

*Національний авіаційний університет
кафедра авіаційних двигунів*

*Конспект лекцій і лабораторних занять
з дисципліни
“Сучасні методи моделювання в наукових дослідженнях”
аспіранта*

2016 – 2017 навчальний рік

*Професор кафедри авіаційних двигунів,
заслужений діяч науки і техніки України,
лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки,
д.т.н., професор МІТРАХОВИЧ Михайло Михайлович
050-484-27-39
mtma777@gmail.com*

Лекція №1

Вступ.

*Поняття моделювання, терміни,
визначення та класифікація*

ВСТУП

Навчальна дисципліна ***“Сучасні методи моделювання в наукових дослідженнях”*** вивчається аспірантами 1 курсу Національного авіаційного університету.

Дисципліна вивчається в 1 семестрі.

Лекцій - 12 годин;

Лабораторних занять - 36 годин;

Самостійна робота - 42 години;

Разом – 90/3 години.

У **1** семестрі:

2 письмових модульних контролю та ***диференційний залік.***

Мета та завдання викладання дисципліни :

формування знань з основ сучасного математичного моделювання в наукових дослідженнях.

Завданнями вивчення навчальної дисципліни є:

- навчитися ставити задачі математичного моделювання;
- прищеплення навичок здійснювати аналіз і синтез структурних, функціональних, інформаційних моделей;
 - навчитися здійснювати ідентифікацію об'єктів математичними моделями;
 - навчитися здійснювати обробку даних ідентифікаційного експерименту;
 - ознайомлення з чисельним та імітаційним моделюванням
 - оволодіння інструментальними засобами моделювання;
 - оволодіння навичками застосування моделювання в типових наукових задачах.

Дисципліна *«Сучасні методи моделювання в наукових дослідженнях»* відноситься до дисциплін циклу загальної підготовки за навчальним планом підготовки доктора філософії.

Знання теорії сучасних методів математичного моделювання в наукових дослідженнях дадуть можливість аспірантам самостійно вирішувати професійні завдання при виконанні досліджень.

Матеріали дисципліни дадуть можливість аспіранту глибше уявити роль та значення науковця в системі авіаційної техніки, розширити коло знань з суміжними спеціальностями.

У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен:

ЗНАТИ:

- основні види і множини характеристик моделей об'єктів і процесів;
- способи структурування об'єктів моделювання, методів подання та перетворення структурних моделей;
- особливості та властивості моделей статички, динаміки, обслуговування, надійності, алгоритмічних моделей;
- особливості інформаційних моделей, способів подання інформаційних моделей в режимі статички за допомогою баз даних і семантичних мереж, способів подання інформаційних моделей в режимі динаміки за допомогою інформаційних потоків;
- загальну методологію ідентифікації об'єктів математичними моделями;
- способи здійснення ідентифікаційних експериментів;
- методи ідентифікації функціональних моделей; методи статистичної ідентифікації, методи кластеризації і класифікації стосовно задач ідентифікації;
- особливості застосування методів інтерполяції, апроксимації, статистичної обробки та інтервального аналізу даних;
- види та властивості обчислювальних алгоритмів;
- методологію імітаційного моделювання, агрегатного принципу моделювання, властивостей оцінок результатів моделювання, характеристик програмних пакетів для імітаційного моделювання;
- призначення та характеристики засобів створення концептуальних моделей, моделювання в середовищах математичних пакетів;
- особливості постановки задач оптимізації, прогнозування, оцінювання, прийняття рішень та місце моделей в постановці і розв'язанні цих задач.

У результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен:

ВМІТИ:

- обрати вид моделі об'єкта дослідження та сформулювати вимоги до характеристик моделі;
- визначити умови моделювання;
- формалізувати структурні моделі за допомогою графів, здійснювати їх аналіз і синтез за допомогою формальних перетворень;
- здійснювати аналіз і синтез, композицію і декомпозицію функціональних моделей;
- планувати ідентифікаційні експерименти; здійснювати ідентифікацію функціональних моделей детермінованими та статистичними методами, кластерізацію і класифікацію об'єктів;
- обрати метод, алгоритм та структуру системи цифрової обробки експериментальних даних;
- здійснити аналіз обчислювальної задачі та обирати обчислювальні алгоритми;
- розробити план імітаційного моделювання, створити імітаційні моделі блоків та розробити алгоритм їх агрегування, оцінити необхідний обсягу тестів та обробити результати імітаційного моделювання;
- здійснювати моделювання в середовищах математичних пакетів відповідно до особливостей задачі моделювання;
- формулювати задачі оптимізації, прогнозування, оцінювання, прийняття рішень.

Навчальна дисципліна **“Сучасні методи моделювання в наукових дослідженнях”** є основою для вивчення дисциплін навчального плану підготовки доктора філософії.

Дисципліна складається з двох модулів:

Модуль № 1. Моделювання як наука

Модуль № 2. Моделювання як мистецтво

Модуль № 1 Моделювання як наука

Лекція 1. Вступ. Поняття моделювання, терміни, визначення та класифікація

Лабораторне заняття № 1 Дослідження стану системи

Лабораторне заняття № 2 Дослідження моделей

Лабораторне заняття № 3

Лекція 2 Основні види моделювання. Формальні методи побудови моделей

Лабораторне заняття № 4

Лабораторне заняття № 5

Лабораторне заняття № 6

Лекція 3 Ідентифікація параметрів математичної моделі. Основні принципи побудови моделі

Лабораторне заняття № 7

Лабораторне заняття № 8

Модульна контрольна робота № 1

Модуль № 2 Моделювання як мистецтво

Лекція 4

Лабораторне заняття № 9

Лабораторне заняття № 10

Лекція 5 –

Лабораторне заняття № 11

Лабораторне заняття № 12

Лабораторне заняття № 13

Лекція 6 –

Лабораторне заняття № 14

Лабораторне заняття № 15

Лабораторне заняття № 16

Модульна контрольна робота № 2

Основна література:

1. Задачин В. М. Моделювання систем : конспект лекцій / В. М. Задачин, І. Г. Конюшенко. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2010. – 268 с.
2. Введение в математическое моделирование: Учеб. Пособие / Под ред. П.В. Трусова. – М.: Университетская книга, Логос, 2007. – 440с.

Ресурси мережі Internet

www.exponenta.ru

www.gpss.ru

www.minutemansoftware.com

www.model.exponenta.ru

www.model-im.narod.ru

§1. Поняття моделювання

Моделювання як одну з найважливіших категорій процесу пізнання неможливо відокремити від розвитку людства.

З самого дитинства людина пізнає світ, спочатку через іграшки й ігри, відображаючи, тобто моделюючи, дійсність.

З роками вона використовує все більш складні моделі що дають можливість "програвати" різні життєві та виробничі ситуації і тим самим отримувати якнайкращі способи вирішення проблем.

Математичні моделі є одним з основних інструментів пізнання людиною явищ навколишнього світу.

Під математичними моделями розуміють основні закономірності і зв'язки, властиві явищу, що вивчається. Це можуть бути формули або рівняння, набори правил або угод, виражені в математичній формі.

Так, наприклад, закони Ньютона повністю визначають закономірності руху планет навколо Сонця. Використовуючи основні закони механіки, відносно неважко скласти рівняння, що описують рух космічного апарата, наприклад, від Землі до Місяця. Проте отримати їх розв'язання у вигляді простих формул не є можливим. Тому для розрахунку траєкторій космічних апаратів служать комп'ютери, тобто застосовується комп'ютерне моделювання.

