МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА
Кафедра оптимального керування і економічної кібернетики

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
Проректор з науково-педагогічної роботи
_____ Олександр ЗАПОРОЖЧЕНКО
"12" вересня 2022 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ОК 9 «Паралельні алгоритми обчислювальної математики»

Рівень вищої освіти	**другий (магістерський)**
Галузь знань	**11 Математика та статистика**
Спеціальність	**113 Прикладна математика**
Освітньо-професійна програма	**Прикладна математика**

ОНУ
2022

Робоча програма навчальної дисципліни «**Паралельні алгоритми обчислювальної математики**». Одеса: ОНУ, 2022. 15 с.

Розробники:
Вербіцький Віктор Васильович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри оптимального керування і економічної кібернетики

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри оптимального керування і економічної кібернетики

Протокол № 1 від. “30” серпня 2022 р.

Завідувач кафедри _____ Ольга КІЧМАРЕНКО

Погоджено із гарантом ОПП “Прикладна математика”.

_____ Ольга КІЧМАРЕНКО

Схвалено навчально-методичною комісією (НМК)факультету математики, фізики та інформаційних технологій

Протокол № 1 від. “9” вересня 2022 р.

Голова НМК _____ Євген СТРАХОВ

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри оптимального керування і економічної кібернетики

Протокол № ___ від. “____”_____20__ р.

Завідувач кафедри _____

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри оптимального керування і економічної кібернетики

Протокол № ___ від. “____”_____20__ р.

Завідувач кафедри _____

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		очна форма навчання
Загальна кількість: кредитів 4 ECTS	Галузь знань *11 Математика та статистика* (шифр і назва)	Нормативна
годин 120		***Рік підготовки:***
		1-й
	Спеціальність *113 Прикладна математика* (код і назва)	***Семестр***
		2-й
змістових модулів 2		***Лекції***
		20 год.
		Практичні, семінарські
		20 год.
	Рівень вищої освіти: *другий (магістерський)*	***Лабораторні***
		Самостійна робота
		80 год.
		Форма підсумкового контролю: *іспит*

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Паралельні алгоритми обчислювальної математики» є ознайомлення студентів з основними парадигмами паралельного та розподіленого програмування, паралельними алгоритмами обчислювальної математики та способами їх реалізації для сучасних паралельних обчислювальних систем.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Паралельні алгоритми обчислювальної математики» є студентів з основними парадигмами паралельного та розподіленого програмування, паралельними алгоритмами обчислювальної математики та способами їх реалізації для сучасних паралельних обчислювальних систем за допомогою технологій паралельного та розподіленого програмування MPI та OpenMP.

Процес вивчення дисципліни спрямований на формування елементів наступних **компетентностей**:

Інтегральна компетентність :

Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми прикладної математики у професійної діяльності або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов і вимог.

Загальних компетентностей :

ЗК 03. Здатність ставити та вирішувати задачі на основі абстрактного мислення, аналізу й синтезу

Фахових компетентностей:

ФК 02. Здатність розробляти методи побудови й дослідження моделей складних систем у різних галузях людської діяльності, будувати математичні моделі природних та соціальних явищ та чисельно їх розраховувати.

ФК 07. Знання на рівні новітніх досягнень, необхідні для практичної та/або інноваційної діяльності у сфері прикладної математики.

Очікувані результати навчання. В результаті вивчення дисципліни здобувач повинен

знати: моделі паралельних обчислень та методи аналізу їх ефективності; технологію OpenMP розробки паралельних програм для багатоядерних систем зі спільною пам'яттю; технологію MPI розробки паралельних та розподілених програм для систем з розподіленою пам'яттю; паралельні алгоритми розв'язання основних задач лінійної алгебри; мати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки у предметі навчальної дисципліни;

вміти: використовувати технології паралельного та розподіленого програмування для реалізації паралельних алгоритмів обчислювальної математики у вигляді програмних додатків для сучасних високопродуктивний обчислювальних систем.

