

ВСТУП

Одним з головних напрямків науково-технічного прогресу протягом вже кількох десятиріч є розвиток методів і засобів інформатики та обчислювальної техніки. Використання методів математичного моделювання і комп'ютерного розв'язання інженерних і наукових задач дозволяє значно підвищити ефективність процесів проектування та управління. Впровадження персональних комп'ютерів, комп'ютерних інформаційних мереж, побудова та розвиток INTERNET, широке та різноманітне використання методів математичного моделювання привели до розширення як практичної, так і теоретичної баз комп'ютерної математики. Математичне комп'ютерне моделювання стало головним засобом дослідження складних процесів і систем, на якому базуються сучасні підходи до проектування, оптимізації та управління в різних галузях науки і техніки. Обчислювальна математика стала основою для реалізації та комп'ютерного розрахунку методів математичного моделювання.

Метою цього підручника є оволодіння студентами, науковцями, інженерно-технічними працівниками знаннями щодо основних понять математичного моделювання систем і процесів та методами розв'язання на комп'ютерах задач, що виникають в процесі дослідження та проектування систем.

Перша частина книги присвячена розгляду основних понять і підходів до побудови математичних комп'ютерних моделей об'єктів та систем. В другій частині розглянуто методи ідентифікації об'єктів і систем та питання обробки даних, сигналів, зображень в процесі ідентифікації. Третя частина присвячена застосуванню методів комп'ютерних обчислень до дослідження моделей як аналітичних методів перетворень (стосовно об'єктів, що описуються різноманітними диференціальними рівняннями), так і головним застосуванням чисельних методів та теорії наближених обчислень, яка складає основу сучасної комп'ютерної математики. Окремі розділи присвячено імітаційному моделюванню та інструментальним засобам сучасних комп'ютерів. В четвертій частині розглянуто приклади та підходи до практичного застосування моделей в задачах проектування, оптимізації та використання систем управління й наведено приклади з практики розв'язання реальних задач авторами підручника.

Засвоєння матеріалів підручника передбачає знання основ програмування та вищої математики, а алгоритмізація та реалізація комп'ютерних програм може здійснюватися з застосуванням будь-якої зручної для користувача мови програмування. В підручнику наведено приклади розв'язання задач з використанням інструментальних засобів моделювання та процедур програмних систем, але не дається детального опису загальних основ використання цих систем, що не входить до задач цього посібника. Автори намагалися зробити так, щоб викладений матеріал не дуже підпадав під вплив часу.

Перед тим, як перейти до основного матеріалу книги, має сенс зупинитися на визначенні базових понять.

Технологічний об'єкт (*technological object*) – технологічне обладнання, яке розглядають разом із *технологічним процесом*, що реалізується на цьому обладнанні згідно з відповідними технологічними інструкціями та регламентами.

Ефективне виробництво неможливе без створення *систем керування* технологічними об'єктами, які забезпечують необхідну якість і кількість продукції, надійність та безпеку технологічного процесу.

Система (*system*) – це сукупність взаємопов'язаних між собою складових частин, яка характеризується спільною метою функціонування.

Керування (*control*) – це процес цілеспрямованої зміни характеристик об'єкта керування.

Елемент системи (*system element*) – це проста складова частина системи.

Основними елементами **системи керування** є *об'єкт керування*, *керувальна частина* і *людина-оператор*, яка задає мету та критерії керування, обмеження на параметри та характеристики системи, *алгоритм (закон) керування*, який реалізує керувальна частина. Узагальнена схема системи керування зображена на рис. 1. У напрямку стрілок зліва направо передається вплив, а у зворотному напрямку інформація про зміни стану.

