

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Ю. О. Давідіч
Г. І. Фалецька

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ»

*(для магістрів усіх форм навчання
спеціальності 275 – Транспортні технології)*

Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2019

Давідіч Ю. О. Конспект лекцій з дисципліни «Моделювання транспортних систем» (для магістрів усіх форм навчання спеціальності 275 – Транспортні технології) / Ю. О. Давідіч, Г. І. Фалецька; Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 71 с.

Автори: д-р техн. наук, проф. Ю. О. Давідіч,
канд. техн. наук, доц. Г. І. Фалецька

Рецензент канд. техн. наук, доц. Д. П. Понкратов

Рекомендовано кафедрою транспортних систем і логістики,
протокол № 1 від 31.08.16.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
ТЕМА 1 МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ.....	8
1.1 Поняття модель та моделювання.....	8
1.2 Об'єкт моделювання.....	10
1.3 Підходи до дослідження систем.....	12
ТЕМА 2 КЛАСИФІКАЦІЯ ВИДІВ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ.....	16
2.1 Види моделювання систем.....	16
2.2 Математичне моделювання.....	18
2.3 Інші види моделювання.....	20
ТЕМА 3 ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ЯК ОБ'ЄКТУ МОДЕЛЮВАННЯ.....	22
3.1 Транспортна система як об'єкт моделювання.....	22
3.2 Транспортно-логістичні системи.....	24
ТЕМА 4 МОДЕЛІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ.....	27
4.1 Транспорт як об'єкт моделювання.....	27
4.2 Способи побудови моделей.....	28
4.3 Ознаки моделі.....	30
ТЕМА 5 МОДЕЛІ ПОПИТУ НА ТРАНСПОРТНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ.....	33
5.1 Моделювання попиту на транспортне обслуговування.....	33
5.2 Етапи визначення попиту на транспортне обслуговування.....	34
ТЕМА 6 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.....	36
6.1 Поняття та суть імітаційного моделювання.....	36
6.2 Мови моделювання та теорія масового обслуговування як частина моделювання.....	37
6.3 Процес створення моделі системи.....	38

ТЕМА 7 ОБ’ЄКТНО-ОРІЄНТОВНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.....	41
7.1 Об’єктно–орієнтовне моделювання як метод підвищення ефективності управління транспортними системами.....	41
7.2 Класи та їхні групи.....	42
7.3 Принципи роботи ООМ.....	46
ТЕМА 8 МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ВАНТАЖНИХ ТА ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ.....	49
8.1 Моделювання при вантажних перевезеннях.....	49
8.2 Моделювання при пасажирських перевезеннях.....	52
ТЕМА 9 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55
9.1 Основи планування експериментальних досліджень.....	55
9.2 План експерименту та методи його побудови.....	56
9.3 Параметри оцінки результатів експерименту.....	62
9.4 Закономірності перебігу результатів експерименту.....	65
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	71

ВСТУП

Метою викладання навчальної дисципліни «Моделювання транспортних систем» є вивчення основних методів проведення моделювання транспортних систем, прийняття рішення в управлінні транспортними процесами на основі моделювання процесів в транспортних системах.

Навчальний матеріал наведений у конспекті лекцій спрямований на отримання студентом знань і навичок у питаннях:

- формального складу транспортних систем;
- основних параметрів зовнішнього середовища пасажирських транспортних систем;
- основних параметрів зовнішнього середовища вантажних транспортних систем;
- процедур побудови моделей маршрутних мереж міст;
- області та особливості застосування сучасних програмних продуктів в сфері моделювання транспортних систем;
- набуття вмінь і компетентності у виконанні формалізації пасажирських та вантажних транспортних систем;
- побудові математичних моделей транспортних систем;
- обранні цільові функції для оцінки результатів функціонування вантажних та пасажирських транспортних систем;
- побудови та проведення експериментів стосовно функціонування транспортних систем;
- побудов мікро- та макромоделі транспортних систем в сучасних програмних продуктах з транспортного планування.

ТЕМА 1 МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ

Питання для обговорення

1. Поняття модель та моделювання.
2. Основні функції моделі.
3. Поняття параметр та групи змінних.
4. Об'єкт моделювання.
5. Системний підхід та його принципи.
6. Підходи до дослідження систем.