Вміти критично осмислювати проблеми у галузі прикладної математики та на межі з іншими галузями знань. Бути здатним до проведення досліджень з метою розвитку нових знань та процедур, бути здатним інтегрувати знання та розв'язувати складні задачі у широких або мультидисциплінарних контекстах, бути здатним розв'язувати проблеми у нових або незнайомих середовищах за наявності неповної або обмеженої інформації з урахуванням аспектів соціальної та етичної відповідальності, бути здатним продовжувати навчання з високим ступенем автономії.

Що забезпечує наступні програмні результати навчання:

ПРН 01. Знати та вміти застосовувати процедури формального опису та моделювання поведінки реальних природних, технічних, соціально-економічних систем, впливів некерованих чинників, потрібних для прийняття раціональних рішень.

ПРН 06. Вміти застосовувати математичний апарат при вирішенні актуальних задач на практиці

ПРН 09. Виявляти здатність до самонавчання та продовження професійного розвитку.

3. Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Моделі та технології паралельного програмування

Тема 1. Класифікація паралельних обчислювальних систем. Класифікація за Фліном. SMP-системи, кластери, MMP-системи. Системи зі спільною та розподіленою пам'яттю. Архитектури NUMA та ccNUMA.

Тема 2. Моделі паралельних обчислень та методи аналізу їх ефективності. Модель обчислень у вигляді графа "операції-операнди". Показники ефективності паралельних обчислень: прискорення, ефективність, масштабування. Визначення часу виконання паралельного алгоритму. Оцінка максимально досяжного розпаралелювання.

Тема 3. Технологія OpenMP розробки паралельних програм для багатоядерних систем зі спільною пам'яттю.

Директива паралельної обробки parallel. Директива розподілення роботи for. Директиви розподілення роботи sections и section. Директиви single и master. Директиви tasks и taskwait. Директиви синхронізації barrier, ordered, critical, atomic. Спільні та приватні змінні. Функції середовища виконання. Функції блокування та

синхронізації. Змінні оточення. Алгоритми планування паралельного виконання циклів (static, dynamic, guided, runtime scheduling).

Тема 4. Технологія MPI розробки паралельних та розподілених програм для систем з розподіленою пам'яттю.

Модель MPI-програми Комунікатори. Функції ініціалізації та завершення роботи. Функції передачі повідомлень між двома процесами. Типи даних MPI. Колективні комунікації. Розподілені (глобальні) операції MPI. Створення нових типів даних та розподілених операцій. Декартова топологія процесів.

Змістовий модуль 2. Паралельні алгоритми лінійної алгебри

Тема 5. Паралельні алгоритми розв'язування СЛАР. Метод Гауса. Метод Холеського. Метод простої ітерації. Метод верхньої релаксації. Метод спряжених градієнтів.

Тема 6. Паралельні алгоритми розв'язування СЛАР з розрідженими матрицями.. Метод Холеського та проблема переупорядкування невідомих. Різні схеми методу Холеського. Vector-sum column Cholesky algorithm. Схема зберігання розрідженої матриці та її множника Холеського. Символічна факторизація розрідженої матриці. Дерево вилучення. Метод мінімального степеня переупорядкування невідомих. Паралельний алгоритм Холеського для розрідженої матриці.

Тема 7. Паралельні алгоритми розв'язування спектральних задач для симетричних матриць. Метод Якобі. Метод divide and conquer. Метод бісекції.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Очна (денна, вечірня) форма					
	усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7
Змістовий модуль 1. Моделі та технології паралельного програмування						
Тема 1. Класифікація паралельних обчислювальних систем.	8	2				6
Тема 2. Моделі паралельних обчислень та методи аналізу їх ефективності.	8	2				6
Тема 3. Технологія OpenMP розробки паралельних програм для багатоядерних систем зі спільною пам'яттю.	16	2		4		12
Тема 4. Технологія MPI розробки паралельних та розподілених програм для систем з розподіленою пам'яттю.	20	4		4		12
Разом за змістовим модулем 1	56	10		8		36
Змістовий модуль 2. Паралельні алгоритми лінійної алгебри						
Тема 5. Паралельні алгоритми розв'язування СЛАР.	14	2		2		12
Тема 6. Паралельні алгоритми розв'язування СЛАР з розрідженими матрицями..	32	6		6		20
Тема 7. Паралельні алгоритми розв'язування спектральних задач для симетричних матриць.	18	2		4		12
Разом за змістовим модулем 2	64	10		12		44
Усього годин	**120**	**20**		**20**		**80**

