; вміння поєднувати теорію з практикою при розгляді виробничих ситуацій, розв'язанні задач, проведенні розрахунків у процесі виконання індивідуальних завдань та завдань, винесених на розгляд в аудиторії; логіка, структура, стиль викладу матеріалу в письмових роботах і при виступах в аудиторії, вміння обґрунтовувати свою позицію, здійснювати узагальнення інформації та робити висновки; арифметична правильність виконання індивідуального та комплексного розрахункового завдання; здатність проводити критичну та незалежну оцінку певних проблемних питань; вміння пояснювати альтернативні погляди та наявність власної точки зору, позиції на певне проблемне питання; застосування аналітичних підходів; якість і чіткість викладення міркувань; логіка, структуризація та обґрунтованість висновків щодо конкретної проблеми; самостійність виконання роботи; грамотність подачі матеріалу; використання методів порівняння, узагальнення понять та явищ; оформлення роботи.

Загальними критеріями, за якими здійснюється оцінювання позааудиторної самостійної роботи студентів, є: глибина і міцність знань, рівень мислення, вміння систематизувати знання за окремими темами, вміння робити обґрунтовані висновки, володіння категорійним апаратом, навички і прийоми виконання практичних завдань,

вміння знаходити необхідну інформацію, здійснювати її систематизацію та обробку, самореалізація на практичних та семінарських заняттях.

Підсумковий контроль знань та компетентностей студентів з навчальної дисципліни здійснюється на підставі проведення семестрового екзамену, завданням якого є перевірка розуміння студентом програмного матеріалу в цілому, логіки та взаємозв'язків між окремими розділами, здатності творчого використання накопичених знань, вміння формулювати своє ставлення до певної проблеми навчальної дисципліни тощо.

Студента слід **вважати атестованим**, якщо сума балів, одержаних за результатами підсумкової/семестрової перевірки успішності, дорівнює або перевищує 60. Мінімально можлива кількість балів за поточний і модульний контроль упродовж семестру – 35 та мінімально можлива кількість балів, набраних на екзамені, – 25.

Підсумкова оцінка з навчальної дисципліни розраховується з урахуванням балів, отриманих під час екзамену, та балів, отриманих під час поточного контролю за накопичувальною системою. Сумарний результат у балах за семестр складає: "60 і більше балів – зараховано", "59 і менше балів – не зараховано" та заноситься у залікову "Відомість обліку успішності" навчальної дисципліни.

Виставлення підсумкової оцінки здійснюється за шкалою, наведеною в табл. 1.

Таблиця 1

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ЄКТС	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
82 – 89	B	добре	
74 – 81	C		
64 – 73	D	задовільно	
60 – 63	E		не зараховано
35 – 59	FX	незадовільно	
1 – 34	F		

Розподіл балів за тижнями згідно технологічної карти подано в табл. 2.

Таблиця 2

Розподіл балів за тижнями

Теми змістового модуля		Лекційні заняття	Лабораторні заняття	Презентація	Експрес-опитування	Перевірка домашніх завдань	Письмова контрольна робота	Усього
Змістовний модуль 1	ТЕМА 1. Основні поняття та класифікація розподілених систем. Класифікація грид-систем. Склад та призначення рівнів відкритої архітектури грид	0,5	10,5					11
	1 тиждень							

Змістовий модуль 2.	ТЕМА 2. Принципи організації оброблення даних в розподілених системах. Поняття та склад проміжного програмного забезпечення грид-систем	2 тиждень	0,5	10,5	1				12
	ТЕМА 3. Архітектура OGSA для ROC. Поняття та класифікація систем управління ресурсами.	3 тиждень	0,5	10,5					11
	ТЕМА 4. Математичні моделі НІС. Методи планування завдань на основі математичних моделей	4 тиждень	0,5	10,5			1		11
	ТЕМА 5. Інформаційні сервіси та системи ROC. Склад та призначення інформаційних систем.	5 тиждень	0,5	10,5					11
	ТЕМА 6. Склад та призначення сервісів грид-систем. Принципи роботи та організація моніторингових систем у ROC	6 тиждень	0,5	0,5					1
	ТЕМА 7. Промислові грид-системи, засоби доступу та запуск завдань. Економічні моделі ROC	7 тиждень	0,5	10,5					11
	ТЕМА 8. Поняття та класифікація паралельних обчислювальних систем (ПОС). Класифікації Флінна та Джексона. Багатопроцесорні та багатокомп'ютерні системи. Суперкомп'ютери.	8 тиждень	0,5	10,5				8	19
	ТЕМА 9. Послідовна та паралельні моделі програмування. Паралельні моделі програмування: паралелізм задач та паралелізм даних	9 тиждень	0,5	0,5					1
	ТЕМА 10. Принципи виконання багатопотокових програм в ОС	10 тиждень	0,5	0,5					1