1.1 Поняття модель та моделювання

Під моделлю розуміють штучний об'єкт, який відображає з певним ступенем точності основні властивості досліджуваного об'єкта-оригіналу. Модель має відмінну форму від її реального об'єкта і служить засобом пояснення механізму функціонування системи і її вдосконалення. При побудові моделі об'єкт (систему) і його (її) властивості спрощують, але чим ближче модель до оригіналу, тим ефективніше його дослідження. До основних функцій моделей можна віднести:

- засіб осмислення дійсності;
- засіб спілкування;
- засіб навчання;
- інструмент прогнозування;
- засіб постановки експериментів

Моделювання – це заміщення одного об'єкта іншим з метою отримання інформації про властивості об'єкта-оригіналу за допомогою об'єкта-моделі. Перш ніж почати розробку моделі, необхідно зрозуміти, що собою представляють структурні елементи, з яких вона будується. Хоча математична або фізична структура моделі може бути дуже складною, основи її побудови досить прості. У загальному вигляді структуру моделі математично можна уявити так:

$$E = f(x_i, y_i), \quad (1.1)$$

де E – «Транспортні технології», результат дії системи;

x_i – «Транспортні технології», змінні і параметри, якими може керувати дослідник;

y_i – «Транспортні технології», змінні і параметри, якими дослідник не може керувати з об'єктивних причин.

Суть такого спрощеного уявлення моделі полягає в необхідності довести, що характер протікання процесу функціонування системи залежить від контрольованих і неконтрольованих змінних.

Фактично кожна модель являє собою комбінацію таких складових, як: компоненти, змінні, параметри, функціональні залежності, обмеження, цільова функція.

Під компонентами розуміються складові частини, які при відповідних їхніх об'єднаннях утворюють систему. Іноді компонентами називаються ще елементи або підсистеми.

Параметр – величина, що характеризує будь-яку основну властивість об'єкта-оригіналу, що дозволяє розділяти різні групи його (об'єкта) елементів. У свою чергу, змінною є атрибут моделі або об'єкта-оригіналу. Безпосередньо змінними виступають деякі параметри моделі, які обирає дослідник при побудові і дослідженні моделі. Безліч всіх значень, які може приймати змінна, називається областю зміни цієї змінної. Ця безліч і задає змінну, тобто формально і є нею.

При моделюванні систем змінні поділяють на дві групи: екзогенні та ендогенні. Екзогенні змінні називають ще вхідними, тобто вони породжуються поза системою або є результатом взаємодії зовнішніх причин. Ендогенними називаються змінні, що виникають в системі або в результаті взаємодії внутрішніх причин. Ендогенні змінні ще називаються змінними стану.

В даний час при аналізі і синтезі складних (великих) систем отримав розвиток системний підхід, який відрізняється від класичного (або індуктивного) підходу. Останній розглядає систему шляхом переходу від часткового до загального і синтезує (конструює) систему шляхом злиття її компонентів, що розробляються окремо. На відміну від цього системний підхід передбачає послідовний перехід від загального до конкретного, коли в основі розгляду лежить мета, причому досліджуваний об'єкт виділяється з навколишнього середовища.

1.2 Об'єкт моделювання

Спеціалісти з проектування і експлуатації складних систем мають справу з системами управління різних рівнів, що володіють загальною властивістю – прагненням досягти певної мети. Цю особливість врахуємо в наступних визначеннях системи. Система S – це сукупність взаємопов'язаних елементів, призначена для досягнення поставленої мети. Зовнішнє середовище E – безліч існуючих поза системою елементів будь-якої природи, що впливають на систему або перебувають під її впливом. Управління – вплив на об'єкт або систему для досягнення поставленої мети [1].

Системний підхід полягає в тому, що будь-який об'єкт розглядається як відносно самостійна система зі своїми особливостями функціонування та розвитку. Ґрунтуючись на ідеях цілісності та відносної незалежності об'єктів, що знаходяться в цілісному світі, можна сформулювати 15 основних принципів системного підходу [2]:

1) цілісність – визначення наявності у цілого властивостей, якими не володіє ні одна з його частин. Наприклад, вантаж може бути переміщений, тільки коли в системі є і вантаж, і транспортний засіб;

2) емерджентності – поява у цілого властивостей, які не визначаються простим додаванням властивостей складових частин. Наприклад, самоскид і навантажувач можуть очистити вулицю від снігу, тоді як окремо самоскид може тільки вивозити сніг, а навантажувач – зрушувати;

3) непізнаванність частин при розгляді їх поза цілого. Дуже часто при вивченні будь-яких механізмів призначення окремих деталей можна зрозуміти, тільки розглядаючи роботу всього механізму;

4) організованість – утворення структур для зв'язку і встановлення взаємозалежності частин. Наприклад, створення структури управління;

5) незорість складних систем – необхідність врахування того факту, що в складній системі ми ніколи не зможемо формалізувати і зрозуміти всі фактори її діяльності;

6) квантифікація об'єктивної реальності – розбиття частин на кінцеве число елементів, зв'язків;

