

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І.І.МЕЧНИКОВА
Кафедра комп'ютерних систем та технологій



“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної роботи

_____ 2023 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ОК26. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
Галузь знань	12 «Інформаційні технології»
Спеціальність	122- Комп'ютерні науки
Освітньо-професійна програма	Комп'ютерні науки

ОНУ
Одеса
2023

Робоча програма навчальної дисципліни «Моделювання систем». – Одеса: ОНУ, 2023. – 18 с.

Розробник: професор кафедри комп'ютерних систем та технологій, д.т.н., професор Приходько Сергій Борисович

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри комп'ютерних систем та технологій

Протокол № від “30 ” серпня 2023 р.

Завідувач кафедри _____ (Юрій ГУНЧЕНКО)

Погоджено із гарантом ОПП «Комп'ютерні науки»

_____ (Алла КАМЕНЄВА)

Схвалено навчально-методичною комісією (НМК) ФМФІТ

Протокол № 1 від “ 31 ” серпня 2023 р.

Голова НМК _____ (Алла РАЧИНСЬКА)

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри комп'ютерних систем та технологій

Протокол № ___ від. “ ___ ” _____ 20__ р.

Завідувач кафедри _____ (_____)

Переглянуто та затверджено на засіданні кафедри комп'ютерних систем та технологій

Протокол № ___ від. “ ___ ” _____ 20__ р.

Завідувач кафедри _____ (_____)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, спеціалізація, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		<i>денна форма навчання</i>
Загальна кількість: кредитів – 4,5 годин –135 змістових модулів – 3	Галузь знань 12 – Інформаційні технології Спеціальність 122 - Комп'ютерні науки Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)	обов'язкова
		<i>Рік підготовки:</i>
		3
		<i>Семестр</i>
		5
		<i>Лекції</i>
		34 год.
		<i>Практичні, семінарські</i>
		0 год.
		<i>Лабораторні</i>
		34 год.
		<i>Самостійна робота</i>
		67 год.
Форма підсумкового контролю: <i>екзамен</i>		

2 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Мета викладання дисципліни «Моделювання систем» полягає у засвоєнні основних положень, методів і засобів моделювання систем та застосуванні їх на практиці.

Завданнями дисципліни «Моделювання систем» є: опанувати знання про основні поняття моделювання систем; принцип системного підходу в моделюванні систем; основні підходи до моделювання систем; математичне моделювання систем і процесів; статистичне моделювання систем і процесів на комп'ютері; ідентифікацію систем; навчити розробляти програмні генератори псевдовипадкових чисел та перевіряти їх якість; моделювати на комп'ютері випадкові процеси, детерміновані та стохастичні системи; виконувати параметричну ідентифікацію систем; здійснювати аналіз та обробку результатів моделювання систем.

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

1. Інтегральна компетентність:

ІК. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми у галузі комп'ютерних наук або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів інформаційних технологій і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

2. Загальні компетентності:

ЗК9. Здатність працювати в команді.

ЗК11. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

Спеціальні компетентності:

СК4. Здатність використовувати сучасні методи математичного моделювання об'єктів, процесів і явищ, розробляти моделі й алгоритми чисельного розв'язування задач математичного моделювання, враховувати похибки наближеного чисельного розв'язування професійних задач.

СК5. Здатність здійснювати формалізований опис задач дослідження операцій в організаційно-технічних і соціально-економічних системах різного призначення, визначати їх оптимальні розв'язки, будувати моделі оптимального управління з урахуванням змін економічної ситуації, оптимізувати процеси управління в системах різного призначення та рівня ієрархії.

СК7. Здатність застосовувати теоретичні та практичні основи методології та технології моделювання для дослідження характеристик і поведінки складних об'єктів і систем, проводити обчислювальні експерименти з обробкою й аналізом результатів.

СК15. Здатність до аналізу та функціонального моделювання бізнес- процесів, побудови та практичного застосування функціональних моделей організаційно-

економічних і виробничо-технічних систем, методів оцінювання ризиків їх проектування.

3. Програмні результати навчання

ПР4. Використовувати методи обчислювального інтелекту, машинного навчання, нейромережевої та нечіткої обробки даних, генетичного та еволюційного програмування для розв'язання задач розпізнавання, прогнозування, класифікації, ідентифікації об'єктів керування тощо.

