

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТОРГОВЕЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ**

Система забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти
сертифікована на відповідність ДСТУ ISO 9001:2015 / ISO 9001: 2015

Кафедра кібернетики та системного аналізу



МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ У НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

РОБОЧА ПРОГРАМА

третій (освітньо-
науковий) рівень

«доктор філософії»

спеціальність:

- 033 – Філософія
- 051 – Економіка
- 052 – Політологія
- 053 – Психологія
- 071 – Облік і оподаткування
- 072 – Фінанси, банківська справа та страхування
- 073 – Менеджмент
- 075 – Маркетинг
- 076 – Підприємництво, торгівля та біржова діяльність
- 081 – Право
- 181 - Харчові технології
- 122 - Комп'ютерні науки та інформаційні технології
- 281 – Публічне управління та адміністрування
- 292 – Міжнародні економічні відносини
- 293 – Міжнародне право

КИЇВ 2019

**Розповсюдження та тиражування без офіційного дозволу КНТЕУ
заборонено**

Автор: А. А. Роскладка, докт. екон. наук, проф.

Обговорено та схвалено на засіданні кафедри кібернетики та системного аналізу 11 березня 2019 р., протокол № 7.

Рецензент: В. Ф. Гамалій, *д.ф.-м.н., професор*

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ
У НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ**

**РОБОЧА ПРОГРАМА
для підготовки аспірантів**

**третій (освітньо-
науковий) рівень**

«доктор філософії»

спеціальність:

**033 – Філософія
051 – Економіка
052 – Політологія
053 – Психологія
071 – Облік і оподаткування
072 – Фінанси, банківська справа та страхування
073 – Менеджмент
075 – Маркетинг
076 – Підприємництво, торгівля та біржова діяльність
081 – Право
181 - Харчові технології
122 - Комп'ютерні науки та інформаційні технології
281 – Публічне управління та адміністрування
292 – Міжнародні економічні відносини
293 – Міжнародне право**

Автор: РОСКЛАДКА Андрій Анатолійович

Редактор
Комп'ютерна верстка

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 0,93. Тираж _____ пр. Зам.
Центр підготовки навчально-методичних видань КНТЕУ.
02156, Київ-156, вул. Кіото, 19.

(КОМПЕТЕНТНОСТІ), ІІ МІСЦЕ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ

Метою дисципліни «Математичне моделювання в наукових дослідженнях» є формування системи знань з методології та інструментарію побудови й використання різних типів математичних моделей.

Головним **завданням** дисципліни є вивчення основних принципів та інструментарію постановки задач, побудови математичних моделей, методів їх розв'язування та аналізу.

Предметом навчальної дисципліни «Математичне моделювання в наукових дослідженнях» є методологія та інструментарій побудови і розв'язування задач моделювання явищ, процесів та систем.

Компетентності, набуті у процесі вивчення дисципліни «Математичне моделювання в наукових дослідженнях»:

- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел;
- здатність до абстрактного мислення, аналізу, синтезу.
- здатність планувати та прогнозувати розвиток економічних систем (макро- та мікрорівня);
- здатність моделювати економічні процеси, системи, явища, використовуючи апарат математичного та комп'ютерного моделювання.

За результатами вивчення дисципліни аспіранти мають:

Знати:

- основні типи математичних моделей процесів і систем;
- основні принципи побудови математичних моделей;
- принципи системного підходу;
- етапи розв'язування складних системних задач;
- методи дослідження графових моделей систем;
- методи математичного моделювання та аналіз їх використання в різних галузях науки;
- послідовність побудови й перевірки коректності математичної моделі;
- основні моделі та методи прогнозування;
- принципи роботи в комп'ютерних системах моделювання.

Вміти:

- використовувати математичні методи дослідження різноманітних процесів;
- застосовувати теоретичні положення аналізу даних для розв'язування практичних задач моделювання;
- робити дослідження структурної схеми системи на основі графових моделей;
- здійснювати математичну постановку та розв'язувати задачі оптимізації показників;

- використовувати основні методи прогнозування для аналізу та дослідження станів соціально-економічних процесів в майбутньому;
- застосовувати експертні методи моделювання процесів;
- користуватися прикладними програмами *MS Excel*, *Curve Expert*, *MathCAD*, *Maple* та іншими для побудови і дослідження математичних моделей.