7) принцип зовнішнього доповнення. Для більш повного розуміння системи необхідно використовувати знання про середовище. Наприклад, більш точно можна розрахувати час перевезення, знаючи стан дорожнього покриття, погодні умови, завантаженість доріг і т. п.;

8) формалізація – підготовка даних у вигляді, придатному для зберігання, обробки та аналізу. Наприклад, створення бази даних та її використання;

9) ізоморфізм – використання одних і тих же прийомів (алгоритмів, функцій, залежностей і т.п.) для розгляду різних систем;

10) ієрархічна впорядкованість – розбиття системи на взаємопов'язані рівні з формалізацією їх підпорядкованості. Наприклад, технологічний, технічний, економічний та організаційний в системі перевезення вантажів різними видами транспорту, коли від масо габаритних характеристик вантажу залежать тип використовуваного рухомого складу, перевантажувальної техніки і вибір виду транспорту;

11) декомпозиція – метод, за яким досліджувана система ділиться на підсистеми, завдання – на під задачі і т. п., кожна з яких вирішується самостійно. Найбільш часто декомпозиція проводиться шляхом побудови дерева цілей і дерева функцій. Основною проблемою при цьому є дотримання двох суперечливих принципів: повноти – проблема має бути розглянута максимально всебічно

і детально; простоти – все дерево повинно бути максимально компактним «вшир» і «вглиб»;

12) агрегування – об'єднання декількох елементів в єдине ціле. Результат агрегування називають агрегатом. Агреговані показники являють собою узагальнені, синтетичні вимірники, що об'єднують в одному загальному показнику багато індивідуальних;

13) узгодженість – несуперечливість рішень на сполучених рівнях системи. Наприклад, економічно найбільш дешевий варіант перевезення повинен бути забезпечений технічними можливостями обраного виду транспорту;

14) здатність до координування – можливість впливу на підлеглі частини системи зумовлює необхідність передбачити відповідні зв'язки або відносини;

15) сумісність – наявність однорідності інформації в зв'язках системи передбачає можливість суміщення частин цілого, розуміння переданої інформації, можливість її обробки і т. д.

Системний підхід – це елемент вчення про загальні закони розвитку природи і один з виразів діалектичного вчення. Можна привести різні визначення системного підходу, але найбільш правильно те, яке дозволяє оцінити пізнавальну сутність цього підходу при такому методі дослідження систем, як моделювання. Тому дуже важливі виділення самої системи S і зовнішнього середовища E з об'єктивно існуючої реальності та опис системи виходячи з загально-системних позицій. При системному підході до моделювання систем необхідно, перш за все, чітко визначити мету моделювання. Оскільки неможливо повністю змоделювати реально функціонуючу систему (систему-оригінал, або першу систему), створюється модель (система-модель, або друга система) під поставлену проблему. Таким чином, стосовно питань моделювання мета виникає з необхідних завдань моделювання, що дозволяє підійти до вибору критерію і оцінити, які елементи увійдуть в створювану модель M . Тому необхідно мати критерій відбору окремих елементів в створювану модель [1].

1.3 Підходи до дослідження систем

Важливим для системного підходу є визначення структури системи – сукупності зв'язків між елементами системи, що відображають їх взаємодію. Структура системи може вивчатися ззовні з точки зору складу окремих підсистем і відношення між ними, а також зсередини, коли аналізуються окремі властивості, що дозволяють системі досягати заданої мети, точніше коли вивчаються функції системи. Відповідно до цього намітився ряд підходів до дослідження структури системи з її властивостями, до яких слід насамперед віднести структурний і функціональний. При структурному підході виявляються склад виділених елементів системи S і зв'язку між ними. Сукупність елементів і зв'язків між ними дозволяє судити про структуру системи. Остання в залежності від мети дослідження може бути описана на різних рівнях розгляду. Найбільш загальний опис структури – це топологічний опис, що дозволяє визначити в найзагальніших поняттях складові частини системи і добре формалізується на базі теорії графів [1].

Менш загальним є функціональний опис, коли розглядаються окремі функції, тобто алгоритми поведінки системи, і реалізується функціональний підхід, що оцінює функції, які виконує система, причому під функцією розуміється властивість, що приводить до досягнення мети. Оскільки функція відображає властивість, а властивість відображає взаємодію системи S з зовнішнім середовищем E , то властивості можуть бути виражені у вигляді або деяких характеристик елементів $S_i(j)$ і підсистем S_i – системи, або системи S в цілому. При наявності деякого еталона порівняння можна ввести кількісні і якісні характеристики систем. Для кількісної характеристики вводяться числа, що виражають відносини між даною характеристикою і еталоном. Якісні характеристики системи знаходяться, наприклад, за допомогою методу експертних оцінок [1].