Методи комп'ютерного моделювання широко використовують у всіх сферах діяльності людини – від конструювання моделей технічних, технологічних й організаційних систем до вирішення проблем розвитку людства і навколишнього світу. Класичними об'єктами моделювання є інформаційні, виробничі, транспортні й інші логістичні системи, моделі яких у більшості випадків використовуються для розв'язання задач проектування, реконструкції і довгострокового планування, тобто застосовуються для управління цими системами. Комп'ютерне моделювання повинне застосовуватися завжди, коли потрібно відповісти на запитання: "Що буде, якщо...?", тобто при прийнятті рішення.

З 1952 року існує всесвітнє добровільне товариство міжнародного комп'ютерного моделювання – SCS (www.scs.org), основними завданнями якого є вивчення, розповсюдження, використання й удосконалення методів комп'ютерного моделювання для вирішення реальних проблем, що існують у світі.

До SCS входять професіонали, діяльність яких пов'язана з розробленням методології та застосуванням сучасних технологій і методів моделювання.

Регіональні ради SCS існують у США, Канаді, країнах Європи (www.scs-europe.net), включаючи Східну Європу, в Китаї, Мексиці та інших країнах.

Щороку SCS проводить конференції з проблем моделювання, публікує доповіді та випускає журнали (www.scsorg/pubs/pubsinfo.html). В Європі існує федерація європейських товариств моделювання – EUROSIM (www.eurosim.info), товариство моделювання та технології імітації – EUROSIS (<http://biomath.rug>), а також інститути науки моделювання – McLeod.

У зв'язку з розвитком ринкової економіки та переходом до ринкових моделей розвитку ситуація почала змінюватись і в Україні.

Це підтверджує і поява в мережі Інтернет за останні два роки порталу www.simulation.org.ua в Україні, www.gpss.ru – в Росії, та сайту www.gpss-forum.narod.ru в Росії.

Моделювання – це спосіб дослідження будь-яких явищ, процесів або об'єктів шляхом побудови й аналізу їх моделей. У широкому розумінні моделювання є однією з основних категорій теорії пізнання і мало не єдиним науково обґрунтованим методом наукових досліджень систем і процесів будь-якої природи в багатьох сферах людської діяльності.

§ 2. Система і модель

Основними поняттями в теорії і практиці моделювання об'єктів, процесів і явищ є поняття "**система**" і "**модель**".

У перекладі з грецької "systema" – це ціле, яке складається з частин; об'єднання.

Термін "**система**" існує вже більш ніж два тисячоліття, проте, різні дослідники визначають його по-різному. На сьогодні існує понад 500 визначень терміну "система". Проте, використовуючи будь-яке з них, насамперед потрібно мати на увазі ті завдання, які ставить перед собою дослідник.

Системою може бути і один комп'ютер, і автоматична лінія або технологічний процес, в яких комп'ютер є лише одним з компонентів, і все підприємство або декілька різних підприємств, що функціонують як єдина система в одній галузі промисловості. Те, що один дослідник визначає як систему, для іншого може бути лише компонентом складнішої системи.

Для всіх визначень системи спільним є те, що *система* – цілісний комплекс взаємозв'язаних елементів, який має певну структуру і взаємодіє із зовнішнім середовищем.

Структура системи – це організована сукупність зв'язків між її елементами. Під таким зв'язком розуміють можливість впливу одного елементу системи на інший. *Середовище* – це сукупність елементів зовнішнього світу, що не входять до складу системи, але впливають на її поведінку або властивості. Система є *відкритою*, якщо існує зовнішнє середовище, яке впливає на систему, і *закритою*, якщо зовнішнє середовище відсутнє або не враховується, у зв'язку з поставленими цілями досліджень.

Одне з перших визначень системи (1950 рік) належить американському біологові **Л. фон Бергаланфі**, згідно з яким система складається з деякої кількості взаємозв'язаних елементів. Оскільки між елементами системи існують певні взаємозв'язки, то повинні бути структурні відношення. Таким чином, система – це щось більше, ніж сукупність елементів. Аналізуючи систему, потрібно враховувати оцінку системного (синергетичного) ефекту. Властивості системи відмінні від властивостей її елементів, і залежно від властивостей, якими цікавляться дослідники, та ж сама сукупність елементів як може бути системою, так і не бути нею.

