

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

С. С. ВЕЛИКОДНИЙ

МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ

(Частина 1)

Конспект лекцій

Одеса
Одеський державний екологічний університет
2021

УДК 004.942
В 27

Великодний С. С.

В 27 Моделювання складних процесів та систем (Частина 1): конспект лекцій. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2021. 92 с.
ISBN 978-966-186-181-6

Конспект лекцій з дисципліни «Моделювання складних процесів та систем» призначений для здобувачів вищої освіти (аспірантів) третього освітньо-наукового рівня «доктор філософії», які навчаються за науковою спеціальністю 122 – комп’ютерні науки, при вивченні дисципліни у першому семестрі.

У конспекті подаються основні положення загальноприйнятих методів моделювання складних процесів та систем, необхідних для успішного засвоєння цієї дисципліни. Кожна тема лекції містить: план лекції, основні пояснення до теми, методичні поради щодо вивчення кожної теми, питання для самоконтролю, вправи для перевірки засвоєння тем. Наприкінці конспекту подається термінологічний словник за матеріалами кожного змістовного модуля, а у кінці усіх тем – предметний покажчик. Подано методичні поради щодо розробки моделей за допомогою мови імітаційного моделювання GPSS.

УДК 004.942

*Рекомендовано методичною радою Одеського державного екологічного університету
Міністерства освіти і науки України як конспект лекцій
(протокол №4 від 26.11. 2021 р.)*

ISBN 978-966-186-181-6

© С. С. Великодний, 2021
© Одеський державний екологічний університет, 2021

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки	5
Передмова	6
Вступ	7
ЗМ-Л1 «Сутність моделювання»	9
Тема «Моделювання та його використання у науці та техніці»	9
Питання для самоконтролю за темою	10
Тема «Види моделювання: математичне, аналітичне, макетне, фізичне, аналогове, ситуаційне»	10
Питання для самоконтролю за темою	20
Тема «Імітаційне моделювання як інструмент експериментального дослідження складних процесів та систем»	20
Питання для самоконтролю за темою	25
Тема «Умови доцільності використання машинної імітації»	26
Питання для самоконтролю за темою	29
Теми «Встановлення адекватності імітаційної моделі еволюційних процесів»	30
Питання для самоконтролю за темою	33
Вправи до першого лекційного модуля	34
ЗМ-Л2 «Основні етапи побудови імітаційної моделі»	36
Тема «Розробка методики моделювання. Планування експериментів та статистична обробка результатів моделювання»	36
Питання для самоконтролю за темою	39
Тема «Розробка програмного забезпечення та проведення імітації на ПК. Етапи створення експертних систем»	39
Питання для самоконтролю за темою	43
Вправи до теми лекції	43
Тема «Встановлення основного змісту моделі. Фактори, які враховуються в основному змісті моделі»	45
Питання для самоконтролю за темою	49
Вправи до теми лекції	50
Тема «Суть оптимального керування запасами. Керуючі параметри. Некеровані параметри. Характеристика некерованих параметрів»	51
Питання для самоконтролю за темою	59
Тема «Концептуальна імітаційна модель керування запасами (основні передумови). Блок-схема імітаційної моделі»	60

Питання для самоконтролю за темою	74
Вправи до теми лекції	75
Використані джерела.....	77
Рекомендована література.....	79
Глосарій	80
Термінологічний словник до першого лекційного модуля	80
Термінологічний словник до другого лекційного модуля	84
Предметний покажчик	88

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АОМ – аналогова обчислювальна машина.

АСУ – автоматизована система управління.

ІС – інтелектуальна інформаційна система.

ЛОМ – локальна обчислювальна мережа.

МКШ – метод критичного шляху.

МОПП – метод оцінки та перегляду програм.

ОС – операційних систем.

ОЦ – обчислювальний центр.

ПК – персональний комп'ютер.

РС – робоча станція.

ANOVA – Analysis of Variances (комплекс засобів дисперсійного та регресійного аналізу).

GPSS – General Purpose Simulation System.

ПЕРЕДМОВА

Математичне моделювання в даний час є обов'язковою складовою усіх етапів проектування, створення і експлуатації складних технічних, організаційних і економічних систем. Використання моделювання дозволяє істотно скоротити час прийняття рішень, підвищити їх якість, спрогнозувати наслідки. Найбільшого поширення при цьому знаходить математичне і комп'ютерне моделювання процесів та систем.

Лекційні модулі орієнтовані на використання аспірантами сучасної технології вирішення завдань моделювання із застосуванням комп'ютерних засобів, пакетів і систем моделювання. Тому при підготовці до виконання робіт слід вивчити особливості режимів роботи і застосування використовуваних програмно-технічних засобів моделювання. Представлений конспект лекцій містить лекційні модулі для вивчення аспірантами дисципліни у першому семестрі.

Набуття компетентностей орієнтоване на активну індивідуальну діяльність кожного аспіранта. Виконання лабораторних робіт спрямовано на придбання аспірантами практичних навичок побудови складних моделей і дослідження процесів функціонування об'єктів методами математичного моделювання. Кожна робота передбачає створення, модернізацію або деталізацію запропонованої моделі, проведення експериментів з машинною моделлю, аналіз результатів моделювання процесів та систем.

Під час засвоєння дисципліни у аспірантів формуються фундаментальні теоретичні знання щодо суті машинної імітації виробничих систем, систем обробки інформації і автоматизованого проектування інформаційних систем. На цьому підґрунті аспіранти мають оволодіти практичними навичками використання імітаційних моделей для підвищення ефективності управління процесами і розв'язання задач автоматизованого проектування інформаційних систем.

ВСТУП

Моделювання – найпотужніший універсальний метод дослідження та оцінювання ефективності різноманітних систем, поведінка яких залежить від дії випадкових чинників.

Аналітичне моделювання полягає у побудові та дослідженні математичних моделей. У його основу покладено ідентичність форми рівнянь та однозначність співвідношень між змінними в рівняннях, які описують оригінал та модель.

Недоліками більшості аналітичних моделей, побудованих на основі понять теорії масового обслуговування, є використання в них значних спрощень: зображення потоку замовлень як пуасонівського або найпростішого, припущення про показниковий розподіл часу обслуговування, неможливість обслуговування замовлень одночасно кількома каналами обслуговування тощо. Такі спрощення, а іноді штучне пристосування аналітичних моделей з метою використання добре розробленого математичного апарату для дослідження реальних систем можуть ставити під сумнів результати аналітичного моделювання.

Недоліком складних моделей є громіздкість обчислень. Зокрема, аналітичний розв'язок системи диференціальних рівнянь Колмогорова для ймовірностей станів системи масового обслуговування можна знайти лише у випадку, коли кількість каналів обслуговування не перевищує двох. Складною для розв'язування у таких випадках є й відповідна система алгебричних рівнянь для ймовірностей станів граничного стаціонарного режиму. Отже, аналітичні методи мають самостійне значення лише для дослідження функціонування систем масового обслуговування у першому наближенні і в окремих, специфічних задачах.

Мета дисципліни – формування у аспірантів теоретичних і практичних основ методології та технології моделювання у процесі дослідження, проектування і експлуатації складних систем, продуктів, сервісів інформаційних технологій й інших об'єктів професійної діяльності; здатності реалізовувати алгоритми моделювання та проведення статистичних експериментів над моделлю для дослідження характеристик й станів складних об'єктів та подальшого прийняття оптимізаційних рішень за результатами моделювання.

Під час вивчення дисципліни перед аспірантами ставляться такі завдання:

- навчитись утворювати концептуальні імітаційні моделі складних систем на основі їх дослідження;
- оволодіти навичками розробки логічних схем складних імітаційних моделей;
- вивчити методи машинної імітації випадкових подій і випадкових процесів;
- навчитися розробляти програмне забезпечення імітаційних моделей за допомогою мов програмування і моделювання;
- ознайомитись з досвідом використання машинної імітації в процесі прийняття рішень.

ЗМ-Л1 «СУТНІСТЬ МОДЕЛЮВАННЯ»

Тема «Моделювання та його використання у науці та техніці»

План лекції.

Мета і завдання курсу.

Історична довідка про виникнення та розвиток імітаційного моделювання (машинної імітації).

Моделювання та його використання в науці і техніці.

Огляд і характеристика першоджерел.

Пояснення до теми.

Одним з головних напрямів розвитку економіки України, а також вітчизняної науки і техніки є впровадження засобів інформатики і автоматизації в різні галузі суспільного виробництва, зокрема в проектування та управління виробництвом і технологічними процесами на базі використання сучасної високопродуктивної обчислювальної техніки і нової інформаційної технології.

Широкий розвиток комп'ютеризації як самого виробництва, так і управління ним неможливий без застосування ефективних наукових методів аналізу й оптимізації складних економіко-організаційних систем. Адже завдяки саме цим методам вдається в повному обсязі реалізувати колосальні потенційні можливості прогресивних технологій і передової техніки.

Серед наукових методів, які застосовуються в економіці, науці і техніці, особливе місце займають методи моделювання. Існують різні види моделювання: фізичне, макетне, математичне (аналітичне), імітаційне (машинне), аналогове, ситуаційне (ділові ігри).

Незважаючи на таке розмаїття моделей, які існують в науці, економіці та техніці, усім моделям притаманна деяка спільна риса. Її суть полягає в наявності певної структури, котра може бути статичною чи динамічною, матеріальною чи уявною, що справді є подібною (або розглядається як така) структурі іншої системи. Таким чином, модель є природним чи штучним об'єктом, який перебуває в певній відповідності з досліджуваним об'єктом чи з деякими його характеристиками. У загальному розумінні моделювання можна визначити як метод опосередкованого пізнання, при якому досліджуваний об'єкт (оригінал)

перебуває в деякій відповідності з іншим об'єктом (моделлю). При цьому об'єкт-модель здатний в тому чи іншому відношенні замінювати оригінал на деяких стадіях гносеологічного процесу.

У даній темі імітаційне моделювання розглядається як особлива форма проведення машинних експериментів з економічними об'єктами. Подається характеристика напрямів використання імітаційного моделювання. Зазначається місце машинної імітації у розв'язанні проблем комп'ютеризації інформаційних процесів підприємств та установ.

Питання для самоконтролю за темою

Для самостійної перевірки знань доцільно сформулювати розширені відповіді на поставлені питання і перевірити їх повноту та правильність за допомогою матеріалів запропонованих літературних джерел.

1 Порівняння корисності методів дослідження операцій у науковій роботі.

2 Історія розвитку методу імітаційного моделювання (машинної імітації).

3 Наведіть приклади відомих вам математичних моделей з різних галузей науки і техніки.

4 Чому в економіко-математичному моделюванні терміни «економіко-математична модель» і «економіко-математична задача» часто використовуються як синоніми?

5 Як ви розумієте терміни «математична модель», «математичний метод».

6 Дайте розширене тлумачення поняття «інтелектуальні інформаційні системи» і з'ясуйте роль моделювання при розв'язанні задач у цих системах.

Тема «Види моделювання: математичне, аналітичне, макетне, фізичне, аналогове, ситуаційне»

План лекції.

Фізичне моделювання.

Математичне (аналітичне) моделювання

Макетне (наочне) моделювання

Аналогове моделювання
Ситуаційне моделювання (ділові ігри).

Пояснення до теми.

Під час вивчення цієї теми слід мати на увазі, що імітаційне моделювання є одним з високоефективних методів системного аналізу. Проте це не єдиний науковий інструмент розв'язання складних задач. Слід підкреслити роль і значення інших видів моделювання, зокрема фізичного моделювання, макетного моделювання, проведення досліджень за допомогою математичних моделей (аналітичне моделювання), аналогове моделювання, на основі якого було створено аналогові обчислювальні машини, налагоджено ситуаційне моделювання (ділові ігри), які в багатьох випадках включають як окремий елемент імітаційні моделі.

Фізичне моделювання – це заміна вивчення досліджуваного явища в натурі вивченням аналогічного явища на моделі зменшеного чи збільшеного масштабу в спеціальних лабораторних умовах. Фізична модель дає змогу провести досліди з метою вивчення фізичної сутності явищ і отримання практичних уявлень про характер здійснення процесу. Цей вид експериментальних досліджень базується на подібності явищ, що супроводжують роботу натурної і модельної установок.

Два фізичних явища вважаються подібними, якщо сукупності величин, що характеризують сутність цих явищ, можуть бути перетворені за допомогою змінювання одиниць їх вимірювання. Тому при наявності подібності величини, що мають однакову фізичну розмірність, повинні мати однакові коефіцієнти подібного перетворення. Безрозмірні величини при цьому залишаються без змін, тобто є інваріантами подібного перетворення.

Будь-який комплекс, складений з величин, що визначають це явище, можна розглядати як деяку фізичну величину. Якщо цей комплекс є безрозмірним, то для класу подібних явищ він має одне й те саме числове значення, тому в теорії подібності й розмірності його прийнято називати *критерієм подібності*. Властивість критеріїв подібності залишатися незмінними при переході від одного фізичного явища до іншого використовується для встановлення умов подібності фізичних явищ. Такі умови визначаються так званою третьою теоремою теорії подібності.

Необхідні й достатні умови подібності явищ полягають у рівності числових значень визначальних критеріїв подібності, тобто критеріїв, утворених з величин, що входять до умови однозначності.

Сукупність фізичних величин (включаючи відповідні розмірні фізичні константи), які забезпечують однозначну визначеність досліджуваного явища, називаються *системою визначальних параметрів*. Кількість незалежних критеріїв подібності, утворених із системи визначальних параметрів, установлюється « π -теоремою», яка стверджує, що число безрозмірних комплексів (критеріїв подібності) дорівнює числу всіх величин, суттєвих для процесу, за мінусом числа первинних величин:

$$R = N - K, \quad (1)$$

де R , N , K – відповідно число критеріїв подібності; усіх параметрів (у тому числі й безрозмірних), суттєвих для процесу; число первинних величин, за допомогою яких описуються розмірності визначальних параметрів.

Розглядаючи питання про фізичне моделювання, слід з'ясувати його відмінність від натурального моделювання. При натурному моделюванні в об'єкт, який необхідно дослідити, не вносять спеціальних змін, а саме натурне моделювання може здійснюватися або шляхом проведення експерименту під час виробничих процесів, або узагальненням виробничого досвіду чи натурних (експериментальних) даних.

Фізичне моделювання передбачає створення спеціальних пристроїв, що мали б спільну з оригіналом фізичну природу. При цьому коректне використання результатів фізичного моделювання досягається за рахунок ізоморфності критеріїв подібності. Критерії подібності будь-якого явища можуть перетворюватися в критерії іншої форми за рахунок операцій множення чи ділення критеріїв, піднесення їх до ступеня або множення на будь-який постійний коефіцієнт.

Є два основних способи утворення критеріїв подібності. Перший спосіб полягає в приведенні рівнянь фізичного процесу, що вивчається, до безрозмірного виду (метод інтегральних аналогів). Він базується на відомій властивості фізичних рівнянь: усі члени рівняння, що описує певний фізичний процес, мають однакові розмірності відносно основних одиниць вимірювання. Для визначення основних критеріїв подібності потрібно всі члени рівняння (нехай їх буде n) розділити на деякий із них, відкинути символи диференціювання й інтегрування, а також неоднорідні

функції (трансцендентні, складні тощо). До отриманих у результаті цієї операції $n - 1$ основних критеріїв необхідно додати s додаткових критеріїв – аргументів, що входять у члени рівняння неоднорідних функцій. Таким чином, загальне число критеріїв подібності, знайдених способом інтегральних аналогів, складає $n - 1 + s$.

Як приклад розглянемо значення критерія подібності для випадку вимушених механічних коливань з демпфуванням. Нехай вантаж масою M коливається на пружині з жорсткістю c у в'язкому середовищі, а при переміщенні його на відстань l з'являється сила опору, пропорційна швидкості переміщення вантажу $v = \frac{dl}{dt}$ і коефіцієнта k . На вантаж діє збурююча сила $F \sin \omega t$. Диференціальне рівняння цього процесу має вигляд:

$$M \frac{d^2 l}{dt^2} + k \frac{dl}{dt} + cl = F \sin \omega t. \quad (2)$$

Розділивши всі члени рівняння на перший член (на величину $\frac{Ml}{t^2}$), отримаємо відомий критерій Ньютона $\pi_1 = \frac{Ft^2}{Ml}$, а також два інші критерії $\pi_2 = \frac{kt}{M}$, $\pi_3 = \frac{ct^2}{M}$. Оскільки в рівнянні є неоднорідна функція – синус, то потрібно ввести додатковий критерій (критерій гомохронності) $\pi_4 = \omega t$, який має сенс лише за умови, що збурююча сила змінюється за синусоїдним законом.

Другий спосіб безпосередньо базується на використанні « π -теореми». За відсутності рівнянь, які описують процес, що моделюється, основні труднощі застосування апарату теорії подібності й розмірності полягають в утворенні системи визначальних параметрів. Якщо система таких параметрів утворена, то при дослідженні натурних явищ на фізичних моделях не виникає ніяких теоретичних труднощів. Фізичне моделювання зводиться до розв'язання двох фактично окремих задач.

Розрахувати параметри фізичної моделі так, щоб фізичний процес, що матиме місце в моделі, був подібний відповідному процесу натурального зразка (реально існуючого чи гіпотетичного) – оригіналу.

За допомогою дослідження фізичної моделі розрахувати необхідні характеристики натурної установки.

Нехай система визначальних параметрів для оригіналу (натури) включає N величин $A_1^H, A_2^H, \dots, A_N^H$, числові значення і формули розмірності яких відомі. Треба обчислити відповідні параметри фізичної моделі $A_1^M, A_2^M, \dots, A_N^M$.

Як відомо, математичний опис будь-якої фізичної величини A можна представити як добуток деякого числового значення a її на розмірність $[A]$. Тому $A_i^H = a_i^H \cdot [A_i^H]$, ($i = 1, 2, \dots, N$); $A_i^M = a_i^M \cdot [A_i^M]$, ($i = 1, 2, \dots, N$). Оскільки $[A_i^H] = [A_i^M]$, то перша задача фізичного моделювання зводиться до встановлення числових значень a_i^M ($i = 1, 2, \dots, N$). Згідно з визначенням подібності фізичних явищ:

$$a_i^M = a_i^H \cdot k_{A_i} \quad (i = 1, 2, \dots, N), \quad (3)$$

де k_{A_i} – поки що невідомий масштабний коефіцієнт (константа подібності).

Рівняння для визначення невідомих масштабних коефіцієнтів можна отримати шляхом прирівнювання однойменних критеріїв подібності, утворених із системи визначальних параметрів, і підстановкою співвідношення (3). Оскільки число критеріїв згідно з формулою (1) дорівнює $N - K$, то і рівнянь для обчислення невідомих масштабних коефіцієнтів можна отримати стільки ж. Решта $N - R$ коефіцієнтів обираються довільно з урахуванням зручності побудови і експериментального дослідження фізичної моделі. Число $N - R$, яке дорівнює числу первинних одиниць вимірювання K , іноді називають числом ступенів вільності моделювання. Якщо в систему визначальних параметрів входять безрозмірні величини, то вони самі є критеріями подібності й тому для моделі й натури їх числові значення збігаються.

Друга задача фізичного моделювання розв'язується методом аналізу розмірності вимірюваної на моделі характеристики процесу B . Формула розмірності залежить від обраної системи одиниць вимірювання. Наприклад, для механічних вимірювань у міжнародній системі одиниць СІ (SI – System International) розмірність величини B символічно може бути записана у вигляді:

$$[B] = L^\alpha M^\beta T^\gamma, \quad (4)$$

де квадратні дужки, у яких розміщений символ величини B , означає, що мова йде про розмірність одиниці даної величини, а символи L, M, T означають узагальнені позначення одиниць довжини, маси та часу. Показники ступеня α, β, γ вважаються відомими.