Простий підхід до вивчення взаємозв'язків між окремими частинами моделі передбачає розгляд їх як відображення зв'язків між окремими підсистемами об'єкта. Такий класичний підхід може бути використаний при створенні досить простих моделей. Процес синтезу моделі M на основі класичного (індук-

тивного) підходу представлений на рис. 1, а. Реальний об'єкт, що підлягає моделюванню, розбивається на окремі підсистеми, тобто вибираються вихідні дані Д для моделювання і ставляться цілі Ц, що відображають окремі сторони процесу моделювання. За окремою сукупності вихідних даних Д ставиться мета моделювання окремої сторони функціонування системи, на базі цієї мети формується деяка компонента К майбутньої моделі. Сукупність компонент об'єднується в модель М [1].

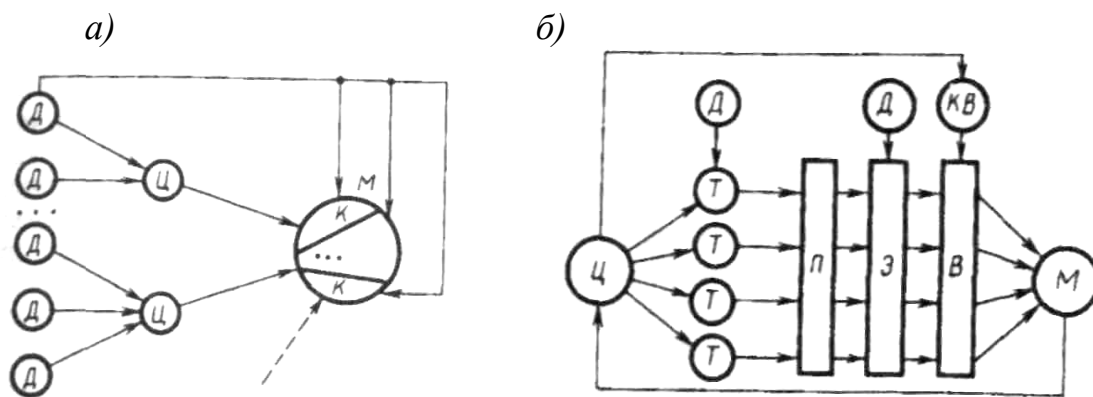


Рисунок 1.1 – Процес синтезу моделі на основі класичного (а) і системного (б) підходів

Таким чином, розробка моделі М на базі класичного підходу означає підсумовування окремих компонент в єдину модель, причому кожна з компонент вирішує свої власні завдання і ізольована від інших частин моделі. Тому класичний підхід може бути використаний для реалізації порівняно простих моделей, в яких можливий поділ і взаємно незалежний розгляд окремих сторін функціонування реального об'єкта. Для моделі складного об'єкта така роз'єднаність вирішуваних завдань неприпустима, оскільки призводить до значних витрат ресурсів при реалізації моделі на базі конкретних програмно-технічних засобів. Можна відзначити дві відмінні сторони класичного підходу: спостерігається рух від часткового до загального, створювана модель (система) утворюється шляхом підсумовування окремих її компонент і не враховується виникнення нового системного ефекту [1].

Центральною процедурою в системному аналізі є побудова узагальненої моделі (або моделей), що відображає всі фактори і взаємозв'язки реальної ситуації, які можуть проявитися у процесі здійснення рішення. Отримана модель досліджується для з'ясування близькості результату застосування того чи іншого з альтернативних варіантів дій до бажаного, порівняльних витрат ресурсів по кожному з варіантів, ступеня чутливості моделі до різних небажаних зовнішніх впливів [2].

При моделюванні необхідно забезпечити максимальну ефективність моделі системи. Ефективність зазвичай визначається як деяка різниця між якимись показниками цінності результатів, отриманих в результаті експлуатації моделі, і тими витратами, які були вкладені в її розробку і створення. Побудова моделі відноситься до числа системних задач, при рішенні яких синтезують рішення на базі величезного числа вихідних даних, на основі пропозицій великих колективів фахівців. Використання системного підходу в цих умовах дозволяє не тільки побудувати модель реального об'єкта, але і на базі цієї моделі вибрати необхідну кількість керуючої інформації в реальній системі, оцінити показники її функціонування і тим самим на базі моделювання знайти найбільш ефективний варіант побудови і вигідний режим функціонування реальної системи S [1].

Відповідно до принципу системного підходу кожна система впливає на іншу систему. Весь навколишній світ – взаємодіючі системи. Мета системного аналізу – з'ясувати ці взаємодії, їх потенціали знайти оптимальний шлях функціонування системи. Треба відзначити, що в більшості випадків для транспортних систем зважаючи на їх складності та масштабу проведення експериментальних досліджень або дуже дорого, або взагалі неможливо. У цьому випадку застосовують або комбіновані дослідження, коли натурним випробуванням піддають тільки окремі елементи системи, або взагалі доводиться обмежитися обчислювальними експериментами, які і визначають значення моделювання у дослідженні транспортних систем. [2].

