

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



**"ЗАТВЕРДЖУЮ"**

Заступник керівника  
(директор з науково-педагогічної роботи)

*М. В. Афанасьєв* М. В. Афанасьєв

**"МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ТА МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЙ"**

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 Олег Григорович

Харків  
ХНЕУ ім. С. Кузнеця  
2018

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні кафедри Інформаційних систем  
Протокол № 1 від 27.08.2018 р.

Розробник:

Задачин Віктор Михайлович, к.ф.-и.н., доц. кафедри інформаційних систем

Лист оновлення та перезатвердження  
робочої програми навчальної дисципліни

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

## 2. Вступ

**Анотація навчальної дисципліни:** Сучасний розвиток науки і обчислювальної техніки характеризується все більш зростаючим рівнем використання комп'ютерних моделей як для дослідження поведінки явищ і процесів, що оточують людину, так і для розв'язання практичних задач, пов'язаних з управлінням та прогнозуванням. Методи комп'ютерного моделювання широко застосовуються в усіх сферах людської діяльності – від конструювання моделей технічних, технологічних та організаційних систем до вирішення проблем розвитку людства та всесвіту.

Вивчення дисципліни “Моделювання систем та методи оптимізацій” передбачає набуття теоретичних знань та опанування практичними навичками стосовно основних підходів і принципів побудови моделей. Дисципліна спрямована на формування у студентів загальних основ застосування загальновідомих методологій та сучасних технологій моделювання складних систем; оволодіння практичними навичками роботи в середовищі спеціалізованих пакетів моделювання.

У процесі навчання студенти отримують необхідні знання під час проведення аудиторних занять: лекційних та лабораторних. Також велике значення в процесі вивчення та закріплення знань має самостійна робота студентів.

**Мета навчальної дисципліни:** Метою викладання даної навчальної дисципліни є формування знань і навичок стосовно основних підходів і принципів побудови моделей та надбання навичок їх застосування для розв'язання задач моделювання систем та методів їх оптимізації. При цьому велика увага приділяється практичній роботі студентів на персональних комп'ютерах із застосуванням математичних пакетів.

Об'єктом вивчення дисципліни є різні (технічні, фізичні та ін.) системи (явища, процеси, об'єкти), з якими пов'язана людська діяльність. Предметом вивчення дисципліни є загальновідомі методології і сучасні технології моделювання складних систем та методи їх оптимізації.

Курс	3	
Семестр	5	
Кількість кредитів ECTS	7	
Аудиторні навчальні заняття	Лекції	40
	Лабораторні	56
Самостійна робота	114	
Форма підсумкового контролю	Іспит	

### Структурно-логічна схема вивчення навчальної дисципліни:

Попередні дисципліни	Наступні дисципліни
Фізика	Методи та засоби моделювання динамічних систем
Вища математика	Інтелектуальний аналіз

	даних
Програмування	Методи та засоби комп'ютерних обчислень
Дискретна математика	
Теорія ймовірності, ймовірнісні процеси та математична статистика	

### 3. Компетентності та результати навчання за дисципліною:

Компетентності	Результати навчання
Здатність опанувати сучасні технології математичного моделювання об'єктів, процесів і явищ, розробляти обчислювальні моделі та алгоритми чисельного розв'язання задач математичного моделювання з урахуванням похибок наближеного чисельного розв'язання професійних задач.	Знання чисельних методів лінійної та нелінійної алгебри. Знання щодо наближення функцій, методів чисельного диференціювання та інтегрування функцій. Знання чисельних методів розв'язання звичайних диференціальних та інтегральних рівнянь, рішення рівнянь в частинних похідних. Знання теоретичних особливостей чисельних методів та можливостей їх адаптації до інженерних задач.
Здатність здійснювати формалізований опис задач дослідження операцій в організаційно-технічних і соціально-економічних системах різного призначення, визначати їх оптимальні рішення, будувати моделі оптимального вибору управління з урахуванням змін параметрів економічної ситуації, оптимізувати процеси управління в системах різного призначення та рівня ієрархії.	Знання понять операції, операційної системи, моделі операції, етапів розробки моделі операції. Знання класифікації економіко-математичних моделей і методів. Знання методів розв'язання задач лінійного, нелінійного, стохастичного, динамічного програмування.
Здатність застосовувати теоретичні та практичні основи методології та технології моделювання, реалізовувати алгоритми моделювання для дослідження характеристик і поведінки складних об'єктів і систем, проводити експерименти за програмою моделювання з обробкою й аналізом результатів.	Знання моделей систем масового обслуговування, мереж Петрі. Знання методології ймовірнісного та імітаційного моделювання об'єктів, процесів і систем. Знання щодо планування та проведення експериментів з моделями, прийняття рішень щодо досягнення мети за результатами моделювання.