ПР5. Проектувати, розробляти та аналізувати алгоритми розв'язання обчислювальних та логічних задач, оцінювати ефективність та складність алгоритмів на основі застосування формальних моделей алгоритмів та обчислюваних функцій.

ПР7. Розуміти принципи моделювання організаційно-технічних систем і операцій; використовувати методи дослідження операцій, розв'язання одно- та багатокритеріальних оптимізаційних задач лінійного, цілочисельного, нелінійного, стохастичного програмування..

У результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти повинен

знати:

- методології та сучасні технології моделювання;
- методи проектування моделей складних систем;
- основні класи математичних моделей і методи моделювання систем;
- принципи побудови математичних та імітаційних моделей процесів функціонування систем, методи та етапи їх формалізації та алгоритмізації;
- програмні засоби реалізації методів математичного та імітаційного моделювання;
- інформаційні технології, що забезпечують реалізацію методів математичного та імітаційного моделювання;

вміти:

- застосовувати методи моделювання складних об'єктів і систем з використанням відповідного програмного забезпечення;
- оцінювати ступінь повноти, адекватності, істинності та реалізованості моделей реальних систем.
- вибирати та використовувати методи математичного моделювання при проектуванні та експлуатації систем;
- розробляти алгоритми для моделювання технічних, технологічних, організаційних, інформаційних систем;
- застосовувати моделі для дослідження різноманітних систем і процесів.

3. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовий модуль 1. Основні поняття моделювання систем та підходи до побудови моделей систем

Тема 1. Вступ. Основні поняття моделювання систем

Інформація щодо занять з дисципліни; вимог з оформлення завдань (постановку задачі, методику рішення задачі, алгоритм рішення задачі, побудову програми за розробленим алгоритмом, верифікацію програми, аналіз результатів, висновки); поточний та кінцевий контроль успішності.

Мета та завдання дисципліни. Основні поняття моделювання систем. Фізичне, абстрактне, математичне та імітаційне моделювання. Основні підходи до побудови математичних моделей систем. Похибки, які виникають при моделюванні систем на комп'ютері. Оцінювання машинного епсілон.

Тема 2. Основні підходи до побудови математичних моделей систем

Неперервно-детерміновані моделі. Неперервно-стохастичні моделі. Дискретно-детерміновані моделі. Дискретно-стохастичні моделі. Ідентифікація систем.

Тема 3. Неперервно-детерміновані моделі та їх побудова

Неперервно-детерміновані моделі. Приклади побудови неперервно-детермінованих моделей. Реалізація неперервно-детермінованих моделей на комп'ютері.

Змістовий модуль 2. Статистичне моделювання систем

Тема 4. Статистичне моделювання систем на комп'ютері

Загальна характеристика метода статистичного моделювання систем. Стохастичні моделі (регресійна модель, СДР, СМО). Способи генерування випадкових чисел. Псевдовипадкові числа та процедури їх генерування на комп'ютері. Перевірка якості генераторів псевдовипадкових чисел.

Тема 5. Перевірка якості генераторів псевдовипадкових чисел

Необхідність перевірки якості генераторів псевдовипадкових чисел. Існуючі тести для оцінювання якості генераторів псевдовипадкових чисел: графічні та оціночні тести. Критерії перевірки гіпотези про закон розподілу. Перевірка незалежності елементів отриманої псевдовипадкової послідовності.

Тема 6. Моделювання випадкових величин

Характеристики, які використовують для моделювання випадкових величин. Моделювання дискретних випадкових величин. Моделювання неперервних випадкових величин. Метод виключень. Моделювання систем випадкових величин.

Тема 7. Моделювання гаусівських випадкових величин

Характеристики, які використовують для моделювання гаусівської випадкової величини. Методи моделювання гаусівських випадкових величин. Моделювання систем гаусівських випадкових величин.

Тема 8. Моделювання випадкових процесів

Випадкова функція. Випадковий процес. Характеристики випадкових процесів, які використовуються для їх моделювання. Статистичне моделювання

випадкових процесів на комп'ютері. Стохастичне диференціальне рівняння. Білий шум. Моделювання білого шуму на комп'ютері.