5. Теми семінарських занять

Семінарські заняття не передбачені

6. Теми практичних занять

Практичні заняття не передбачені

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Технологія MPI	4
2	Технологія OpenMP	4
3	Програмна реалізація паралельного алгоритму розв'язання СЛАР	2
4	Програмна реалізація паралельного алгоритму Холеського	6
5	Програмна реалізація паралельного алгоритму розв'язання задачі на власні значення	4
	Разом	20

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми/ види завдань	Кількість годин
1	Тема 1. Класифікація паралельних обчислювальних систем. / підготовка до лекції	6
2	Тема 2. Моделі паралельних обчислень та методи аналізу їх ефективності. / підготовка до лекції	6
3	Тема 3. Технологія OpenMP розробки паралельних програм для багатоядерних систем зі спільною пам'яттю. / підготовка до лабораторної роботи	12
4	Тема 4. Технологія MPI розробки паралельних та розподілених програм для систем з розподіленою пам'яттю. / підготовка до лабораторної роботи	12
5	Тема 5. Паралельні алгоритми розв'язування СЛАР. / підготовка до лабораторної роботи	12
6	Тема 6. Паралельні алгоритми розв'язування СЛАР з розрідженими матрицями.. / підготовка до лабораторної роботи	20
7	Тема 7. Паралельні алгоритми розв'язування спектральних задач для симетричних матриць. / підготовка до лабораторної роботи	12
	Разом	80

Самостійна робота оформлюється у вигляді доповіді та (або) виконання індивідуального завдання, обговорення та оцінювання яких здійснюється на поточному та підсумковому контролі.

Самостійна робота здобувачів забезпечується засобами Google Workspace for Education.

Навчально-методичне забезпечення: робоча програма навчальної дисципліни; навчально-методичні матеріали для лекцій, конспекти (тексти, схеми) лекцій; мультимедійні презентації; плани практичних занять; методичні вказівки (рекомендації) щодо самостійного вивчення дисципліни.

Критерії оцінювання виконання самостійної роботи**:**

– своєчасність виконання;

– доброчесність та коректність у представлені текстів, презентацій та посилань (у разі доведеного плагіату бали за роботу анулюються);

– повнота, грамотність і коректність розкриття основних положень;

– творчий підхід до постановки і реалізації завдання;

– відповідність формальним критеріям (структура, послідовність, логічність, мовна грамотність, якість оформлення тощо).

– вміння застосовувати теоретичні знання для рішення практичних завдань.

9. Методи навчання

Метод проблемного викладення (наукового пошуку).

Пояснювально-ілюстративні методи: лекція, пояснення, самостійне опрацювання літературних джерел, робота з електронними конспектами лекцій та презентаціями, опрацювання наукових публікацій.

Наочні методи (презентації, ілюстрації, презентації результатів власних досліджень).

Репродуктивні методи та практичні методи: розв’язування задач за алгоритмами конкретних методів, практичні роботи, виконання індивідуальних завдань.

Дослідницький метод.

Методи формування і стимулювання пізнавальної діяльності: навчальні дискусії

10. Форми контролю і методи оцінювання

Методи поточного періодичного контролю: індивідуальне усне поточне опитування, оцінювання доповідей, оцінювання виконання та захисту індивідуальних завдань, письмові поточні самостійні роботи.

Підсумковий контроль - іспит. Підсумкова оцінка визначається як сума балів за поточний і періодичний контроль та за **іспит** - за 100-бальною системою, виставляється за результатами роботи здобувача вищої освіти впродовж всього семестру.