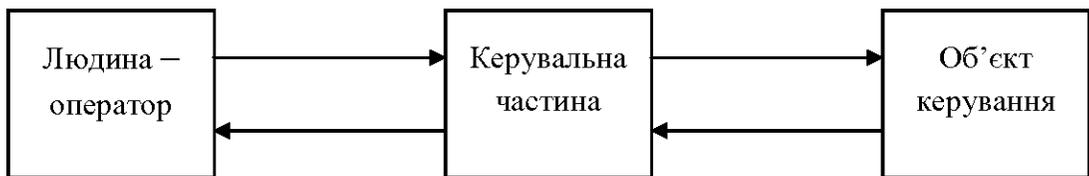


Рисунок 1 – Узагальнена схема системи керування

Стан системи (*system state*) – це сукупність значень її параметрів та характеристик у конкретний момент часу. Звичайно сукупність параметрів стану позначають вектором \bar{Y} .

Системи керування характеризуються у статичному режимі структурою зв'язків та властивостями її елементів. У динамічному режимі система характеризується послідовністю станів.

Послідовність переходу системи з одного стану в інший називається *процесом* (*process*) і позначається як зміна вектора стану у часі $\bar{Y}(t)$.

Основним підходом до розгляду систем керування на усіх етапах життєвого циклу цих систем (проектування – створення – експлуатація – ремонт та відновлення – виведення з експлуатації) є *математичне моделювання*.

Моделювання є одним з найважливіших напрямків підготовки сучасного інженера та наукового співробітника в галузі систем керування. Воно пронизує

всі аспекти його діяльності, адже, на відміну від робітника, інженер працює не безпосередньо з об'єктом, а з його описом. Це може бути або проект певної технічної системи, або програма розрахунків, або вказівки, які інженер-керівник дає підлеглим. Все це є моделі об'єктів або процесів, адже будь-який їх опис є моделлю. Та й сам процес навчання є фактично процесом моделювання, в якому студент з допомогою викладача створює модель предметної області, в якій він спеціалізується, і закріплює її у своєму конспекті.

В останні роки постійно зростає роль математичного моделювання, яке починає переважати всі інші види моделювання. Це зумовлено тотальним проникненням комп'ютерної техніки в усі аспекти життя. Адже кожна прикладна програма у комп'ютері є моделлю, а сам комп'ютер з системним програмним забезпеченням – засобом моделювання.

В таких умовах дуже важливим є систематичний і чіткий погляд на загальні принципи математичного моделювання, які допоможуть інженерам та науковим працівникам легко адаптуватися до будь-якої сфери діяльності. Адже, «знання деяких принципів легко компенсує незнання деяких фактів» (Клод Адріан Гельвецій).

Першу частину підручника (розділи 1, 2, 3, 4) та розділи 5, 6 з другої частини підготовлено В. М. Дубовим за участю А. В. Усова та О. І. Михальова. Розділи 7 та 9 з другої частини підготовлено Р. Н. Кветним, розділ 8 – А. В. Усовим. Розділи 10, 11 з третьої частини – В. М. Дубовим за участю Р. Н. Кветного. Четверта частина (розділи 12, 13) підготовлена спільно В. М. Дубовим, Р.Н. Кветним та О.І. Михальовим.

Підручник призначений для поглибленого вивчення різних дисциплін, пов'язаних з використанням методів і засобів ідентифікації, моделювання та оптимізації технологічних об'єктів, процесів і складних систем широкого призначення за напрямками підготовки студентів всіх рівнів вищої освіти та спеціальностей в галузях знань «Інформаційні технології» і «Автоматизація та приладобудування», а також фахівців за іншими спорідненими спеціальностями

Автори висловлюють глибоку подяку своїм колегам та учням, які брали участь в підготовці та обговоренні матеріалів та прикладів, що увійшли в підручник, а також за використання матеріалів із спільних публікацій. Нижче наведено перелік головних робіт, на які спиралися автори при визначенні основних понять, а також найбільш вагомими публікації авторів (як навчального так і дослідницького характеру) за останній час, що склали основу для підготовки цієї книги.