ТЕМА 11. Графові моделі виконання паралельних програм.	11 тиждень	0,5	11,5					12
ТЕМА 12. Технологія OpenMP для розпаралелювання програм	12 тиждень	0,5	0,5					1
ТЕМА 13. Програмні особливості реалізації OpenMP-програми	13 тиждень	0,5	0,5					1
ТЕМА 14. Технологія паралелізму MPI на основі передачі повідомлень	14 тиждень	0,5	12,5					13
ТЕМА 14. Технологія паралелізму MPI на основі передачі повідомлень	15 тиждень	0,5	1					1,5
ТЕМА 15. Загальний огляд сучасних технологій надпродуктивних систем. Системи розподіленого зберігання та обробки великих даних.	16тиждень	0,5	1				8,5	10
ТЕМА 16. Системи зберігання та обробки поточкових даних	17тиждень	0,5	13					13,5
Іспит								
Усього		8,5	75				16,5	100

5. Рекомендована література

Основна

1. Таненбаум Э., Ван-Стеен М. Распределенные системы. Принципы и парадигмы. - Спб.: Питер, 2003. – 877 с.
2. Таненбаум. Э. Компьютерные сети / Э. Таненбаум. - Спб. : Пи-тер, 2003. – 992 с.
3. Радченко Г.И. Распределенные вычислительные системы / Г.И. Радченко. – Челябинск: Фотохудожник, 2012. – 184 с.
4. Петренко А.И. Применение Grid технологий в науке и образовании. Львов: Изд-во Политехника”, 2009 –144 с.
5. Петренко А. І. Практикум з грід-технологій : навчальний посібник / А. І. Петренко, С. Я. Свістунов, Г. Д. Кисельов. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 580 с.
6. Гергель В. П. Теория и практика параллельных вычислений: БИНОМ. Лаборатория знаний, Интернет университет информационных технологий – ИНТУИТ.ру. – 2007. – 424 с.
7. Гергель В. П. Высокопроизводительные вычисления дл многоядерных многопроцессорных систем: Учебное пособие – Нижний Новгород : Изд-во ННГУ им. Н.И.Лобачевского, 2010. – 420 с.
8. Антонов А. С. Параллельное программирование с использованием технологии OpenMP: Учебное пособие.– М. : Изд-во МГУ, 2009. – 136 с.
9. Воеводин В. В., Воеводин Вл. В. Параллельные вычисления. – СПб. : БХВ-Петербург, 2002. – 630 с.

10. Корнеев В.В. Параллельное программирование в MPI. – Москва-Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2003. – 250 с.
11. Немнюгин С., Стесик О. Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем – СПб. : БХВ-Петербург, 2002. – 326 с.
12. Эндрюс Г. Р. Основы многопоточного, параллельного и распределенного программирования. – М. : Издательский дом "Вильямс", 2002. – 840 с.

Додаткова

13. Баканов В. М. Параллельные вычисления. – М. : МГУ, 2010. – 230 с.
14. Букатов А. А., Дацюк В. Н., Жегуло А. И. Программирование многопроцессорных вычислительных систем. — Ростов-на-Дону: ООО «ЦВВР», 2003. – 208 с.
15. Шпаковский Г. И., Серикова Н. В. Программирование для многопроцессорных систем в стандарте MPI. – Мн.: БГУТ, 2002. – 323 с.
16. Федотов И. Е. Параллельное программирование. Модели и приемы. – Москва: Солон, 2017. – 390 с.
17. Малышкин В.Э. Введение в параллельное программирование мультикомпьютеров. - М.: Новосибирск, 2003. - 268 с.
18. Лацис А.О. Параллельная обработка данных : учеб. пособие для студ. вузов. - М.: Издательский центр "Академия", 2010. - 336 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

19. Лекция 5 Основы параллельного программирования (Parallel programming introduction) <http://docplayer.ru/36006080-Lekciya-5-osnovy-parallelnogo-programirovaniya-parallel-programming-introduction.html>.
20. Параллельные вычисления. Распределенные вычисления <http://docplayer.ru/27194177-Parallelnye-vychisleniya-raspredelennye-vychisleniya.html>.
21. Введение в технологию OpenMP <http://docplayer.ru/52900624-Vvedenie-v-tehnologiyu-openmp.html>.
22. Введение в программный интерфейс OpenMP <http://docplayer.ru/45122198-Lekciya-3-vvedenie-v-programmnyy-interfeys-openmp.html>.
23. Многопоточное программирование: стандарт OpenMP <http://docplayer.ru/46621129-Multithreaded-programming.html>
24. Курносов М.Г., Пазников А.А. Теория функционирования распределенных вычислительных систем <http://www.mkurnosov.net/uploads/Main/kurnosov-dcsft.pdf>
25. Портал «Top 500® Supercomputers Sites» <http://www.top500.org>.
26. Основы параллельных вычислений https://www.intuit.ru/EDI/09_02_15_1/1423433900-20563/.../4/.../4-2013.ppt.
27. Гергель В.П. Общий курс Теория и практика параллельных вычислений Лекция 15 Методы разработки параллельных программ для многопроцессорных систем с общей памятью <http://www.myshared.ru/slide/636136/>.
28. Ковальчук С.В. Разработка параллельных приложений для многоядерных систем <http://www.myshared.ru/slide/636730/>.
29. Аксёнов С.В. Параллельное программирование с использованием технологии OpenMP <http://www.myshared.ru/slide/615720/>.
30. Киреев С. Многопоточное программирование в OpenMP <http://www.myshared.ru/slide/261772/>.