Тема 9. Моделювання стаціонарних випадкових процесів

Метод формуючих фільтрів. Моделювання стаціонарних випадкових процесів за методом формуючих фільтрів. Визначення початкового значення кроку інтегрування за часом при моделювання випадкових процесів. Умови збіжності при моделювання випадкових процесів за різницевиими рівняннями.

Тема 10. Побудова неперервно-стохастичної моделі випадкового процесу

Побудова СДР випадкового процесу за методом формуючих фільтрів. Побудова різницевих рівнянь для моделювання випадкового процесу.

Тема 11. Моделювання стохастичних диференційних систем

Статистичне моделювання стохастичних систем на комп'ютері. Моделювання стохастичних диференційних систем (СДС). Моделювання випадкових впливів на систему. Моделювання випадкового впливу на систему за допомогою білого шуму. Визначення інтенсивності білого шуму у разі його застосування у якості моделі випадкового впливу на систему. Визначення початкового значення кроку інтегрування за часом при моделювання СДС у разі застосування різних моделей випадкових впливів. Умови збіжності при моделювання СДС за різницевиими рівняннями у разі застосування різних моделей випадкових впливів.

Змістовий модуль 3. Ідентифікація систем як методологія побудови їх моделей

Тема 12. Ідентифікація стохастичних систем

Задача ідентифікації. Класифікація ідентифікації. Структурна ідентифікація. Параметрична ідентифікація. Існуючі підходи до вирішення задач ідентифікації систем і процесів. Функція втрат та її застосування для вирішення задач ідентифікації систем і процесів. Функція правдоподібності та її застосування для вирішення задач ідентифікації систем і процесів. Побудова функції правдоподібності.

Тема 13. Методи параметричної ідентифікації стохастичних систем

Існуючі методи параметричної ідентифікації стохастичних систем. Оцінювання параметрів математичних моделей за методом найменших квадратів, за методом максимальної правдоподібності, за методом моментів, за узагальненим методом моментів.

Тема 14. Оцінювання параметрів математичних моделей стохастичних систем як задача нелінійної оптимізації

Методи оптимізації (лінійної, нелінійної, безумовної, умовної). Застосування методів нелінійної оптимізації для оцінювання параметрів математичних моделей стохастичних систем.

Тема 15. Параметрична ідентифікація нелінійної стохастичної диференціальної системи

Приклад параметричної ідентифікації нелінійної стохастичної диференціальної системи.

Тема 16. Побудова математичних моделей стохастичних систем як задача структурної ідентифікації

Задача структурної ідентифікації. Побудова математичних моделей стохастичних систем.

Тема 17. Заключна. Побудова математичних моделей на основі нормалізуючих перетворень

Нормалізуючі перетворення та їх застосування до побудова математичних моделей стохастичних систем. Приклади побудови математичних моделей стохастичних систем на основі нормалізуючих перетворень.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви тем	Кількість годин									
	Денна форма					Заочна форма				
	Усього го	у тому числі				Усього	у тому числі			
		л	п/с	лаб	сп		Л	п/с	лаб	сп
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Змістовий модуль 1. Основні поняття моделювання систем та підходи до побудови моделей систем										
Тема 1. Вступ. Основні поняття моделювання систем	10	2		2	6					
Тема 2. Основні підходи до побудови математичних моделей систем	10	2		2	6					
Тема 3. Неперервно-детерміновані моделі та їх побудова.	12	2		4	6					
Разом за модулем 1	32	6		8	18					
Змістовий модуль 2. Статистичне моделювання систем										
Тема 4. Статистичне моделювання систем на комп'ютері	8	2		2	4					
Тема 5. Перевірка якості генераторів псевдовипадкових чисел	8	2		2	4					
Тема 6. Моделювання випадкових величин	8	2		2	4					
Тема 7. Моделювання гаусівських випадкових величин	8	2		2	4					
Тема 8. Моделювання випадкових процесів	8	2		2	4					
Тема 9. Моделювання стаціонарних	8	2		2	4					

