


МІЖРЕГІОНАЛЬНА
АКАДЕМІЯ УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ



МАУП



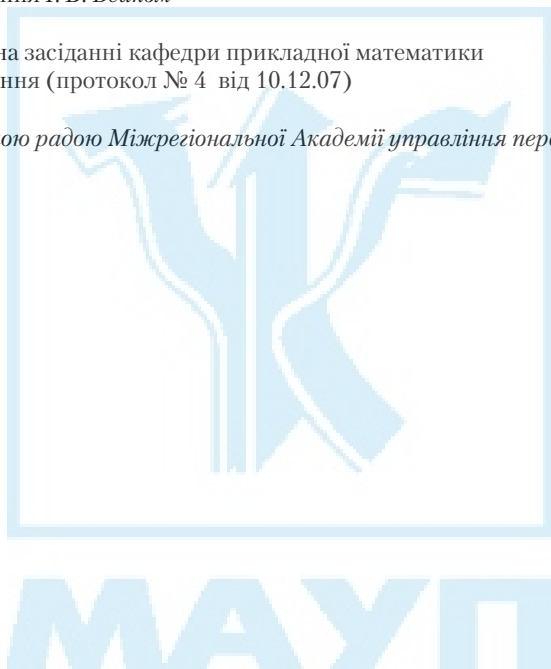
НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА
дисципліни
“МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ”
(для спеціалістів)

Київ 2008

Підготовлено професором кафедри прикладної математики
та програмування *І. В. Бейком*

Затверджено на засіданні кафедри прикладної математики
та програмування (протокол № 4 від 10.12.07)

Схвалено Вченою радою Міжрегіональної Академії управління персоналом



Бейко І. В. Навчальна програма дисципліни “Моделювання динамічних систем” (для спеціалістів). — К.: МАУП, 2008. — 12 с.

Навчальна програма містить пояснювальну записку, тематичний план, зміст дисципліни “Моделювання динамічних систем”, питання для самоконтролю, а також список літератури.

© Міжрегіональна Академія
управління персоналом (МАУП), 2008

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Програма курсу “Моделювання динамічних систем” охоплює теорію і практичні заняття, орієнтовані на опанування студентами знаннями, вміннями і навичками формулювати і розв’язувати завдання моделювання і дослідження динамічних систем, зокрема, використовувати сучасний математично-комп’ютерний інструментарій для оптимального прогнозування динамічних процесів і систем у реальних умовах та оптимального керування ними. Дисципліна охоплює дослідження міждисциплінарного характеру на стиках диференціальних рівнянь, функціонального аналізу, теорії ймовірностей і математичної статистики, методів оптимізації і дослідження операцій, які орієнтовані на розробку та дослідження математичних моделей складних динамічних систем, необхідних для розв’язування практичних завдань забезпечення ефективного функціонування технічних, фінансово-економічних, соціально-екологічних та інших динамічних процесів і керованих систем. Дисципліна “Моделювання динамічних систем” ввійшла до переліку основних дисциплін у навчальному плані підготовки спеціалістів “прикладної математики”.

Мета курсу — опанувати знаннями і навичками застосування математичних методів до побудови та дослідження математичних моделей динамічних і керованих систем сучасної теорії моделювання динамічних систем з використанням комп’ютерної техніки. Після вивчення дисципліни студенти отримують

знання:

- про основні методи математичного моделювання динамічних систем та оптимальних керованих систем;
- про методи цільового аналізу керованих динамічних систем і процесів;
- про методи прогнозування динамічних систем і керованих процесів;
- про методи побудови оптимальних моделей динамічних систем у реальних умовах за наявності неповних даних і неповних знань;

уміння:

- будувати математичні моделі динамічних систем за даними натурних спостережень на основі законів збереження;
- будувати оптимальні математичні моделі за умов неповних даних;

- будувати математичні моделі складних керованих динамічних систем і взаємодіючих процесів.