При оцінюванні в балах рівня засвоєння матеріалу використовуються загальні критерії оцінювання навчальних досягнень здобувачів вищої освіти:

Оцінка за національною шкалою та відсоток від максимальної кількості балів	Теоретична підготовка	Практична підготовка
	Здобувач освіти	
Відмінно (90-100% від максимальної кількості балів)	у повному обсязі володіє навчальним матеріалом, вільно, самостійно та аргументовано його викладає під час усних виступів та письмових відповідей; глибоко та всебічно розкриває зміст теоретичних питань, використовуючи при цьому нормативну, обов'язкову та додаткову літературу; робить самостійні висновки, виявляє причинно-наслідкові зв'язки; самостійно знаходить додаткову інформацію та використовує її для реалізації поставлених перед ним завдань. Здобувач здатен виділяти суттєві ознаки вивченого за допомогою операцій синтезу, аналізу, виявляти причинно-наслідкові зв'язки, формувати висновки і узагальнення, вільно оперувати фактами та відомостями.	глибоко та всебічно розкриває сутність практичних/ розрахункових завдань, використовуючи при цьому нормативну, обов'язкову та додаткову літературу; може аргументовано обрати раціональний спосіб виконання завдання й оцінити результати власної практичної діяльності; виконує творчі завдання та ініціює нові шляхи їх виконання; вільно використовує набуті теоретичні знання при аналізі практичного матеріалу; проявляє творчий підхід до виконання індивідуальних та колективних завдань при самостійній роботі.
Добре (75-89% від максимальної кількості балів)	достатньо повно володіє навчальним матеріалом, обґрунтовано його викладає під час усних виступів та письмових відповідей, використовуючи при цьому нормативну та обов'язкову літературу; при представленні деяких питань не вистачає достатньої глибини та аргументації, застосовує знання для розв'язання стандартних ситуацій; самостійно аналізує,	правильно вирішив більшість розрахункових /тестових завдань за зразком; має стійкі навички виконання завдання

	узагальнює і систематизує навчальну інформацію, але допускаються при цьому окремі несуттєві неточності та незначні помилки.	
Задовільно (60-74% від максимальної кількості балів)	володіє навчальним матеріалом на репродуктивному рівні або відтворює певну частину навчального матеріалу з елементами логічних зв'язків, знає основні поняття навчального матеріалу; має ускладнення під час виділення суттєвих ознак вивченого; під час виявлення причинно-наслідкових зв'язків і формулювання висновків.	може використовувати знання в стандартних ситуаціях, має елементарні, нестійкі навички виконання завдання. Правильно вирішив половину розрахункових/тестових завдань. Здобувач має ускладнення під час виділення суттєвих ознак вивченого; під час виявлення причинно-наслідкових зв'язків і формулювання висновків.
Незадовільно з можливістю повторного складання (35-59% від максимальної кількості балів)	володіє навчальним матеріалом поверхово й фрагментарно (без аргументації та обґрунтування); безсистемно виокремлює випадкові ознаки вивченого; не вміє робити найпростіші операції аналізу і синтезу; робити узагальнення, висновки; під час відповіді допускаються суттєві помилки	недостатньо розкриває сутність практичних завдань, допускаючи при цьому суттєві неточності, правильно вирішив окремі розрахункові/тестові завдання за допомогою викладача, відсутні сформовані уміння та навички.
Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни (0-34% від максимальн	не володіє навчальним матеріалом	виконує лише елементи завдання, потребує постійної допомоги викладача

ої кількості балів)		

Примітка: максимальна кількість балів за кожною темою вказана в п.12.