випадкових процесів										
Тема 10. Побудова неперервно-стохастичної моделі випадкового процесу	8	2		2	4					
Тема 11. Моделювання стохастичних диференціальних систем	12	2		6	4					
Разом за модулем 2	68	16		20	32					
Змістовий модуль 3. Ідентифікація систем як методологія побудови їх моделей										
Тема 12. Ідентифікація стохастичних систем	4	2			2					
Тема 13. Методи параметричної ідентифікації стохастичних систем	6	2		2	2					
Тема 14. Оцінювання параметрів математичних моделей стохастичних систем як задача нелінійної оптимізації	6	2		2	2					
Тема 15. Параметрична ідентифікація нелінійної стохастичної диференціальної системи	6	2		2	2					
Тема 16. Побудова математичних моделей стохастичних систем як задача структурної ідентифікації	5	2			3					
Тема 17. Заключна. Побудова математичних моделей на основі нормалізуючих перетворень	8	2			6					
Разом за модулем 3	35	12		6	17					
<i>Усього годин</i>	135	34		34	67					

* – за наявності

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	Оцінювання машинного епсілон	2
2	Моделювання прямокутного сигналу за допомогою неперервно-детермінованої моделі	6
3	Моделювання випадкової величини з рівномірним розподілом	4
4	Моделювання гаусівської випадкової величини	4
5	Моделювання стаціонарного випадкового процесу	6
6	Моделювання нелінійної стохастичної диференціальної системи	6
7	Оцінювання параметрів моделі нелінійної стохастичної диференціальної системи	6
Разом		34

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Тема 1. Вступ. Основні поняття моделювання систем	6
2	Тема 2. Основні підходи до побудови математичних моделей систем	6
3	Тема 3. Неперервно-детерміновані моделі та їх побудова.	6
4	Тема 4. Статистичне моделювання систем на комп'ютері	4
5	Тема 5. Перевірка якості генераторів псевдовипадкових чисел	4
6	Тема 6. Моделювання випадкових величин	4
7	Тема 7. Моделювання гаусівських випадкових величин	4
8	Тема 8. Моделювання випадкових процесів	4
9	Тема 9. Моделювання стаціонарних випадкових процесів	4
10	Тема 10. Побудова неперервно-стохастичної моделі випадкового процесу	4
11	Тема 11. Моделювання стохастичних диференціальних систем	4
12	Тема 12. Ідентифікація стохастичних систем	4
13	Тема 13. Методи параметричної ідентифікації стохастичних систем	2
14	Тема 14. Оцінювання параметрів математичних моделей стохастичних систем як задача нелінійної оптимізації	2
15	Тема 15. Параметрична ідентифікація нелінійної стохастичної диференціальної системи	2
16	Тема 16. Побудова математичних моделей стохастичних систем як задача структурної ідентифікації	3

17	Тема 17. Заключна. Побудова математичних моделей на основі нормалізуючих перетворень	4
Разом		67

9. Методи навчання

Підготовка студентів здійснюється на лекційних та лабораторних заняттях, але у значній мірі покладається на самостійне вивчення матеріалу студентами денної форми навчання протягом семестру.

Під час викладання дисципліни використовуються словесні та наочні методи навчання: лекції, бесіда, пояснення, робота з літературними джерелами.

Під час проведення лекцій використовуються наступні методи навчання: пояснювально-ілюстративний метод, інформаційно-рецептивний; репродуктивний метод (репродукція - відтворення); метод проблемного викладу; частково-пошуковий метод.

10. Методи контролю

Поточний та підсумковий контроль здійснюється в результаті виконання лабораторних робіт. Поточний контроль: опитування, виконання лабораторних робіт; тестові завдання. Форми оцінювання: усне опитування, перевірка лабораторної роботи, тестування.

11. Питання для підсумкового контролю

1. Що таке математичне, імітаційне моделювання (модель, система, процес)?
2. Принцип системного підходу в моделюванні систем.
3. Основні підходи до моделювання систем.
4. Основні підходи до побудови математичних моделей.
5. Неперервно-детерміновані моделі.
6. Неперервно-стохастичні моделі.
7. Дискретно-детерміновані моделі.
8. Дискретно-стохастичні моделі.
9. Похибки, які виникають при моделюванні систем на комп'ютері.
10. Що таке випадкова величина?
11. Що таке функція розподілу випадкової величини?
12. Яка випадкова величина є неперервною?
13. Що таке щільність ймовірності неперервної випадкової величини?
14. Від якої кількості параметрів залежить рівномірний розподіл?
15. Що таке довірча ймовірність, рівень значимості?
16. Що таке псевдовипадкові числа?
17. Чим відрізняються псевдовипадкові числа від випадкових?
18. Назвіть способи генерування випадкових чисел.
19. Наведіть приклад лінійного конгруентного генератора псевдовипадкових чисел.
20. Для чого здійснюється перевірка якості генераторів псевдовипадкових чисел?
21. Як перевіряють якість генераторів псевдовипадкових чисел?
22. Які параметри характеризують якість генератора псевдовипадкових чисел?