### 3. Програма навчальної дисципліни

## **Змістовий модуль 1. Чисельні методи**

### **Тема 1. Вступ. Предмет дисципліни, її зміст та задачі**

Вступ. Предмет дисципліни, її зміст та задачі.

### **Тема 2. Сутність чисельних методів. Загальні поняття.**

#### *2.1. Сутність чисельних методів. Загальні поняття.*

Сутність чисельних методів. Загальні поняття.

#### *2.2. Характеристики чисельних методів.*

Характеристики чисельних методів. Похибка рішення.

#### *2.3. Арифметика з плаваючою точкою.*

Похибка округлення при розрахунках на комп'ютері з плаваючою комою.

### **Тема 3. Розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь**

#### *3.1. Постановка задачі.*

Постановка задачі. Прямі та ітераційні методи, їх відмінність.

#### *3.2. Прямі методи розв'язання систем алгебраїчних лінійних рівнянь.*

Метод виключення Гауса. Метод Гауса з вибором головного елемента.

#### *3.3. Ітераційні методи розв'язання систем алгебраїчних лінійних рівнянь.*

Метод простої ітерації, умови його збіжності.

### **Тема 4. Чисельні методи розв'язання нелінійних рівнянь**

#### *4.1. Чисельні методи розв'язання нелінійних рівнянь з одним невідомим.*

Постановка задачі. Метод дихотомії.

#### *4.2. Чисельні методи розв'язання систем нелінійних рівнянь.*

Постановка задачі. Метод Ньютона, метод простої ітерації. Метод найменших квадратів.

### **Тема 5. Чисельні методи наближення функцій. Апроксимація, інтерполяція та екстраполяція**

#### *5.1. Постановка задач наближення функцій.*

Постановка задач наближення функцій, їх відмінність.

#### *5.2. Апроксимація функцій.*

Метод найменших квадратів для апроксимації функцій.

#### *5.3. Інтерполяція функцій.*

Інтерполяція лінійна та квадратична. Інтерполяційний поліном Лагранжа. Інтерполяційний поліном Ньютона. Сплайн-інтерполяція.

### **Тема 6. Чисельне диференціювання функцій**

Постановка задачі. Формули чисельного диференціювання функцій.

### **Тема 7. Чисельне інтегрування функцій**

Постановка задачі. Формула трапецій. Формула Сімпсона.

## **Тема 8. Чисельне інтегрування звичайних диференціальних рівнянь.**

### **Задача Коши**

#### *8.1. Постановка задачі Коши.*

Постановка задачі Коші для диференціального рівняння  $N$ -го порядку та системи диференціальних рівнянь.

#### *8.2. Однокрокові методи розв'язання задачі Коши.*

Метод Ейлера, метод Рунге-Кутта, їх порівняння.

#### *8.3. Багатокрокові методи розв'язання задачі Коши.*

Метод Адамса–Бошфорда, метод прогнозу та корекції, їх порівняння.

#### *8.4. Неявні методи розв'язання жорстких задач.*

Поняття жорсткої задачі Коши. Неявні методи Ейлера і Рунге–Кутта.

## **Тема 9. Крайові задачі для звичайних диференціальних рівнянь**

#### *9.1. Постановка крайової задачі.*

Постановка задачі для звичайних диференціальних рівнянь.

*9.2. Чисельні методи розв'язання крайової задачі для звичайних диференціальних рівнянь.*

Метод кінцевих різниць.

## **Тема 10. Методи математичної фізики.**

#### *10.1. Постановка задач математичної фізики.*

Постановка задач математичної фізики. Задача Діріхле, задача Неймана.

#### *10.2. Чисельні методи розв'язання задач математичної фізики.*

Метод кінцевих різниць. Метод кінцевих елементів.

## **Змістовий модуль 2. Методи оптимізації**

## **Тема 11. Постановка та класифікація задач оптимізації, загальні поняття**

#### *11.1. Загальна постановка задачі оптимізації, загальні поняття.*

Загальна постановка задачі оптимізації. Поняття цільової функції та допустимої множини.

#### *11.2. Класифікація задач оптимізації.*

Математичне програмування. Безумовна та умовна оптимізація. Лінійне та нелінійне програмування.

## **Тема 12. Чисельні методи знаходження екстремуму функцій однієї змінної**

#### *12.1. Постановка задачі знаходження екстремуму функцій однієї змінної.*

Постановка задачі.

