

Державна служба України з надзвичайних ситуацій

**Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності**

**Олександр Придатко, Соломія Лясковська,
Євген Мартин, Олександр Хлевной**

МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ

Монографія

Львів – 2021

УДК 744:004

ББК 32.81

П 87

Олександр Придатко, Соломія Лясковська, Євген Мартин, Олександр Хлевной. Моделювання багатопараметричних систем. – Львів: ЛДУ БЖД, 2021. – 245 с.

Рецензенти:

Тригуба А. М., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних систем та технологій Львівського національного аграрного університету;

Стародуб Ю. П., доктор фізико-математичних наук, професор, професор відділу організації науково-дослідної роботи Львівського державного університету безпеки життєдіяльності;

Ткачук Р.Л., доктор технічних наук, доцент, начальник кафедри управління інформаційною безпекою Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

В монографії розглядаються основні графічні засоби формування моделей та дослідження перебігу багатопараметричних процесів технічних систем, об'єктів і явищ із залученням засобів прикладної багатовимірної геометрії.

Матеріал монографії може бути корисним в навчальному процесі при моделюванні та дослідженні багатопараметричних технічних об'єктів і систем різного призначення, при підготовці магістрів і ад'юнктів, а головне – використовуватися для подальшого розвинення і розбудови прикладних геометричних і математичних методів та засобів дослідження багатопараметричних технічних об'єктів, процесів та явищ.

Рекомендовано Вченою радою
Львівського державного університету безпеки життєдіяльності
(Протокол №4 від 11 листопада 2021 року).

© Олександр Придатко, 2021

© Соломія Лясковська, 2021

© Євген Мартин, 2021

© Олександр Хлевной, 2021

© ЛДУ БЖД 2021

ЗМІСТ

Вступ	5
1. Геометричні засоби у розбудові моделей систем	9
1.1. Інструментарій геометричного моделювання систем.....	9
1.2. Основні системи координат у геометричному моделюванні багатопараметричних технічних систем	14
1.3. Ортогональна система координат і комплексні креслення	25
1.3.1. Прості числа.....	25
1.3.2. Комплексні числа.....	35
1.3.3. Геометричні засоби відображення образів комплексного простору	37
1.3.4. Відображення комплексного простору при розв'язуванні технічних задач	42
1.3.5. Закриті області комплексного простору.....	47
1.4. Повнота проєкцій моделей процесів.....	50
2. Моделі деяких багатопараметричних процесів.....	57
2.1. Геометричне моделювання задач теплопровідності	57
2.2. Геометричне моделювання перебігу процесів зміни вмісту закритих технічних об'єктів	62
2.3. Стійкість технічних систем. Фазові простори. Фазові траєкторії	66
3. Графічні інформаційні технології у моделюванні багатопараметричних систем	74
3.1. Аналіз результатів експериментальних досліджень зносостійкості технічного устаткування	74
3.2. Моделі управління маршрутними перевезеннями	78
3.3. Геометричні образи дво – і тривимірного простору як моделі процесів у програмі MatLab	86
3.3.1. Побудова графіків у площині	86
3.3.2. Побудова моделей поверхонь як графіків процесів.....	96
3.4. Дослідження теплопровідності в поперечному перерізі циліндричного провідника	103
3.5. Побудова фазових портретів динамічних систем	105
3.5.1. Формування областей параметрів подібних траєкторій процесів фазових просторів	114
3.6. Геометричні засоби визначення раціональних параметрів процесів регульованих систем.....	121