Місце дисципліни в освітньому процесі. Дисципліна «Математичне моделювання в наукових дослідженнях» базується на знаннях, отриманих у процесі вивчення таких дисциплін: «Вища та прикладна математика», «Економічна інформатика», «Офісні комп'ютерні технології».

2. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛІНИ ТА РОЗПОДІЛ ГОДИН ЗА ТЕМАМИ (ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН)

Для вивчення дисципліни відводиться 90 год. / 3 кредитів ECTS (лекцій – 16 год., практичних занять – 12 год., самостійної роботи – 62 год.), підсумковий контроль – залік.

Назва теми	Кількість годин				Форми контролю*
	Усього годин / кредитів	з них:			
		лекції	практичні заняття / МК	самостійна робота аспірантів	
Тема 1. Концептуальні аспекти математичного моделювання	6	2	0	4	Т, РМГ
Тема 2. Основи системного аналізу	14	2	2	10	Т, РМГ
Тема 3. Оптимізаційні методи і моделі	14	2	2	10	Т, РМГ
Тема 4. Математичні моделі прогнозування	14	4	2	8	Т, РМГ
Тема 5. Дослідження якості математичних моделей	14	2	2	10	Т, РМГ
Тема 6. Методи ранжування альтернатив	14	2	2	10	Т, РМГ
Тема 7. Експертні методи моделювання	14	2	2	10	Т, РМГ
Підсумковий контроль – залік					
Разом	90/3	16	12	62	х

Примітка:

Т – тестування; РМГ – робота в малих групах.

4. ТЕМАТИКА ТА ЗМІСТ ЛЕКЦІЙНИХ, ПРАКТИЧНИХ (СЕМІНАРСЬКИХ) ЗАНЯТЬ І САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ АСПІРАНТІВ

Результати навчання	Навчальна діяльність*	Робочий час аспіранта, год.	Оцінювання в балах
<p>Знати: основні типи математичних моделей процесів і систем</p> <p>Вміти: використовувати математичні методи дослідження різноманітних процесів</p>	<p>Тема 1. Концептуальні аспекти математичного моделювання</p> <p>План лекції № 1</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Поняття моделі і моделювання. 2. Математична модель, основні етапи процесу моделювання. 3. Класифікація моделей. 4. Основні типи математичних моделей. 5. Етапи математичного аналізу процесів, явищ, об'єктів і систем. <p>Список рекомендованих джерел: Основний: 4, 5. Додатковий: 11, 12, 16, 20. Інтернет-ресурси: 21-23.</p> <p>Самостійна робота аспірантів: вивчення та доповнення матеріалу лекції, підготовка до практичного заняття за питаннями теми, вивчення основної та додаткової літератури, підготовка до тестування.</p> <p>Індивідуальна робота: на основі опрацювання спеціалізованої літератури, фахових періодичних видань, Internet-джерел підготувати за допомогою програмного забезпечення (Microsoft PowerPoint, Prezi тощо) презентацію за темою «Концептуальні аспекти математичного моделювання».</p>	2	4

Результати навчання	Навчальна діяльність*	Робочий час аспіранта, год.	Оцінювання в балах
<p>Знати: принципи системного підходу; етапи розв'язування складних системних задач; методи дослідження графових моделей систем</p> <p>Вміти: робити дослідження структурної схеми системи на основі графових моделей</p>	<p>Тема 2. Основи системного аналізу</p> <p>План лекції № 2</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Структурна схема системи 2. Визначення квазімінору. 3. Алгоритм методу квазімінорів. 4. Знаходження множини всіх шляхів у системі. 5. Арифметика Шимбела. Визначення найкоротшого та найдовшого зі шляхів. <p>Список рекомендованих джерел:</p> <p>Основний: 3, 4. Додатковий: 12, 16. Інтернет-ресурси: 23.</p> <p>Самостійна робота аспірантів: підготовка до практичного заняття за питаннями теми, вивчення основної та додаткової літератури, інтернет-джерел, підготовка до тестування.</p> <p>Індивідуальна робота: на основі опрацювання спеціалізованої літератури, фахових періодичних видань, Internet-джерел підготувати за допомогою програмного забезпечення (Microsoft PowerPoint, Prezi тощо) презентацію за темою «Основи системного аналізу»</p>	2	6