23. Чим відрізняються оціночні тести від графічних тестів?
24. В чому полягає перевага оціночних тестів?
25. Поясніть критерій χ^2 (критерій Пірсона).
26. Як визначити критичне значення χ^2 ?
27. Поясніть суть методу відбракування.
28. В чому недоліки методу відбракування?
29. Яку вибірку вважають малою (великою)?
30. За яким критерієм можна перевірити гіпотезу відносно нормальності закону розподілу ймовірностей у разі великої (малої) вибірки?
31. Як визначити вибіркочну дисперсію (незміщену точкову оцінку дисперсії) та точкову оцінку середнього квадратичного відхилення випадкової величини?
32. Як знайти оцінки параметрів розподілу Гауса за гістограмою?
33. Що таке довірчий інтервал, довірча ймовірність, рівень значимості?
34. Як визначають для нормальної генеральної сукупності α %-ві довірчі границі точкової оцінки математичного сподівання?
35. Як визначають для нормальної генеральної сукупності α %-ві довірчі границі точкової оцінки середнього квадратичного відхилення?
36. Що таке квантіль розподілу?
37. Що таке випадковий процес?
38. Які припущення використовують при аналізі випадкових процесів?
39. Дайте визначення стаціонарного випадкового процесу у широкому та вузькому розумінні.
40. Поясніть властивість ергодичності.
41. Що таке кореляційна функція?
42. Що таке спектральна щільність?
43. Що таке білий шум?
44. Як моделюють білий шум?
45. Що таке стохастичне диференціальне рівняння (СДР)?
46. Для чого СДР 2-го порядку перетворюють у систему двох СДР 1-го порядку?
47. Поясніть метод Ейлера.
48. Як визначити початкове значення кроку інтегрування за часом Δt ?
49. Як обрати крок інтегрування за часом Δt для нового прогону?
50. Який критерій збіжності використовують при знаходженні чисельного рішення СДР за методом Ейлера?
51. Яку систему називають стохастичною диференціальною системою?
52. Наведіть приклад математичної моделі, яка описує поведінку динамічного об'єкту при дії на нього випадкових впливів.
53. Чому у якості моделі випадкового впливу на систему можна використовувати білий шум?
54. Як здійснити моделювання випадкового впливу на систему за допомогою білого шуму?
55. Як знайти інтенсивність білого шуму у разі його застосування у якості моделі випадкового впливу на систему?
56. Задача ідентифікації. Класифікація ідентифікації.

57. Задача параметричної ідентифікації стохастичних систем та методи її рішення.
58. Задача ідентифікації. Класифікація ідентифікації.
59. Структурна ідентифікація.
60. Параметрична ідентифікація.
61. Підходи до вирішення задач ідентифікації систем і процесів.
62. Функція втрат та її застосування для вирішення задач ідентифікації систем і процесів.
63. Функція правдоподібності та її застосування для вирішення задач ідентифікації систем і процесів.
64. Побудова функції правдоподібності.
65. Існуючі методи параметричної ідентифікації стохастичних систем.
66. Оцінювання параметрів математичних моделей за методом найменших квадратів.
67. Оцінювання параметрів математичних моделей за методом максимальної правдоподібності.
68. Оцінювання параметрів математичних моделей за методом моментів.

12. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточний та періодичний контроль																	Підсумковий контроль (іспит)	Сума балів
Змістовий модуль 1			Змістовий модуль 2								Змістовий модуль 3							
Т 1	Т 2	Т 3	Т 4	Т 5	Т 6	Т 7	Т 8	Т 9	Т 10	Т 11	Т 12	Т 13	Т 14	Т 15	Т 16	Т 17	30	100
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
Контрольна робота за змістовим модулем 1 - 12			Контрольна робота за змістовим модулем 2 - 12								Контрольна робота за змістовим модулем 3 - 12							

ФОРМУВАЛЬНЕ ОЦІНЮВАННЯ

Види навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовий модуль 1. Основні поняття моделювання систем та підходи до побудови моделей систем			
Виконання і захист лабораторних робіт	2	3	6
Контрольна робота за змістовим модулем	12	1	0-12
Усього за змістовим модулем 1			0-18
Змістовий модуль 2. Статистичне моделювання систем			
Виконання і захист лабораторних робіт	2	10	20
Контрольна робота за змістовим модулем	12	1	0-12

Усього за змістовим модулем 2			0-32
Змістовий модуль 3. Ідентифікація систем як методологія побудови їх моделей			
Виконання і захист лабораторних робіт	2	4	8
Контрольна робота за змістовим модулем	12	1	0-12
Усього за змістовим модулем 3			0-20
Підсумковий контроль (іспит)			0-30
Підсумкова сума балів			0-100

Шкала оцінювання: національна та ECTS

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

13. Методичне забезпечення

Робоча програма навчальної дисципліни; мультимедійні презентації; силабус.

14. Рекомендована література

Основна

1. Обод, І.І., Заволодько, Г.Е., Свид, І.В. Математичне моделювання систем: навч. посіб. для студентів спеціальностей «Комп'ютерна інженерія», «Комп'ютерні науки та інформаційні технології». – Харків : Друкарня МАДРИД, 2019. – 268 с.

2. Моделювання та оптимізація систем: підручник / [Дубовой В. М., Кветний Р. Н., Михальов О. І., А.В.Усов А. В.] –Вінниця : ПП «ТД«Еднльвейс», 2017. – 804 с.

3. Основи комп'ютерного моделювання: навч. посібник / М.С. Барабаш, П.М. Кір'язєв, О.І. Лапенко, М.А. Ромашкіна. 2-е вид. стер. – К.: НАУ, 2019. – 492 с.

Додаткова

1. Дубовой, В. М. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів і систем керування : навчальний посібник / В. М. Дубовой. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 308 с.

2. Костоглод, К.Д. Економіко-математичні методи та моделі: навч. посіб. / [К. Д. Костоглод, А. В. Калініченко, Н. М. Протас та ін.]. Полтава : Видавництво «Сімон», 2018. – 236 с.

3. Ловейкін, В.С. Теорія технічних систем / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич. – К.: ЦП „КОМПРИНТ”, 2017. – 291 с.

4. Павленко, П.М. Основи математичного моделювання систем і процесів: Навчальний посібник. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2010. – 198с.

5. Хусаїнов, Д.Я., Харченко І.І., Шатирко А.В. Введення в моделювання динамічних систем: Навч. посібник . Київ: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2010. – 128 с.

6. Бахрушин, В.Є. Математичні основи моделювання систем: Навчальний посібник для студентів. - Запоріжжя: Класичний приватний університет, 2009. – 224 с.

7. Методичні вказівки та завдання до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Математичне моделювання систем і процесів та методи оптимізації» [Текст] / С. Б. Приходько, Н. В. Приходько, Л. М. Макарова, А. В. Пухалевич. – Миколаїв: НУК, 2020. – 40 с.

8. Приходько, С.Б. Моделювання гаусівських випадкових величин на основі перетворення Джонсона із сім'ї S_B [Текст] / С. Б. Приходько // Інформатика та математичні методи в моделюванні. – 2012. – т.2, №1. – С. 64-69.

9. Приходько, С.Б. Використання перетворення Джонсона для отримання випадкових чисел з рівномірним розподілом за значеннями

випадкової величини з довільним розподілом [Текст] / С. Б. Приходько // Системи обробки інформації. – 2012. – Вип. 4 (102), Т.2. – С. 128-130. – ISSN 1681-7710.