3.6.1. Геометричні засоби формування областей параметрів процесів регульованих систем	121
3.6.2. Геометричні засоби оптимізації параметрів процесів	122
3.7. Моделювання теплових процесів у виробничих приміщеннях з енергозберігаючими технологіями опалення	130
4. Моделювання процесів розвитку дуальних систем	142
4.1. Дослідження моделей процесів дуальних систем.....	142
4.2. Процеси взаємодії елементів дуальних систем	149
4.3. Геометричні засоби багатовимірному простору в моделюванні дуальних систем	161
4.3.1. Взаємодія елементів у моделях дуальних систем	168
4.3.2 Формування моделей процесів управління транскордонними оперативно-рятувальними підрозділами	175
4.4. Розбудова моделей процесів розвитку дуальних систем	178
4.5. Комп'ютерне моделювання процесів управління дуальними системами.....	195
4.6. Моделювання часових компонент у проектах створення дуальних систем пожежогасіння.....	216
4.7. Про точність комп'ютерних засобів відображення 1-багатовидів n -вимірних фазових просторів.....	233
4.8. Можливі практичні застосування прикладної багатовимірної геометрії у дослідженнях багатопараметричних технічних систем	238
Перелік використаних джерел.....	243

ВСТУП

Подальший розвиток засобів наукових досліджень і розроблення моделей технічних об'єктів становить одну з умов результативного розв'язування більшості прикладних технічних задач, в тому числі досліджень багатопараметричних систем, процесів і об'єктів. Невід'ємну складову в підготовці вихідних даних під час проведення розрахунків режимів роботи технічних об'єктів на етапі їх проектування та дослідження становлять графоаналітичні та геометричні засоби як підґрунтя створюваних математичних моделей регульованих багатопараметричних процесів. Постає закономірне питання про вибір засобів дослідження та проектування технічних об'єктів. Його можна сформулювати таким чином:

– чи не зайвими стали саме геометричні засоби досліджень, якщо в розпорядженні дослідника, конструктора є потужні обчислювальні комплекси. Досвід показує, що без знання основних закономірностей якості динаміки досліджуваної системи, кількісних оцінок і визначення оптимальних числових значень робочих параметрів процесів дослідження технічних об'єктів суттєво ускладнюється або занадто затягується в часі. Тому вартує провести теоретичні обчислення із застосуванням геометричних і математичних засобів, включаючи наукову комп'ютерну графіку. Головний аргумент використання геометричних моделей полягає в тому, що вони виступають рівноправним "партнером" у теоретичних прикладних дослідженнях об'єктів, процесів і явищ, зокрема, у дослідженнях процесів та проектуванні регульованих технічних об'єктів.

Геометричні засоби використовують практично на всіх етапах проектування технічних об'єктів [3]. Особливо варто відзначити важливість їх застосування на початковому етапі проектування, коли необхідно задавати діапазон зміни перемінних робочих параметрів, а, отже, геометрію окремих складових ланок технічного об'єкта чи системи і обирати з-поміж них оптимальні значення.

Аналіз більшості математичних моделей підтверджує сутність геометричного підґрунтя кінцевих результатів у дослідженнях перехідних процесів регульованих технічних об'єктів і систем. Ґрунтовному математичному числовому (а надалі – фізичному)

дослідженню технічних об'єктів передуює вибір конструктивних параметрів. Одні з них наперед задані конструктором, а інші можуть змінюватися в певному діапазоні і потребують вибору їх оптимальних числових значень.

Методи розрахунку регульованих систем, особливо стійкості та оптимізації, мають під собою геометричне підґрунтя і використовують в тій чи іншій мірі методи графічних відображень. Такий зв'язок є взаємовигідним, оскільки вимагає розвитку допоміжних геометричних засобів стосовно вирішення розмаїтих прикладних технічних задач. Означений підхід до їх розв'язування передбачає використання насамперед методів прикладної багатовимірної геометрії.

Параметри окремих елементів регульованих систем можуть бути виготовлені або визначені експериментально тільки з деякою достатньою для інженерних розрахунків точністю. Такий параметр (чи параметри) суттєво впливає в певній області багатовимірного простору параметрів на поведінку системи, наприклад, стійкість режиму її роботи, чи на встановлення його оптимального значення. Адже, за відомим принципом "доброго", для того, щоб сталося «зло», не потрібно багато умов, при виконанні ж «добра» необхідне співпадання усіх позитивних факторів, а відсутність хоча б одного з них спричиняє протилежний наслідок. До сказаного треба додати нестійкість "добра", якщо технічний об'єкт чи система знаходиться поблизу границі цієї стійкості. "Добрі" об'єкти відповідають одночасно кільком вимогам, "поганим" вважають об'єкт, якому властивий хоча би один суттєвий чи несуттєвий недолік.