11. Питання для поточного, періодичного та підсумкового контролю

1. Класифікація паралельних обчислювальних систем.
2. SMP-системи, кластери, MMP-системи.
3. Системи зі спільною та розподіленою пам’яттю.
4. Архитектури NUMA та ccNUMA.
5. Модель обчислень у вигляді графа "операції-операнди".
6. Показники ефективності паралельних обчислень: прискорення, ефективність, масштабування.
7. Визначення часу виконання паралельного алгоритму.
8. Оцінка максимально досяжного розпаралелювання.
9. Директива паралельної обробки parallel.
10. Директива розподілення роботи for.
11. Директиви розподілення роботи sections и section.
12. Директиви single и master.
13. Директиви tasks и taskwait.
14. Директиви синхронізації barrier, ordered, critical, atomic.
15. Спільні та приватні змінні.
16. Функції середовища виконання.
17. Функції блокування та синхронізації.
18. Змінні оточення.
19. Алгоритми планування паралельного виконання циклів (static, dynamic, guided, runtime scheduling).
20. Модель MPI-програми
21. Комунікатори.
22. Функції ініціалізації та завершення роботи.
23. Функції передачі повідомлень між двома процесами.
24. Типи даних MPI.
25. Колективні комунікації.
26. Розподілені (глобальні) операції MPI.
27. Створення нових типів даних та розподілених операцій.
28. Декартова топологія процесів.
29. Паралельні алгоритми розв’язування СЛАР: Метод Гауса. Метод Холеського. Метод простої ітерації. Метод верхньої релаксації. Метод спряжених градієнтів.
30. Метод Холеського та проблема переупорядкування невідомих.
31. Різні схеми методу Холеського. Vector-sum column Cholesky algorithm.
32. Схема зберігання розрідженої матриці та її множника Холеського.

33. Символічна факторизація розрідженої матриці.
34. Дерево вилучення.
35. Метод мінімального степеня переупорядкування невідомих.
36. Паралельний алгоритм Холеського для розрідженої матриці.
37. Паралельні алгоритми розв'язування спектральних задач для симетричних матриць: Метод Якобі. Метод divide and conquer. Метод бісекції.

12. Розподіл балів, які отримують здобувачі

Змістовний модуль 1				**Змістовний модуль 2**			іспит	Всього
Т1	Т2	Т3	Т4	Т5	Т6	Т7		
5	5	10	10	15	20	15	20	100

Розподіл балів за видами навчальної роботи

Види навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовий модуль 1			
Поточний контроль на лекціях	4	2	8
Виконання лабораторних робіт	12	2	24
Усього за змістовим модулем 1			**0 – 32**
Змістовий модуль 2			
Поточний контроль на лекціях	2	3	6
Виконання лабораторних робіт	14	3	42
Усього за змістовим модулем 2			**0 – 48**
Підсумковий контроль - іспит			**0 – 20**
Підсумкова сума балів			**0 – 100**

Шкала оцінювання: національна та ECTS

<table>
<tr><td rowspan="2">Сума балів за всі види навчальної діяльності</td><td rowspan="2">Оцінка ECTS</td><td colspan="2">Оцінка за національною шкалою</td></tr>
<tr><td>для екзамену, курсового проекту (роботи), практики</td><td>для заліку</td></tr>
<tr><td>90 – 100</td><td>A</td><td>відмінно</td><td rowspan="5">зараховано</td></tr>
<tr><td>85-89</td><td>B</td><td rowspan="2">добре</td></tr>
<tr><td>75-84</td><td>C</td></tr>
<tr><td>70-74</td><td>D</td><td rowspan="2">задовільно</td></tr>
<tr><td>60-69</td><td>E</td></tr>
<tr><td>35-59</td><td>FX</td><td>незадовільно з можливістю повторного складання</td><td>не зараховано з можливістю повторного складання</td></tr>
<tr><td>0-34</td><td>F</td><td>незадовільно з обов’язковим повторним вивченням дисципліни</td><td>не зараховано з обов’язковим повторним вивченням дисципліни</td></tr>
</table>

13. Навчально-методичне забезпечення

Робоча програма навчальної дисципліни; силабус; навчально-методичні матеріали для лекцій, конспекти лекцій; мультимедійні презентації; плани практичних занять.

1. Вербіцький В. В., Максимов А. Л. Паралельне програмування з використанням технології OpenMP: метод. Вказівки / Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2022. 47 с.