З урахуванням (4) величина B може бути записана у вигляді:

$$B = bL^\alpha M^\beta T^\gamma. \quad (5)$$

Якщо числове значення цієї характеристики для фізичної моделі дорівнює b^M , а для природи – b^H , то неважко вивести формулу, яка встановлює зв'язок між цими величинами:

$$b^M = b^H k_l^\alpha k_m^\beta k_t^\gamma, \quad (6)$$

де $k_l^\alpha, k_m^\beta, k_t^\gamma$ – масштабні коефіцієнти для довжини, маси та часу.

Таким чином, якщо на фізичній моделі знайдено числове значення характеристики B , то воно може бути перераховано на натурне явище за формулою:

$$b^H = b^M k_l^{-\alpha} k_m^{-\beta} k_t^{-\gamma}. \quad (7)$$

Слід зауважити, що методи теорії подібності й розмірностей застосовуються не лише при фізичному моделюванні, а і безпосередньо в техніко-економічних розрахунках.

Згідно з формулою (1) із 9 визначальних параметрів можна утворити 6 незалежних критеріїв подібності. Безрозмірні величини самі є критеріями подібності, тому $\pi_1 = \varphi$, $\pi_2 = f$, $\pi_3 = q$, тобто величини φ, f, q для фізичної моделі й природи мають бути одними й тими самими. Четвертим критерієм можна обрати число Фруда, яке використовувалося іншими дослідниками під час вивчення процесу випуску руди. Маємо $\pi_4 = \frac{v}{\sqrt{gl}}$. За

допомогою загальних залежностей типу $v = \frac{dl}{dt}$ та $G = \rho l^3$ можна утворити такі два критерії подібності (ділимо рівняння на один із членів та відкидаємо символи диференціювання) – $\pi_5 = \frac{\rho l^3}{G}$ і $\pi_6 = \frac{vt}{l}$.

Отримана система критеріїв подібності $\varphi, f, q, \frac{v}{\sqrt{gl}}, \frac{\rho l^3}{G}, \frac{vt}{l}$ є замкнутою, оскільки вона включає всі визначальні параметри. З іншого боку, критерії подібності незалежні, тобто жоден з них не може бути отриманий з решти коефіцієнтів. Це дає змогу однозначно розв'язати задачі обчислення масштабних коефіцієнтів (констант подібності), маючи відомі параметри системи (реальної чи тієї, що проектується) $\varphi^H, f^H, q^H, l^H, v^H, t^H, G^H, g^H, \rho^H$, знайти визначальні параметри фізичної моделі $\varphi^M, f^M, q^M, l^M, v^M, t^M, G^M, g^M, \rho^M$. Згідно з формулою (3) ця задача зводиться до обчислення 9 масштабних коефіцієнтів $k_\varphi, k_f, k_q, k_l, k_v, k_t, k_G, k_g, k_\rho$. Перших три коефіцієнти дорівнюють одиниці ($k_\varphi = k_f = k_q = 1$), оскільки вони відповідають безрозмірним визначальним параметрам. Для визначення решти 6 констант подібності є три критерії подібності, тобто мають місце три ступені вільності, що дає змогу, виходячи з міркувань зручності проведення фізичних експериментів, прийняти довільно три масштабних коефіцієнти: лінійний масштаб k_l (наприклад, зменшити фізичну модель у десять разів порівняно з натурою, тобто $k_l = 0,1$), $k_g = k_\rho = 1$.

Три інші константи подібності визначаємо за умови інваріантності критеріїв подібності, підставляючи в ці комплекси рівняння типу (3).

Наприклад, з рівності $\frac{\rho^H l^H{}^3}{G^H} = \frac{\rho^H l^H{}^3 k_\rho k_l^3}{G^H k_G}$ маємо $k_G = k_l^3$. Аналогічно

отримаємо $k_v = k_t = \sqrt{k_l}$.

Користуючись формулою (7), можна обчислити прогнозовані характеристики натури за результатами дослідження фізичної моделі.

Розглянемо на цьому прикладі ідею застосування теорії подібності й аналізу розмірностей у техніко-економічних розрахунках. Один з можливих напрямів застосування полягає в тому, що характеристики

деякого (існуючого) зразка машини (прототипу) беруться за базові величини, а характеристики геометрично і технологічно подібних машин розраховуються за формулами типу (7), тобто прототип машини виступає як фізична модель, характеристики якої установлені шляхом промислової експлуатації базової машини.

Математичне (аналітичне) моделювання добре відоме аспірантам з навчальних дисциплін «Моделювання систем», «Математичні методи дослідження операцій» тощо. Математичне моделювання полягає в побудові математичної моделі та дослідженні її аналітичними, числовими чи якісними методами для отримання деякої характеристики (характеристик) досліджуваної реальної системи.

Математична модель – це логічний чи математичний опис компонентів і функцій, які відбивають суттєві властивості об'єкта чи процесу, що моделюється. Слід підкреслити, що будь-яка модель — це умовний образ реально існуючих закономірностей, певне наближення до об'єктивної дійсності. Тому спрощення під час побудови математичних моделей, зокрема для дослідження економічних процесів, є не тільки вимушеними, а й навмисними, оскільки одночасне охоплення всіх аспектів реальності не завжди доцільне і нерідко перевищує можливості дослідників. Значне місце серед математичних моделей займають економіко-математичні моделі.

Макетне (наочне) моделювання в історичному плані належить до найраніших методів експериментального дослідження, що його застосовувала людина. Воно полягає в побудові макету об'єкта, що вивчається, і визначенні на основі його аналізу тих чи інших корисних (прийнятних) властивостей оригіналу. У цьому контексті під макетом розуміють просторове зображення чи геометричну копію будь-чого (виробу, споруди тощо). Макет і оригінал можуть відрізнятися як геометричними розмірами, так і властивостями матеріалу, з якого вони виготовлені. Для дослідження економічних явищ макетне моделювання мало придатне.

Аналогове моделювання. Метод дослідження, який використовує пряму, безпосередню аналогію між величинами, властивими одному явищу, і формально такими ж та що входять таким же чином в рівняння процесів величинами, притаманними іншому явищу. Має місце універсальна властивість природи: процеси різної фізичної природи описуються одними й тими ж математичними рівняннями. У табл. 1

наведено приклади механічної та електричних систем аналогій, а в табл. 2 – аналогії полів.

Таблиця 1 – Механічна та електричні системи аналогій

Механічна система	Аналогічні електричні системи	
	1-ша система	2-га система
Маса m	Індуктивність L	Ємність C
Переміщення x	Заряд q	Потокозчеплення ψ
Швидкість v	Струм I	Напруга U
Сила $Q = m \frac{dv}{dt}$	Електрорушійна сила $E = L \frac{dI}{dt}$	Струм $I = C \frac{dU}{dt}$

Таблиця 2 – Аналогії полів

Стаціонарне електричне поле струму в провідному середовищі	Стаціонарне поле фільтрації рідини	Стаціонарне поле температур
<i>Закон Ома</i>	<i>Закон Дарсі</i>	<i>Основне рівняння теплопроводності</i>
$\vec{J} = -\sigma \text{grad}\varphi;$ \vec{J} — цільність струму; σ — питома електро- провідність; φ — електричний потенціал	$\vec{v} = -k \text{grad } h;$ \vec{v} — швидкість фільтрації; k — коефіцієнт фільтрації; h — п'єзоелектрична напруга	$\vec{q} = -\lambda \text{grad } T;$ \vec{q} — тепловий потік; λ — коефіцієнт тепло- провідності; T — температура

На основі концепції аналогії будуються аналогові моделі певної фізичної природи (наприклад, моделювання стаціонарного електричного струму в провідному середовищі), на яких досліджуються шляхом встановлення відповідних параметрів у створеній моделі процеси, що відбуваються в іншому фізичному середовищі (наприклад, процеси в стаціонарному полі фільтрації рідини чи в стаціонарному полі температур). Аналогове моделювання стало основою створення аналогових обчислювальних машин (АОМ), які використовувалися не тільки в техніці, а й для розв'язання економічних задач. У табл. 3 наведено приклади двох АОМ такого призначення.

Таблиця 3 – Приклади аналогових обчислювальних машин

Тип машини	Призначення машини	Кількісні характеристики розв'язуваних задач
«Оптімум-2»	Для розв'язання транспортної задачі лінійного програмування	Максимальна кількість: пунктів виробництва – 20, пунктів споживання – 60. Займана площа – 2,5 м ² .
«АСОР-1» («Ритм»)	Для автоматизації розрахунків укрупнених задач сіткового планування та керування	Максимальна кількість: робіт у графіку – 200, подій у графіку – 140. Займана площа – 8 м ² .

Ситуаційне моделювання (ділові ігри) – це метод, в основу якого покладено відтворення в спеціальних лабораторних умовах певних ситуацій з метою розв'язання складних задач чи в навчальних цілях, які можуть мати місце в реальних системах. Назва походить від слова латинського походження *ситуація* (*situs* – становище), що означає збіг умов і обставин, які утворюють певне становище.

Побудова ситуаційної моделі полягає в тому, що повний опис неосяжної множини ситуацій функціонування реального об'єкта за певними правилами замінюється певною кількістю узагальнених ситуацій, кожна з яких з певною мірою вірогідності відтворює один з можливих станів системи. Ситуаційна модель може бути реалізована або за допомогою комп'ютера (наприклад, засобами імітаційного моделювання), або шляхом програвання в реальних умовах спеціальних сценаріїв (ділові ігри, воєнні ігри).

Ділові ігри (господарські ігри, економічні ігри) – метод імітації вироблення і прийняття управлінських рішень у різних виробничих ситуаціях шляхом проведення симульованої гри згідно із заданим сценарієм (чи системою правил) окремими групами людей або людини і комп'ютера. Сама ділова гра може розглядатися як деяке спрощене відтворення реального економічного чи виробничого процесу. У загальному випадку ділові ігри можуть використовуватися:

- при навчанні та доборі господарських керівників різного рангу;
- при навчанні студентів у вузах;
- при колективному прийнятті управлінських рішень;

- з дослідницькою метою для вивчення деяких сторін економічної поведінки людей, зокрема реакції на ті чи інші зміни в організаційній формі управління, на можливі заохочення та стягнення.

Питання для самоконтролю за темою

Для самостійної перевірки знань доцільно сформулювати розширені відповіді на поставлені питання і перевірити їх повноту та правильність за допомогою матеріалів запропонованих літературних джерел.

- 1 Перерахуйте види моделювання, які застосовуються в економіці, науці й техніці.
- 2 Надайте порівняльну характеристику їх з точки зору особливостей та границь практичного застосування.
- 3 Що називається критерієм подібності?
- 4 Види моделювання та особливості їх використання.
- 5 Для чого застосовуються масштабні коефіцієнти?
- 6 Порівняйте та оцініть методи, що найчастіше використовуються у внутрішньфірмовому плануванні.

Тема «Імітаційне моделювання як інструмент експериментального дослідження складних процесів та систем»

План лекції.

Сутність імітаційного моделювання.

Поняття імітаційного моделювання та машинної імітації.

Основні напрями використання машинної імітації:

- прогнозування розвитку національних економік;
- створення важливих народногосподарських проектів;
- забезпечення обороноздатності країни;
- охорона навколишнього середовища;
- навчання та підготовка кадрів.

Застосування машинної імітації в інформаційних системах:

- модулі в автоматизованих робочих місцях;
- розробка автоматизованих інформаційно-пошукових систем;

- моделювання структур управління в умовах застосування інформаційних систем;
- моделювання автоматизованих систем обробки даних;
- створення штучного інтелекту;
- автоматизація проектування інформаційних систем.

Застосування машинної імітації в інтелектуальних системах.

Розповсюдження методів машинної імітації в науковій роботі, в практиці й управлінській роботі на підприємствах (за результатами досліджень тисячі найбільших фірм США).

Пояснення до теми.

Імітаційне моделювання охоплює методологію створення моделей систем, методи алгоритмізації та засоби програмних реалізацій імітаторів, планування, організацію і виконання комп'ютерних експериментів з імітаційними моделями, машинну обробку даних та аналіз результатів. При цьому динамічні й стохастичні характеристики реальних процесів відображаються в моделі за допомогою спеціально сконструйованих процедур.

На відміну від аналітичного імітаційне моделювання знімає більшість обмежень, пов'язаних з можливістю відображення в моделях реального процесу функціонування системи, яку досліджують, динамічної взаємної обумовленості поточних і наступних подій, комплексного взаємозв'язку між параметрами і показниками ефективності системи тощо. Хоч імітаційні моделі в деяких випадках не такі лаконічні, як аналітичні, проте вони можуть бути як завгодно близькими до системи, яку моделюють, і простими у використанні. Це дає змогу застосовувати імітаційне моделювання як універсальний підхід для прийняття рішень в умовах невизначеності, враховуючи в моделях навіть ті чинники, які важко формалізувати, а також використовувати головні принципи системного підходу для розв'язування практичних задач.

Імітаційні моделі описують об'єкт дослідження деякою мовою, імітуючи елементарні явища, з яких складається функціонування системи, зі збереженням їхньої логічної структури, послідовності протікання у часі, особливостей і складу інформації про стан процесу. Зазначимо про наявність аналогії між дослідженням процесів методом імітаційного моделювання та їхнім експериментальним дослідженням.

Описи компонентів реальної системи в імітаційній моделі мають певний логіко-математичний характер і є сукупністю алгоритмів, які імітують функціонування цієї системи. Програма моделі, побудована на основі цих алгоритмів, дає змогу звести імітаційне моделювання до проведення експериментів на комп'ютері шляхом їхнього «прогону» на деякій множині вхідних даних, які імітують первинні події, що відбуваються в системі. Інформація, яка фіксується у процесі дослідження імітаційної моделі, дає змогу визначити потрібні показники, що характеризують ефективність системи, яку досліджують.

Завдяки застосуванню універсальних мов програмування для реалізації імітаційних моделей дослідник досягає гнучкості під час створення, відлагодження та випробування моделі. Однак мови моделювання, орієнтовані на певну предметну область, є мовами вищого рівня, тому дають підстави з меншими витратами створювати програми моделей для дослідження складних систем.

Одною з перших спеціалізованих мов моделювання, що полегшила процес написання імітаційних програм, була мова GPSS (General Purpose Simulation System – система моделювання загального призначення), яку створив у вигляді кінцевого продукту Джефрі Гордон у фірмі IBM 1962 р. Вона у свій час входила до першої десятки кращих мов програмування, випереджаючи транслятор з мови АЛГОЛ, і була реалізована практично на всіх типах комп'ютерів. Сьогодні є транслятори для операційних систем (ОС) Windows – GPSS World.

Систему GPSS World розробила для ОС Windows компанія Minuteman Software (США) у 2010 р. Це – потужне універсальне середовище моделювання як дискретних, так і неперервних процесів, призначене для професійного моделювання найрізноманітніших процесів і систем. Порівняно з GPSS/PC у GPSS World з'явилися додаткові можливості.

Головними з них є:

- для всіх класів об'єктів і змінних реалізовано динамічні графічні вікна, в яких у реальному часі подано проміжну і вихідну статистику;
- гнучку процедурну мову PLUS можна використати для побудови моделей і в процедурах здійснення експерименту;
- введено засоби підтримки факторного аналізу,

- традиційного дисперсійного (ANOVA) і регресійного аналізу, оптимізацію на основі методології оптимального планування експерименту;
- стали доступними елементи неперервного моделювання;
- вирішено проблеми з цілочисельним модельним часом.

За допомогою цієї системи можна ефективно моделювати як виробничі, так і невиробничі процеси: функціонування закладів торгівлі, портів, вуличний рух, роботу редакцій, установ, комп'ютерних мереж і мережі Internet, різноманітних систем масового обслуговування тощо. Система має великий набір команд для керування процесом моделювання, які можна використовувати як в інтерактивному режимі, так і вводити до складу моделі. Забезпечено можливість здійснення експериментів, згенерованих системою, у тім числі оптимізаційних. У системі GPSS World реалізовано процедуру візуалізації процесу функціонування моделі з використанням методів мультиплікації.

Використання системи моделювання GPSS World не лише значно прискорює процес моделювання та дослідження найрізноманітніших систем масового обслуговування і неперервних процесів, а й дає змогу здійснювати оптимізаційні експерименти. Сьогодні майже немає навчального матеріалу українською або російською мовою для вивчення мов моделювання взагалі і GPSS World, зокрема.

Під час вивчення теоретичного матеріалу теми необхідно звернути увагу на основні напрями використання імітаційного моделювання. Слід зазначити, що діапазон застосування комп'ютерної імітації надзвичайно широкий – від конкретних форм діяльності підприємств до імітації економіки країни в цілому.

Серед головних напрямів використання імітаційного моделювання необхідно розглянути такі:

- 1) прогнозування розвитку національних економік;
- 2) створення важливих народногосподарських проектів;
- 3) розробка і впровадження інформаційних систем різного призначення;
- 4) створення системи оборони країни і планування військових операцій;
- 5) охорона навколишнього середовища;
- 6) навчання та підготовка кадрів.

Машинна імітація являє собою цілий науковий напрям. Активне впровадження машинної імітації у сферу розв'язання різноманітних завдань організації і управління виробництвом, інтенсивна експлуатація імітаційних методів у всіх галузях інженерно-економічної діяльності, широке залучення ідей і методів машинного моделювання до підготовки наукових і виробничих кадрів – важливі народногосподарські завдання, успішне виконання яких багато в чому визначить ефективність суспільного виробництва в цілому.

Надзвичайно важливу роль методи машинної імітації мають відігравати при розв'язанні проблем комп'ютеризації інформаційних процесів на підприємствах і в установах, при створенні інформаційних систем економіко-організаційного управління. Наприклад, у [8] підкреслено, що стратегія розвитку сучасних інформаційних систем, зокрема систем підтримки прийняття рішень, має забезпечити аналітику формулювання і розв'язання такого класу задач.

Аналітичні задачі – обчислення необхідних показників і статистичних характеристик бізнес-діяльності на основі ретроспективної (зверненої у минуле) інформації з баз даних.

Візуалізація даних – наглядне графічне та табличне відображення наявної інформації.

Здобуття знань – визначення взаємозв'язків і взаємозалежностей бізнес-процесів на базі існуючої інформації.

Імітаційні задачі – проведення комп'ютерних експериментів з математичними моделями, які описують поведінку складних систем. Задачі цього класу застосовуються для аналізу можливих наслідків прийняття того чи іншого рішення (аналіз типу «Що, якщо?..»).

Синтез управління – визначення допустимих керуючих дій, які забезпечують досягнення поставлених цілей.

Оптимізаційні задачі – засновані на інтеграції імітаційних, управлінських, оптимізаційних та статистичних методів моделювання і прогнозування.

Машинна імітація процесів управління виробництвом, зокрема для оптимізації планування виробництва в цехах і на дільницях машинобудівних підприємств, для оптимального керування страховими заділами деталей тощо, застосовується порівняно давно і досить успішно. Важлива роль відводиться машинній імітації в процесі автоматизації підприємства в цілому. У [9] зазначається, що автоматизація роботи

підприємства – дуже відповідальний крок. Ця робота передбачає три етапи:

- інжиніринг – побудова моделі діяльності компанії;
- реінжиніринг – здійснення аналізу й удосконалення моделі;
- управління – моніторинг роботи фірми в рамках створеної моделі.