Результати навчання	Навчальна діяльність*	Робочий час аспіранта, год.	Оцінювання в балах
	<p align="center">Навчальна діяльність* № 1</p> <p align="center">Побудова та аналіз структурних моделей систем</p> <p>Мета: використання методу квазімініорів для відшукування шляхів між двома визначеними елементами системи.</p> <p>Завдання: для заданої системи автошляхів обчислити всі можливі маршрути між двома визначеними містами; підрахувати кількість шляхів для системи, заданої матрицею суміжності її елементів; для заданої графової моделі системної плати ЕОМ за методом квазімініорів знайти систему шлейфів, які можуть з'єднувати дві визначені мікросхеми; обчислити для заданої системи шляхи між двома заданими вершинами.</p>	2	10
<p>Знати: основні принципи побудови математичних моделей; методи дослідження графових моделей систем</p> <p>Вміти: здійснювати математичну постановку та</p>	<p align="center">Тема 3. Оптимізаційні методи і моделі</p> <p align="center">План лекції № 3</p> <ol style="list-style-type: none"> Сутність теорії оптимізації. Загальна задача лінійного програмування. Методи розв'язування оптимізаційних задач. Програмні засоби оптимізації математичних моделей.. <p align="center">Список рекомендованих джерел:</p> <p>Основний: 1, 2, 6, 7. Додатковий: 9, 14, 19, 20. Інтернет-ресурси: 21-23.</p>	2	

Результати навчання	Навчальна діяльність*	Робочий час аспіранта, год.	Оцінювання в балах
розв'язувати задачі оптимізації показників	<p>Самостійна робота аспірантів: підготовка до практичного заняття за питаннями теми, вивчення основної та додаткової літератури, підготовка до тестування.</p> <p>Індивідуальна робота: на основі опрацювання спеціалізованої літератури, фахових періодичних видань, Internet-джерел підготувати за допомогою програмного забезпечення (Microsoft PowerPoint, Prezi тощо) презентацію за темою «Оптимізаційні методи і моделі»</p> <p>Практичне заняття № 2</p> <p>Оптимізаційні методи і моделі</p> <p>Мета: побудова математичних моделей оптимізаційних задач та їх програмна реалізація.</p> <p>Завдання: для заданої <i>deskриптивної моделі скласти математичну модель і здійснити її оптимізацію в одному з програмних середовищ.</i></p>	10	6
Знати: методи математичного моделювання та аналіз їх використання в різних галузях науки; основні моделі та методи прогнозування	<p>Тема 4. Математичні моделі прогнозування</p> <p>План лекції № 4</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Основи кореляційно-регресійного аналізу. 2. Аналіз часових та просторових рядів. 3. Методи лінійного регресійного аналізу. <p>План лекції № 5</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Багатофакторні регресійні моделі. 2. Матричний метод найменших квадратів. 	2	10

Результати навчання	Навчальна діяльність*	Робочий час аспіранта, год.	Оцінювання в балах
<p>Вміти: використовувати основні методи прогнозування для аналізу та дослідження станів соціально-економічних процесів в майбутньому</p>	<p>3. Багатофакторне прогнозування 4. Коефіцієнт множинної кореляції.</p> <p>Список рекомендованих джерел: Основний: 5. Додатковий: 10, 15. Інтернет-ресурси: 24.</p> <p>Самостійна робота аспірантів: підготовка до практичного заняття за питаннями теми, вивчення основної та додаткової літератури, підготовка до тестування.</p> <p>Індивідуальна робота: на основі опрацювання спеціалізованої літератури, фахових періодичних видань, Internet-джерел підготувати за допомогою програмного забезпечення (Microsoft PowerPoint, Prezi тощо) презентацію за темою «Математичні моделі прогнозування»</p> <p>Практичне заняття № 3 Моделі регресійного аналізу</p> <p>Мета: побудова прогнозних моделей у вигляді лінійних функцій.</p> <p>Завдання: на основі статистичних даних побудувати економіко-математичну модель прогнозу залежності показника Y від фактору X. Для обчислення коефіцієнтів моделі використати: а) метод натягнутої нитки; б) метод сум; в) метод найменших квадратів.</p>	8	6
	<p>Практичне заняття № 3 Моделі регресійного аналізу</p> <p>Мета: побудова прогнозних моделей у вигляді лінійних функцій.</p> <p>Завдання: на основі статистичних даних побудувати економіко-математичну модель прогнозу залежності показника Y від фактору X. Для обчислення коефіцієнтів моделі використати: а) метод натягнутої нитки; б) метод сум; в) метод найменших квадратів.</p>	2	10