14. Рекомендована література

Основна

1. Химич А. Н., Молчанов И. Н., Попов А. В. и др. Параллельные алгоритмы решения задач вычислительной математики / К.: Наук. Думка, 2008.
2. Gallopoulos E., Philippe B., Sameh A. H. Parallelism in Matrix Computations / Springer Netherlands, 2016. 489 p.
3. Parallel Algorithms in Computational Science and Engineering. Editors: Ananth Grama, Ahmed H. Sameh / Springer Nature Switzerland AG, 2020. 421 p.
4. Robey R., Zamora Y. Parallel and High Performance Computing / Manning, Shelter Island, 2021. 705 p.
5. Weinzierl T. Principles of Parallel Scientific Computing: A First Guide to Numerical Concepts and Programming Methods: Undergraduate Topics in Computer Science / Springer Nature Switzerland AG, 2022. 314 p.

Додаткова

1. Вербіцький В. В., Максимов А. Л. Паралельне програмування з використанням технології OpenMP: метод. Вказівки / Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2022. 47 с.
2. Качко Е. Г. Параллельное программирование: Учебное пособие / Харьков: "Форт", 2011. 528 с.
3. Schmidt B., González-Domínguez J., Hundt Ch., Schlarb M. Parallel Programming. Concepts and Practice / Publisher: Katey Birtcher, 2018. 405 p.
4. Timothy G. M., He Y. H., Koniges A. E. The OpenMP common core : making OpenMP simple again / Cambridge, Massachusetts : The MIT Press, 2019. 277 p.
5. Bertsehas D.P., Tsitsiklis J.N. Parallel and distributed computation: Numerical methods / Athena Scientific, Belmont, Massachusetts, 1997. 833 p.
6. Van der Vorst H., Van Dooren P. Parallel Algorithms for Numerical Linear Algebra / Elsevier Science, 1990. 341 p.
7. Manguoglu M. A domain-decomposing parallel sparse linear system solver. *Journal of computational and applied mathematics*. 2011. Vol. 236. P. 319–325.

15. Електронні інформаційні ресурси

1. http://nbuv.gov.ua/ – Сайт Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського;
2. http://www.dnpb.gov.ua/ – Сайт Державної науково-педагогічної бібліотеки України імені В.О. Сухомлинського;
3. http://onu.edu.ua/ – Сайт бібліотеки ОНУ імені І. І. Мечникова;
4. http://odnb.odessa.ua/ – Сайт Одеської національної наукової бібліотеки;
5. http://korolenko.kharkov.com/ – Сайт Харківської державної наукової бібліотеки імені В.Г. Короленка;
6. https://www.imath.kiev.ua/ – Сайт Інституту математики НАН України;
7. https://umj.imath.kiev.ua/ – Український математичний журнал;
8. https://imath.kiev.ua/~nosc/web/?lang=ua/ – журнал Нелінійні коливання.
9. http://www.ams.org/publications/math-reviews/math-reviews - реферативний математичний журнал, що видається AMS
10. https://zbmath.org/ - реферативний математичний журнал видавництва «Шпрингер» та електронна база даних «ZBMATH — The database Zentralblatt MATH»
11. https://scholar.google.com/ - Google Scholar, пошукова система, яка індексує повний текст наукових публікацій всіх форматів і дисциплін.
12. https://indexcopernicus.com/ - Index Copernicus (IC) — онлайнова наукометрична база даних
13. https://www.scopus.com/home.uri - Scopus, бібліографічна і реферативна база даних
14. https://clarivate.com/products/web-of-science/ - Web of Science, бази наукової літератури і патентів
15. 352485088_Umovi_isnuvanna_bazovih_rozv'azkiv_linijnih_mnozinnoznacnih_diferencialnih_rivnan - див. посилання до статті.

16. The MPI Forum, which is the standardization forum for the Message Passing Interface (MPI). – Режим доступу: https://www.mpi-forum.org
17. Argonne National Laboratory, Center for Computational Science and Technology. – Режим доступу: http://www.mcs.anl.gov
18. CACR (Center of Advanced Computing Research). – Режим доступу: http://www.cacr.caltech.edu
19. Netlib is a collection of mathematical software, papers, and databases. – Режим доступу:http://netlib.org