При цьому засобами аналізу виступають різні методики, зокрема такі, як функціонально-вартісний аналіз та імітаційне моделювання. Наприклад, німецька фірма IDS Prjf. Sher створила систему ARIS Toolset, у якій для аналізу і оптимізації діяльності підприємства вмонтовано засоби тестування на повноту і несуперечливість, функціонально-вартісний аналіз, імітаційне моделювання тощо. Створена за допомогою ARIS модель може бути імпортована в одну з популярних систем управління виробництвом R/3.

Питання для самоконтролю за темою

Для самостійної перевірки знань доцільно сформулювати розширені відповіді на поставлені питання і перевірити їх повноту та правильність за допомогою матеріалів запропонованих літературних джерел.

- 1 Основні напрями використання машинної імітації.
- 2 Схема розв'язання задач в інтелектуальних системах та місце в ній машинної імітації.
- 3 Розуміння особливості машинних експериментів порівняно з натурними.
- 4 Основні напрями використання машинної імітації.
- 5 Наведіть приклади, як можна застосовувати методи імітаційного моделювання при:
 - створенні окремих модулів автоматизованих робочих місць;
 - розробці автоматизованих інформаційно-пошукових систем;
 - моделюванні структур управління в умовах автоматизованих систем управління (АСУ);
 - розв'язанні оптимізаційних функціональних задач в інформаційній системі;
 - моделюванні автоматизованих систем обробки даних;

- використанні машинної імітації для розв’язання складних задач в інтелектуальних інформаційних системах та у задачах автоматизації проектування інформаційних систем.

6 Пригадайте, які імітаційні моделі використовувалися при дослідженні впливу господарських рішень на екологію країни.

7 Яке місце займає імітаційне моделювання серед інших методів, що найчастіше використовуються у внутрішньофірмовому плануванні, зокрема таких, як:

- лінійне програмування;
- сіткові методи;
- теорія керування запасами;
- нелінійне програмування;
- динамічне програмування;
- цілочислове програмування;
- теорія масового обслуговування.

8 Наведіть приклади того, як можна застосовувати машинне моделювання у навчальному процесі.

Тема «Умови доцільності використання машинної імітації»

План лекції.

Складність динамічних процесів, які відбуваються у виробничих та економічних системах.

Пояснення того, чому аналітичні методи дослідження операцій:

- математичне програмування;
- теорія масового обслуговування;
- теорія ігор;
- тощо

часто є непридатними для прогнозування та аналізу фактичних ситуацій.

Імітаційне моделювання як надійний інструмент розв’язання складних економіко-виробничих завдань.

Переваги та вади методу імітаційного моделювання, умови доцільності його застосування.

Особливості проведення імітаційних експериментів при:

- вивченні діючої функціональної системи;
- проведенні аналізу гіпотетичної функціональної системи;
- проектуванні досконалішої системи.

Головні вади методу.

Цілі машинної імітації:

- вивчення діючої системи;
- аналіз гіпотетичної системи;
- проектування більш досконалої системи.

Програма реалізації імітаційної моделі.

Мови машинного моделювання:

- мови моделювання неперервних процесів;
- мови моделювання неперервно-дискретних процесів;
- мови моделювання дискретних процесів.

Відмінності мов імітаційного моделювання.

Пояснення до теми.

Під час вивчення теми необхідно перш за все з'ясувати суть машинної імітації (імітаційного моделювання) як у широкому, так і вузькому розумінні. У широкому розумінні імітаційне моделювання – це процес конструювання моделі реальної системи та експериментування на цій моделі з метою визначення поведінки системи або оцінити (в рамках обмежень, зумовлених деяким критерієм чи сукупністю критеріїв) різні стратегії, що забезпечують функціонування цієї системи.

А у вузькому розумінні імітаційне моделювання – це відтворення на ЕОМ реальної виробничої чи організаційної системи. За такого тлумачення термін «імітаційне моделювання» має той самий сенс, що й «машинна імітація» або «машинне моделювання» (останні терміни відповідають експериментальному методу вивчення економіки за допомогою ЕОМ).

Слід підкреслити, що стандартного терміну цього напряму моделювання не існує. В англомовній літературі здебільшого використовуються такі терміни:

- *computer simulation* (комп'ютерне моделювання);
- *systems simulation* (системне моделювання);
- *digital simulation* (цифрове моделювання).

У вітчизняній літературі розповсюджені терміни «машинна імітація», «машинне моделювання», «імітаційне моделювання», причому найбільшого поширення набув останній, на наш погляд, найбільш невдалий термін («імітаційне моделювання» – тавтологія).

Наприклад, назву відомої книжки Шеннона «Systems simulation the art and science» на російську мову перекладено як «Имитационное

моделирование систем – искусство и наука», тобто термін *Systems simulation* перекладено на «Имитационное моделирование» замість *Системное моделирование*. Вивчаючи літературні джерела, аспіранти повинні звернути увагу на цю обставину.

Слід також звернути увагу на особливість застосування методу імітаційного моделювання. Щоб застосувати такий метод для досліджень, створюють імітаційну систему, яка містить у собі імітаційну модель, а також внутрішнє і зовнішнє математичне забезпечення. До ЕОМ вводять потрібні вхідні дані і спостерігають зміни показників, які у процесі моделювання можуть аналізуватися й піддаватися статистичній обробці

Машинна імітація в усьому світі набула значного поширення при дослідженні складних систем завдяки важливим перевагам, що їх дістають користувачі цього методу. При розгляді наступних переваг наведіть конкретні приклади.

1. Вдається відповісти на багато запитань, що постають на ранніх стадіях задуму і попереднього проектування систем, уникнувши застосування методу спроб і помилок, пов'язаного із значними витратами.

2. Метод дає змогу досліджувати особливості функціонування системи за будь-яких умов, зокрема й тих, які не реалізовані в натурних експериментах. При цьому параметри системи і навколишнього середовища можна варіювати у надзвичайно широких межах, відтворюючи довільну обстановку.

3. Стає можливим прогнозувати поведінку системи в близькому та віддаленому майбутньому, екстраполюючи на моделі результати промислових випробувань. У такому разі дані, здобуті раніше, поповнюються завдяки застосуванню статистичного підходу.

4. Імітаційні моделі технічних і технологічних систем та пристроїв дають змогу в багато разів скоротити час їх випробування.

5. За допомогою методу машинної імітації можна штучним шляхом швидко й у великому обсязі дістати потрібну інформацію, що відбиває хід реальних процесів, уникнувши дорогих, а часто й неможливих натурних випробувань цих процесів.

6. Імітаційна модель є надзвичайно гнучким пізнавальним інструментом, здатним відтворювати довільні як реальні, так і гіпотетичні ситуації.

7. Імітаційне моделювання на комп'ютері часто буває єдиним реальним способом розв'язання таких задач.

Проте слід зазначити, що метод машинної імітації, попри всі його переваги та універсальність, аж ніяк не завжди прийнятний, оскільки виконання розрахунків на імітаційних моделях потребує значних грошових витрат та витрат часу дослідників та програмістів.

Машинну імітацію як числовий машинний метод розв'язання складних задач доцільно застосовувати за таких умов:

- непридатність або відсутність аналітичних методів розв'язання задач;
- цілковита впевненість в успішному створенні імітаційної моделі, яка адекватно описує досліджувану систему (процес), зокрема в тому, що вдасться зібрати всю необхідну інформацію про модельовану систему (процес), забезпечивши вірогідну комп'ютерну імітацію реальних ситуацій (будувати імітаційну модель стохастичних процесів, коли не можна дістати опис потрібних характеристик випадкових величин і подій, – марний замір);
- можливість використати сам процес побудови імітаційної моделі для попереднього дослідження системи, що моделюється, з метою напрацювання рекомендацій щодо поліпшення умов її функціонування.

Можливі цілі створення імітаційної моделі, призначеної для вивчення проблем організаційного управління, включають: вивчення діючої функціональної системи, аналіз гіпотетичної функціональної системи, проектування досконалішої системи.

Питання для самоконтролю за темою

Для самостійної перевірки знань доцільно сформулювати розширені відповіді на поставлені питання і перевірити їх повноту та правильність за допомогою матеріалів запропонованих літературних джерел.

- 1 Загальна схема і цілі машинної імітації.
- 2 Переваги та вади використання мов імітаційного моделювання у практичній роботі.
- 3 Навести приклади створення імітаційної моделі обчислювальної системи.

4 Навести приклад створення GPSS програми імітаційної моделі завантаження комп'ютера.

5 Наведіть приклади задач, що їх можна розв'язати за допомогою методу машинної імітації.

6 Складіть алгоритм розв'язання задачі з використанням методу однорідного градуювання системного часу та методу неоднорідного градуювання системного часу.

7 Наведіть приклади застосування імітаційних моделей під час вивчення діючої функціональної системи.

8 Наведіть приклади застосування імітаційних моделей під час аналізу гіпотетичної функціональної системи.

9 Наведіть приклади застосування імітаційних моделей під час проектування досконалішої системи.

10 З'ясуйте, у чому полягають переваги та вади кожного типу мов програмування під час їх використання для реалізації імітаційних моделей.

Теми «Встановлення адекватності імітаційної моделі еволюційних процесів»

План лекції.

Адекватність імітаційної моделі.

Оцінювання адекватності принципової структури моделі та ймовірності її реалізації.

Встановлення адекватності імітаційної моделі еволюційних процесів.

Однорідне градуювання модельного (системного) часу – принцип часового приросту.

Неоднорідне градуювання модельного часу – принцип особливих станів.

Імітація еволюційних процесів у динамічних системах.

Програмна реалізація імітаційних моделей.

Створення програмного забезпечення машинного моделювання за допомогою засобів звичайного програмування.

Спеціалізовані мови імітаційного моделювання, їх класифікація, переваги, недоліки та умови доцільності їх застосування.

Імітаційна система GPSS.

Приклад створення імітаційної моделі обчислювальної системи та її реалізація звичайними методами і засобами GPSS.

Пояснення до теми.

Проте успішне вирішення названих проблем на імітаційних моделях можливе лише на адекватних моделях. Тому під час дослідження складних економічних систем на імітаційних моделях насамперед слід встановити *адекватність* моделі реальним об'єктам. У разі неадекватності моделі дослідник ризикує дістати недостовірні результати, а на їх підставі прийти до помилкових висновків. Тому оцінювання адекватності моделі – обов'язковий етап моделювання, який сам по собі може бути великою і складною задачею. Перевірку достовірності моделі називають її верифікацією (від лат. *verus* – істинний і *ficatio (facio)* – роблю).

Адекватна (від лат. *adaquatus* – прирівнюваний) імітаційна модель математично і логічно з певною мірою наближення відображає досліджувану систему. Логічні елементи моделі відповідають операціям, що виконуються у реальній дійсності, а математичний опис визначає функції, що реалізуються в реальній системі. Ймовірнісні оператори адекватної імітаційної моделі відображають випадковий характер подій реальної системи. Ендогенні параметри моделі при відповідних вхідних чинниках мають бути інформативними, тобто давати вірогідні повідомлення про систему.

Оцінювання адекватності моделі передбачає оцінювання адекватності принципової структури моделі та оцінювання достовірності її реалізації. Верифікувати імітаційну модель реальної системи дуже складно. Зробити це можна з допомогою або спеціально дібраних конкретних прикладів, які не обов'язково мають містити реальну інформацію, або реальних задач, для яких відомі розв'язки, здобуті іншими способами.

Під час вивчення цієї теми слід звернути увагу на те, що засобами імітаційного моделювання можна досліджувати лише еволюційні (лат. *evoluto* – еволюція і *evolvo* – розгортаю) процеси, стосовно яких можна зібрати необхідну інформацію з минулого досвіду.

Відомі два способи побудови динамічних імітаційних моделей на ЕОМ:

- однорідне градування системного (модельного) часу;
- неоднорідне градування системного часу.

Програму можна розробити двома способами:

1) звичайними засобами програмування із застосуванням проблемно-орієнтованих або машинно-орієнтованих мов;

2) з допомогою спеціалізованих мов моделювання.

Перший спосіб використовується, коли імітаційна модель не дуже складна, застосовується не часто і програмується спеціалістами, які не мають значного досвіду роботи з імітаційними моделями. Проте при цьому програмістові доводиться заново складати підпрограми стандартних процедур, що використовуються в усіх імітаційних моделях:

- генерування випадкових змінних;
- статистична обробка даних;
- розміщення інформації всередині машинної пам'яті;
- складання основної програми, яка забезпечує правильну черговість подій та просування імітаційного процесу по осі часу.

Отже, застосування універсальних мов програмування має і переваги (мінімум обмежень на вхідний формат, значна поширеність), і недоліки (чималі витрати часу на програмування та налагодження програм). Створювати програмне забезпечення імітаційного моделювання допомагають спеціалізовані машинні мови.

При їх використанні достатньо лише задати функцію розподілу ймовірностей. Тоді автоматично генеруються випадкові події за цим законом розподілу. Деякі із спеціалізованих програм забезпечують збір статистичних даних за тими чи іншими досліджуваними характеристиками імітаційної системи і видачу результатів машинного моделювання в наперед заданій формі. За допомогою таких програм упорядковують події та реєструють у часі кожний перехід системи з одного стану до іншого.

Під час вивчення питання програмної реалізації імітаційних моделей засобами спеціальних мов моделювання слід звернути увагу на значну кількість таких мов, що застосовуються на практиці (число мов перевищує 500). Зокрема, у [9] проводиться аналіз більш як 350 різних систем імітаційного моделювання. У [10] наведено каталог 200 найвідоміших зарубіжних систем моделювання.

Аспірантам пропонується досконало вивчити систему GPSS і виконати лабораторні роботи.

Перед тим, як переходити до вивчення наступних тем курсу, необхідно розібратися з прикладом імітаційної моделі обчислювальної системи і визначити на ній основні проблеми, що пов'язані з практичною реалізацією імітаційного моделювання. Методика проведення імітаційного моделювання реалізована у сучасних програмних засобах, що розглядалися

у дисципліні. Для виконання лабораторних робіт з цієї теми рекомендується використання системи GPSS.

Також наприкінці лекційного модуля необхідно засвоїти питання, пов'язані із різноманітними видами моделювання та з'ясувати особливості імітаційного моделювання як засобу проектування і дослідної оцінки конкретних варіантів функціонування реальних систем.

Питання для самоконтролю за темою

Для самостійної перевірки знань доцільно сформулювати розширені відповіді на поставлені питання і перевірити їх повноту та правильність за допомогою матеріалів запропонованих літературних джерел.

1. Розгляньте кроки, які виконуються під час дослідження складних економічних систем та розробки імітаційних моделей.

2. Дайте визначення терміну «адекватність моделі реальним об'єктам».

3. З'ясуйте, що означає оцінювання адекватності моделі.

4. Назвіть мови програмування, в яких використовується однорідне або неоднорідне градування системного часу.

5. Розгляньте приклади проблемно-орієнтованих, машинно-орієнтованих, спеціалізованих мов моделювання.

6. З'ясуйте, у чому полягають переваги та вади кожного типу мов програмування під час їх використання для реалізації імітаційних моделей.

7. Розгляньте, на які класи поділяють спеціалізовані мови імітаційного моделювання та приклади мов моделювання серед кожного класу спеціалізованих мов.

8. Наведіть приклади мов моделювання серед кожного класу спеціалізованих мов.

9. З'ясуйте за якими ознаками розрізняють мови імітаційного моделювання.

10. За допомогою літературних джерел поясніть, за якими ознаками розрізняють мови імітаційного моделювання.

Вправи до першого лекційного модуля

Вправа 1. Побудувати схему алгоритму функціонування виробничого процесу для визначення гарантованого значення його тривалості, якщо він має такі характеристики: у випадку ідеальної реалізації процесу, кожна з трьох операцій розпочинається і закінчується у задані моменти часу. Для виконання кожної операції використовується система обладнання, яке під час виконання процесу може відмовити.

Ймовірність безвідмовної роботи обладнання за час виконання операцій відома (0,95; 0,92 та 0,8 відповідно). Середній час безвідмовної роботи досить великий, тому ймовірність двох або трьох відмов можна не враховувати. Якщо обладнання псується, час його ремонту підкоряється показовому закону розподілу з параметром 0,05, 0,1 та 0,02 відповідно. Після ремонту обладнання перервана операція продовжується. Перша та друга операції не залежать одна від одної, а третя може розпочинатись лише після того, як будуть завершені перші дві.

Вправа 2. Провести дослідження роботи обчислювального центру (ОЦ), який обслуговує користувачів за допомогою системи розподілених терміналів. Перший запит з'являється одночасно з початком функціонування системи. Інтервали між послідовними появами інших запитів є випадковою величиною X з щільністю розподілу ймовірностей $f(x)$. Час обслуговування кожного запиту (час виконання замовлення) – випадкова величина T з щільністю розподілення ймовірностей $\varphi(t)$. Необхідно побудувати алгоритм розрахунку для визначення середнього часу знаходження запиту в обчислювальній системі (очікування та обслуговування) і відносного часу (у процентах) простою ОЦ. Конкретні значення вихідних даних задачі дає викладач. Провести розрахунок за складеним алгоритмом.

Вправа 3. Провести дослідження роботи обчислювального центру (ОЦ), який функціонує протягом часу T . ОЦ виконує заявки користувачів, які приймаються на обслуговування, якщо час їхнього надходження не перевищує час T . Заявки надходять одна за одною. Час надходження заявок рівномірно розподілений.

За обслуговування i -ої заявки ОЦ одержує прибуток, який дорівнює $c \times \tau_i$, де τ_i – час обслуговування i -ої заявки – випадкова величина з щільністю розподілу ймовірностей $f(\tau)$, а c – величина прибутку за одиницю часу обслуговування заявки. Якщо i -та заявка очікує

обслуговування, то ОЦ сплачує штраф замовнику розміром $b \times t_i$, де b – величина штрафу за одиницю часу знаходження заявки в черзі на обслуговування ($b > c$), t_i – час очікування обслуговування.

Адміністрація ОЦ має дві альтернативи: використовувати існуючий парк комп'ютерів або придбати ще додаткові комп'ютери такого ж типу (ціна машини – D , термін окупності – L). Конкретні значення вихідних даних задачі дає викладач. Провести розрахунок за складеним алгоритмом.

ЗМ-Л2 ОСНОВНІ ЕТАПИ ПОБУДОВИ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ

Тема «Розробка методики моделювання. Планування експериментів та статистична обробка результатів моделювання»

План лекції.

Види робіт під час реалізації імітаційної моделі:

- побудова імітаційної моделі;
- розробка методики моделювання;
- планування експериментів;
- статистична обробка результатів моделювання

У темі розглядається послідовність виконання робіт під час реалізації методу машинної імітації та склад етапів побудови імітаційної моделі.

На кожному етапі побудови моделі докладно описуються дії, що їх необхідно виконати.

Наводяться конкретні приклади розробки імітаційної моделі.

Зазначаються елементи, які необхідно визначити під час розгляду реальної обстановки.

Наводяться приклади розробки концептуальної моделі та логічної структурної схеми для проведення комп'ютерної імітації.

Пояснення до теми.