#### *12.2. Чисельні методи знаходження екстремуму функції однієї змінної..*

Метод золотого січення.

### **Тема 13. Методи безумовної оптимізації**

#### *13.1. Постановка задачі безумовної оптимізації.*

Постановка задачі. Необхідні умови мінімуму 1-го і 2-го порядків функції кількох змінних. Загальна схема чисельних методів рішення задачі безумовної оптимізації.

#### *13.2. Чисельні методи безумовної оптимізації.*

Градiєнтні методи. Метод сполучених градієнтів. Метод Ньютона, квазі-ньютонівські методи. Метод випадкового пошуку..

### **Тема 14. Методи нелінійного програмування**

#### *14.1. Постановка задачі нелінійного програмування.*

Постановка задачі.

#### *14.2. Чисельні методи нелінійного програмування.*

Метод штрафних функцій. Метод модифікованої функції Лагранжа.

### **Тема 15. Методи лінійного програмування**

#### *15.1. Постановка задачі лінійного програмування.*

Постановка задачі. Приклади прикладних задач, які зводяться до задачі лінійного програмування.

#### *15.2. Чисельні методи лінійного програмування.*

Симплекс-метод.

### **Тема 16. Динамічне програмування**

#### *16.1. Постановка задачі динамічного програмування.*

Постановка задачі.

## **Змістовий модуль 3. Моделювання систем**

### **Тема 17. Моделювання. Основні поняття**

#### *17.1. Основні поняття теорії моделювання.*

Поняття системи. Поняття моделі. Поняття моделювання.

#### *17.2. Види моделей, їх класифікація.*

Види моделей та їх класифікація за різними критеріями.

#### *17.3. Вимоги до моделей.*

Вимоги до моделей.

### **Тема 18. Основні види моделювання. Формальні методи побудови моделей**

#### *18.1. Основні види моделювання.*

Основні види моделювання (аналітичне, імітаційне, статистичне), їх характеристики та відношення між собою.

#### *18.2. Формальні методи побудови моделей.*

Формальні методи побудови моделей: кібернетичний підхід, системна

динаміка, теоретично-множинний підхід.

**Тема 19. Ідентифікація параметрів математичної моделі. Адекватність, чутливість, несуперечливість моделі**

*19.1. Ідентифікація параметрів математичної моделі.*

Постановка задачі ідентифікації, основні етапи її рішення та їх взаємозв'язок.

*19.2. Адекватність, чутливість, несуперечливість моделі.*

Поняття адекватності, чутливості та несуперечливості моделі, формальні способи їх перевірки.

**Тема 20. Принципи побудови моделей. Технологія моделювання**

*20.1. Принципи побудови моделей.*

Основні принципи побудови моделей: інформаційної достатності, доцільності, здійсненності, множинності моделей, агрегації, параметризації, застосування методології ітераційного багаторівневого моделювання.

*20.2. Технологія моделювання.*

Технологія моделювання: основні етапи, їх взаємозв'язок та характеристики.

**Тема 21. Імовірнісне моделювання. Моделювання випадкових процесів**

*21.1. Імовірнісне моделювання.*

Поняття імовірнісного моделювання. Метод Монте-Карло.

*21.2. Моделювання випадкових процесів.*

Генератори псевдовипадкових чисел. Моделювання випадкових процесів.

**Тема 22. Моделі розрахункових процесів та управління. Динамічні моделі, P, Q, F, A- схеми**

*22.1. Загальний вид математичної моделі системи.*

Загальний вид математичної моделі системи.

*22.2. Типові математичні схеми моделей.*

Неперервно-детерміновані моделі (D-схеми), дискретно-детерміновані моделі (F-схеми), дискретно-стохастичні моделі (P-схеми), неперервно-стохастичні моделі (Q-схеми), узагальнені моделі (A-схеми).

**Тема 23. Сітьові моделі, моделі теорії черг**

*23.1. Мережі Петрі.*

Мережі Петрі.

*23.2. Ланцюги Маркова.*

Ланцюги Маркова.

**Тема 24. Системи масового обслуговування. Середовище імітаційного моделювання GPSS World**

*24.1. Системи масового обслуговування.*

Основні поняття теорії масового обслуговування. Поняття системи масового



обслуговування (СМО). Класифікація систем масового обслуговування. Основні характеристики СМО. Якість функціонування СМО. Моделі систем масового обслуговування.