Результати навчання	Навчальна діяльність*	Робочий час аспіранта, год.	Оцінювання в балах
	<p>Обчислити прогнозне значення показника для заданого значення фактору. Побудувати в одній системі координат:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) точковий графік початкових статистичних даних; 2) графіки регресійних прямих, отриманих різними методами; 3) прогнозні значення показника, отримані різними методами. 		
<p>Знати: послідовність побудови й перевірки коректності математичної моделі; основні моделі та методи прогнозування;</p>	<p>Тема 5. Дослідження якості математичних моделей</p> <p style="text-align: center;">План лекції № 6</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Критерії якості математичних моделей. 2. Помилка моделі. 3. Коефіцієнти детермінації та кореляції. 4. Перевірка моделі на адекватність. 5. Перевірка значущості коефіцієнтів моделі. <p style="text-align: center;">Список рекомендованих джерел:</p> <p>Основний: 5. Додатковий: 10, 13, 15, 18. Інтернет-ресурси: 24.</p>	2	
<p>Вміти: досліджувати якість, адекватність та значущість математичних моделей</p>	<p>Самостійна робота аспірантів: підготовка до практичного заняття за питаннями теми, вивчення основної та додаткової літератури, підготовка до тестування.</p> <p>Індивідуальна робота: на основі опрацювання спеціалізованої</p>	10	

Результати навчання	Навчальна діяльність*	Робочий час аспіранта, год.	Оцінювання в балах
	<p data-bbox="304 678 488 1742">літератури, фахових періодичних видань, Internet-джерел підготувати за допомогою програмного забезпечення (Microsoft PowerPoint, Презі тощо) презентацію за темою «Моделі регресійного аналізу»</p> <p data-bbox="488 913 571 1503">Практичне заняття № 4 Специфікація нелінійних моделей</p> <p data-bbox="619 678 699 1742">Мета: перевірка критеріїв якості моделей та опанування методів нелінійного регресійного аналізу.</p> <p data-bbox="746 678 911 1742">Завдання: <i>На основі статистичних даних фактору і показника знайти найкращий вид математичної функції, який відображає залежність показника від фактору та дослідити основні характеристики якості регресійних моделей.</i></p>	6	
<p data-bbox="911 1756 1177 2101">Знати: принципи ієрархічного підходу до розв'язування складних системних задач</p> <p data-bbox="1225 1756 1431 2101">Вміти: Використовувати методи і процедури ранжування альтернатив при</p>	<p data-bbox="911 846 994 1554">Тема 6. Методи ранжування альтернатив План лекції № 7</p> <ol data-bbox="1010 1126 1217 1682" style="list-style-type: none"> 1. Декомпозиція проблеми. 2. Побудова ієрархічної моделі. 3. Експертне оцінювання переваг 4. Метод аналізу ієрархій. 5. Розрахунок міри узгодженості висновків. <p data-bbox="1225 869 1262 1435">Список рекомендованих джерел:</p> <p data-bbox="1270 1473 1307 1720">Основний: 4, 5.</p> <p data-bbox="1315 1301 1351 1720">Додатковий: 11-13, 16, 20.</p>	2	
		10	

Результати навчання	Навчальна діяльність*	Робочий час аспіранта, год.	Оцінювання в балах
дослідженні складних ієрархічних систем	<p>Самостійна робота аспірантів: підготовка до практичного заняття за питаннями теми, вивчення основної та додаткової літератури, підготовка до тестування.</p> <p>Індивідуальна робота: на основі опрацювання спеціалізованої літератури, фахових періодичних видань, Internet-джерел підготувати за допомогою програмного забезпечення (Microsoft PowerPoint, Prezi тощо) презентацію за темою «Методи ранжування альтернатив».</p> <p>Практичне заняття № 5 Метод аналізу ієрархій</p> <p>Мета: побудова ієрархічних моделей розв'язання проблеми на основі ранжування альтернатив.</p> <p>Завдання: Розрахувати, використовуючи метод аналізу ієрархій, пріоритети чотирьох альтернатив забезпечення банківського кредиту (А – іноземна валюта; Б – дорожочінні метали, В – цінні папери; Г – нерухомість) у задачі багатокритеріальної оптимізації з такими критеріями:</p> <p><i>І група економічних критеріїв:</i> А1 – зменшення фінансового ризику від кредитування; А2 – ймовірність збільшення вартості застави; А3 – повернення вартості; А4 – ліквідність застави;</p>	2	6
		10	