Під час вивчення цієї теми необхідно розглянути види робіт, які виконуються при практичній реалізації методу машинної імітації. У найбільш узагальненому вигляді перелік видів робіт включає:

1. Побудову імітаційної моделі, яка має бути представлена у вигляді логічної структурної схеми.
2. Розробку методики імітаційного моделювання, включаючи методику планування експериментів та методику статистичної обробки інформації.
3. Створення програмного забезпечення імітаційного моделювання за допомогою загальноприйнятих засобів програмування чи спеціалізованих мов імітаційного моделювання.
4. Проведення машинної імітації, аналіз та узагальнення результатів, прийняття рішення щодо можливого уточнення імітаційної моделі.

Розглянемо детальний аналіз дій, що виконуються на етапі побудови імітаційної моделі. Інші види робіт описані в інших темах навчальної дисципліни.

Послідовність складання імітаційної моделі передбачає такі кроки:

- визначення задачі та її аналіз;
- визначення вимог до інформації;
- збирання інформації;
- висування гіпотез і прийняття припущень;
- встановлення основного змісту моделі;
- визначення параметрів, змінних і критеріїв ефективності;
- опис концептуальної моделі й перевірка її вірогідності;
- побудова логічної структурної схеми (блок-схеми).

На першому етапі моделювання конкретного об'єкта (системи) на ЕОМ необхідно побудувати концептуальну модель процесу функціонування цієї системи, а потім провести її формалізацію. Іншими словами, основним змістом цього етапу моделювання є перехід від загального опису системи за допомогою висловів до її математичного опису.

Основний зміст моделі розробляється з урахуванням висунутих гіпотез і зроблених припущень. При цьому необхідно зважати також на специфічні особливості реальної обстановки, самої задачі та засобів її розв'язання. Таким чином, на цьому етапі створення імітаційної моделі визначається зміст концептуальної моделі та обирається шлях (метод) побудови математичної моделі на підставі прийнятих гіпотез та припущень.

Розглядаючи реальну обстановку як елемент при створенні моделі, необхідно визначити:

- функції системи і способи їх реалізації;
- детерміновані й недетерміновані функції;
- апроксимацію цих функцій у моделі;
- вплив факторів середовища на роботу системи;
- способи взаємодії людини та системи, людини та середовища, системи та середовища;
- апроксимацію цих взаємодій у моделі.

Важливо також враховувати обмеження задачі й наявність ресурсів (грошові засоби, чисельність обслуговуючого персоналу) для проведення імітаційних експериментів, а також фактор часу.

На етапі опису концептуальної моделі та перевірки її вірогідності проводять такі операції: опис моделі за допомогою абстрактних термінів та понять з використанням типових математичних схем; обґрунтовують вибір процедур апроксимації реальних процесів при побудові моделі; перевіряють вірогідність моделі.

Вірогідність концептуальної моделі перевіряють у такому порядку.

1. З'ясування задуму моделі та доцільності її створення.
2. Виявлення зв'язку задуму моделі та доцільності її побудови з детермінованими, рандомізованими (імовірними) і середніми значеннями характеристик моделі.
3. Дослідження прийнятих апроксимацій (від лат. *approximato* – зближення) реальних процесів.
4. Розгляд критеріїв ефективності.
5. Дослідження прийнятих припущень і гіпотез.
6. Встановлення зв'язку п. 4 і 5 з реальними процесами; вивчення системи та збудованих факторів зовнішнього середовища.
7. Встановлення достовірності інформації та її джерел, що використовуються при побудові моделі.
8. Розгляд процедури в цілому у зв'язку з визначенням задачі.
9. Розгляд постановки задачі.

Іншим методом перевірки достовірності концептуальної моделі є розгляд моделі спеціалістами, які не брали участі в її створенні.

Заключним етапом побудови імітаційної моделі є створення її логічної структурної схеми. Далі розробляється машинна схема і відбувається програмування задачі. Логічна структурна схема імітаційної моделі являє собою упорядковане й наочне зображення процесу, в якому визначені не лише дії, а й порядок їх виконання. У створеній на базі згаданої схеми машинній схемі довільна процедура подається у вигляді сукупності елементарних операцій, що реалізують цю процедуру.

Логічну схему імітаційної моделі рекомендується створювати за модульним (блоковим) принципом, тобто у вигляді сукупності стандартних блоків-модулів. Якщо реалізація імітаційної моделі відбуватиметься з використанням пакету GPSS, то при розробці схеми імітаційної моделі доцільно використовувати спеціальні графічні блоки, розроблені для цієї мови моделювання.

Найбільш відповідальними моментами у цій роботі є спрощений опис системи, тобто відокремлення самої системи від зовнішнього

середовища та вибору основного змісту моделі. Під час вибору основного змісту моделі відкидається все другорядне з точки зору мети, яка ставиться при моделюванні.

Питання для самоконтролю за темою

Для самостійної перевірки знань доцільно сформулювати розширені відповіді на поставлені питання і перевірити їх повноту та правильність за допомогою матеріалів запропонованих літературних джерел.

1 Перевірити розуміння суті імітаційного моделювання та розглянути основні етапи побудови імітаційних моделей.

2 Перевірити набуті навички розробки логічних схем імітаційних моделей з різними ступенями деталізації.

3 Які існують види робіт при розробці імітаційної моделі?

4 Описати концептуальну схему імітаційної моделі.

5 Перевірка достовірності концептуальної схеми імітаційної моделі.

6 Наведіть методологію побудови логічної структурної схеми.

Тема «Розробка програмного забезпечення та проведення імітації на ПК Етапи створення експертних систем»

План лекції.

Проведення машинної імітації.

Аналіз та узагальнення результатів.

Визначення задачі та її аналіз.

Повне формулювання задачі:

– визначальне формулювання задачі;

– методологія розв'язування задачі.

Вимоги до інформації.

Збір інформації.

Оцінка інформації.

Висування гіпотез.

Прийняття припущень.

Пояснення до теми.

Щоб глибше зрозуміти зміст етапів та підходів до моделювання процесу функціонування системи, розглянемо конкретні дії під час моделювання деякої реальної системи.

Мета моделювання полягає в отриманні характеристик часу та ймовірності процесу функціонування фрагменту локальної обчислювальної мережі (ЛОМ). Ефективність різних варіантів побудови мережі та її фрагментів визначається за допомогою таких показників: середнього часу передачі даних та ймовірністю відмови обладнання мережі, вартості мережі. На практиці часто буває необхідно прийняти рішення щодо вибору топології мережі у конкретній установі.

На етапі постановки задачі імітаційного моделювання необхідно:

- звернути увагу на існування задачі та необхідність машинного моделювання;
- дослідити задачу за матеріалами літературних джерел;
- дати чітке формулювання задачі;
- вибрати методику розв'язування;
- з'ясувати наявність ресурсів, необхідних для моделювання задачі на комп'ютері;
- визначити масштабність задачі та можливість її поділу на окремі підзадачі;
- визначити послідовності розв'язання підзадач.

У разі розгляду задачі моделювання ЛОМ проводити поділ на підзадачі немає необхідності. Це пов'язано з тим, що у прикладі обрана не вся мережа підприємства, а лише її фрагмент.

На підставі аналізу [5, 6] можна зробити висновок про неможливість використання для дослідження аналітичних методів, а також про необхідність орієнтації на імітаційні методи.

Моделювання треба проводити на персональному комп'ютері (ПК).

На етапі роботи, пов'язаної з аналізом задачі моделювання виконуються такі функції:

- обираються критерії оцінки процесу функціонування системи, що досліджується;
- виділяються системи ендогенних та екзогенних змінних моделі;
- обираються можливі методи ідентифікації;
- виконується попередній аналіз наступних двох етапів моделювання.

У якості критеріїв оцінки ефективності процесу функціонування локальної мережі обирають такі характеристики: вірогідність передачі пакету по каналу за час t_d , що не перевищує встановлений час T_v ; вірогідність передачі пакету підтвердження за час t_p , який не перевищує визначений час T_{vp} ; математичне сподівання та дисперсію повного часу передачі пакету з одного вузла комутації до іншого.

Ендогенними (залежними) змінними вважатимемо середній час передачі пакету від одного вузла мережі до іншого та середню довжину черг повідомлень. Екзогенними (незалежними) змінними вважатимемо такі: інтенсивність вхідних потоків пакетів вузла каналу; час обробки пакетів ЦП сервера; час передачі пакету по каналу.

Необхідні уточнення можна зробити після вибору конкретного типу математичних схем для формалізації процесів, які відбуваються у локальній мережі. Скориставшись літературою [6], можна провести ідентифікацію впливу зовнішнього середовища на об'єкт моделювання, включаючи вибір типу топології локальної мережі. Так, на топологію мережі впливає конкретне розміщення ПК в установі, відстань між комп'ютерами, надійність елементів мережі та ПК.

Шинна топологія характеризується стійкістю у роботі мережі до можливих виходів з ладу окремих вузлів, гнучкістю, економічністю. У той же час вадою такої мережі є неможливість її використання, коли комп'ютери знаходяться на значній відстані.

Зіркоподібна топологія значно спрощує взаємодію вузлів мережі, дає змогу використовувати прості мережеві адаптори. У цій топології можуть використовуватися різні типи кабелю. Але цілісність такої мережі багато в чому залежить від дієздатності центрального вузла.

Кільцева топологія, як і шинна, не має центрального вузла керування. Це дозволяє підвищити надійність таких мереж порівняно із зіркоподібними мережами. Інша особливість – ретрансляція інформації проміжними вузлами – також має свої переваги та недоліки. З одного боку, ретрансляція інформації дає змогу використовувати на різних ділянках мережі різні типи кабелю, підсилювати сигнали та забезпечувати значно більшу довжину мережі. З іншого боку, існує вірогідність виникнення такої неполадки у проміжному вузлі, при якій він не зможе ретранслювати інформацію, що призводить до розриву всієї мережі.

При визначенні вимог до шуканої інформації необхідно:

- сформулювати вимоги до початкової інформації про об’єкт моделювання;
- організувати отримання інформації, якої недостатньо;
- підготувати апріорні відомості про систему;
- провести аналіз експериментальних даних про системи аналогічних класів.

У межах задачі моделювання локальної мережі необхідно з’ясувати питання про характеристики інформаційної мережі (трафіка), про параметри передачі по каналу та обробки пакетів. Вихідну інформацію про характер та інтенсивність потоків повідомлень можна отримати з літературних джерел, досвіду функціонування мереж у аналогічних організаціях. Інформацію щодо потоку помилок – з літератури, присвяченої теорії завадостійкого кодування та статистиці помилок у каналах зв’язку. Вхідна інформація про об’єкт моделювання може бути, з одного боку, неповною.

Наприклад, точно не були задані конкретні мережеві плати, які мають використовуватися в моделі, конкретно не задані відстані між компютерами у мережі, не вказаний конкретний перелік додаткового периферійного обладнання (кількість та характеристики принтерів). З іншого боку, інформація може бути збитковою, оскільки частину її можна не враховувати в моделі. Тому перед тим як приступати до моделювання, необхідно провести ряд перетворень вхідної інформації в плані спрощення моделі, додатково зібрати інформацію.

Наступний крок – це збирання інформації. Проте в разі неможливості дістати її, потрібно знайти шляхи заміни інформації, якої бракує, чи розробити інші варіанти розв’язання задачі. При цьому не виключено, що постане потреба виконати додаткові економетричні дослідження або застосувати математичну модель (виробничі функції, моделі прогнозування) для знаходження потрібної інформації.

Для закріплення матеріалу цієї теми проводиться лабораторна робота з використанням системи GPSS. Мова моделювання GPSS та робота з пакетом GPSS описані у посібнику до лабораторних робіт.

Питання для самоконтролю за темою

Для самостійної перевірки знань доцільно сформулювати розширені відповіді на поставлені питання і перевірити їх повноту та правильність за допомогою матеріалів запропонованих літературних джерел.

- 1 Охарактеризуйте основні етапи побудови імітаційної моделі та наведіть відомі вам приклади їх формулювання.
- 2 У чому полягає суть постановки задачі імітаційного моделювання?
- 3 Охарактеризуйте етап визначення задачі та її аналіз.
- 4 Наведіть приклади дій, які необхідно виконати на етапі визначення задачі для вправ 4 – 6.
- 5 Опишіть етап збирання інформації.
- 6 Яким чином можна зібрати інформацію для задач, умови яких містяться у вправах 4 – 6?

Вправи до теми лекції

Вправа 4. Побудувати схему імітаційної моделі автобусного транспорту. Умовно автобус може перебувати в одному з двох станів: або пересуватись від однієї стоянки до іншої, або стояти на зупинці. Пасажира може або чекати автобус, або входити до нього, або знаходитися в автобусі.

Автопарк висилає на лінію x автобусів, які курсують по замкнутому маршруту, зупиняючись на всіх зупинках. Автопарк робить усе можливе, щоб обслуговування було регулярне. Припускається, що час переміщення автобуса від однієї зупинки до іншої, як і час посадки кожного пасажира в автобус, завжди постійний. Обслуговування було б абсолютно регулярним, якби не той факт, що пасажери підходять до зупинки через деякі випадкові інтервали часу. Будемо розрізняти події трьох типів:

- людина стає в чергу на автобусній зупинці;
- до зупинки підходить автобус;
- людина сідає в автобус.

При цьому не береться до уваги час висадки пасажирів, тобто припускається, що пасажери виходять з автобуса через передні двері швидше, ніж через задні сідають нові. Для кожної з перерахованих подій можна вказати подію, яка має настати за нею:

1) через випадковий відрізок часу до черги підходить ще одна людина;

2) якщо черги немає, то автобус вирушає до наступної зупинки, і його прибуття туди стає черговою подією. У протилежному разі до автобуса заходить людина, яка у черзі була першою;

3) довжина черги зменшується на одиницю. Якщо черга закінчується, автобус від'їжджає до наступної зупинки. У протилежному разі – до автобуса заходить ще один пасажир.

Моделювання починається у той момент, коли автобуси рівномірно розподілені по всьому маршруту, а черги на зупинках відсутні.

Мета моделювання полягає в тому, щоб визначити можливість підтримання інтервалів між автобусами на однаковому рівні.

Виконуючи завдання, необхідно побудувати два варіанти логічної схеми імітаційної моделі. Перший варіант логічної схеми має бути зорієнтований на традиційні мови моделювання, другий – на спеціальні мови моделювання.

Вправа 5. На складальну дільницю цеху підприємства через випадкові інтервали часу, які розподілено експоненціально з середнім значенням 10 хв, надходить партія з трьох деталей. Половина з усіх деталей, що надходять, перед складанням має пройти попередню обробку протягом 7 хв. На складання подаються оброблені та необроблені деталі. Процес обробки займає 6 хв. Після цього виріб надходить на регулювання, яке продовжується в середньому 8 хв (час його виконання розподілено експоненціально). Після складання може виявитись до 4 відсотків бракованих виробів, які не підлягають регулюванню, а знову повертаються на попередню обробку.

Необхідно побудувати два варіанти логічної схеми імітаційної моделі виробничого процесу дільниці для визначення можливих місць появи черг та їх характеристик. Перший варіант логічної схеми має бути зорієнтований на традиційні мови моделювання, другий – на спеціальні мови моделювання.

Вправа 6. Система обробки інформації має мультиплексний канал і три комп'ютера. Сигнали від датчиків надходять на вхід каналу через інтервали часу 10 ± 5 мкс. У каналі вони буферизуються і проходять попередню обробку протягом 10 ± 3 мкс. Потім вони надходять на обробку до того комп'ютера, де вхідна черга має найменшу довжину. Ємність вхідних накопичувачів на всіх комп'ютерах розрахована на

сховище величин 10 сигналів. Час обробки сигналу кожним комп'ютером дорівнює 33 мкс.

Необхідно побудувати два варіанти логічної схеми імітаційної моделі процесу обробки сигналів, які надходять з датчиків для визначення середнього часу затримки сигналів у каналі й комп'ютері та ймовірності переповнення вхідних накопичувачів. Перший варіант логічної схеми має бути зорієнтований на традиційні мови моделювання, другий – на спеціальні мови моделювання.

Тема «Встановлення основного змісту моделі. Фактори, які враховуються в основному змісті моделі»

План лекції.

Встановлення основного змісту моделі.

Фактори, які враховуються в основному змісті моделі:

- реальна обстановка;
- задача;
- засоби розв'язування задачі.

Визначення параметрів, змінних та критеріїв ефективності.

Порядок опису змінних.

Опис концептуальної моделі та перевірка її вірогідності.

Порядок перевірки вірогідності концептуальної моделі.

Побудова логічної структурної схеми (блок-схеми) імітаційної моделі.

Порядок перевірки логічної достовірності блок-схеми імітаційної моделі.

Пояснення до теми.

Встановлення способів здобування інформації, необхідної для розв'язання задачі, – важливий етап усіх операційних досліджень. Адже існують численні методи розв'язання виробничих задач, які, проте, безперспективні через відсутність можливостей забезпечити розрахунки потрібною інформацією.

Здобута інформація має бути оцінена з боку її відповідності розв'язуваній задачі та зручності використання. На етапі збирання інформації не завжди буває відомо, що саме знадобиться в подальшому для досліджень. Крім того, часто буває так, що повернутися до збирання

інформації після деякого моменту часу або неможливо, або занадто дорого. Тому слід намагатися зібрати якомога більше даних, щоб не допустити втрат інформації, яка колись може знадобитися. У результаті нагромаджується значний обсяг інформації, причому лише незначна її частина відповідає поставленій задачі. Корисну інформацію потрібно відфільтрувати, відокремити її від непотрібних і випадкових даних.

Зібрана первинна інформація не завжди зручна для безпосереднього використання при розв'язанні задачі. Часто ця інформація підлягає попередній обробці, аналізу та групуванню з допомогою комп'ютера або інших засобів переробки інформації.

У деяких випадках розв'язання задач методом машинної імітації немає змоги здобути всю необхідну інформацію. Для багатьох практично важливих проблем дістати повну інформацію взагалі неможливо. На стадії складання імітаційної моделі іноді відсутні конкретні знання про деякі елементи задачі та умови функціонування системи. Щоб відшукати інформацію, якої бракує, проводять експерименти, висувають гіпотези і приймають (роблять) припущення, що мають бути чітко й точно сформульовані.

Припущення дають змогу перетворити ускладнені, а також такі, що не піддаються врахуванню, характеристики на величини, якими зручно оперувати.

Наприклад, під час моделювання на комп'ютері виробничого процесу в механічному цеху роблять припущення щодо незалежності цього процесу від кліматичних чинників (насправді, безперечно, існує певна залежність виробничого процесу від кліматичних умов – хвороби працівників при різких перепадах температури, перебої в роботі громадського транспорту, хоч такі обставини не можна врахувати в імітаційних моделях).

При висуванні гіпотез та прийнятті припущень слід брати до уваги таке:

- 1) обсяг наявної інформації, якою можна оперувати для розв'язання задачі;
- 2) релевантність інформації поставленій задачі;
- 3) підзадачі, для яких інформації недостатньо;
- 4) ресурси часу та інші ресурси, необхідні для розв'язання задачі;
- 5) очікувані результати моделювання.

У межах прикладу, що розглядається, виходячи з апріорних відомостей, можна зробити висновок про можливість побудови моделі на підставі тієї інформації, що маємо за умови прийняття ряду гіпотез та припущень стосовно функцій розподілу параметрів процесів, що відбуваються у локальній мережі, і впливу зовнішнього середовища. Для кожного типу топології ЛОМ потоки інформації є суперпозицією великої кількості потоків з різними законами розподілу між моментами їх появи і з різними інтенсивностями. Це дає змогу на підставі теореми про підсумок потоків прийняти припущення про експоненційний розподіл інтервалів між моментами надходження пакетів у вузлах каналу.