Види контролю поточних знань — перевірка індивідуальних завдань та завдань для самостійної роботи.

Вид контролю додаткових знань — тестові завдання.

Для вивчення дисципліни необхідні знання з математичного аналізу, лінійної алгебри і аналітичної геометрії, диференціальних рівнянь, диференціальних рівнянь у частинних похідних, методів оптимізації і дослідження операцій.

Орієнтовна кількість годин на дисципліну — 189 (з них 42 — лекційних занять, 30 — практичних і семінарських занять, 117 — самостійна робота студентів).

Курс є необхідним для підготовки спеціалістів прикладної математики в опануванні та закріпленні інтегрованих знань споріднених дисциплін “Оптимальне керування складними системами”, “Моделювання економічних систем”, “Системи штучного інтелекту”.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН **дисципліни** **“МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ”**

№ пор.	Назва змістового модуля і теми
1	2
	Змістовий модуль I. Лінійні та нелінійні моделі динамічних систем і їх властивості
1	Лінійні динамічні моделі. Атрактор лінійної системи. Фазові портрети багатомірних лінійних систем
2	Нелінійні динамічні системи та різницеві моделі
3	Стан рівноваги динамічної системи. Стійка за Ляпуновим рівновага
4	Функція Гамільтона і динаміка руху за принципом найменшої дії
	Змістовий модуль II. Методи побудови математичних моделей для динамічних процесів і керованих систем
5	Методи побудови математичних моделей для динамічних процесів

1	2
6	Математичні моделі керованих систем і процесів
7	Робочі моделі і критерії оптимальності робочих моделей
Разом годин: 189	

ЗМІСТ
дисципліни
“МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ”

Змістовий модуль I. Лінійні та нелінійні моделі динамічних систем і їх властивості

Тема 1. Лінійні динамічні моделі. Атрактор лінійної системи. Фазові портрети багатомірних лінійних систем

Поняття динамічної системи. Змінні і параметри в математичних моделях динамічних систем.

Лінійні динамічні системи та їх властивості. Приклади динамічних систем першого порядку.

Лінійні динамічні системи другого порядку. Модель лінійного осцилятора. Зсув фази та період коливань. Поняття власної частоти, фазова діаграма. Атрактор лінійної системи. Фазові портрети багатомірних лінійних систем. Математична модель керованого осцилятора.

Література [1; 2; 9–12]

Тема 2. Нелінійні динамічні системи та різницеві моделі

Нелінійні динамічні системи та різницеві моделі з граничним циклом.

Система Ван дер Поля. Фазовий портрет і атрактор системи. Біфуркація народження циклу.

Динамічні моделі, що породжуються різницевиими системами.

Рівняння $X_{n+1} = \lambda X_n(1 - X_n)$ та його властивості. Біфуркаційна діаграма. Перехід до хаосу.

Рівняння Дуфінга. Методи теорії збурень. Теорема Пуанкаре.

Динамічні системи із процесами біфуркацій.

Атрактор Хенона в двомірній системі.

Тримірна система Лоренця і атрактор Лоренця.

Процеси перемішування траєкторій нелінійних динамічних систем.

Література [1–9; 13–17]

Тема 3. Стан рівноваги динамічної системи. Стійка за Ляпуновим рівновага

Процеси рівноваги. Динамічні моделі “хижак — жертва”. Фазовий портрет. Стаціонарний стан. Закон Мальтуса і рівняння Лотки-Вольтерра.

Динамічні моделі із сухим тертям.

Тридискова модель із сухим тертям.

Багатовимірні моделі із сухим тертям.

Математична модель блокової динаміки.

Стан рівноваги. Стійка рівновага за Ляпуновим. Теорема Ляпунова.

Література [10–17]

Тема 4. Функція Гамільтона і динаміка руху за принципом найменшої дії

Побудова математичних моделей динаміки руху за допомогою принципу найменшої дії. Рівняння Ейлера–Лагранжа.