*24.2. Середовище імітаційного моделювання GPSS World.*

Загальноцільова система моделювання GPSS World. Поняття модельного часу. Об'єкти в GPSS World. Додаткові елементи GPSS World. Принципи роботи GPSS World. Поняття ланцюгів транзактів. Елементи логіки роботи інтерпретатора. Поняття пристрою, черги, обслуговування.

**4. Теми лабораторних занять**

Назва теми	Програмні питання	Кількість годин
<i>Тема 1.</i> Вступ. Предмет дисципліни, її зміст та задачі.	<i>Лабораторна робота 1.</i> Вступ у систему R	2
<i>Тема 3.</i> Розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь	<i>Лабораторна робота 2.</i> Чисельні методи розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь.	4
<i>Тема 4.</i> Чисельні методи розв'язання нелінійних рівнянь.	<i>Лабораторна робота 3.</i> Чисельні методи розв'язання нелінійних рівнянь з одним невідомим та систем нелінійних рівнянь	2
<i>Тема 5.</i> Чисельні методи наближення функцій. Апроксимація, інтерполяція та екстраполяція.	<i>Лабораторна робота 4.</i> Чисельні методи наближення функцій. Апроксимація та інтерполяція функцій	4
<i>Тема 8.</i> Чисельне інтегрування звичайних диференціальних рівнянь. Задача Коши.	<i>Лабораторна робота 5.</i> Чисельні методи розв'язання задачі Коші для звичайних диференціальних рівнянь.	2
<i>Тема 9.</i> Крайові задачі для звичайних диференціальних рівнянь. Метод кінцевих різниць.	<i>Лабораторна робота 6.</i> Чисельні методи розв'язання лінійної крайової задачі для звичайних диференціальних рівнянь 2-го порядку	4
<i>Тема 13.</i> Методи безумовної оптимізації.	<i>Лабораторна робота 7.</i> Чисельні методи розв'язання задач одновимірної оптимізації та задач безумовної оптимізації	4
<i>Тема 14.</i> Методи нелінійного програмування.	<i>Лабораторна робота 8.</i> Чисельні методи розв'язання задач нелінійного програмування	4

Тема 15. Методи лінійного програмування.	Лабораторна робота 9. Розв'язання задач лінійного програмування.	4
Тема 17. Моделювання. Основні поняття.	Лабораторна робота 10. Вивчення можливостей математичного пакета R	2
Тема 17. Моделювання. Основні поняття.	Лабораторна робота 11. Обробка та аналіз даних експерименту. Підбір параметрів розподілу.	4
Тема 18. Ідентифікація параметрів математичної моделі. Адекватність, чутливість, несуперечливість моделі.	Лабораторна робота 12. Ідентифікація параметрів моделей методом найменших квадратів	4
Тема 18. Ідентифікація параметрів математичної моделі. Адекватність, чутливість, несуперечливість моделі.	Лабораторна робота 13. Побудова багатофакторної регресійної моделі.	2
Тема 21. Імовірнісне моделювання. Моделювання випадкових процесів	Лабораторна робота 14. Дослідження імітаційних моделей.	4
Тема 22. Моделі розрахункових процесів та управління. Динамічні моделі, P, Q, F, A- схеми.	Лабораторна робота 15. Дослідження моделей, заснованих на диференціальних рівняннях (D-схемах)	2
Тема 24. Системи масового обслуговування. Середовище імітаційного моделювання GPSS World.	Лабораторна робота 16. Середовище імітаційного моделювання GPSS World. Моделювання найпростіших та багатоканальних систем масового обслуговування.	8
<b>Усього годин</b>		<b>56</b>

## 5. Порядок оцінювання результатів навчання

Система оцінювання сформованих компетентностей у студентів враховує види занять, які згідно з програмою навчальної дисципліни передбачають лекційні, та лабораторні 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 та лабораторних занять і оцінюється сумою набраних балів (максимальна сума – 60 балів; мінімальна сума, що дозволяє студенту складати іспит, – 35 балів);

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 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 лабораторних 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.

Екзаменаційний білет охоплює програму дисципліни і передбачає визначення рівня знань та ступеня опанування студентами компетентностей.

Кожен екзаменаційний білет складається із 3 практичних ситуацій (1 стереотипне, 1 діагностичне та одне евристичне завдання), які передбачають вирішення типових професійних завдань фахівця на робочому місці та дозволяють діагностувати рівень теоретичної підготовки студента і рівень його компетентності з навчальної дисципліни.

Результат семестрового екзамену оцінюється в балах (максимальна кількість – 40 балів, мінімальна кількість, що зараховується, – 25 балів) і проставляється у відповідній графі екзаменаційної "Відомості обліку успішності".