Необхідно також прийняти припущення про характер помилок у каналах зв'язку. З урахуванням гіпотези про незалежність помилок у кодових комбінаціях пакетів, що передаються, можна зробити висновок про геометричний закон розподілу числа повторюваних передач, а з урахуванням припущень стосовно потоку інформації можна висунути гіпотези про очікувані результати моделювання з метою побудови імітаційної моделі.

На етапі визначення параметрів та змінних необхідно:

- визначити параметри системи;
- визначити вхідні та вихідні змінні;
- визначити вплив зовнішнього середовища;
- описати й дати стисло характеристику параметрам та змінним.

Опис провадиться у такій формі:

- символ;
- одиниця виміру;
- діапазон змін;
- місце у моделі.

У моделі ЛОМ залежно від топології мережі можуть використовуватися різні параметри та змінні. Наприклад параметри:

- SZM можна використовувати для фіксації стану зайнятості мережі (цей параметр може застосовуватися при описі мережі стандарту Token Ring у випадку, коли кілька комп'ютерів починають одночасно передавати інформацію у мережу);
- SNK – стану виходу з ладу фрагмента кабелю;
- SVZ – стану відмови у роботі центрального вузла (при зіркоподібній топології мережі);
- SVV – стану виникнення неполадок у проміжному вузлі (при

кільцевій топології мережі).

Під час моделювання ЛОМ можна використовувати такі змінні для опису моделі.

Вихідні змінні:

- Q_i – середня довжина черги на пристрій;
- Ap_i – середнє число пакетів, що чекають подальшої обробки;
- At_i – середній час передачі повідомлення між джерелом інформації, який враховує можливі повторення передачі у разі виникнення помилок.

У моделі вихідні змінні оцінюються на підставі обробки статистики, яка збирається у результаті імітації передавання пакетів по ЛОМ.

Екзогенні змінні:

- t_p – час передачі пакету по каналу, значення часу являє собою випадкову величину із законом розподілу, який визначається числом повторюваних передач через появу помилок у ЛОМ;
- to_p – час обробки кожного пакету у вузлі.

Цей час являє собою випадкову величину із законом розподілу, який визначається часом зайнятості вузла та характеристиками самої мережевої плати.

Вплив зовнішнього середовища під час моделювання ЛОМ визначається інтенсивністю вхідного потоку пакетів у мережі, яка складається з потоків усіх повідомлень користувачів.

У моделі час передачі, час обробки та час появи повідомлення генерується за допомогою датчиків випадкових чисел.

Побудувавши схему імітаційної моделі, перевіряють її логічну достовірність такими діями:

- 1) порівнюють кожну функцію концептуальної моделі з її реалізацією в блок-схемі;
- 2) перевіряють повноту опису блок-схеми;
- 3) з'ясовують, чи немає на схемі непередбачених циклів і нелогічних віток;
- 4) пересвідчуються в тому, що всі блоки та підблоки описано зрозуміло, точно й повно;
- 5) перевіряють наявність «входу» і «виходу» на схемі;
- 6) переглядають усі цикли, переконуючись, що кожний з них має «вхід» і «вихід»;

- 7) перевіряють правильність застосовуваного способу нумерації блоків;
- 8) порівнюють справжні вихідні величини моделі з бажаним виходом;
- 9) перевіряють правильність написання і використання всіх математичних виразів;
- 10) перевіряють фізичні розмірності всіх величин у рівняннях;
- 11) контролюють правильність здобуття всіх констант, параметрів і змінних;
- 12) перевіряють, чи немає помилок у застосуванні індексів;
- 13) встановлюють, чи правильно відображають датчики всі функції;
- 14) перевіряють правильність роботи датчиків випадкових величин;
- 15) перевіряють правильність реалізації у блоках усіх математичних виразів.

Питання для самоконтролю за темою

Для самостійної перевірки знань слід сформулювати розширені відповіді на поставлені питання і перевірити їх повноту та правильність за допомогою матеріалів пропонуваніх літературних джерел.

- 1 Опишіть етап висування гіпотез і прийняття припущень.
- 2 Які гіпотези та припущення можуть бути прийняті стосовно задач, умови яких містяться у вправах 7 – 9?
- 3 Опишіть етап встановлення основного змісту моделі.
- 4 З яких компонентів складається реальна обстановка задачі? Наведіть приклади.
- 5 Опишіть етап визначення параметрів, змінних і критеріїв ефективності.
- 6 Назвіть критерії ефективності для задач, умови яких містяться у вправах 7 – 9.
- 7 Опишіть суть концептуальної моделі задачі «Визначення оптимального правила пріоритету в календарному плануванні засобами імітаційного моделювання».
- 8 Поясніть логічну структурну схему імітаційної моделі завантаження комп'ютера, користуючись рекомендованою літературою.

Вправи до теми лекції

Вправа 7. Система передачі даних забезпечує передачу пакетів даних з пункту А до пункту С через транзитний пункт В. До пункту А пакети надходять через 10 ± 5 мс. Тут вони буферизуються у накопичувачах ємністю 20 пакетів і передаються по одній з двох ліній (АВ1 – за час 20 мс або АВ2 – за час 20 ± 5 мс). У пункті В вони знову буферизуються у накопичувачі ємністю 25 пакетів і потім передаються лініями ВС1 за 25 ± 3 мс та ВС2 за 25 мс. Пакети з АВ1 надходять у ВС1, а з АВ2 – у ВС2. Щоб не було переповнення накопичувача, у пункті В вводиться порогове значення його ємності – 20 пакетів.

При досягненні чергового порогового значення підключається резервна апаратура і час передачі знижується для ліній ВС1 і ВС2 до 15 мс. Необхідно побудувати два варіанти логічної схеми імітаційної моделі проходження пакетів. Перший варіант логічної схеми має бути зорієнтований на традиційні мови моделювання, другий – на спеціальні мови моделювання. За побудованою схемою проведіть вручну моделювання та визначте вірогідність підключення резервної апаратури і характеристики черги у пункті В.

Вправа 8. На дільниці термічної обробки виконується цементування і закалювання шестерінок, які надходять через 10 ± 5 хв. Цементування займає 10 ± 7 хв, а закалювання 10 ± 6 хв. Якість визначається сумарним часом обробки. Шестерінки з часом обробки більш як 25 хв залишають дільницю, з часом обробки від 20 до 25 хв передаються на повторне закалювання і при часі обробки менш як 20 хв мають пройти повторну обробку. Деталі з сумарним часом обробки меншим ніж 20 хв вважаються другим сортом.

Необхідно побудувати два варіанти логічної схеми імітаційної моделі обробки шестерінок для визначення функції розподілу часу обробки і ймовірність повторення повної та часткової обробки. Перший варіант логічної схеми має бути зорієнтований на традиційні мови моделювання, другий – на спеціальні мови моделювання.

Вправа 9. Розподілений банк даних інформаційної системи організовано на базі робочої станції (РС), з'єднаної каналом зв'язку. Запити, що надходять, обробляються на першій комп'ютер, і з імовірністю 50 відсотків необхідна інформація знаходиться саме на цій РС. У протилежному разі необхідне надсилання запиту на другу РС. Запити

надходять через 10 ± 3 с, первинна обробка запиту займає 2 с, видача відповіді потребує 18 ± 2 с, передача по каналу зв'язку займає 3 с. Характеристики другої РС аналогічні характеристикам першої.

Необхідно побудувати два варіанти логічної схеми імітаційної моделі проходження запитів. Перший варіант логічної схеми має бути зорієнтований на традиційні мови моделювання, другий — на спеціальні мови моделювання. За розробленою схемою вручну проведіть імітацію та визначить необхідну ємність накопичувачів РС, які забезпечують безвідмовну роботу системи.

Тема «Суть оптимального керування запасами. Керуючі параметри. Некеровані параметри. Характеристика некерованих параметрів»

План лекції.

Імітаційна модель керування запасами.

Суть оптимального керування запасами.

Керуючі параметри.

Некеровані параметри.

Характеристика некерованих параметрів.

Стратегії (політики) керування запасами: періодичні та з критичними рівнями.

Пояснення до теми.

У темі розкривається сутність оптимального керування запасами. Висвітлюються об'єктивні фактори, які зумовлюють потребу створення запасів, і показуються передумови на користь зменшення або зведення до нуля запасів матеріальних ресурсів. Виділяються керовані параметри, до яких належать обсяг на поставку замовленого ресурсу і момент часу подачі замовлення на поповнення запасу. Подаються характеристики некерованих параметрів, до яких належать: система постачання; попит на предмети постачання; система поповнення запасів; вартісні функції витрат; обмеження, які застосовуються до запасів; стратегії (політики) керування запасами. Розглядаються найпростіші стратегії керування запасами: періодичні й з критичними рівнями.

Під час вивчення цієї теми перш за все треба зрозуміти сутність оптимального керування запасами. Відомо, що важливою передумовою

ритмічності виробничого процесу на підприємстві є своєчасне і повне забезпечення його необхідними технологічними, трудовими, матеріальними та фінансовими ресурсами. Проте, з огляду на специфіку споживання і можливостей поповнення ресурсів, необхідно створювати запаси.

Запасом називають придатний для застосування, але тимчасово не використовуваний певний додатковий обсяг ресурсу. Такими ресурсами можуть бути людські ресурси, матеріали, машини та гроші. На промислових підприємствах завдання матеріально-технічного постачання полягає насамперед у забезпеченні виробництва матеріальними ресурсами (сировиною, напівфабрикатами, комплектуючими деталями і виробами тощо), запаси яких містяться або на центральних складах підприємства, або на складах основних цехів. Тому далі під виробничими запасами розумітимемо запаси матеріальних ресурсів, хоча це й не істотно для складання та дослідження оптимізаційних задач аналітичними методами чи засобами імітаційного моделювання.

Існують об'єктивні фактори, які зумовлюють **потребу створення запасів**. До них належать:

- *розбіжність ритмів постачання (або виробництва) і використання матеріальних ресурсів*. Наприклад, навіть для ідеального випадку, коли споживання матеріалів безперервне, а постачання регулярне з фіксованим обсягом, то початковий запас (у момент прибуття поставки) дорівнює величині поставки, а далі, у міру споживання, зменшується до нуля;
- *випадкові коливання попиту в проміжку часу між поставками, тривалості інтервалу часу між поставками, обсягів поставок*. У цьому разі проблема забезпечення ритмічності виробничих процесів матиме ймовірнісний характер, тобто надійність виробництва безпосередньо залежить від величини запасу;
- *кон'юнктурні міркування, що враховують сезонність попиту та сезонність виробництва предметів споживання*.

З погляду дії перелічених факторів випливає, що чим більший запас, тим краще. Водночас існують і серйозні передумови на користь зменшення або зведення до нуля запасів матеріальних ресурсів. Сюди належать:

- плата за фізичне зберігання запасу;
- втрачений економічний виграш через зв'язування оборотних коштів у запасах;

– втрати в кількості і якості матеріальних ресурсів, включаючи моральний знос.

Отже, задача вибору необхідних запасів виробничих ресурсів має альтернативний характер, і розв'язувати її слід оптимізаційними методами. Оптимальне керування запасами як науковий напрям належить до однієї з найбільш розроблених галузей теорії дослідження операцій.

Як і в будь-якій теорії управління, у задачі про запаси виокремлюють керовані й некеровані параметри.

До **керованих параметрів** (змінних керування) належать **обсяг на поставку** замовленого ресурсу і **момент часу подачі замовлення** на поповнення запасу. Органи постачання, обираючи певним чином обсяг і час замовлення (які утворюють так звану «точку замовлення»), можуть регулювати динаміку руху виробничого запасу на складах підприємства. Оптимальне керування запасами полягає у виборі таких обсягів і моментів на поповнення запасів, щоб сумарні витрати на організацію системи постачання набували мінімального значення.

Некеровані параметри задачі керування запасами, які дають змогу розрізняти математичні моделі оптимізації рівнів запасу, утворюють такий перелік із шести елементів:

- 1) система постачання;
- 2) попит на предмети постачання;
- 3) система поповнення запасів;
- 4) вартісні функції витрат;
- 5) обмеження, які застосовуються до запасів;
- 6) стратегії (політики) керування запасами.

Система постачання. У теорії керування запасами під системою постачання розуміють сукупність складів, між якими під час виконання операцій з постачання виникають інформаційні та матеріальні потоки. Звичайно, система постачання має свою систему управління, яка виконує відповідні для такого підрозділу функції.

Система постачання може будуватися за *централізованим* і *децентралізованим* принципами. У першому випадку склади мають ієрархічні рівні (до 5), причому лише склади найнижчого рівня обслуговують споживачів, а недостача предметів постачання на цих складах покривається за рахунок наявних запасів на складах вищих рівнів.

У децентралізованих системах постачання всі склади безпосередньо обслуговують споживачів, а можливі недостачі на окремих складах ліквідуються за рахунок надлишків матеріалів на інших.

У моделях керування запасами система постачання розглядається як один об'єкт, і саме для нього створюється єдина цільова функція. Стосовно промислових підприємств можна зауважити, що хоча в підпорядкуванні органів постачання перебувають кілька складів, проте специфіка їх функціонування дає змогу розглядати систему постачання як таку, що утворена одним складом, територіально розподіленим на кілька частин.

Залежно від числа ресурсів, що зберігаються на складі, системи постачання поділяються на одно- та багатопродуктові. Щоб спростити дослідження моделей керування запасами, багатопродуктові системи постачання іноді вдається розчленувати за кожним ресурсом на однопродуктові й рішення щодо організації забезпечення виробництва кожним матеріалом приймати окремо.

Попит на предмети постачання визначається поточними потребами виробництва і може поділятися на такі групи: стаціонарний або нестаціонарний; детермінований або стохастичний; неперервно або дискретно розподілений; залежний від попиту на інші номенклатури або незалежний.

Система поповнення запасів. Поповнення запасів характеризується обсягом поставки і часом затримки прибуття поставки щодо моменту подачі замовлення. За обсягом поставка може дорівнювати замовленій або бути випадковою величиною, параметри і функції розподілу якої залежать здебільшого від замовлення. У реальних ситуаціях завжди відбувається затримка прибуття замовлених матеріалів. Проте залежно від впливу цієї затримки на організацію постачання нею можна знехтувати (миттєва поставка), вважати її фіксованою або випадковою величиною з відомим законом розподілу.

Вартісні функції витрат. Витрати на організацію постачання складаються з трьох компонентів: витрат на зберігання матеріалів на складі; витрат на організацію поставок; витрат на штрафи через нестачу (дефіцит) необхідних ресурсів. Сукупність усіх витрат у формалізованому вигляді використовується як цільова функція в моделях керування запасами.

Розрахунок вартості зберігання. Вартість зберігання матеріальних ресурсів, яка здебільшого зростає прямо пропорційно до вартості

матеріалів, що становлять запас, і терміну їх зберігання на відміну від інших витрат зумовлює необхідність скорочення запасів. Така необхідність є наслідком дії двох вартісних факторів:

- витрат через зв'язування (омертвіння) обігових коштів у запасах;
- витрат, зумовлених фізичним зберіганням запасів.

Витрати першого типу, які мають певною мірою абстрактний характер і породжуються потенційно втраченою вигодою, що може бути отримана від обороту грошових засобів, ураховуються практично в усіх моделях керування запасами. Математично вони виражаються функцією, прямо пропорційною до середньої вартості запасу і терміну його існування. При випадковому попиті або випадкових поставках середній рівень запасу також є випадковою величиною. Тому в моделях оптимізації відповідні витрати через зв'язування обігових коштів подаються математичним сподіванням.

При розрахунках витрат другого типу необхідно враховувати шість складових витрат.

1. Плата за складське приміщення. Якщо підприємство змушене орендувати складські приміщення, то плата за них дорівнює відповідно ціні оренди. Плата за власні складські приміщення включає плату за основні фонди (вартість складу, помножена на відсоток нарахування), амортизаційні відрахування (вартість складу, поділена на строк служби), оплату комунальних послуг (опалення, освітлення, подача води тощо). Математично цей компонент витрат є прямо пропорційною функцією від величини запасу і часу його існування.

2. Витрати на облік та адміністративні витрати. Сюди включаються витрати на організацію складського обліку та конторські витрати, пов'язані з обслуговуванням споживачів. Ці витрати математично являють собою нелінійну (східчасту, розривну) функцію від числа номенклатур матеріалів і величини запасу (інтенсивності споживання). У першому наближенні для більшості задач керування запасами витрати на облік і адміністративні витрати можна вважати постійними величинами.

3. Витрати на складські операції. До цих витрат входить вартість робочої сили, що виконує розвантаження, навантаження і переміщення матеріалів, які утворюють запас; плата за складську техніку; витрати на інвентаризацію, періодичний огляд, прибирання приміщення; витрати на регламентні роботи, що виконуються на складах з метою зберігання матеріалів. Для практичних цілей відповідний компонент цільової функції

можна вважати або сталою величиною (якщо сумарні поставки дорівнюють сумарному споживанню, а змінювання запасів у широкому діапазоні не впливає на величину витрат), або прямо пропорційною до величини запасу і часу його існування.

4. *Витрати від псування матеріалів, що утворюють запаси.* Збитки через псування продукції (наприклад, сільськогосподарської) зумовлені як зменшенням її кількості, так і зниженням її споживчих властивостей. Збитки, зумовлені природними причинами зменшення запасу (наприклад, випаровуванням), прямо пропорційні до величини запасу і часу його існування. Витрати через погіршення споживчих властивостей матеріальних цінностей визначаються або відсотком відбракування, або зниженням ціни одиниці продукції за одиницю часу. У будь-якому з цих випадків витрати являють собою лінійну функцію величини запасу і часу його існування.

5. *Витрати через утворення надмірних запасів.* При випадковому попиті або поставках, а також у результаті дії інших виробничих причин на складах можуть утворюватися запаси непотрібних матеріалів, так звані неліквіди. Витрати через це визначаються величиною збитку, який дорівнює початковій вартості даної кількості матеріалу за винятком суми, що її можна дістати від реалізації невикористаних цінностей. Математично цей компонент витрат виражається лінійною функцією від залишку запасу на кінець періоду планування.

6. *Витрати через моральний знос.* Збитки, зумовлені моральним зносом матеріалів, що утворюють запас, математично виражаються функцією, яка дорівнює величині залишку запасу на кінець періоду планування, помноженого на різницю між початковою ціною одиниці продукції та її значенням після зниження ціни.

Отже, витрати на зберігання як функція від величини запасу в загальному випадку мають три складові:

- постійну величину;
- величину, пропорційну до середньої величини запасу і часу його існування;
- величину, пропорційну до залишку матеріалу, що утворює запас, на кінець періоду планування.

Першу складову немає потреби враховувати під час дослідження оптимальної стратегії керування запасами, а з двох інших до цільової

функції доцільно включити домінуючу за абсолютним значенням витрат, якщо вони не еквівалентні.

Розрахунок вартості поставок. У функції витрат на організацію поповнення запасів необхідно враховувати лише ті затрати, які безпосередньо залежать від обраної стратегії керування запасами. У загальному випадку вартість поставки може включати постійний компонент; компонент, пропорційний до обсягу поставки; компонент, пропорційний до кількості замовлених номенклатур. Можливі випадки складнішої залежності вартості поставки від обсягу поставки та числа замовлених матеріалів – нелінійної.

Під час розрахунку витрат на поставки слід брати до уваги таке:

- конторські та поштові витрати;
- транспортні витрати;
- витрати виробництва;
- витрати, пов'язані з варіацією закупівельних цін.