Процес створення регульованих систем та технічних об'єктів тісно пов'язаний із використанням засобів чи елементів інженерної, наукової та ділової комп'ютерної графіки. Отримані результати одержують своє геометричне трактування із наступним конструкторським втіленням. При цьому доцільно зауважити обмежене використання засобів багатовимірної прикладної геометрії при дослідженні та проектуванні технічних об'єктів. Найбільш поширеним є використання графічних залежностей, які часто виступають з точки зору багатовимірної прикладної геометрії перерізами складних просторових багатовидів обхоплюючих багатовимірних просторів [15].

При необхідності врахування впливу зміни одного чи кількох параметрів проводять просте накладання кривих або створюють інші графічні зображення. Зауважимо, що спосіб накладання

кривих являє собою епюр багатovidу в просторі двох чи трьох змінних параметрів. Потреби врахування впливу більшої кількості параметрів, очевидно, приводять до необхідності відповідного збільшення вимірності n евклідового простору E^n . При цьому вимірність простору визначена кількістю змінних параметрів і багатovid, який у ньому реалізується як графік функції кількох дійсних змінних, може бути в загальному випадку нелінійним або являти лінійний підпростір евклідового n – вимірного простору, що реалізує відповідну лінійну залежність між змінними робочими параметрами багатovidимірного технічного об'єкта.

Використання графічних, графоаналітичних засобів обумовлене передовсім потребами дослідження нестационарних режимів роботи регульованих багатопараметричних технічних об'єктів і систем. При наближеному відтворенні кривих перехідного процесу застосовують графоаналітичний спосіб, в основу якого покладене використання, зокрема, трапецеїдальних частотних характеристик. Таку характеристику формують конкретні геометричні параметри, від значень яких залежить характер кривої перехідного процесу в системі. Використання вказаного графоаналітичного методу дозволяє розв'язати головну практичну задачу: наближене встановлення характеристик кривої лінії і на її основі – визначення основних параметрів перехідного процесу. При збільшенні кількості робочих параметрів, наприклад, до двох, використання цього методу стає малопридатним для практичного застосування.

З огляду існуючих методів дослідження багатопараметричних систем і процесів зрозуміло, що більшість з них ґрунтуються на використанні двовимірного простору з метою відображення тих чи інших кривих. Окремі з них, наприклад, метод Ляпунова, ґрунтуються на використанні тривимірного евклідового простору E^3 .

В практиці проектування багатопараметричних систем і процесів прослідковується використання елементів геометричної теорії функції комплексної змінної. Зокрема, в основі важливого розділу з аналізу якості багатопараметричних технічних систем при побудові кругових діаграм використовується взаємозв'язок між частотними характеристиками замкненої $\Phi(i\Omega)$ та розімкненої $W(i\Omega)$ системи.

Огляд методів аналізу регульованих багатопараметричних технічних об'єктів і процесів у них вказує на геометричний характер закладеної в більшість із них ідеї [5]. Подальше їх

вдосконалення можливе тільки за умови розвитку відповідних прикладних геометричних проблем з наступним їх впровадженням у практику дослідження та створення регульованих багатопараметричних технічних об'єктів.

Матеріал монографії є колективною працею. Головні упорядники, курсанти і студенти упродовж багатьох навчальних семестрів в процесі вивчення курсів інформаційних графічних комп'ютерних технологій брали активну участь у її розробленні, вкладали свої знання, уміння, старання у створення і розбудову змісту практичних і лабораторних робіт курсу, параграфів і окремих розділів, вносили корисні корективи і стали ініціаторами багатьох задач та їх розв'язків, методів, алгоритмів і моделей.