Питання для самоконтролю

1. Що таке модель ?
2. Які функції моделей можна віднести до основних?
3. Що розуміють під поняттям моделювання та параметр?
4. Назвіть основні принципи системного підходу
5. Що таке системний підхід?
6. Назвіть підходи до дослідження систем

ТЕМА 2 КЛАСИФІКАЦІЯ ВИДІВ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ

Питання для обговорення

1. Види моделювання систем.
2. Математичне моделювання.
3. Методи дослідження аналітичної моделі.
4. Інші види моделювання

2.1 Види моделювання систем

В якості однієї з перших ознак класифікації видів моделювання можна вибрати ступінь повноти моделі і розділити моделі відповідно до цієї ознаки на повні, неповні і наближені. В основі повної моделювання лежить повна подоба, яка проявляється як в часі, так і в просторі. Для неповного моделювання характерна неповна подоба моделі досліджуваного об'єкта. В основі наближеного моделювання лежить наближена подоба, при якому деякі сторони функціонування реального об'єкта не моделюються зовсім. Класифікація видів моделювання систем S наведена на рисунку 2.1. Залежно від характеру досліджуваних процесів у системі S всі види моделювання можуть бути розділені на детерміновані і стохастичні, статичні і динамічні, дискретні, безперервні і дискретно-безперервні. Детерміноване моделювання відображає детерміновані процеси. Процеси, в яких передбачається відсутність будь-яких випадкових впливів; Стохастичне моделювання відображає ймовірні процеси і події. В цьому випадку аналізується ряд реалізацій випадкового процесу і оцінюються середні характеристики, наприклад набір однорідних реалізацій. Статичне моделювання служить для опису поведінки об'єкта в будь-який момент часу, а динамічне моделювання відображає поведінку об'єкта в часі. Дискретне моделювання служить для опису процесів, які передбачаються дискретними, відповідно безперервне моделювання дозволяє відобразити безперервні процеси в системах, а дискретно-безперервне моделювання використовується для випадків, коли хочуть виділити наявність як дискретних, так і безперервних процесів. Уявне мо-

делювання часто є єдиним способом моделювання об'єктів, які або практично не реалізуються в заданому інтервалі часу, або існують поза умовами, можливих для їх фізичного створення. Уявне моделювання може бути реалізовано у вигляді наочного, символічного і математичного [1].