Конторські та поштові витрати. Конторські (виписування й оформлення нарядів) та поштові витрати не залежать від обсягу поставок і в однопродуктових моделях керування запасами вважаються сталими. У багатопродуктових моделях ці витрати утворюють складову витрат, пропорційну до числа замовлених номенклатур.

Транспортні витрати залежно від обраного способу доставки можуть бути сталими або можуть залежати від обсягу поставки. Перший випадок реалізується тоді, коли поставка пов'язана з організацією спеціального рейсу транспортного засобу (літака, автомобіля, залізничного контейнера), вантажопідйомність якого використовується не повністю. У вартість доставки включаються витрати, пов'язані з організацією цього рейсу.

Іноді постійна складова транспортних витрат може являти собою функцію цілого аргументу (наприклад, кількості вагонів, необхідних для реалізації поставки). При цьому сумарні витрати являють собою розривну функцію обсягу поставки.

В усіх інших випадках транспортні витрати пропорційні до обсягу поставки. Коефіцієнт пропорційності визначається діючими на даному типі транспорту тарифами.

Витрати виробництва, які включаються до вартості поставки, виникають тоді, коли виконання замовлень пов'язане з організацією виробничого циклу виготовлення партії замовленої продукції, що

спричинюється до зупинки і переналагодження технологічних ліній. Зумовлені цією обставиною додаткові витрати (зарплата наладчиків, підготовка нової документації, збитки від простоювання обладнання за час переналагоджування і можливого спаду продуктивності, витрати на наймання та навчання робочої сили) не включаються до собівартості створюваної продукції, а оплачуються системою постачання, яка зробила замовлення. Розглянута стаття витрат не залежить від обсягу замовленої партії поставки, тобто є сталою величиною.

Витрати, пов'язані з варіацією закупівельних цін. Іноді ціна одиниці матеріалів, що замовляються, залежить від обсягу поставки, оскільки таким чином організація-постачальник стимулює якомога більші за обсягом замовлення, встановлюючи диференційовано закупівельну ціну. У моделях керування запасами необхідно враховувати цей фактор, вважаючи його організаційним.

Визначення величини штрафу. Під дефіцитом розуміють ті потреби в матеріальних ресурсах, які не можуть бути задоволені в потрібний момент часу, тобто йдеться про відсутність у цей момент необхідних матеріалів, що означає порушення матеріального забезпечення виробництва. В умовах, коли спостерігається стохастичність потреб і поставок, поява дефіциту, як правило, не виключається. Цілковите виключення подібної ситуації означало б створення великих, економічно не обгрунтованих запасів.

Нестача необхідних матеріалів може мати різні наслідки. Для ліквідації дефіцитних ситуацій підприємство може вживати надзвичайні заходи. Як порушення безпосередньо процесів виробництва і збуту, так і вживання надзвичайних заходів пов'язані з додатковими витратами і збитками для підприємства. Усі вони називаються *витратами дефіциту (вартістю штрафів)*.

У загальному випадку функція витрат на штрафи може мати складний аналітичний опис і включати такі компоненти: пропорційні до величини нестачі та часу її існування; пропорційні до значення нестачі на кінець періоду планування; постійні при ненульовій нестачі. У реальних системах постачання одна з перелічених складових витрат є відносною домінуючою, що дозволяє тільки її включити до цільової функції.

Обмеження, що застосовуються до запасів. У задачах керування запасами стикаємося з різного роду обмеженнями, які необхідно враховувати при складанні математичних або імітаційних моделей.

Обмеження можуть бути на максимальний обсяг (масу чи вартість) величини поточного запасу, середню вартість запасу, число поставок у заданому проміжку часу, максимальний обсяг (масу чи вартість) окремої поставки тощо.

Стратегії (політики) керування запасами. Стратегією (політикою) керування запасами називають сукупність правил, за допомогою яких визначають моменти часу і обсяги замовлень на поповнення запасів. У моделях керування запасами стратегія керування обирається заздалегідь, і задача зводиться, таким чином, до пошуку параметрів цієї стратегії. Найбільшого поширення набули так звані *найпростіші стратегії управління запасами: періодичні та з критичними рівнями.*

Питання для самоконтролю за темою

Для самостійної перевірки знань потрібно сформулювати розширені відповіді на поставлені питання і перевірити їх повноту та правильність за допомогою матеріалів пропонованих літературних джерел.

1 З'ясуйте: чому на підприємствах виникає потреба створювати запаси матеріально-технічних ресурсів і які фактори впливають на зменшення та збільшення запасу.

2 Сутність оптимального керування запасами.

3 Яким чином відбувається керування багатопродуктовими запасами.

4 Чому при оптимальному керуванні запасами обирається критерій мінімізації витрат, а не прибуток підприємства?

5 Зробіть аналіз вартісних функцій витрат.

6 Перерахуйте некеровані параметри задачі керування запасами, дайте їх розширені характеристики та наведіть відомі вам приклади.

7 Що таке стратегія (політика) керування запасами і як вона обирається в реальних системах постачання?

8 Проаналізуйте з точки зору переваг і недоліків періодичні стратегії та стратегії з критичними рівнями.

9 Яким чином визначаються параметри обраної стратегії?

10 Що таке концептуальна імітаційна модель керування запасами.

11 Що таке економіко-математична модель оптимального керування запасами?

12 Вивчіть імітаційну модель керування запасами з періодичною перевіркою рівня і реалізуйте її засобами GPSS.

13 Вивчіть імітаційну модель керування запасами з точкою замовлення і реалізуйте її засобами GPSS.

Тема «Концептуальна імітаційна модель керування запасами (основні передумови). Блок-схема імітаційної моделі»

План лекції.

Статична детермінована модель керування запасами.

Формула оптимального розміру партії замовлення (формула Вільсона).

Керування багатопродуктовими запасами:

- основні передумови;
- економічно-математична модель;
- метод множників Лагранжа;
- алгоритм розв'язування задачі.

Концептуальна імітаційна модель керування запасами (основні передумови).

Блок-схема імітаційної моделі.

Деякі результати програмної реалізації імітаційної моделі та їх узагальнення.

Пояснення до теми.

Описується статична детермінована модель керування запасами, на основі якої отримана відома формула оптимального розміру партії замовлення (формула Вільсона). Досліджується задача керування багатопродуктовими запасами, зокрема сформульовано основні передумови, побудовано економічно-математичну модель і описано алгоритм розв'язування задачі методом множників Лагранжа. Сформульовано концептуальну імітаційну модель керування запасами (основні передумови). Наводиться блок-схема імітаційної моделі й описуються її основні модулі. Подаються деякі результати програмної реалізації імітаційної моделі та їх узагальнення.

Нехай y , h , H – запас ресурсу відповідно поточний, нижній (пороговий) і верхній (граничний); T – період планування; q – обсяг (партія) замовлення.

У періодичних стратегіях замовлення формуються в кожному періоді T . До них належать:

- стратегія постійного рівня (T, H) , згідно з якою через кожний проміжок часу T запас поповнюється до граничного значення H ; обсяг замовлення – змінна величина $q = H - y$;
- стратегія фіксованої поставки (T, q) , згідно з якою через інтервал часу T видається замовлення розміром q .

У стратегіях з критичними рівнями постійно стежать за рівнем поточного запасу, і тільки-но він опускається нижче порогового рівня, видається замовлення на поповнення запасу. Це такі стратегії.

Стратегія фіксованого розміру замовлення (h, q) , сутність якої полягає у наступному.

Якщо $y < h$, замовити q , якщо $y \geq h$, нічого не замовляти.

Стратегія двох рівнів (h, H) :

Якщо $y < h$, замовити $q = H - y$; якщо $y \geq h$, нічого не замовляти.

Зауважимо, що вибір стратегії керування запасами, який є найвідповідальнішим моментом під час складання математичних або імітаційних моделей, має ґрунтуватися на ретельному аналізі системи постачання. Отже, розв'язок задачі керування запасами потрібно знаходити спочатку в просторі стратегій керування, а потім, згідно з обраною стратегією, – у просторі її параметрів.

Для більш глибокого розуміння сутності задачі керування запасами і необхідності її розв'язання методом машинного моделювання потрібно розглянути дві найвідоміші постановки задач керування запасами, результати яких широко застосовуються на практиці.

А. Статична детермінована модель

Основні передумови

1. Розглядається процес керування однопродуктовим запасом на ізольованому складі; процес руху запасів – нескінченний.
2. Попит неперервний і має сталу інтенсивність μ .
3. Поповнення запасів – миттєве.
4. Дефіцит не допускається, тобто витрати на штрафи (витрати через дефіцит) L_D відсутні і вважаються такими, що дорівнюють нулю:

$$L_D = 0. \quad (8)$$

5. Кожній поставці відповідають сталі витрати g :

$$L_P = g, \quad (9)$$

де L_P – витрати на поставку.

6. Вартість зберігання L_Z пропорційна до середнього рівня запасу і часу його існування, коефіцієнт пропорційності дорівнює s .

7. Обирається стратегія керування запасами (T, H) .

8. Треба знайти оптимальні параметри стратегії керування запасами T^* і H^* , які мінімізують загальні витрати за одиницю часу.

Економіко-математична модель

Схему руху запасу матеріалу на складі зображено на рис. 1. Оскільки рух запасу циклічний, то для створення економіко-математичної моделі достатньо розглянути один цикл (трикутник на схемі).

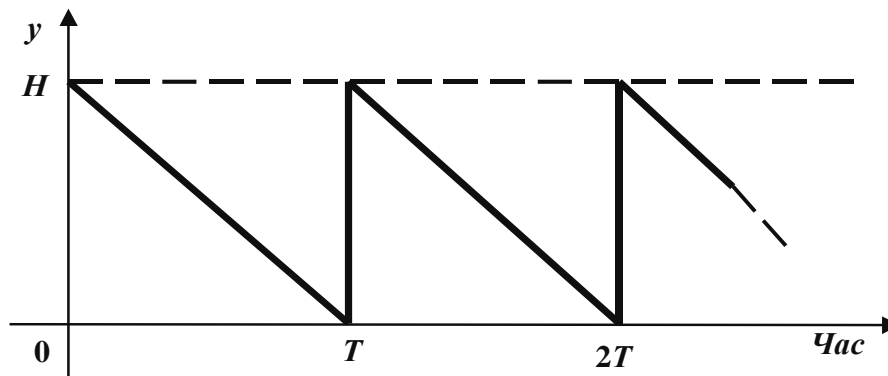


Рисунок 1 – Схема руху запасу

Загальні витрати за період T :

$$L_T = L_P + L_Z + L_D. \quad (10)$$

Витрати на зберігання згідно з шостою передумовою наберуть вигляду:

$$L_Z = \frac{1}{2} sHT. \quad (11)$$

Підставивши в (10) вирази (8), (9) і (11), дістанемо:

$$L_T = g + \frac{1}{2} sHT . \quad (12)$$

Цільова функція – витрати за одиницю часу:

$$L = \frac{L_T}{T} , \quad (13)$$

або

$$L = \frac{g}{T} + \frac{1}{2} sH . \quad (14)$$

Згідно з другою передумовою:

$$H = \mu T . \quad (15)$$

Підставляючи (15) у (14), знаходимо цільову функцію, яку потрібно мінімізувати:

$$L = \frac{1}{2} s\mu T + \frac{g}{T} \rightarrow \min . \quad (16)$$

Оскільки цільова функція (16) опукла і унімодальна, то її мінімум знаходиться стандартним методом:

$$\frac{dL}{dT} = \frac{1}{2} s\mu - \frac{g}{T^2} = 0 . \quad (17)$$

Звідси:

$$T^* = \sqrt{\frac{2g}{s\mu}} . \quad (18)$$

Скориставшись формулою (15), знайдемо оптимальне значення граничного запасу:

$$H^* = \mu T^* = \sqrt{\frac{2g\mu}{s}}. \quad (19)$$

Оскільки в даних умовах граничний запас дорівнює партії поставки, то:

$$q^* = \sqrt{\frac{2g\mu}{s}}. \quad (20)$$

Формулу (18) дістав Вільсон у 1928 р., а тому її названо на його честь. Іноді цю формулу називають формулою для визначення *найбільш економічної партії поставок*. Незважаючи на досить жорсткі та ідеальні умови її створення, формула Вільсона (або її модифікації) часто застосовується на практиці.

Б. Керування багатопродуктовими запасами

Основні передумови

1. Система постачання забезпечує попит на n продуктів протягом одного року.

2. Для поповнювання запасів система має необхідні виробничі потужності. Витрати на підготовчо-заклучні операції, які вважають витратами на поставку, пропорційні до числа поставок протягом року і вартості однієї поставки:

$$L_P = \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{q_i} g_i, \quad (21)$$

де b_i – річна потреба в i -му продукті;

g_i – витрати на підготовчо-заклучні операції на виготовлення однієї партії поставки i -го продукту (не залежить від розміру партії поставки q_i).

3. Поставки миттєві.

4. Дефіцит виключається ($L_D = 0$).

5. Витрати на зберігання, зумовлені зв'язуванням оборотних фондів у запасах протягом року, пропорційні до середньої вартості запасу і часу його існування:

$$L_Z = \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{2} c_i \tilde{T} \rho, \quad (22)$$

де c_i – ціна за одиницю i -го продукту;

\tilde{T} – кількість одиниць часу в одному році;

ρ – коефіцієнт нарахування на зв'язані оборотні фонди, фізична розмірність якого $[\rho] = [\text{час}]^{-1}$.

Якщо за одиницю часу обрати рік (тобто в усіх величинах моделі фізичну розмірність часу подати відносно цієї одиниці), то формула (22) дещо спроститься:

$$L_Z = \frac{\rho}{2} \sum_{i=1}^n q_i c_i. \quad (23)$$

6. Заданий норматив E оборотних фондів щодо величини запасу (середня вартість запасу має не перевищувати цієї величини), тобто:

$$E \geq \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i c_i, \quad (24)$$

або

$$E - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i c_i \geq 0. \quad (25)$$

7. Знайти значення q_i^* , які мінімізують річні витрати на організацію постачання L_R :

$$L_R = L_Z + L_P \rightarrow \min. \quad (26)$$

Економіко-математична модель

Підставивши в (26) значення складових витрат згідно з виразами (21) і (23), дістанемо цільову функцію оптимізаційної задачі:

$$L_R = \sum_{i=1}^n \frac{b_i}{q_i} g_i + \frac{\rho}{2} \sum_{i=1}^n q_i c_i \rightarrow \min. \quad (27)$$

Обмеженнями задачі буде формалізована вимога щодо додержання нормативу на оборотні фонди (12), а також умова невід'ємності:

$$q_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (28)$$

Економіко-математична модель – цільова функція (27) разом з обмеженнями (25) і (28) – належить до задач цілочислового нелінійного сепарабельного програмування. Для її розв'язання найдоцільніше застосовувати метод множників Лагранжа.

Задача полягає в мінімізації функції (27) за невід'ємними змінними $q_i (i = 1, 2, \dots, n)$ за умови виконання обмеження (25). Для її розв'язання скористаємося функцією Лагранжа:

$$F = \sum_{i=1}^n \left(\frac{q_i c_i \rho}{2} + \frac{b_i g_i}{q_i} \right) + \lambda \left(E - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i c_i \right), \quad (29)$$

де невизначений множник Лагранжа λ задовольняє такі умови:

$$\lambda = 0, \text{ якщо } E - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i c_i > 0, \quad (30)$$

$$\lambda < 0, \text{ якщо } E - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i c_i = 0. \quad (31)$$

Для мінімізації загальних витрат достатньо продиференціювати функцію Лагранжа (29) за змінними q_i і, прирівнявши похідну нулю, знайти оптимальні партії поставок:

$$\frac{1}{2} c_i \rho - \frac{b_i g_i}{q_i^2} - \frac{1}{2} \lambda c_i = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n); \quad (32)$$

$$q_i^* = \sqrt{\frac{2b_i g_i}{(\rho - \lambda)c_i}} \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (33)$$

Коли обмеження (25) не ефективно (виконується строга нерівність), то $\lambda = 0$ і умова щодо обмеженості оборотних засобів неістотна. Проте в разі

ефективності обмеження (25) постає задача обчислення невизначеного множника Лагранжа ($\lambda < 0$).

Алгоритм розв'язання задачі полягає у такому.

1. Підставимо значення $\lambda = 0$ у (33):

$$q_i = \sqrt{\frac{2b_i g_i}{\rho c_i}} \quad (i=1, 2, \dots, n). \quad (34)$$

2. Величини партій поставок, обчислених згідно з (34), підставимо у нерівність:

$$E - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i c_i > 0. \quad (35)$$

Якщо нерівність виконується, то здобутий у п. 1 результат є кінцевим, тобто:

$$q_i^* = \sqrt{\frac{2b_i g_i}{\rho c_i}} \quad (i=1, 2, \dots, n). \quad (36)$$

Якщо нерівність не справджується, переходимо до п. 3.

3. Підставимо вираз (33) у рівняння:

$$E - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i c_i = 0. \quad (37)$$

Тоді:

$$E - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sqrt{\frac{2c_i b_i g_i}{\rho - \lambda}} = 0, \quad (38)$$

звідки:

$$\sqrt{\rho - \lambda} = \frac{1}{2E} \sum_{i=1}^n \sqrt{2c_i b_i g_i}. \quad (39)$$

4. Підставимо (39) у (33) і знайдемо розв'язок задачі q_i^* .

Імітаційна модель керування запасами має такі основні передумови:

1. Моделюється однопродуктова система керування запасами. Кількість продукту, яка вивозиться щоденно зі складу, визначається поточним попитом. Використовується стратегія фіксованого розміру замовлення (h, q) : коли рівень поточного запасу у падає нижче від заданої позначки h , керівництво складу замовляє поставку товару в кількості q . Після закінчення терміну виконання замовлення ця продукція надходить на склад і доповнює запас, що вже є там у даний момент. Система постачання функціонує T днів.

2. Щодня виникає попит на предмет зберігання, причому дорівнює цей попит величині X – випадковій величині з відомим законом розподілу ймовірностей.

3. Встановлюється такий порядок виконання операцій на складі протягом кожного дня:

1) визначаються обсяги замовлень на поповнення запасу, які будуть реалізовані протягом поточного дня;

2) товар поставляється споживачеві, тобто задовольняється попит;

3) оцінюється запас, що залишився, і в разі потреби (якщо поточний запас досягає порогового рівня) оформляється замовлення на поповнення запасу.

4. Затримка поставки λ (кількість днів між моментами часу подачі замовлення на поставку та її надходженням) тлумачиться як випадкова величина з відомим законом розподілу ймовірностей.

5. Незадоволені замовлення споживачів товару анулюються, тобто переносити дефіцит на наступний день не дозволяється.

6. Заявка на поповнення запасу приймається до виконання лише в тому разі, коли подана раніше заявка реалізована, тобто в кожний момент часу на стадії реалізації не може перебувати більш як одна заявка.

7. За цільову функцію для вибору оптимальних значень змінних керування беруть сумарні витрати (вартість зберігання і поставки, штраф) за період T :

$$L(q, h) = L_Z + L_P + L_D \rightarrow \min. \quad (40)$$

Оскільки щоденний попит і затримка поставок – випадкові величини, то й сума витрат системи постачання $L(q, h)$ також є випадковою

величиною, закон розподілу ймовірностей якої в загальному випадку невідомий. Тому цільова функція являє собою математичне сподівання витрат $M [L(q, h)]$.