Література

1. Автоматизовані системи. Терміни та визначення: ДСТУ 2226-93 – [Чинний від 1994-07-01]. – К. : Держстандарт України, 1995. – 94 с. – (Національний

- стандарт України).
2. Бодянский Е. В. Интеллектуальное управление технологическими процессами (ферросплавное производство) / Бодянский Е. В., Кучеренко Е. И., Михалёв А. И. и др., [под ред. А. И. Михалева.] – Днепропетровск : Национальная металлургическая академия Украины, 2013. – 213 с.
 3. Бодяньський Є. В. Методи обчислювального інтелекту в системах керування технологічними процесами феросплавного виробництва / Бодяньський Є. В., Кучеренко Є. І., Михальов О. І. та ін. – Дніпропетровськ : Національна металургійна академія України, 2011. – 420 с.
 4. Бодянский Е. В. Гибридные нейро-фаззи модели и мультиагентные технологии в сложных системах / Е. В. Бодянский, В. Е. Кучеренко, Е. И. Кучеренко и др. , [под ред. Е. В. Бодянского]. – Днепропетровск : Системные технологии, 2008. – 403 с.
 5. Бодянский Е. В. Нейро-фаззи сети Петри в задачах моделирования сложных систем / Бодянский Е. В., Кучеренко Е. И., Михалев А. И. – Днепропетровск : Системные технологии, 2005. – 311 с.
 6. Букетов А. В. Ідентифікація і моделювання технологічних об'єктів та систем : навчальний посібник / Букетов А. В. – Тернопіль : СМП «Тайп», 2009. – 260 с.
 7. Дубовой В. М. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів і систем керування / В. М. Дубовой. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 308 с.
 8. Дубовой В. М. Моделювання систем керування в умовах невизначеності / Дубовой В. М., Глонь О. В. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 169 с.
 9. Дубовой В. М. Моделювання систем контролю та керування / Дубовой В. М. – Вінниця : ВНТУ, 2005. – 175 с.
 10. Дубовой В. М. Спеціальні розділи математики / Дубовой В. М., Никитенко О. Д. – Вінниця : ВНТУ, 2007. – 165 с.
 11. Дубовой В. М. Моделі прийняття рішень в управлінні розподіленими динамічними системами / В. М. Дубовой, О. О. Ковалюк – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 185 с.
 12. Енциклопедія кібернетики : у 2-х томах. – К. : Гол. ред. УРЕ, 1973. – Т. 1. – 584 с.; Т. 2. – 574 с.
 13. Кветний Р. Н. Інтервальні моделі перетворень сигналів в інформаційно-вимірjuвальних системах / Кветний Р. Н., Бойко О. Р. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 88 с.
 14. Кветний Р. Н. Методи комп'ютерних обчислень / Кветний Р. Н. – Вінниця : ВНТУ, 2001. – 218 с.
 15. Кветний Р. Н. Методи фільтрації текстурованих зображень у задачах розпізнавання та класифікації / Кветний Р. Н., Софіна О. Ю. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 119 с.