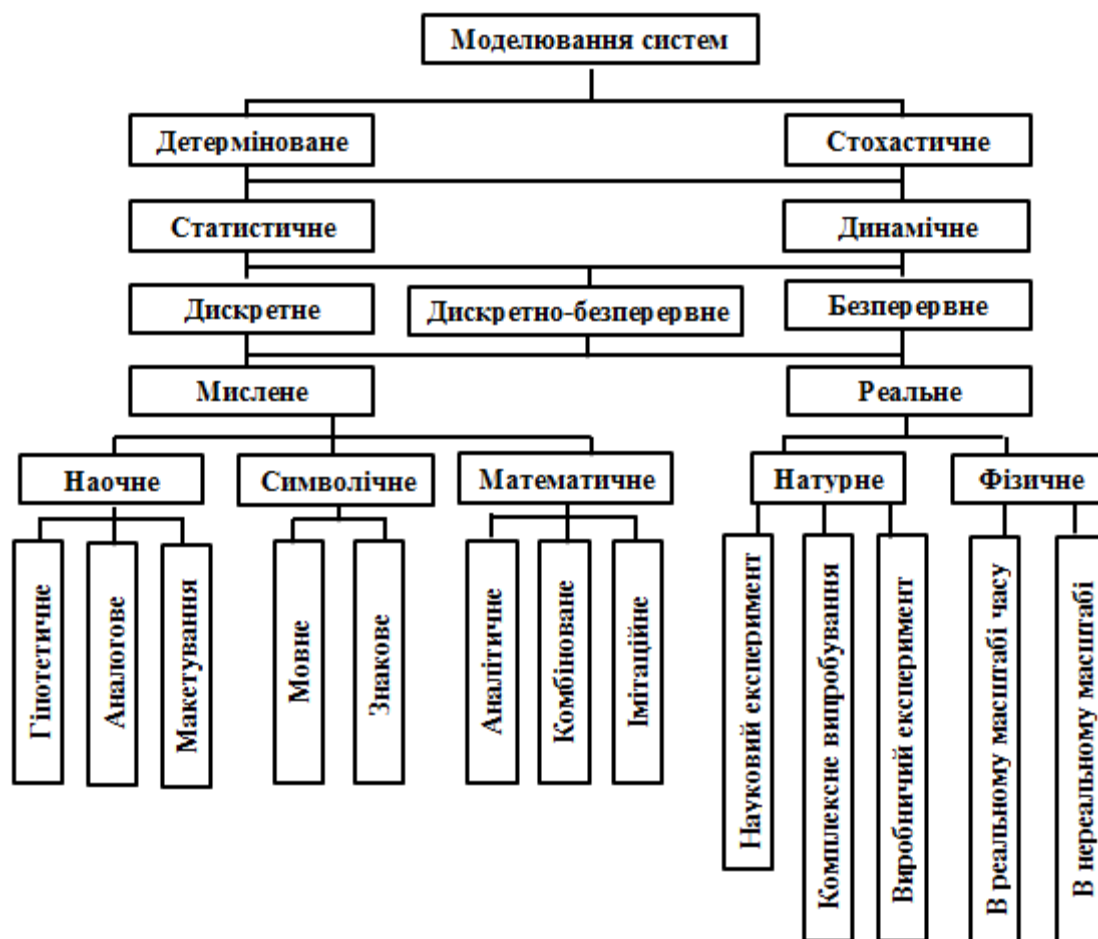


Рисунок 2.1 – Класифікація видів моделювання систем

При наочному моделюванні на базі уявлень людини про реальні об'єкти створюються різні наочні моделі, слід звертатись до організаторів явища і процесів, що протікають в об'єкті. В основу гіпотетичного моделювання дослідником закладається певна гіпотеза про закономірності перебігу процесу в реальному об'єкті, яка відображає рівень знань дослідника про об'єкт і базується на причинно-наслідкових зв'язках між входом і виходом досліджуваного об'єкта. Гіпотетичне моделювання використовується, коли знань про об'єкт недостат-

ньо для побудови формальних моделей. Аналогове моделювання ґрунтується на застосуванні аналогій різних рівнів. Найвищим рівнем є повна аналогія, що має місце тільки для досить простих об'єктів. З ускладненням об'єкта використовують аналогії наступних рівнів, коли аналогова модель відображає кілька або тільки одну сторону функціонування об'єкта. Істотне місце при уявному наочному моделюванні займає макетування. Уявний макет може застосовуватися у випадках, коли в реальному об'єкті процеси, що протікають не піддаються фізичному моделюванню, або може передувати проведенню інших видів моделювання. В основі побудови уявних макетів також лежать аналогії, проте зазвичай базуються на причинно-наслідкових зв'язках між явищами і процесами в об'єкті. Якщо ввести умовне позначення окремих понять, точніше знаки, а також певні операції між цими знаками, то можна реалізувати знакове моделювання і з допомогою знаків відображати набір понять – скласти окремі ланцюги з слів і пропозицій. Використовуючи операції об'єднання, перетину і доповнення теорії множин, можна в окремих символах дати опис якогось реального об'єкта. В основі мовного моделювання лежить деякий тезаурус. Останній утворюється з набору входять понять, причому цей набір повинен бути фіксованим. Слід зазначити, що між тезаурусом і звичайним словником є принципові відмінності. Тезаурус – словник, який очищено від неоднозначності, тобто в ньому кожному слову може відповідати лише єдине поняття, хоча в звичайному словнику одному слову можуть відповідати кілька понять. Символічне моделювання являє собою штучний процес створення логічного об'єкта, який заміщає реальний і висловлює основні властивості його відносин з допомогою певної системи знаків або символів [1].

2.2 Математичне моделювання

Для дослідження характеристик процесу функціонування будь-якої системи S математичними методами, включаючи і машинні, повинна бути проведена формалізація цього процесу, точніше побудована математична модель. Під математичним моделюванням будемо розуміти процес встановлення відповід-

ності даному реальному об'єкту деякого математичного об'єкта, званого математичною моделлю, і дослідження цієї моделі, що дозволяє отримувати характеристики розглянутого реального об'єкта. Вид математичної моделі залежить як від природи реального об'єкта, так і завдань дослідження об'єкта і необхідної достовірності і точності вирішення цього завдання. Будь-яка математична модель, як і будь-яка інша, описує реальний об'єкт лише з деякою мірою наближення до дійсності. Математичне моделювання для дослідження характеристик процесу функціонування систем можна розділити на аналітичне, імітаційне і комбіноване [1].