8. Математичне сподівання витрат при фіксованих значеннях змінних керування q, h оцінюється з допомогою вибіркового середнього:

$$\bar{L}(q, h) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N L_j(q, h), \quad (41)$$

де N – число циклів прогонів (дублювань) імітаційної моделі при фіксованих значеннях змінних керування q, h і незмінних факторах моделі (у разі машинної реалізації імітаційної моделі беруть 1 тис. циклів прогонів); $L_j(q, h)$ – значення сумарних витрат у j -му прогоні.

9. Вартість поставки – стала величина, що не залежить від обсягу поставки і дорівнює g :

$$L_p = g = \text{const} . \quad (42)$$

10. Вартість зберігання пропорційна до величини залишку продукту на кінець дня, коефіцієнт пропорційності дорівнює s .

11. Витрати на штрафи пропорційні до залишкової величини дефіциту на кінець дня, коефіцієнт пропорційності дорівнює p .

12. Ендогенна змінна системи (відгук): L – сумарні витрати.

13. Змінні, що визначають стан системи в довільний момент часу:

L_Z – витрати на зберігання;

L_p – вартість поставки;

L_D – витрати на штрафи;

t – поточний (системний, модельний) час;

t' – момент часу (день), коли реалізується поставка;

y – поточне значення запасу (у разі дефіциту – від'ємне);

j – індекс циклів роботи імітаційної моделі.

14. Змінні керування:

q – обсяг (партія) замовленої поставки;

h – нижній (пороговий) рівень запасу.

15. Некеровані параметри:

s – витрати на зберігання одиниці продукції на кінець дня;
 p – витрати через дефіцит, пов'язані з нестачею одиниці продукції;
 g – витрати на організацію однієї поставки;
 z – початковий рівень запасу;
 T – тривалість (кількість днів) функціонування системи постачання.

16. Екзогенні (вхідні) змінні:

X – щоденний попит на продукт;
 λ – час затримки поставки.

17. Характеристики функціонування системи:

$F(X)$ – функція розподілу ймовірності попиту;
 $F(\lambda)$ – функція розподілу ймовірності затримки поставки.

18. За допомогою методу імітаційного моделювання потрібно знайти оптимальні значення h^* і q^* , при яких сумарні витрати на організацію постачання протягом T днів будуть мінімальні. Для експериментального пошуку оптимального розв'язку задачі застосовується метод Бокса-Уїлсона.

Логічна структурна схема імітаційної моделі задачі пошуку оптимальної стратегії керування запасами складається з двох контурів – зовнішнього і внутрішнього. Зовнішній контур реалізує схему проведення експериментів за методом Бокса-Уїлсона, тобто на цьому рівні визначаються точки факторного простору, в яких відбувається імітаційний експеримент для визначення цільової функції – сумарних витрат на постачання.

На вхід до внутрішнього контуру надходить пара чисел (вектор) (q, h) , визначених згідно з процедурою руху в напрямі антиградієнта або в околі базової точки факторного простору. Після проведення машинного експерименту в точці (q_k, h_k) і статистичної обробки результатів моделювання дістаємо значення цільової функції $\bar{L}(q_k, h_k)$, яке відсилається на зовнішній контур моделі для прийняття рішення щодо подальшого проведення експерименту.

На вхід до внутрішнього контуру надходить пара чисел (вектор) (q, h) , визначених згідно з процедурою руху в напрямі антиградієнта або в околі базової точки факторного простору. Після проведення машинного експерименту в точці (q_k, h_k) і статистичної обробки результатів моделювання дістаємо значення цільової функції $\bar{L}(q_k, h_k)$, яке

параметрів (s, g, p, z, T) , керуючих змінних (q, h) , а також числа циклів N . Далі в комірці пам'яті машини, які призначені для записування змінних стану системи L_Z, L_P, L_D, t, t' , засилаються нулі. Оператори 2, 13 і 14 організують зовнішній цикл роботи алгоритму, що забезпечує N -кратний прогін спроби за однакових умов. Початкове значення поточного запасу (оператор 4) дорівнює величині z .

Оператори моделі 5 і 6 призначені для організації еволюційного процесу (тут використовується однорідне градування часу, крок руху по часовій осі дорівнює одному дню).

Якщо поточне значення системного часу t перевищує заданий термін планування T , то блок 12 обчислює сумарні витрати системи постачання L_j за даний j -й прогін моделі ($j=1, 2, \dots, N$). Потім здобуті значення L_j обробляються у блоці 23: відшуковуються середнє арифметичне значення $\bar{L}(q, h)$, яке беруть за статистичну оцінку математичного сподівання витрат, та вибіркова дисперсія $\bar{\sigma}_L^2$, за допомогою якої визначаються надійний інтервал оцінки L і необхідна кількість дублювань спроби N :

$$\begin{aligned}\bar{L} &= \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N L_j; \\ \bar{\sigma}_L^2 &= \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (L_j - \bar{L})^2.\end{aligned}\tag{43}$$

Оператор 7 перевіряє, чи надходить у поточний момент часу замовлена раніше поставка. Якщо поставка надходить, то поточний рівень запасу збільшується на партію поставки q . Попит x і затримка поставки λ генеруються з допомогою методу Монте-Карло згідно із заданими розподілами $F(X)$ (оператор 9) і $F(\lambda)$ (оператор 16).

Оператор 10 реалізує поставку товару споживачам, тобто задовольняється попит. При цьому, якщо попит задовольняється повністю (оператор 19, позиція «Ні»), то оператор 22 обчислює вартість зберігання. У протилежному разі обчислюється величина штрафу (оператор 20) і виключається можливість перенести дефіцит на наступний день (оператор 21).

Логічні оператори 11 і 15 імітують організацію замовлення на поставку, яка здійснюється за умови, що поточний рівень запасу досягає

рівня h і момент часу реалізації попередньої заявки на поставку не перевищує системного часу. Якщо замовлення на поставку сформоване, то оператор 17 імітує час надходження чергової поставки, а оператор 18 враховує пов'язані з цим витрати.

Результати реалізації описаної імітаційної моделі керування запасами наочно відображує рис. 3. Поверхню відгуку зображено лініями однакового рівня $L = 11, 13, 15, \dots$. Для їх побудови з метою проілюструвати специфіку застосування методики планування експериментів виконувалися спеціальні імітаційні спроби в точках факторного простору з кроком руху по координаті q – 10 кг, по h – 5 кг.

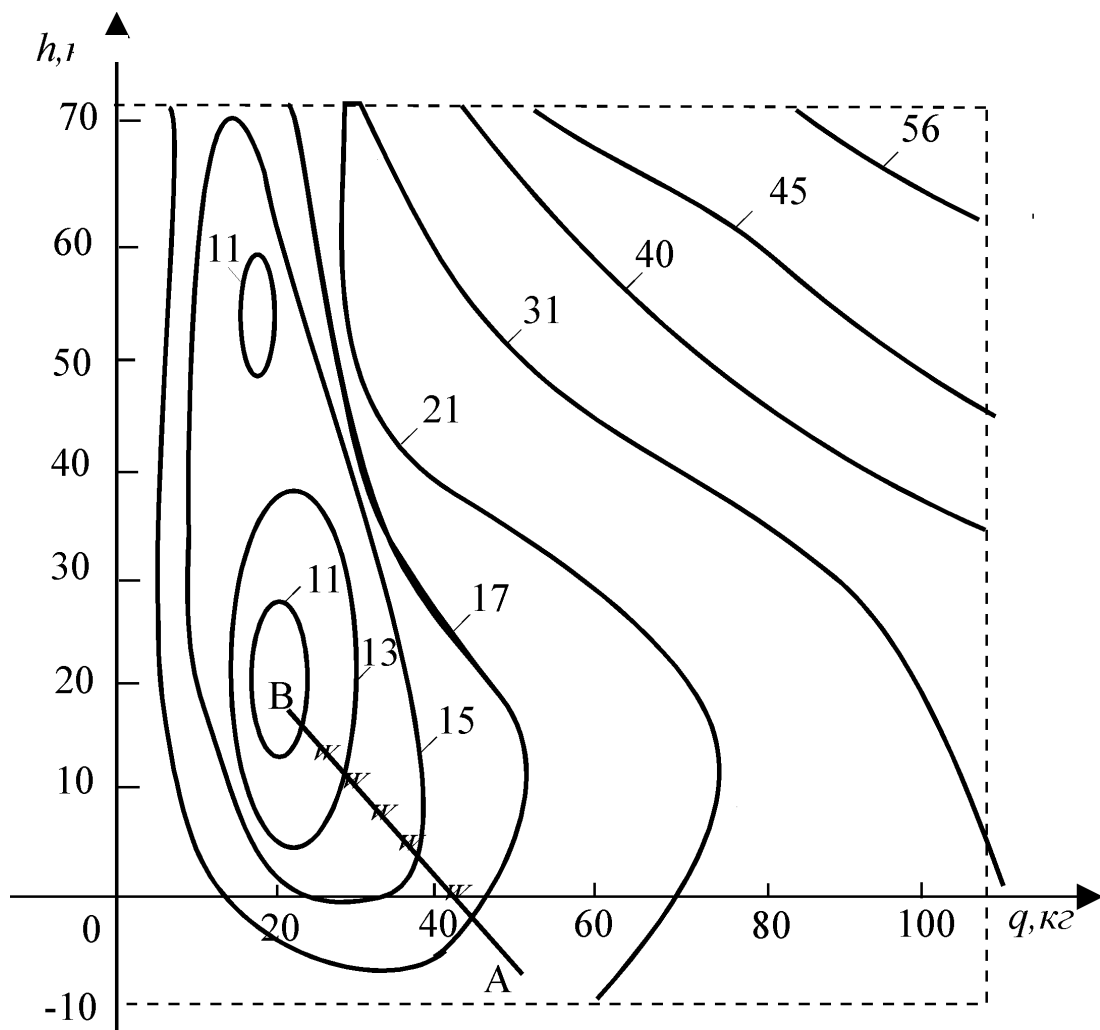


Рисунок 3 – Зображення функції відгуку лініями однакового рівня

Зауважимо, що функція відгуку – багатоекстремальна (див. рис. 3). Для безпосереднього пошуку оптимальних значень q^* і h^* методом Бокса-Уїлсона відбувався рух по антиградієнту.

Точка A з координатами $q = 50$, $h = -5$ була обрана як початкова точка імітаційного експерименту. За 5 кроків (відповідні точки зображені на прямій AB) досягнуто точки локального мінімуму функції відгуку: $q^* = 20$, $h^* = 18$, $L^* = 10,5$.

Під час самостійного опрацювання цієї теми слід користуватися як основними, так і допоміжними літературними джерелами, а також програмними засобами відповідного призначення, зокрема пакетом GPPS.

Питання для самоконтролю за темою

Для самостійної перевірки знань потрібно сформулювати розширені відповіді на поставлені питання і перевірити їх повноту та правильність за допомогою матеріалів пропонованих літературних джерел.

1 Сформулюйте основні передумови та економіко-математичну модель керування запасами.

2 З чого складається статична детермінована економіко-математична модель керування запасами.

3 Поясніть, чому формула для визначення найбільш економічної партії поставок (формула Вільсона), незважаючи на ідеалізовані передумови при її отриманні, досить широко застосовується на практиці.

4 Які відомі Вам наукові праці, де розглядається аналіз результатів машинної реалізації імітаційної моделі?

5 Сформулюйте економіко-математичну модель керування багатопродуктовими запасами при детермінованому попиті й миттєвих поставках.

6 Поясніть, чому введення обмежень на норматив оборотних коштів призводить до зростання витрат на постачання.

7 Поясніть сутність методу множників Лагранжа.

8 Наведіть приклад застосування методу множників Лагранжа під час визначення оптимальних розмірів поставок в багатопродуктовій економіко-математичній моделі керування запасами.

9 Складіть алгоритм для цього методу і включіть у нього модуль для аналізу оптимальних витрат на постачання без обмежень і при

наявності обмежень на норматив оборотних коштів.

10 Наведіть основні блоки зі схеми імітаційної моделі керування запасами.

11 Побудуйте концептуальну імітаційну модель керування запасами, складіть блок-схему алгоритму та вручну зробіть три реалізації цієї імітаційної моделі, користуючись таблицею випадкових чисел.

12 Перевірте розуміння сутності оптимального керування запасами на підставі розглянутих статистичних детермінованих моделей визначення оптимальних параметрів стратегії керування запасами.

Вправи до теми лекції

Вправа 10. Користуючись формулою Вільсона, обчисліть розмір оптимальної партії поставок, а також оптимальне значення граничного запасу та періоду між поставками у задачі керування запасами в однопродуктовій моделі, якщо попит на продукт становить 400 кг на годину, витрати на поставку – 560 грн, витрати на зберігання пропорційні до середнього рівня запасу і часу його існування, коефіцієнт пропорційності становить 0,25. Зобразіть графічно рух запасу за цих умов.

Вправа 11. Нехай система постачання має справу з трьома видами продукції, характеристики яких наведено у таблиці. Коефіцієнт нарахування на зв'язані оборотні кошти становить $\rho = 0,2$, норматив оборотних фондів $E = 3600$ грн. Обчисліть оптимальні партії поставок без урахування і з урахуванням обмеження на норматив оборотних коштів, результати запишіть у відповідні клітини таблиці. Обчисліть оптимальні витрати для цих двох умов і знайдіть, наскільки зростають оптимальні витрати при наявності обмежень на оборотні кошти.

Характеристика продукту	Номер продукту		
	1	2	3
Річна потреба в продукті, кг	12000	25000	6000
Ціна за одиницю продукту, грн	300,0	200,0	600,0
Витрати на підготовчо-заклучні операції, грн	20	20	20
Оптимальні партії поставок без обмежень, кг			
Оптимальні партії поставок з обмеженнями, кг			

Вправа 12. У магазині щоденна потреба у продукції – нормально розподілена випадкова величина, яка має математичне сподівання 10 одиниць і дисперсію 4 одиниці виміру товару. Як тільки запас магазину падає до або нижче заздалегідь визначеної величини, яку називають точкою відновлення, постачальнику надсилають замовлення на поповнення запасу. Величина поповнення, що має назву «кількість відновлення», дорівнює 100 одиницям. Поповнення надходить до магазину між шостим та десятим днем після подання замовлення. Час між поданням замовлення та прибуттям поставки до магазину – випадкова величина, розподіл якої має вигляд:

День надходження	6	7	8	9	10
Відносна частота	0,05	0,25	0,30	0,22	0,18

Необхідно побудувати імітаційну модель цієї задачі та реалізувати її засобами GPSS для встановлення точки замовлення.

Оцініть характеристики функціонування цієї системи постачання.

Вправа 13. На підприємстві використовуються комплектуючі двох типів, які надходять партіями по 3000 одиниць першого та 5000 одиниць другого типу на склад. Час надходження комплектуючих має рівномірний розподіл: для комплектуючих першого типу в інтервалі від 4 до 8 днів, другого – від 6 до 10. Комплектуючі використовуються при складанні виробів, які одночасно складаються на чотирьох дільницях складального цеху і потребують для одного виробу 2 комплектуючих першого типу і 4 – другого. Час складання виробу – 10 хв. На підприємстві для забезпечення ритмічності виробництва раз в квартал створюють страхові запаси.

Необхідно побудувати імітаційну модель цієї задачі та реалізувати її засобами GPSS для визначення обсягу страхового запасу.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Великодний С. С. Моделювання систем. Конспект лекцій (неопублікований рукопис). Одеса : ОДЕКУ, 2018. 186 с. URL : http://eprints.library.odeku.edu.ua/708/1/VelykodniySS_Modelirovanie_sistem_KL_2018.pdf (дата звернення: 28.10.2021)
2. Великодний С. С. Методичні вказівки по виконанню лабораторних робіт з дисципліни «Моделювання складних процесів та систем» для аспірантів I року очної (денної) форми навчання, спеціальності 122 – комп'ютерні науки. Одеса : ОДЕКУ, 2020. 94 с.
3. Великодний С. С. Довідник роботи із пакетом GPSS World. Одеса : ОДЕКУ, 2021. 28 с.
4. Великодний С. С. Курс «Імітаційне моделювання». Сайт дистанційного навчання (Е-навчання) Одеського державного екологічного університету. Сторінка кафедри автоматизованих систем моніторингу навколишнього середовища. URL : <http://dpt01s.odeku.edu.ua/course/view.php?id=27> (дата звернення: 28.10.2021)
5. Томашевський В. М. Моделювання систем. Київ : Видавнича група ВНУ. 2015. 352 с.
6. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем : искусство и наука. Москва: Мир, 2014. 420 с.
7. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. Москва : Высшая школа, 2011. 343 с.
8. Великодний С. С. Методи реінжинірингу програмних систем. *Технологии приборостроения*. 2014. Спец. вып. С. 65–68.
9. Великодний С. С. Ідеалізовані моделі реінжинірингу програмних систем. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2019. № 1. С. 150–156.
10. Великодний С. С., Тимофєєва О. С., Зайцева-Великодна С. С., Нямцу К. Є. Порівняльний аналіз властивостей відкритого, вільного та комерційного програмного забезпечення. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2018. № 1 (41). С. 21–27.
11. Великодний С. С., Бурлаченко Ж. В., Зайцева-Великодна С. С. Реінжиніринг графічних баз даних у середовищі відкритої системи автоматизованого проектування BRL-CAD. Моделювання поведінкової

- частини. *Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського*. 2019. Вип. 2 (115). С. 117–126.
12. Великодний С. С., Бурлаченко Ж. В., Зайцева-Великодна С. С. Реінжиніринг графічних баз даних у середовищі відкритої системи автоматизованого проектування BRL-CAD. Моделювання структурної частини. *Вісник Кременчуцького національного університету ім. Михайла Остроградського*. 2019. Вип. 3 (116). С. 130–139.
 13. Velykodniy S. S. Analysis and synthesis of the results of complex experimental research on reengineering of open CAD systems. *Applied Aspects of Information Technology*. 2019. Vol. 2. No 3. P. 186–205.
 14. Великодний С. С., Бурлаченко Ж. В., Зайцева-Великодна С. С. Розробка архітектури програмного засобу для управління мережевим плануванням реінжинірингу програмного проекту. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2019. № 2 (8). С. 25–35.
 15. Великодний С. С., Тимофєєва О. С., Зайцева-Великодна С. С. Метод розрахунку показників оцінки проекту при виконанні реінжинірингу програмних систем. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2018. № 4. С. 135–142.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Velykodniy S., Burlachenko Zh., Zaitseva-Velykodna S. Software for automated design of network graphics of software systems reengineering. *Scientific Journal Herald of Advanced Information Technology*. 2019. No 2 (03). P. 20–32.
2. Великодний С. С. Метод представлення оцінки реінжинірингу програмних систем за допомогою проектних коефіцієнтів. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2019. № 1 (7). С. 34–42.
3. Velykodniy S., Burlachenko Zh., Zaitseva-Velykodna S. Modelling the behavioural component of the emergent parallel processes of working with graph databases using Petri net-tools. *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*. (Scopus) 2021. Vol. 36. Iss. 6. P.498-515. <https://doi.org/10.1080/17445760.2021.1934836>. Published online: 30 May 2021. Taylor & Francis Group, England & Wales. London.
4. Великодний С. С. Методологические основы реинжиниринга систем автоматизированного проектирования. *Управляющие системы и машины*. 2014. № 2. С. 39–43. Видання національної академії наук України.
5. Великодний С. С. Проблема реинжиниринга видов обеспечения систем автоматизированного проектирования. *Управляющие системы и машины*. 2014. № 1. С. 57–61, 76. Видання національної академії наук України.
6. Великодний С. С. Реінжиніринг систем моніторингу та дистанційного управління судновими енергетичними установками. *Матер. XXII міжн. конф. з автом. управл. «Автоматика 2015»*, 10–11 вер. 2015, Одеса, 2015. С. 133–134.