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

### 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		
60 – 63	E	задовільно	не зараховано
35 – 59	FX	незадовільно	
1 – 34	F		

Розподіл балів за тижнями згідно технологічної карти подано в табл.

### Розподіл балів за тижнями

Теми змістового модуля			Лекційні заняття	Лабораторні заняття	Захист індивідуального завдання	Письмова контрольна робота	Усього
Змістовий модуль 1. Чисельні методи	Теми 1-3	1 тиждень	1	0.5			1.5
	Тема 4	2 тиждень	0.5	1			1.5
	Теми 5-7	3 тиждень	1	0.5	2		3.5
	Тема 8	4 тиждень	0.5	1	2		3.5
	Теми 9-10	5 тиждень	1	0.5	2		3.5
Змістовий модуль 2. Методи оптимізації	Теми 11-12	6 тиждень	0.5	1		3	4.5
	Тема 13	7 тиждень	0.5	1	2		3.5
	Тема 14	8 тиждень	0.5	1	2		3.5
	Теми 15-16	9 тиждень	0.5	1	2		3.5
Змістовий модуль 3.	Тема 17	10 тиждень	0.5	0.5		3	4
	Тема 18	11 тиждень	0.5	1	2		3.5
	Тема 19	12 тиждень	0.5	1	2		3.5

	<b>Тема 20</b>	13 тиждень	0.5	0.5		3	1
	<b>Тема 21</b>	14 тиждень	0.5	1	2		3.5
	<b>Тема 22</b>	15 тиждень	0.5	0.5	2		3
	<b>Тема 23</b>	16 тиждень	0.5	1	2	3	6
	<b>Тема 24</b>	17 тиждень	0.5	1	2		3.5
			10	14	24	12	60
	Іспит						40
	<b>Усього</b>						100

## 5. Рекомендована література

### Основна

1. Бахвалов Н. С. Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков – М.: Бинوم, 2007. – 636 с.
2. Задачин В.М., Конюшенко І.Г. Навчальний посібник «Чисельні методи» – Харків: Вид. ХНЕУ, 2014. – 190 с.
3. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. – М.: Альтекс-А, 2004. – 384 с.
4. Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации. – М.: Наука, 1986. – 328 с.
5. Томашевський В.М. Моделювання систем. – Київ: Видавнича група ВНУ, 2005. – 349 с.
6. Фельдман Л. П. Чисельні методи в інформатиці / Л. П. Фельдман, А. І. Петренко, О. А. Дмитрієва – К.: Видавнича група ВНУ. – 2006. – 480 с.

### Додаткова

7. Амосов А. А. Вычислительные методы для инженеров: Учеб. Пособие / А. А. Амосов, Ю. А. Дубинський, Н. В. Копченова – М.: Высш. шк., 1994. – 544 с.
8. Гультяев А. MATLAB 5.2. Имитационное моделирование в среде Windows: Практическое пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 1999. – 288 с.
9. Дэннис Дж., Шнабель Р. Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений. – М.: Мир, 1988.
10. Кравченко П.П., Хусаинов Н.Ш. Имитационное моделирование вычислительных систем средствами GPSS/PC. – Таганрог: ТРТУ, 2000. – 116 с.
11. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управления запасами: учебн. пособие. – СПб: Питер, 2001. – 376 с.
12. Сытник В.Ф., Орленко Н.С. Имитационное моделирование: Учебно-методическое пособие – Киев: КНЕУ, 1999. – 208 с.
13. Томашевский В.Н., Жданова Е.Г., Жолдаков А.А. Решение практических задач методами компьютерного моделирования. – Киев: Изд-во "Корнійчук", 2001. – 268 с.
14. Томашевский В., Жданова Е. Имитационное моделирование в среде GPSS. – М.:Бестселлер, 2003. – 416 с.
15. Шикин Е.В., Плис А.И. Кривые и поверхности на экране компьютера. Руководство по слаймам для пользователей. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 1996.

16. Zadachyn V. Calculation of optimal path for parallel car parking / V. Zadachyn, O. Dorokhov // Transport and Telecommunication. – Volume 13. – 2012. – С. 303-309.

**Інформаційні ресурси в Інтернеті**

17. Quick-R – <http://www.statmethods.net/index.html>  
18. Statistics with R – [http://zoonek2.free.fr/UNIX/48\\_R/all.html](http://zoonek2.free.fr/UNIX/48_R/all.html)  
19. The Comprehensive R Archive Network – <http://cran.r-project.org>  
20. Сайт персональних навчальних систем ХНЕУ ім. С. Кузнеця – <https://pns.hneu.edu.ua/>