Функція Гамільтона. Математичні моделі механічного руху.

Приклади моделей математичного маятника та механічного руху двох точок, що взаємодіють.

Функція Гамільтона для динамічної системи руху супутника Землі.

Приклад функції Гамільтона для рівняння математичного маятника. Приклад функції Гамільтона для двох маятників.

Література [3; 14–17]

Змістовий модуль II. Методи побудови математичних моделей для динамічних процесів і керованих систем

Тема 5. Методи побудови математичних моделей для динамічних процесів

Побудова математичної моделі динамічної системи за даними спостережень. Градієнт функціоналу нев'язки для моделювання динамічних систем. Алгоритм побудови збіжної послідовності для ідентифікації параметрів динамічної моделі.

Лема про нерівність для функціоналів з ліпшицевим градієнтом. Дослідження збіжності градієнтного методу ідентифікації параметрів нелінійної моделі.

Числовий алгоритм для обчислення ϵ -екстремального розв'язку задачі ідентифікації.

Теорема про мажоранту кількості ітерацій для обчислення екстремальних параметрів динамічної моделі.

Література [4–8; 18–22]

Тема 6. Математичні моделі керованих систем і процесів

Математичні моделі керованих систем. Математична модель Глушкова дво- та багатосекторної економіки. Узагальнення математичної моделі Глушкова.

Література [4; 11–22]

Тема 7. Робочі моделі і критерії оптимальності робочих моделей

Робочі моделі динамічних систем. Критерії оптимальності математичних моделей складних систем.

Граф-операторні моделі динамічних систем і метод розв'язуючих операторів для побудови оптимальних моделей у класі граф-операторних моделей.

Література [4; 17; 22]

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Що таке фазовий простір і траєкторія динамічної системи?
2. Дайте визначення неперервних і дискретних динамічних систем.
3. Що таке стан рівноваги динамічної системи?
4. Змінні і параметри математичних моделей динамічних систем.
5. Лінійні динамічні системи.
6. Що таке аттрактор?
7. Дайте визначення дивних аттракторів.
8. Як знайти стани рівноваги для неперервної динамічної системи?
9. Що таке граничний цикл?
10. Математична модель гармонійного осцилятора із силою притягання та силою відштовхування.
11. Фазова траєкторія лінійного осцилятора.
12. Навести приклади динамічних систем першого порядку.

13. Навести приклади лінійних динамічних систем другого порядку.
14. Розв'язок рівняння для лінійного осцилятора.
15. Зсув фази лінійного осцилятора.
16. Період коливань лінійного осцилятора.
17. Поняття власної частоти лінійного осцилятора.
18. Керовані гармонійні осцилятори.
19. Функція резонансу в керованих гармонійних осциляторах.
20. Фазова діаграма лінійної системи.
21. Атрактор лінійної системи.
22. Фазові портрети багатомірних лінійних систем.
23. Математична модель керованого осцилятора.
24. Система Ван дер Поля.
25. Фазовий портрет системи Ван дер Поля.
26. Атрактор система Ван дер Поля.
27. Біфуркація народження циклу.
28. Динамічні моделі, що породжуються різницевиими системами.
29. Рівняння $X_{n+1} = \lambda X_n(1 - X_n)$ і його властивості.
30. Біфуркаційна діаграма і перехід до хаосу в системі $X_{n+1} = \lambda X_n(1 - X_n)$.
31. Нелінійні динамічні системи з граничним циклом.
32. Рівняння Дуфінга.
33. Методи теорії збурень.
34. Теорема Пуанкаре.
35. Динамічні системи із процесами біфуркацій.
36. Атрактор Хенона в двомірній системі.
37. Тримірна система Лоренця.
38. Атрактор Лоренця.
39. Процеси перемішування траєкторій нелінійних динамічних систем.
40. Процеси рівноваги.
41. Рівновага в динамічних моделях “хижак — жертва”.
42. Фазовий портрет динамічних моделей “хижак — жертва”.
43. Стаціонарний стан у динамічних моделях “хижак — жертва”.
44. Закон Мальгуса.
45. Рівняння Лотки — Вольтерра.
46. Динамічні моделі із сухим тертям.
47. Трискорова модель із сухим тертям.
48. Багатовимірні моделі із сухим тертям.