Матеріал монографії може бути корисним в навчальному процесі при моделюванні та дослідженні багатопараметричних технічних об'єктів і систем різного призначення, при підготовці магістрів і ад'юнктів, а головне – використовуватися для подальшого розвинення і розбудови прикладних геометричних і математичних методів та засобів дослідження багатопараметричних технічних об'єктів, процесів та явищ.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Базыкин А. Д. Математическая биофизика взаимодействующих популяций / А. Д. Базыкин. – М.: Наука, 1985. – 181 с.
2. Болтов В. А. Сборник задач по математике / В. А. Болтов, Н. В. Ефимов. – М.: Наука, 1996. – 326 с.
3. Голованов Н. Н. Геометрическое моделирование / Н. Н. Голованов. – М.: Изд. физ. мат. лит., 2002. – 472 с.
4. Дубовик В. П. Вища математика: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / В.П Дубовик., П. Юрик. – 4-те вид. – К. : Ігнатекс-Україна., 2013. – 648 с.
5. Куценко Л. М. Методи геометричного моделювання в задачах пожежної безпеки / Л. М. Куценко, С. В. Бобов, С. В. Росоха – Харків, АЦЗУ. – 2004. – 175с.
6. Кодекс цивільного захисту України – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.
7. Зражевський Г. М. Застосування теорії аналітичних функцій в задачах механіки: навч. посіб. – К.: КНУ ім. Т. Шевченка 2005. – 61 с.
8. Моделювання електромеханічних систем / [Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін А.Ю. та ін.]. – Кременчук: Видавництво ІІІ Щербатих О.В., 2001. – С. 114-139.
9. Кулик Г. М. Вища математика: Інтегральне числення функції однієї змінної. Диференціальні рівняння: навч. посіб / Г.М. Кулик, О.І. Кушлик-Дивульська, Н.В. Степаненко, Н.П. Ярема – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 278 с.
10. Ковальов С. М. Прикладна геометрія та інженерна графіка / С. М. Ковальов, М.С. Гумен, С. І. Пустюльга, В.Є. Михайленко, І. Н. Бурчак. – Луцьк: ЛДТУ, 2006. – С. 58-89.
11. Роджерс Д. Математические основы машинной графики / Д. Роджерс, Дж. Адамс. – М.: Мир, 2001. – С. 144-169.
12. Рудавський Ю. К. Математичні методи в хімії та хімічній технології: Навчальний посібник / Ю. К. Рудавський, Є. М. Мокрий, З. Г. Піх. – Львів: Світ, 1993. – 206 с.
13. Солтис М. М. Теоретичні основи процесів хімічної технології: Навчальний посібник / М. М. Солтис, В. П. Закордонський. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2003. – 430 с.
14. Сунден О. Пространственно-временной осциллятор как скрытый механизм в основаниях физики / О. Сунден. – СПбГУ. – 1999. – 154 с.

15. Пальчевський Б. О. Системи 3D моделювання: навчальний посібник / Б. О. Пальчевський, Б. П. Валецький, Т. Л. Вараніцький / Луцьк, 2016 – 176 с.

16. Штангрет Н. О. Підвищення ефективності ліквідування пожеж у підвальних приміщеннях комбінованим застосуванням димовсмоктувачів та струменів тонко розпиленої води. – Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня канд.. техн.. наук /21.06.02 – пожежна безпека. Науковий керівник к.т.н., доцент Луц В.І. – Л.:ЛДУБЖД, 2019. – с. 7-9.

17. The European Community Civil Protection Mechanism Training Programme. Luxembourg: Office for Official publications of the European Communities. – 2009. – 20 pp.

Наукове видання

**Олександр Придатко, Соломія Лясковська,
Євген Мартин, Олександр Хлевной**

МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ

Монографія

Літературний редактор: **Галина Падик**

Технічний редактор, верстка: **Маріанна Климус**

Підписано до друку 19.11.2021. Ум. друк. арк. 14,5
Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman.
Друк на різнографі. Папір офсетний.

Друк ЛДУ БЖД
79007, Україна, м. Львів, вул. Клепарівська, 35
Тел./факс: (8-032) 233-32-40, 233-24-79
e-mail: mail@ubgd.lviv.ua, ndr@ubgd.lviv.ua