Для аналітичного моделювання характерно те, що процеси функціонування елементів системи записуються у вигляді певних функціональних співвідношень (алгебраїчних, інтегродиференціальних, звичайно-різницевих і т. п.) або логічних умов. Аналітична модель може бути досліджена такими методами [1]:

а) аналітичним, коли прагнуть отримати в загальному вигляді явні залежності для шуканих характеристик;

б) чисельним, коли, попри своє невміння вирішувати рівнянь в загальному вигляді, прагнуть отримати числові результати при конкретних початкових даних;

в) якісним, коли, не маючи рішення в явному вигляді, можна знайти певні властивості рішення (наприклад, оцінити стійкість рішення).

В даний час поширені методи машинної реалізації дослідження характеристик процесу функціонування великих систем. Для реалізації математичної моделі на ЕОМ необхідно побудувати відповідний моделюючий алгоритм.

При імітаційному моделюванні який реалізує модель алгоритм відтворює процес функціонування системи S у часі, причому імітуються елементарні явища, що становлять процес, зі збереженням їх логічної структури і послідовності протікання в часі, що дозволяє за вихідними даними отримати відомості про стан процесу в певні моменти часу, що дають можливість оцінити характеристики системи S . Основною перевагою імітаційного моделювання в порівнянні з аналітичним є можливість вирішення складніших завдань. Імітаційні моделі дозволя-

ють досить просто враховувати такі фактори, як наявність дискретних і безперервних елементів, нелінійні характеристики елементів системи, численні випадкові впливи та ін., які часто створюють труднощі при аналітичних дослідженнях. В даний час імітаційне моделювання – найбільш ефективний метод дослідження великих систем, а часто і єдиний практично доступний метод отримання інформації про поведінку системи, особливо на етапі її проектування. Комбіноване (аналітико-імітаційне) моделювання при аналізі і синтезі систем дозволяє об'єднати краще з аналітичного і імітаційного моделювання [1].

2.3 Інші види моделювання

При реальному моделюванні використовується можливість дослідження різних характеристик або на реальному об'єкті цілком, або на його частині. Такі дослідження можуть проводитися як на об'єктах, які працюють в нормальних режимах, так і при організації спеціальних режимів для оцінки цікавлять дослідника характеристик (при інших значеннях змінних і параметрів, в іншому масштабі часу і т. д.). Натурним моделюванням називають проведення дослідження на реальному об'єкті з наступною обробкою результатів експерименту на основі теорії подібності. При функціонуванні об'єкта відповідно до поставленої мети вдається виявити закономірності перебігу реального процесу. Треба відзначити, що такі різновиди натурального експерименту, як виробничий експеримент і комплексні випробування, мають високий ступінь достовірності [1].

З розвитком техніки і проникненням вглиб процесів, що протікають в реальних системах, зростає технічна оснащеність сучасного наукового експерименту. Він характеризується широким використанням засобів автоматизації проведення, застосуванням досить різноманітних засобів обробки інформації, можливістю втручання людини в процес проведення експерименту, і відповідно до цього з'явилося новий науковий напрям – автоматизація наукових експериментів. Відмінність експерименту від реального протікання процесу полягає в тому, що в ньому можуть з'явитися окремі критичні ситуації і визначатися межі стійкості процесу [1].

Іншим видом реального моделювання є фізичне, що відрізняється від натурного тим, що дослідження проводиться на установках, які зберігають природу явищ і мають фізичну подобу. У процесі фізичного моделювання задаються деякі характеристики зовнішнього середовища і досліджується поведінка якогось реального об'єкта, або його моделі при заданих або створюваних штучно впливах зовнішнього середовища. Фізичне моделювання може протікати в реальному і нереальному (псевдореальному) масштабах часу, а також може розглядатися без урахування часу. З точки зору математичного опису об'єкта і в залежності від його характеру моделі можна розділити на моделі аналогові (безперервні), цифрові (дискретні) і аналого-цифрові (комбіновані). Під аналоговою моделлю розуміється модель, яка описується рівняннями, що зв'язують безперервні величини. Під цифровий розуміють модель, яка описується рівняннями, що зв'язують дискретні величини, представлені в цифровому вигляді. Під аналого-цифровий розуміється модель, яка може бути описана рівняннями, що зв'язують безперервні і дискретні величини [1].

Особливе місце в моделюванні займає кібернетичне моделювання, в якому відсутня безпосередня подоба фізичних процесів, що відбуваються в моделях, реальним процесам. В цьому випадку прагнуть відобразити лише деяку функцію і розглядають реальний об'єкт як «чорний ящик», який мав низку входів і виходів, і моделюють деякі зв'язки між виходами і входами. Найчастіше при використанні кібернетичних моделей проводять аналіз поведінкової сторони об'єкта при різних впливах зовнішнього середовища [1].