Елементи системи і зв'язки між ними в різних випадках можуть мати різну природу (фізичну, інформаційну, технологічну, біологічну, соціальну), тому аналізом систем займаються представники різних галузей науки і техніки.

Науковий напрям під назвою **загальна теорія систем**, який з'явився в кінці 50-х – на початку 60-х років ХХ століття, пов'язаний з розробкою сукупності філософських, методологічних, наукових і прикладних методів аналізу та синтезу систем довільної природи.

Ця теорія є загальною, оскільки має дедуктивний характер, об'єднує інші теорії, а саме: теорії управління, самоорганізації, навчання і розроблена для вивчення поведінки абстрактних систем.

Основне її призначення – пояснити, яким чином з окремих елементів утворюється складна єдність цілого, нова сутність.

Загальна теорія систем тісно пов'язана з формальною і є певною мірою математичною.

Основна процедура теорії систем і системного аналізу – **побудова моделі** системи, яка відображала б всі фактори, взаємозв'язки і реальні ситуації.

Аналогія, абстракція і спрощення – це основні поняття, що використовуються при моделюванні систем.

Науковою основою моделювання як методу пізнання і дослідження різних об'єктів і процесів є **теорія схожості**, в якій головним є поняття аналогії, тобто схожість об'єктів за деякими ознаками.

Подібні об'єкти називаються аналогами. Аналогія між об'єктами може встановлюватися за якісними і (або) кількісними ознаками.

Основним видом кількісної аналогії є **математична схожість**, коли об'єкти описуються за допомогою рівнянь і функцій. Функції і незалежні змінні називаються схожими, якщо вони співпадають з точністю до деяких констант.

Окремими видами математичної схожості є геометрична схожість, яка встановлює **схожість геометричних образів**, і **часова**, така, що визначає схожість функцій часу, для яких константа часу (масштаб) показує, в яких відношеннях перебувають параметри функцій, такі як період, часова затримка і т. п.

Іншим видом кількісної аналогії є **фізична схожість**. Критерії фізичної схожості можна отримати, не маючи математичного опису об'єктів, наприклад, на основі значень фізичних параметрів, які характеризують досліджуваний процес у природі і на моделі.

За типами процесу розрізняють види схожості, для якої розроблені відповідні критерії, – **гідрравлічні, електричні, аеродинамічні й ін.**

§ 3. Види моделей та їх класифікація

Для того щоб визначити види моделей, перш за все, потрібно вказати ознаки класифікації.

Якщо враховувати, що **моделювання – це метод пізнання** дійсності, то основною ознакою класифікації можна назвати спосіб подання моделі.

За цією ознакою розрізняють **абстрактні** і **реальні** моделі.

Під час моделювання можливі різні абстрактні конструкції, проте, основною є віртуальна (уявна) модель, що відображає ідеальне уявлення людини про навколишній світ, який фіксується у свідомості через думки і образи.

Віртуальна модель може представлятися у вигляді наглядної моделі за допомогою графічних образів і зображень.



Основним видом абстрактної моделі є математична модель.

Її вид залежить як від природи реального об'єкта, так і від задач дослідження об'єкта та необхідної достовірності і точності розв'язку цієї задачі.

Будь-яка математична модель, як і всяка інша, описує реальний об'єкт лише з деякою мірою наближення до дійсності.

За видом математичні моделі для дослідження характеристик процесу функціонування систем можна розділити на **аналітичні, імітаційні і комбіновані.**

Для **аналітичної** моделі характерно те, що процеси функціонування елементів системи записуються у вигляді деяких функціональних співвідношень (алгебри, інтегрально-диференціальних, кінцево - різницевих і т. п.) або логічних умов. Аналітична модель може бути досліджена такими методами:

- а) **аналітичним**, коли прагнуть отримати в загальному вигляді явні залежності для шуканих характеристик;
- б) **чисельним**, коли, не вміючи розв'язувати рівняння в загальному вигляді, прагнуть отримати числові результати при конкретних початкових даних;
- в) **якісним**, коли, не маючи розв'язку в явному вигляді, можна знайти деякі властивості розв'язку (наприклад, оцінити сталість розв'язку).