16. Кветний Р. Н. Різницеві методи та сплайни в задачах багатовимірної інтерполяції / Кветний Р. Н., Дементьев В. Ю., Машницький М. О., Юдін О. О. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 87 с.
17. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень ; [під заг. ред. Р. Н. Кветного] – Вінниця : ВНТУ, 2012. – ч. 1–196 с.; ч. 2 – 230 с.
18. Кветний Р. Н. Математичні моделі розповсюдження хвиль у волоконних світловодах / Кветний Р. Н., Коцюбинський В. Ю. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 140 с.
19. Маликов В. Т. Вычислительные методы и применение ЭВМ / Маликов В. Т., Кветный Р. Н. – К. : Вища школа, 1989. – 362 с.
20. Михалев А. И. Адаптивно-поисковые методы и алгоритмы оптимизации и идентификации динамических систем. – Киев : УМК ВО, 1992. – 68 с.
21. Михалев А. И. Цифровая обработка данных: от Фурье к Wavelets / Михалев А. И. – Днепропетровск : НМетАУ, ИВК «Системные технологии», 2007. – 200 с.
22. Михалев А. И. Компьютерные методы интеллектуальной обработки данных / Михалев А. И., Винокурова Е. А., Сотник С. Л. – Днепропетровск : НМетАУ, ИВК «Системные технологии», 2014. – 210 с.
23. Організація промислового виробництва. Основні поняття. Терміни та визначення : ДСТУ 2960-94 – [Чинний від 1996-01-01]. – К. : Держстандарт України, 2000. – 48 с. – (Національний стандарт України).
24. Оборский Г. А. Моделирование систем / Г. А. Оборский, А. Ф. Дашенко, А. В. Усов, Д. В. Дмитришин. – Одесса : Астропринт, 2013. – 664 с.
25. Словники України – інтегрована лексикографічна система: парадигма, транскрипція, фразеологія, синонімія, антонімія // Національна академія наук України, Український мовно-інформаційний фонд, 2008 [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://lcorp.ulif.org.ua/dicua2008/DicUASetup.msi>.
26. Технічні засоби вимірювання та керування в промислових процесах. Частина 1. Основні поняття. Терміни та визначення : ДСТУ 3956-2000 – [Чинний від 2001-01-01]. – К. : Держстандарт України, 2000. – 71 с. – (Національний стандарт України).
27. Теория управления. Терминология / АН СССР. Ин-т проблем управления. // Отв. ред. Б. Г. Волик. – М. : Наука, 1988. – 56 с. – (Вып. 107).
28. Усов А. В. Уравнения математической физики в моделировании технических систем / А. В. Усов, А. А. Шпинковский, М. И. Шпинковская. – Киев : Освіта України, 2014. – 190 с.
29. Усов А. В. Чисельні методи та їх реалізація у середовищі SCILAB / Усов А. В. , Шпинковський О. А., Шпинковська М. І. – Київ : Освіта України, 2013. – 192 с.
30. Усов А. В., Математическое моделирование технических систем / Усов А. В., Вайсман В. А., Дмитришин Д. В. и др. – К. : Техника, 1995. –

- 328 с.
31. Усов А. В. Вероятностно-аналитическое моделирование технико-экономических систем / Усов А. В., Третьяк А. И., Коновалов А. П., Дубров К. А. – Одесса : Астропринт, 2003. – ч. 1 – 224 с., ч.2. – 440 с.
 32. Усов А. В. Введение в методы оптимизации и теорию технических систем / Усов А. В., Оборский Г. А., Морозов Ю. А., Дубров К. А. – Одесса : Астропринт, 2005 – 496 с.
 33. Усов А. В. Моделирование систем с распределенными параметрами / А. В. Усов, А. Н. Дубров, Д. В. Дмитришин – Одесса : Астропринт, 2002. – 664 с.
 34. Усов А. В. Проблемы моделирования и управления движением транспортных потоков в крупных городах / Усов А. В., Григоров М. А., Дашенко А. Ф. – Одесса : Астропринт, 2004. – 272 с.
 35. Третьяк А. И. Оптимальное управление детерминированными системами / А. И. Третьяк, А. В. Усов, А. П. Коновалов – Одесса : Астропринт, 2006. – 312 с.
 36. Третьяк А. И. Дифференциально-геометрические методы в теории дискретных систем управления / А. И. Третьяк, А. В. Усов, А. П. Коновалов – Одесса : Астропринт, 2008.–360 с.
 37. Усов А. В. Математичні методи моделювання / А. В. Усов, О. С. Савельева, І. І. Становська. – Одеса : Пальміра, 2011. – 500 с.
 38. Дмитришин Д. В. Обыкновенные дифференциальные уравнения и их приложения / Д. В. Дмитришин, А. В. Усов, Ю. А. Морозов, В. В. Перстнева. – Одесса : Астропринт, 2008.– 440 с.
 39. Kvyetnyy R. Basics of Modelling and Computational Methods / R. Kvyetnyy. – Вінниця : ВДТУ, 2007. – 147 с.