ГЛОСАРІЙ

Термінологічний словник до першого лекційного модуля

Адекватність моделі – відповідність моделі (за деякою сукупністю визначальних характеристик) процесу чи об'єкта, що моделюється.

Аналогова обчислювальна машина (АОМ) – обчислювальна машина, яка обробляє інформацію, подану в аналоговій (неперервній) формі. АОМ бувають електричні (електронні), електромеханічні, механічні, гідравлічні, пневматичні та ін.

Аналогове моделювання – метод дослідження, який використовує пряму, безпосередню аналогію між величинами, властивими одному явищу, і формально такими ж, що входять таким же чином в рівняння процесів величинами, притаманними іншому явищу.

Валідація моделі полягає в тому, що вихідні результати практичної реалізації імітаційної моделі зіставляють з наявною статистичною інформацією про досліджувану систему, і на основі такого зіставлення роблять висновки щодо адекватності реалізації імітаційної моделі.

Верифікація моделі – перевірка достовірності (істинності, адекватності) моделі. Верифікація імітаційної моделі зводиться до перевірки відповідності її поведінки основним передумовам експериментатора. Попереднім дослідженням достовірності моделі є перевірка програми її машинної реалізації. Після того, як в програмі виявлені і виправлені всі помилки, приступають до проведення машинного експерименту на основі спеціально підібраних даних, для яких можна передбачити результати машинних розрахунків. Якщо отримані результати збігаються з очікуваним виходом імітаційної моделі, то вона вважається адекватною, тобто її концептуальна структура і логіка не викликають заперечень.

Демпфування – гасіння коливань у динамічній системі внаслідок розсіювання енергії.

Динамічне програмування – сукупність прийомів, які дають змогу знаходити оптимальні рішення на основі обчислень наслідків кожного рішення і створення оптимальної стратегії для наступних рішень. Обчислювальна схема методу динамічного програмування заснована на передумовах, що критерій оптимальності адитивний стосовно змінних і що майбутні результати не залежать від передісторії того стану системи, при

якому приймається рішення. Остання передумова відома як принцип оптимальності Беллмана.

Ділові ігри – метод імітації вироблення і прийняття управлінських рішень в різних виробничих ситуаціях шляхом проведення симульованої гри згідно з заданим сценарієм (чи системою правил) окремими групами людей або людиною і комп'ютером. Сама ділова гра може розглядатися як деяке спрощене відтворення реального економічного чи виробничого процесу.

Екзогенні величини – величини, зумовлені зовнішніми стосовно досліджуваної системи причинами.

Економіко-математична модель – математичний опис економічного явища чи об'єкта, який здійснюється з метою їх дослідження та управління ними, шляхом вироблення управлінських рішень.

Ендогенні величини – величини, зумовлені внутрішніми причинами. Ендогенні величини, отримувані на виході імітаційної моделі, часто відображають робочі характеристики економіко-виробничої системи, яка досліджується засобами машинної імітації.

Імітаційна модель – комплексна математична й алгоритмічна модель досліджуваної системи. Метод, що базується на розробці та дослідженні імітаційних моделей, називається машинною імітацією, або імітаційним моделюванням.

Імітаційне моделювання (машинна імітація) – особлива форма проведення комп'ютерних експериментів з математичними моделями, які з певним ступенем імовірності описують закономірності функціонування реальних систем і об'єктів.

Імітаційний експеримент – метод вивчення складних явищ, зокрема тих, що відбуваються в економіці, шляхом відтворення їх на комп'ютері за допомогою імітаційних моделей та спостереження за машинними результатами з можливим втручанням в обчислювальний процес.

Інжиніринг – послуги у створенні виробничих підприємств, об'єднань, об'єктів інфраструктури. Він включає в себе комплекс робіт для проведення попередніх досліджень, підготовки техніко-економічного обґрунтування, комплексу проектних документів, а також розробки рекомендацій з організації виробництва і управління, експлуатації обладнання та продажу готової продукції. Інжиніринг може бути і самостійним товаром на ринку. Контракт на придбання інжинірингових

послуг включає їх перелік, організаційні умови виконання, а також ціни та порядок оплати.

Інтелектуальна інформаційна система (ІС) – людино-машинна система, у якій комп'ютер реалізує міркування, використовуючи дані з баз даних і знання з баз знань, підсилюючи тим самим інтелектуальні можливості людини. ІС – це відкрита система стосовно поповнення даних і знань, утворення нових знань в автоматичному чи напівавтоматичному режимі. Вона має формальні засоби, що дають змогу здійснювати міркування типу «правдоподібний висновок», «достовірний висновок». ІС включає в себе засоби виправдання результатів і реалізує висновок на достатній підставі. «Інтелектуалізація» інформаційних систем здійснюється також шляхом створення інтерфейсу користувача на звичній для нього мові й вмонтування в систему засобів розпізнавання образів (машина «думає», «слухає», «говорить» і «бачить»).

Критерій подібності – безрозмірна комбінація параметрів, котрі описують даний фізичний процес, позначається символом «idem», що означає «відповідно однаковий для всіх досліджуваних процесів». Наприклад, для подібності механічних явищ одним із критеріїв подібності

є критерій Фруда: $\frac{v^2}{gl} = \text{idem}$, де v, l, g — відповідно лінійна швидкість,

лінійний розмір, прискорення земного тяжіння. Згідно з цією формулою, якщо потрібно вибрати однакову швидкість фізичної моделі й оригіналу, а лінійні розміри фізичної моделі необхідно зменшити в k раз, то в k раз потрібно збільшити величину прискорення земного тяжіння, що досягається шляхом дослідження фізичної моделі на центрифuzі.

Лінійне програмування – галузь математики, яка розробляє теорію та числові методи розв'язання задач, пов'язаних із знаходженням екстремуму (максимуму або мінімуму) лінійної функції багатьох змінних при наявності системи лінійних обмежень.

Макетне (наочне) моделювання – побудова макета об'єкта, що вивчається, а також аналіз на його основі тих чи інших корисних (прийнятних) властивостей оригіналу. У даному контексті під макетом розуміється просторове зображення чи геометрична копія будь-чого (виробу, споруди тощо), яка може мати інші розміри і створена з іншого матеріалу, ніж оригінал.

Математична модель – логічний чи математичний опис компонентів і функцій, що відбивають істотні властивості об'єкта чи процесу, який моделюється.

Математичне моделювання – побудова математичної моделі та дослідження її аналітичними, числовими (здебільшого на ЕОМ), графічними чи якісними методами для отримання певної характеристики (характеристик) досліджуваної реальної системи.

Машинна імітація – числовий метод виконання на ЕОМ експериментів з математичними моделями, що описують поведіння складних систем протягом тривалих відтинків часу.

Міжнародна система одиниць СІ – система, яка встановлює стандарти на одиниці вимірювання фізичних величин для всіх галузей науки, техніки, народного господарства і педагогічної практики встановлює систему СІ як єдину уніфіковану систему одиниць.

Нелінійне програмування – розділ математичного програмування, який вивчає методи розв'язання екстремальних задач з нелінійною цільовою функцією і (або) системою нелінійних обмежень. Розв'язок задачі нелінійного програмування (глобальний максимум чи мінімум) може перебувати або на границі, або у внутрішній частині допустимої множини.

Однорідна функція. Функція $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ від n аргументів, визначена в області Ω , називається однорідною функцією m -го степеня, якщо при множенні всіх її аргументів на множник t функція матиме цей же множник в m -ому степеню, тобто якщо тотожно виконується рівність $f(tx_1, tx_2, \dots, tx_n) = t^m f(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Ситуаційне моделювання – метод, в основу якого покладено відтворення в спеціальних лабораторних умовах певних ситуацій, які можуть мати місце в реальних системах, з метою розв'язання складних практичних завдань чи з навчальною метою.

Сітковий графік – граф типу сітка (граф без контурів), у якому фіксуються роботи (операції) та події. Він відображає відношення передування між роботами (подіями).

Сіткові методи – методи управління великими науково-технічними розробками, будівництвом та іншими комплексами робіт, заснованих на використанні ЕОМ і сіткових графіків. На базі використання сіткового графіка ЕОМ спроможна виконати аналіз стану системи в будь-який момент часу, визначити послідовність робіт (критичний шлях), які можуть

затримати виконання всього плану робіт. Серед сіткових методів найбільшого розповсюдження дістали МКШ (метод критичного шляху) та МОПП (метод оцінки та перегляду програм).

Теорія масового обслуговування (теорія черг) – розділ дослідження операцій, який вивчає різноманітні процеси в економіці, телефонному зв'язку, транспортних системах та в інших сферах як процеси обслуговування, тобто задоволення масового попиту на обслуговування будь-якого виду. При всьому розмаїтті такі процеси мають загальні характеристики: вимоги (замовлення) на обслуговування надходять нерегулярно (випадково) на «канал обслуговування» і залежно від його зайнятості, тривалості обслуговування та інших чинників утворюють чергу вимог.

Фізичне моделювання – експериментальний метод дослідження складних процесів, котрі мають місце в реальних (натурних) системах, за допомогою дослідження фізичних моделей, тобто установок (як правило, зменшеного масштабу), які зберігають повністю чи в основному природу процесу оригіналу (натурної установки). Характеристики оригіналу після проведення фізичного моделювання можна отримати шляхом перерахунку відповідних характеристик моделі, помножених на масштабні коефіцієнти. Такі перерахунки можуть бути коректними лише у випадку, коли фізична модель подібна оригіналу. Подібність забезпечується ізоморфністю (однаковістю) критеріїв подібності для моделі й оригіналу.

Цілочислове (дискретне) програмування – розділ математичного програмування, який вивчає екстремальні задачі, у яких на шукані змінні накладаються умови цілочисловості, а область допустимих рішень скінченна.

Термінологічний словник до другого лекційного модуля

Апроксимація (від лат. *approximatio* – зближення) – наближене зображення одних математичних об'єктів іншими у тому чи іншому значенні, близькому до вихідних, зокрема наближене подання складної функції однією або кількома більш простими функціями.

Гіпотези – наукові припущення, висунуті для пояснення певних явищ дійсності. Вони замінюють невідомі закономірності розвитку системи і до визначають постановку задачі. За відсутності інформації висувають гіпотезу щодо можливих результатів, вірогідність якої далі

перевіряють експериментально. Доводячи правильність гіпотез, дістають повніше уявлення про розв'язання задачі.

Дані – факти або поняття, описані у формалізованому вигляді. У локальній мережі існують дані користувача та дані, що керують передачею інформації (протоколи).

Дані користувача – дані, що вводяться користувачем у ЛОМ або отримуються ним з мережі.

Економіко-математична модель – математичний опис економічного об'єкта або процесу, який здійснюється з метою їх дослідження і управління ними.

Зіркоподібна топологія – у цьому випадку вузли мережі з'єднані «променем» з центральною точкою зірки. Залежно від конкретного типу мережі у центрі зірки можуть розташовуватися або центральний вузол, або пристрій, який виконує синхронізацію роботи периферійних вузлів мережі. Кожний периферійний вузол має свій власний канал для зв'язку з центром, який ретранслює, комутує чи виконує маршрутизацію інформаційного потоку до отримувача.

Канал зв'язку – сукупність технічних засобів середовища передачі даних, що забезпечує передачу даних у визначене місце мережі.

Кільцева топологія – у цій топології вузли з'єднуються послідовно один з одним, утворюючи кільце. Дані по мережі передаються від вузла до вузла. Передача інформації по кільцю здійснюється тільки в одному напрямі. Вузол-передавач відправляє повідомлення по кільцю до вузла, який приймає повідомлення. Кожний проміжний вузол між приймачем та відправником ретранслює повідомлення. Вузол, що приймає повідомлення, розпізнає адресоване йому повідомлення.

Концептуальна модель – сприйняття чи система поглядів на певне явище (спосіб розуміння, тлумачення якихось явищ) являє собою принципову основу або ідейну структуру імітаційної моделі, яка згодом може бути реалізована математичними і технічними засобами.

Локальна обчислювальна мережа – сукупність засобів передачі та розподілу даних.

Математичне програмування – розділ прикладної математики, що займається вивченням задач пошуку екстремуму функцій на якійсь множині й розробкою методів розв'язання цих задач. Під загальною задачею математичного програмування розуміють задачу пошуку екстремуму (максимуму чи мінімуму) функції $F(\vec{x})$ за умов

$f_i(\bar{x}) \leq 0, i = 1, 2, \dots, m; \bar{x} \in Q$, де Q – якась множина в просторі векторів \bar{x} . Функція $F(\bar{x})$ називається цільовою, а множина $\Omega = \{\bar{x} \in Q; f_i(\bar{x}) \leq 0, i = 1, 2, \dots, m\}$ – допустимою множиною.

Мережевий адаптер (карта, плата) – пристрій, за допомогою якого забезпечується підключення обчислювальної техніки до середовища передачі (кабелю) ЛОМ.

Нелінійне програмування – розділ математичного програмування, у якому вивчаються методи розв’язання й характер екстремуму в задачах оптимізації з нелінійною цільовою функцією або множиною, яка визначається нелінійними обмеженнями.

Пакет інформації (кадр, фрейм) – логічна одиниця інформації мережевого потоку (трафіка). Вся інформація між вузлами передається у вигляді пакетів, які мають інформаційні поля та поля керування, що містять службову інформацію: порядковий номер, контрольну суму тощо. У локальній мережі реалізований режим комутації пакетів, який являє собою такий спосіб передачі, при якому дані користувача розбиваються на окремі пакети. Маршрути передачі у мережі від джерела до отримувача визначаються у кожному вузлі комутації, куди пакети потрапляють.

Повідомлення – кінцева сукупність символів, що мають змістовний сенс.

Припущення – твердження, яке тимчасово (доки не буде встановлено істину) вважається правильним, у контексті створення імітаційних моделей роблять у разі, коли деякі дані невідомі або їх не можна здобути. Водночас припущення можуть висуватися й щодо відомих даних, які не повністю відповідають сутності обраної задачі. Тому для відшукування необхідних результатів припустимі певні спрощення чи скорочення.

Протоколи (дані керування) – дані, які використовуються для керування локальною мережею.

Релевантна інформація – інформація, необхідна для розв’язання обраної задачі.

Сепарабельне програмування – сукупність методів розв’язання нелінійних екстремальних (оптимізаційних) задач з сепарабельною цільовою функцією, тобто такою функцією кількох змінних (аргументів), що дозволяє розподіляти вплив аргументів на загальний результат.

Приклад сепарабельної функції: $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n f_i(x_i)$.

Топологія ЛОМ – геометрична схема з'єднання вузлів мережі. Більшість ЛОМ використовують одну з трьох таких топологій: шинну (шина); кільцеву (кільце); або зіркоподібну (зірка).

Трафік – потік повідомлень або даних у мережі передачі даних; робоче навантаження лінії зв'язку.

Цілочислове програмування – розділ математичного програмування, що вивчає задачі, у яких на значення всіх або частини змінних величин накладено вимогу цілочисловості. Задача цілочислового програмування називається повністю цілочисловою, якщо вимогу цілочисловості накладено на всі змінні, і частково цілочисловою, якщо обмеження цілочисловості стосується лише частини змінних.

Швидкість передачі – показник, який вимірюється кількістю біт, що передаються за секунду (bps). У локальній мережі розрізняють дві швидкості передачі даних: швидкість передачі даних по основному комунікаційному кабелю (вона має постійне значення для кожного типу мережі й не залежить від типу вузла. Саме цю швидкість зазначають у довідниках локальних мереж. Наприклад, швидкість передачі даних між вузлами мережі (вона, як правило, значно менша, ніж основна швидкість передачі й залежить від умов функціонування вузла: швидкості процесора, його завантаженості, конструкції мережевого адаптора, інформаційної шини, особливості ОС та інших факторів).

Шинна топологія – при такій топології комунікаційний кабель, який об'єднує вузли у мережу, утворює незамкнену лінію, тобто кабель має лівий та правий кінці, на які встановлюються спеціальні обмежувачі, що мають назву термінатори. Дані від вузла, який передає інформацію, розповсюджуються в обидва кінці кабелю. Проміжні вузли не виконують ніякої ретрансляції інформації. Вузол, що приймає інформацію, впізнає дані, призначені для нього, і читає отримане повідомлення.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

А

Адекватна модель, 31
Адекватність моделі, 80
Аналітичні задачі, 24
Аналогова обчислювальна машина, 80
Аналогове моделювання, 17, 80
Апроксимація, 84

В

Валідація моделі, 80
Вартісні функції витрат, 54
Верифікація, 31
Верифікація моделі, 80
Візуалізація даних, 24

Г

Гіпотеза, 84

Д

Дані, 85
Дані користувача, 85
Демпфування, 80
Динамічне програмування, 80
Ділові ігри, 81

Е

Еволюційні процеси, 31
Екзогенні (незалежні) змінні, 41
Екзогенні величини, 81
Економіко-математична модель, 62, 65, 81, 85
Ендогенні (залежні) змінні, 41
Ендогенні величини, 81

З

Запас, 52
Здобуття знань, 24

Зіркоподібна топологія, 41, 85

I

Імітаційна модель, 21, 81

Імітаційне моделювання, 21, 27, 81

Імітаційний експеримент, 81

Імітаційні задачі, 24

Інжиніринг, 25, 81

Інтелектуальна інформаційна система, 82

K

Канал зв'язку, 85

Керовані параметри, 53

Кільцева топологія, 41, 85

Комп'ютерне моделювання, 27

Концептуальна модель, 85

Критерій подібності, 11, 82

L

Лінійне програмування, 82

Локальна обчислювальна мережа, 85

M

Макетне (наочне) моделювання, 17, 82

Математична модель, 83

Математичне моделювання, 17, 83

Математичне програмування, 85

Машинна імітація, 24, 83

Мережевий адаптер, 86

Метод множників Лагранжа, 66

Міжнародна система одиниць СІ, 83

мова GPSS, 22

Моделювання, 7

N

Некеровані параметри, 53

Нелінійне програмування, 83, 86

О

Однорідна функція., 83
Оптимізаційні задачі, 24

П

Пакет інформації, 86
Повідомлення, 86
Потреба створення запасів, 52
Припущення, 86
Протоколи (дані керування), 86

Р

Реінжиніринг, 25
Релевантна інформація, 86
Ретрансляція інформації, 41

С

Сепарабельне програмування, 86
Синтез управління, 24
Система визначальних параметрів, 12
Система поповнення запасів, 54
Система постачання, 53
Системне моделювання, 27
Ситуаційне моделювання, 19, 83
Сітковий графік, 83
Сіткові методи, 83
Статична детермінована модель, 61

Т

Теорія масового обслуговування (теорія черг), 84
Топологія ЛОМ, 87
Трафік, 87

У

Управління, 25

Ф

Фізичне моделювання, 11, 84

Формула Вільсона, 64

Ц

Цифрове моделювання, 27

Цілочислове (дискретне) програмування, 84

Цілочислове програмування, 87

Ш

Швидкість передачі, 87

Шинна топологія, 41, 87

Навчальне електронне видання

ВЕЛИКОДНИЙ Станіслав Сергійович

МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ

(Частина 1)

Конспект лекцій

Видавець і виготовлювач

Одеський державний екологічний університет

вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016

тел./факс: (0482) 32-67-35

E-mail: info@odeku.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 5242 від 08.11.2016