При застосуванні **імітаційної** моделі відтворюється процес функціонування системи у часі, причому імітуються елементарні явища, що складають процес, із збереженням їх логічної структури і послідовності протікання в часі, що дозволяє за початковими даними отримати зведення про стани процесу в певні моменти часу, які дають можливість оцінити характеристики системи.

Основною перевагою використання імітаційних моделей порівняно з аналітичними моделями є можливість розв'язання складніших задач.

Імітаційні моделі дозволяють досить просто враховувати такі фактори, як наявність дискретних і безперервних елементів, нелінійні характеристики елементів системи, численні випадкові дії тощо, які часто створюють труднощі при аналітичних дослідженнях.

Імітаційне моделювання – найбільш ефективний метод дослідження великих систем, а часто і єдиний практично доступний метод отримання інформації про поведінку системи, особливо на етапі її проектування.

Коли результати отримані при відтворенні на імітаційній моделі процесу функціонування системи, є реалізаціями випадкових величин і функцій, тоді для знаходження характеристик процесу потрібне його багаторазове відтворення з подальшою статистичною обробкою інформації і доцільно як метод машинної реалізації імітаційної моделі використовувати метод статистичного моделювання.

Спочатку був розроблений метод статистичних випробувань, що є чисельним методом, який застосовувався для моделювання випадкових величин і функцій, імовірнісні характеристики яких співпадали з розв'язками аналітичних задач (така процедура отримала назву метода Монте-Карло).

Потім цей прийом почали застосовувати і для машинної імітації з метою дослідження характеристик процесів функціонування систем, схильних до випадкових дій, тобто з'явився метод статистичного моделювання.

Використання **комбінованих (аналітико-імітаційних) моделей** при аналізі і синтезі систем дозволяє об'єднати переваги аналітичних й імітаційних моделей.

При побудові комбінованих моделей проводиться попередня декомпозиція процесу функціонування об'єкта на складові підпроцеси, і для тих з них, де це можливо, використовуються аналітичні моделі, а для решти підпроцесів будуються імітаційні моделі.

Такий комбінований підхід дозволяє охопити якісно нові класи систем, що не можуть бути досліджені з використанням тільки аналітичного й імітаційного моделювання окремо.

На відміну від **абстрактних, реальні** моделі існують у природі, і з ними можна експериментувати.

Реальні моделі – це такі моделі, в яких хоча б один компонент є фізичною копією реального об'єкта. Залежно від того, в якому співвідношенні перебувають властивості системи і моделі, реальні моделі можна поділити на натурні і макетні.

Натурні (фізичні) моделі – це існуючі системи (або їх частини), на яких ведуться дослідження. Натурні моделі повністю адекватні реальній системі, що дає можливість отримувати високу точність і достовірність результатів моделювання.

Істотні недоліки натурних моделей – це неможливість моделювання критичних й аварійних режимів їх роботи і висока вартість.

Макетні моделі – це реально існуючі моделі, що відтворюють модельовану систему в певному масштабі. Іноді такі моделі називаються **масштабними**. Параметри моделі і системи відрізняються між собою. Числове значення цієї відмінності називається масштабом моделювання, або коефіцієнтом схожості. Ці моделі розглядаються в рамках теорії схожості, яка в окремих випадках передбачає геометричну схожість оригіналу і моделі для відповідних масштабів параметрів.

Прості макетні моделі – це пропорційна зменшені копії існуючих систем, що відтворюють основні властивості системи або об'єкта залежно від мети моделювання. Макетні моделі широко використовуються під час вивчення фізичних та аеродинамічних процесів.