49. Математична модель блокової динаміки.
50. Стан рівноваги динамічної моделі.
51. Стійка рівновага за Ляпуновим.
52. Теорема Ляпунова про стійку рівновагу.
53. Принцип найменшої дії.
54. Методи побудови математичних моделей динаміки руху за принципом найменшої дії.
55. Рівняння Ейлера–Лагранжа.
56. Функція Гамільтона.
57. Математичні моделі механічного руху.
58. Узагальнений імпульс рухомої системи.
59. Модель механічного руху за рівнянням Ньютона.
60. Потенційна енергія системи.
61. Кінетична енергія системи.
62. Кінетична енергія маятника.
63. Потенціальна енергія маятника.
64. Функція Лагранжа для математичної моделі маятника.
65. Математична модель руху двох точок, що взаємодіють.
66. Динамічна модель руху супутника Землі.
67. Функція Гамільтона для динамічної системи руху супутника Землі.
68. Функція Гамільтона для рівняння математичного маятника.
69. Функція Гамільтона для двох маятників.
70. Побудова математичної моделі динамічної системи за даними спостережень.
71. Градієнтні методи для побудови математичної моделі.
72. Навести приклад задачі оцінювання параметрів моделі за даними спостережень.
73. Накреслити блок-схему алгоритму для оцінювання параметрів динамічної моделі градієнтним методом.
74. Градієнт функціоналу нев'язки для траєкторії динамічної системи.
75. Алгоритм побудови збіжної послідовності для ідентифікації параметрів динамічної моделі.
76. Мажорантна інтервальна оцінка для функціоналу з Ліпшицевим градієнтом.
77. Збіжність градієнтного методу для ідентифікації параметрів динамічної моделі.

78. Числовий алгоритм для обчислення ϵ -екстремального розв'язку задачі ідентифікації.
79. Теорема про мажоранту кількості ітерацій для обчислення екстремальних параметрів динамічної моделі.
80. Математичні моделі керованих систем.
81. Навести приклад моделі керованої системи.
82. Математична модель В. М. Глушкова для двосекторної економіки.
83. Математична модель В. М. Глушкова для багатосекторної економіки.
84. Критерії оптимальності в математичній моделі В. М. Глушкова.
85. Узгаальнені диференційно-інтегральні математичні моделі складних динамічних систем.
86. Робочі моделі динамічних систем.
87. Критерії оптимальності математичних моделей складних систем.
88. Оптимальні за часом робочі моделі.
89. Оптимальні за точністю робочі моделі.
90. Асимптотично-оптимальні робочі моделі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Основна

1. Федорюк М. В. Звичайні диференціальні рівняння. — К., 1999.
2. Арнольд В. И. Обыкновенные дифференциальные уравнения. — М.: Наука, 1984.
3. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механіка. — М.: Наука, 1988.
4. Моисеев Н. Н. Асимптотические методы нелинейной механики. — М.: Наука, 1986.
5. Кочура Е. В., Косарев В. М. Моделювання макроекономічної динаміки: Навч. посіб. — К.: ЦНЛ, 2003. — 236 с.
6. Сергеева Л. Н. Моделирование поведения экономических систем методом нелинейной динамики (теория хаоса). — Запорожье: ЗГУ, 2002.
7. Сергеева Л. Н. Моделирование структуры экономических систем и процессов. — Запорожье, 2002.
8. Сергеева Л. Н. Нелинейная экономика: модели и методы. — Запорожье, 2003.