10. Приходько, С.Б. Моделювання залежних гаусівських випадкових величин на основі декомпозиції кореляційної матриці та перетворення Джонсона [Текст] / С. Б. Приходько // Проблеми інформаційних технологій. – 2013. – №2 (014) – С. 75-77. – ISSN 1998-7005

11. Приходько, С.Б. Моделювання гаусівських випадкових величин із використанням перетворення Джонсона із сім'ї S_U [Текст] / С. Б. Приходько // Інформатика та математичні методи в моделюванні. – 2015. – т.5, №.1. – С. 92-97.

12. Heinz, S. Mathematical Modeling. – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. – 476 p.

13. Fabien, B.C. Analytical System Dynamics. Modeling and Simulation. – N.-Y.: Springer, 2009. – 337 p.

14. Prykhodko, S. Mathematical Modeling of Non-Gaussian Dependent Random Variables by Nonlinear Regression Models Based on the Multivariate Normalizing Transformations / S. Prykhodko, N. Prykhodko // In: Shkarlet S., Morozov A., Palagin A. (eds) Mathematical Modeling and Simulation of Systems (MODS'2020). MODS 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1265, 2021. – P. 166-174. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-58124-4_16

Інформаційні ресурси

1. <http://nbuv.gov.ua/> - Сайт Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського.

2. <http://www.dnrb.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. Стеценко, І.В. Моделювання систем: навч. посібник [Електронний ресурс] / І. В. Стеценко. – Черкаси: ЧДУ, 2010. – 399 с. – Режим доступу: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis64r_81/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=VFEIR&P21DBN=VFEIR&Z21ID=&Image_file_name=DOC%20FRE0000097.PDF&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1

6. Ситнік, В.Ф. Імітаційне моделювання: Навч. посібник [Електронний ресурс] / В.Ф. Ситнік, Н.С. Орленко. – К.: КНЕУ, 1998. – 232 с. – Режим доступу: <http://www.kneu.dp.ua/moodle-new/mod/resource/view.php?id=16533&lang=en>

7. Приходько, С.Б. Моделювання гаусівських випадкових величин на основі перетворення Джонсона із сім'ї S_B [Електронний ресурс] / С. Б. Приходько // Інформатика та математичні методи в моделюванні. – 2012. –

т.2, №1. – С. 64-69. – Режим доступу:
http://immm.opu.ua/files/archive/n1_v2_2012/n1_v2_2012.pdf

8. Приходько, С.Б. Генерування випадкових чисел з розподілом Гауса на основі перетворення Джонсона із сім'ї S_U [Електронний ресурс] / С. Б. Приходько // Електронне видання "Вісник Національного університету кораблебудування". – Миколаїв: НУК, 2013. – № 4. – Режим доступу:
<http://evn.nuos.edu.ua/article/download/28205/25142>

9. Приходько, С.Б. Моделювання гаусівських випадкових величин із використанням перетворення Джонсона із сім'ї S_U [Електронний ресурс] / С. Б. Приходько // Інформатика та математичні методи в моделюванні. – 2015. – т.5, №1. – С. 92-97. – Режим доступу:
https://www.researchgate.net/publication/307212325_SIMULATION_OF_GAUSSIAN_RANDOM_VARIABLES_USING_JOHNSON_SU_TRANSFORMATION_in_Ukrainian_Modeluvanna_gausivskih_vipadkovih_velicin_iz_vikoristannam_peretvorenna_Dzonsona_iz_sim%27i_SU_S_B_Prihodko_Informati

10. Thomas, D.B. Gaussian Random Number Generators [E-resource] / D. B. Thomas, W. Luk, P. H. W. Leong, J. D. Villasenor // ACM Computing Surveys. – 2007. – Vol. 39. – No. 4. – P. 1-38. Access mode:
http://www.cse.cuhk.edu.hk/~phwl/mt/public/archives/papers/grng_acmcs07.pdf

11. Prykhodko S. A Modified Technique for Constructing Nonlinear Regression Models Based on the Multivariate Normalizing Transformations [E-resource] / Sergiy Prykhodko, Natalia Prykhodko // Selected Papers of the VIII International Scientific Conference "Information Technology and Implementation" (IT&I-2021). Workshop Proceedings (IT&I-WS-2021), Kyiv, Ukraine, December 1-3, 2021. CEUR Workshop Proceedings. – 2022. – Vol.3179. – CEUR-WS.org – P. 156-166. ISSN 1613-0073. http://ceur-ws.org/Vol-3179/Paper_15.pdf