Залежно від можливості змінювати в часі свої властивості **моделі поділяються на статичні і динамічні.**

Статичні моделі, на відміну від динамічних, не змінюють своїх властивостей в часі.

Динамічні моделі, що змінюють свої властивості в часі, як правило, є імітаційними.

Залежно від того, яким чином відтворюються в часі стани моделі, розрізняють дискретні, неперервні і дискретно-неперервні (комбіновані) моделі.

Відповідно до співвідношень між станами системи і моделі розрізняють детерміновані і стохастичні моделі. Останні, на відміну від детермінованих моделей, враховують імовірнісні явища і процеси, що відбуваються в системі.

§ 4. Вимоги до моделей

У загальному випадку під час побудови моделі потрібно враховувати такі вимоги:

- незалежність результатів розв'язання задач від конкретної фізичної інтерпретації елементів моделі;
- змістовність, тобто здатність моделі відображати важливі риси і властивості реального процесу, що вивчається і моделюється;
- дедуктивність, тобто можливість конструктивного використання моделі для отримання результату (управління, прогнозування);
- індуктивність – вивчення причин і наслідків, від окремого до загального, з метою накопичення необхідних знань.

Модель повинна дати можливість знайти відповіді на певні питання, наприклад : **"що буде, якщо ..."**, оскільки вони є найбільш доцільними під час глибокого вивчення проблеми.

Не слід забувати, що системні аналітики використовують модель для прийняття рішень і пошуку якнайкращих способів створення модельованої системи або її модернізації.

Завжди потрібно пам'ятати, що користувачем інформації, отриманої за допомогою моделі, є замовник.

Недоцільно розробляти модель, якщо її не можна буде використовувати. Більш того, робота з моделлю повинна бути автоматизована для замовника до такої міри, щоб він міг працювати з нею в межах своєї предметної галузі.

Таким чином, між моделлю і користувачем має бути реалізований розвинений інтерфейс, який зазвичай створюється за допомогою системи меню, налаштованої на використання моделі в певній галузі.

Ступінь деталізації моделі потрібно вибирати з урахуванням цілей моделювання, можливості отримання необхідних вхідних даних для моделі і враховуючи наявні ресурси для її створення.

§ 5. Класифікація математичних моделей

Математичні моделі поділяють на класи залежно від:

- складності об'єкту моделювання (простий або складний);
- оператора моделі (модель є оператором, що визначається сукупністю рівнянь: алгебраїчних, звичайних диференціальних (ЗДУ), систем ЗДУ та інших);
- вхідних і вихідних параметрів;
- способу дослідження моделі;
- цілі моделювання (**дескриптивні** або **оптимізаційні**).

Метою дескриптивних моделей (від лат – опис) є встановлення законів зміни параметрів моделі.

Прикладом такої моделі є модель руху тіла під дією прикладених сил з використанням другого закону Ньютона.

Визначаючи положення і швидкість тіла на початковому етапі (вхідні параметри), масу (власний параметр) і закон зміни сил, що прикладені (зовнішній вплив), можливо визначити швидкість і координати тіла в будь якій час (вихідні параметри). Така модель визначає залежність вихідних параметрів від вхідних.

Тому дескриптивні моделі є реалізацією змістовних моделей, що описують і пояснюють на формальному рівні моделювання.

Оптимізаційні моделі призначені для визначення оптимальних (найкращих) з точки зору деякого критерія параметрів об'єкта, що моделюється або для пошуку оптимального (найкращого) режиму управління процесом.

Контрольні питання за матеріалами лекції № 1:

1. Поняття і визначення моделі.
2. Поняття і визначення системи.
3. Основні поняття, що використовуються при моделюванні систем.
4. Поняття і основні види схожості.
5. Види моделей та їх класифікація.
6. Аналітичні, імітаційні і комбіновані математичні моделі.
7. Основні реальні моделі.
8. Вимоги до моделей.
9. Класифікація математичних моделей.