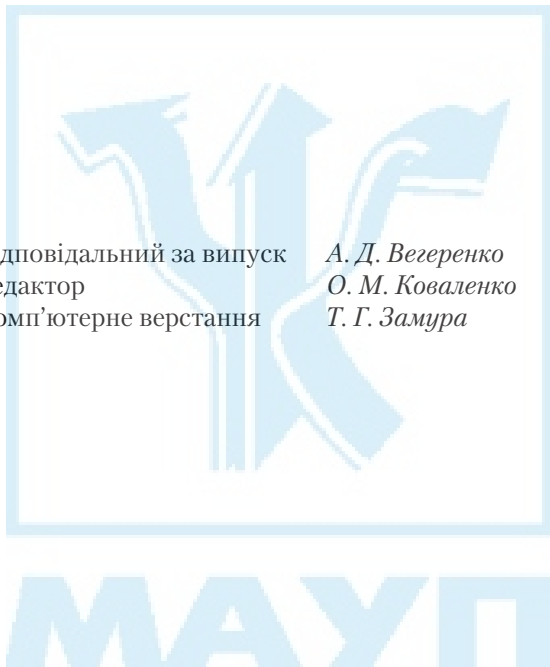
9. *Палис Ж., ди Мелу В.* Геометрическая теория динамических систем: Введение: Пер. с англ. — М.: Мир, 1986.
10. *Гаушус Э. В.* Исследование динамических систем методом точечных преобразований. — М.: Наука, 1976. — 300 с.
11. *Неймарк Ю. И.* Метод точечных отображений в теории нелинейных колебаний. — М.: Наука, 1977. — 350 с.
12. *Шарковский А. Н., Майстренко Ю. Л., Романенко Е. Ю.* Разностные уравнения и их приложения. — К.: Наук. думка, 1986. — 280 с.

Додаткова

13. *Понтрягін Л. С.* Звичайні диференціальні рівняння. — К., 2000.
14. *Арнольд В. И.* Математические методы классической механики. — М.: Наука, 1986.
15. *Арнольд В. И.* Теория катастроф. — М.: Наука, 1986.
16. *Баутин Н. Н., Леонтович Е. А.* Методы и приемы качественного исследования динамических систем на плоскости. — 2-е изд., доп. — М.: Наука, 1990. — 488 с.
17. *Бейко И. В., Бублик Б. Н., Зінько П. Н.* Методи і алгоритми розв'язування задач оптимізації. — К.: Вища шк., 1993. — 512 с.
18. *Методи оптимізації і дослідження операцій:* Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Н. О. Гончарова, А. І. Ігнатюк, Н. А. Малиш та ін. — К.: МАУП, 2005. — 304 с.
19. *Huang J., Turcotte D. L.* Are earthquakes an example of deterministic chaos? *J. Geophys. Res.*, 1990, 17, p. 223–226.
20. *Kumpel H.-J.* About the potential of wells to reflect stress variations within inhomogeneous crust. *Tectonophysics*, 1992, 211, p. 317–336.
21. *Turcotte D. L.* Fractals and chaos in geology and geophysics. Cambridge University Press, Cambridge, 1992.
22. *Бейко И. В., Бейко М. Ф.* Численные методы решения задач оптимального управления. — К.: Знание, 1970.

ЗМІСТ

Пояснювальна записка	3
Тематичний план дисципліни “Моделювання динамічних систем”.....	4
Зміст дисципліни “Моделювання динамічних систем”...	5
Питання для самоконтролю	7
Список літератури.....	10



Відповідальний за випуск *А. Д. Вегеренко*
Редактор *О. М. Коваленко*
Комп'ютерне верстання *Т. Г. Замура*

Зам. № ВКЦ-3703

Міжрегіональна Академія управління персоналом (МАУП)
03039 Київ-39, вул. Фрометівська, 2, МАУП