Результати навчання	Навчальна діяльність*	Робочий час аспіранта, год.	Оцінювання в балах
	<p><i>II група фізичних критеріїв:</i></p> <p><i>A5 – відсутність зносу;</i></p> <p><i>A6 – наявність (необхідність) місяця для зберігання застави;</i></p> <p><i>III група юридичних критеріїв:</i></p> <p><i>A7 – законодавчо оформлене право забезпечення;</i></p> <p><i>A8 – гарантії на використання забезпечення.</i></p>		
<p>Знати:</p> <p>критерії якості та об'єктивності експертних оцінок; індивідуальні та групові критерії прийняття рішень в умовах невизначеності</p> <p>Вміти:</p> <p>застосовувати експертні методи моделювання процесів; користуватися прикладними програмами <i>MS Excel, Curve Expert,</i></p>	<p>Тема 7. Експертні методи моделювання</p> <p>План лекції № 8</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Допустимі, ефективні та оптимальні рішення. 2. Індивідуальний вибір в умовах невизначеності. Критерії Гурвіца, Севіджа, песимізму, оптимізму максимуму середнього вирашу. 3. Груповий вибір в умовах невизначеності. Критерій Курно, критерій Парето та Еджворта. 4. Методи оцінки узгодженості думок експертів. Коефіцієнт конкордації. <p>Список рекомендованих джерел:</p> <p>Основний: 2, 5.</p> <p>Додатковий: 12, 13, 17.</p> <p>Інтернет-ресурси: 23.</p> <p>Самостійна робота аспірантів: підготовка до практичного заняття за питаннями теми, вивчення основної та додаткової літератури, підготовка до тестування.</p> <p>Індивідуальна робота: на основі опрацювання спеціалізованої літератури, фахових періодичних видань, Internet-джерел</p>	2	6
		10	

Результати навчання	Навчальна діяльність*	Робочий час аспіранта, год.	Оцінювання в балах
<p><i>MathCAD, Maple</i> та іншими для побудови і дослідження математичних моделей</p>	<p>підготувати за допомогою програмного забезпечення (Microsoft PowerPoint, Prezi тощо) презентацію за темою «Експертні методи моделювання»</p> <p style="text-align: center;">Практичне заняття № 6 Експертні методи моделювання</p> <p>Мета: визначення оптимальних рішень з використанням індивідуальних та групових оцінок.</p> <p>Завдання: Наведено значення функції переваг для чотирьох ситуацій, а також імовірності настання кожної з них наведені в таблиці. Визначити оптимальне рішення з трьох можливих:</p> <p>a) за критерієм песимізму (Вальда); b) за критерієм оптимізму (домінуючого результату); c) за критерієм Гурвіца з коефіцієнтом песимізму, рівним 0,25. d) за критерієм Ходжеса-Лемана.</p> <p>Визначити оптимальний розподіл пріоритетів об'єктів на основі групових експертних оцінок.</p>	2	10
Підсумковий контроль – залік			
Разом		90	100

Примітка:

* Курсивом виділено питання, які розглядатимуться із застосуванням інтерактивних методів навчання (використання комп'ютерної техніки при виконанні практичних завдань, презентація, кейс-методи, робота в малих групах).

5. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

Основний

1. Боровик О. В. Дослідження операцій в економіці: Навч. посібник для студентів вищих навч. закладів / О. В. Боровик, Л. В. Боровик. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 423 с.
2. Зайченко Ю. П. Исследование операций / Ю. П. Зайченко. – Киев: Издательский дом «Слово», 2003. – 688 с.
3. Здрок В. В. Економетрія / В. В. Здрок, Т. Я. Лагоцький. – К.: Знання, 2014. – 540 с.
4. Катренко А. В. Системний аналіз об'єктів та процесів комп'ютеризації: Підручник / А. В. Катренко. – Львів: Новий Світ-2000, 2013. – 396 с.
5. Клебанова Т. С. Моделирование экономической динамики: учеб. пособие / Т. С. Клебанова, Н. А. Дубровина, О. Ю. Полякова, Е. В. Раевна, А. В. Милов. – Х.: ИД "ИНЖЭК", 2005. – 244 с.
6. Ульянченко, О. В. Дослідження операцій в економіці: Підручник для студентів вузів / О. В. Ульянченко. – Х.: Гриф, 2003. – 578 с.
7. Чемерис, А. Методи оптимізації в економіці: Навч. посібник для студентів вищих навч. закладів / А. Чемерис, Р. Юринець, О. Мицишин. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 150 с.

Додатковий

8. Rajagopal K. Operations research / K. Rajagopal. – PHI Learning Pvt. Ltd., 2012. – 608 p.
9. Голяков А. П. Економіко-математичне моделювання світо-господарських процесів: навч. посібник / А. П. Голяков. – К.: Знання, 2009. – 222 с.
10. Грабовецький Б. Є. Економічне прогнозування і планування: навч. посіб. / Б. Є. Грабовецький – К.: Центр навчальної літератури, 2003. – 188 с.
11. Григорків В. С. Моделювання економіки: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / В. С. Григорків. – Чернівці: ЧНУ, 2009. – 320 с.
12. Грисенко М. В. Математика для економістів. Методи й моделі, приклади й задачі: навч. посіб. / М. В. Грисенко. – К.: Либідь, 2007. – 720 с.
13. Гунько О. В. Використання середовища MathCAD при вивченні навчальної дисципліни «Математика для економістів»: навч.-практ. посіб. / О. В. Гунько. – Харків: ХНЕУ, 2010. – 288 с.
14. Дослідження операцій: Методичні рекомендації до самостійної роботи студентів / Каф. вищої та прикладної математики; уклад. С. В. Білоусова, Ю. А. Гладка, Т. В. Ковальчук та ін. – Київ: КНТЕУ, 2008. – 54 с.
15. Єріна А. М. Статистичне моделювання та прогнозування: навч. посіб. / А. М. Єріна. – Тернопіль: Университетская книга, 2005. – 170 с.
16. Ковальчук К. Ф., Лозовская Л. І, Савчук Л. М., Аберніхіна І. Г. Моделі і методи прийняття управлінських рішень. - Дніпропетровськ: Редакційно-видавничий відділ НМетАУ. – 2010. – 116 с.

17. Машина Н. І. Математичні методи в економіці : навч. посібник / Н. І. Машина. – К.: Центр навчальної літератури, 2003. – 148 с.
18. Медведєв М. Г. Економетричні методи моделювання : навч. посібник / М. Г. Медведєв. – К.: Вид-во Європ. ун-ту, 2003. – 140 с.
19. Наконечний С. І. Математичне програмування / С. І. Наконечний, С. С. Савіна. – К.: КНЕУ, 2005. – 452 с.
20. Сытник В. Ф. Математические модели в планировании и управлении предприятиями / В. Ф. Сытник, Е. А. Карагодова. – Киев: Вища шк., 1985. – 214 с.

Internet-ресурси

21. Naidu N. V. R. Operations Research / N. V. R. Naidu, G. I. K. Rajendra. – International Pvt Ltd, 2010. – 180 p. – Режим доступу: <https://www.ikbooks.com/openPdf/9788189866426>
22. Rajagopal K. Operations research / K. Rajagopal. – PHI Learning Pvt. Ltd., 2012. – 608 p. – Режим доступу: https://books.google.com.ua/books/about/OPERATIONS_RESEARCH.html?id=rZfB5DRqxU8C&redir_esc=y
23. Sharma J. K. Operations Research: Theory and Applications / J. K. Sharma. – Macmillan Publishers India Limited, 2009. – 976 p. – Режим доступу: https://books.google.com.ua/books/about/Operations_Research_3_Edition_Theory_And.html?id=kfRUPgAACAAJ&redir_esc=y
24. Curve Expert, Version 1.34: A comprehensive curve fitting system for Windows [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www2.msstate.edu/~dgh2/cvxpt.htm>

* Курсивом виділені джерела, що є у бібліотеці КНТЕУ