Питання для самоконтролю

1. За якими ознаками проводять класифікацію видів моделювання?
2. Назвіть класифікацію математичного виду моделювання систем
3. Що розуміють під математичним моделюванням?
4. Якими методами можна дослідити аналітичну модель?
5. Назвіть різницю між фізичним та натурним дослідженнями

ТЕМА 3 ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ЯК ОБ'ЄКТУ МОДЕЛЮВАННЯ

Питання для обговорення

1. Транспортна система як об'єкт моделювання.
2. Система управління та ефективність транспортної системи.
3. Транспортно-логістичні системи.
4. Функціональна структура транспортної системи.

3.1 Транспортна система як об'єкт моделювання

Транспортна система – це сукупність транспортних засобів, шляхів сполучення, засобів управління і зв'язку, а також різних технічних пристроїв, механізмів та інфраструктури, що забезпечують їх роботу. Не слід плутати поняття «транспортна система» і «транспортна мережа», так як під останньою мається на увазі лише сукупність шляхів сполучення всіх видів транспорту або деякої їх кількості, якщо йдеться про локальний об'єкт або регіон. У свою чергу, транспортна мережа має свою «похідну», а саме – маршрутну мережу, якою є сукупність трас маршрутів одного або декількох видів транспорту, що проходять по транспортній мережі всередині міста, області, країни або континенту. Ступінь деталізації від району міста до масштабів всієї держави або континенту залежить від завдань і цілей моделювання .

Інфраструктура – це фізичні компоненти транспортної системи, які займають фіксоване положення в просторі і створюють транспортну мережу, що включає зв'язки (сегменти автомобільних і залізних доріг, трубопроводів і т. п.) і вузли (перетину сегментів доріг, термінали різного призначення і т.п.). Важливим завданням інженера відповідного профілю є забезпечення необхідної пропускної спроможності зв'язків і вузлів [2].

Переміщення транспортних засобів по транспортній мережі утворює транспортні потоки. Транспортні засоби мають широкий діапазон характеристик, які необхідно враховувати при проектуванні транспортних мереж. Залежно від

використовуваних транспортних засобів, будь то велосипед або кар'єрний самоскид, трамвай або залізничний рухомий склад, будуть мінятися не тільки характеристики транспортного потоку, але і вимоги до геометричних і технічних параметрів транспортних мереж. У вузлах транспортних мереж вантажі та пасажирів, що переміщалися на транспортних засобах, переміщаючись на інші транспортні засоби, склади, утворюють самостійні потоки, які також повинні бути своєчасно обслужені [1].

Система управління включає систему управління транспортними потоками і систему управління роботою транспортних засобів. Система управління роботою транспортних засобів визначається технологією перевезень і, як правило, є частиною транспортної інфраструктури. З цієї системи управління не слід виділяти водія, який безпосередньо реалізує цільові вказівки. У разі індивідуального транспорту водій виявляється єдиним суб'єктом цієї системи управління. Присутність водія в системі управління визначає необхідність врахування людського фактора. Система управління транспортними потоками виконує необхідні дії щодо впорядкування руху транспортних засобів і виключенню конфліктів між ними. Ця система оперує знаками, дорожньою розміткою та сигналами у відповідно до певних правил [2].

Ефективність транспортної системи не може розглядатися тільки в рамках досягнення оптимальності виконання відповідних процесів усередині системи. Основними завданнями транспортної системи є задоволення потреби економіки у перевезенні вантажів та забезпечення мобільності населення. У зв'язку з цим ефективність транспортної системи завжди буде визначатися таким собі балансом між суперечливими вимогами економіки та суспільства. Яскравим прикладом є бажання пасажирів, щоб транспорт під'їхав до зупинки, як тільки пасажир підійшов до неї, і бажання перевізника встановити такий інтервал руху, щоб транспортні засоби завжди були заповнені повністю і приносили максимальний дохід. Таким чином, для побудови ефективної транспортної системи необхідно знання в галузі транспорту поєднувати з економікою, містобудуванням, географією, екологією, соціологією і психологією [3].

3.2 Транспортно-логістичні системи

Транспортно-логістичні системи (ЛС) охоплюють не тільки процес перевезення. Вони в цілому вирішують процес доставки вантажів або пасажирів незалежно від використовуваних видів транспорту, але з урахуванням необхідних обсягів, термінів і якісних показників доставки. Таким чином, логістичні системи використовують принципи побудови багаторівневих систем, що забезпечують можливість управління матеріальними потоками на різних рівнях операційного управління з виходом на єдині критерії ефективності логістичні системи. При цьому в логістичні системи істотне значення мають інформаційні управляючі системи, так як тільки з їх допомогою можна забезпечити координацію управління в єдиному інформаційному просторі безлічі суб'єктів, на рисунку 3.1 представлена загальна схема логістичні системи [3].

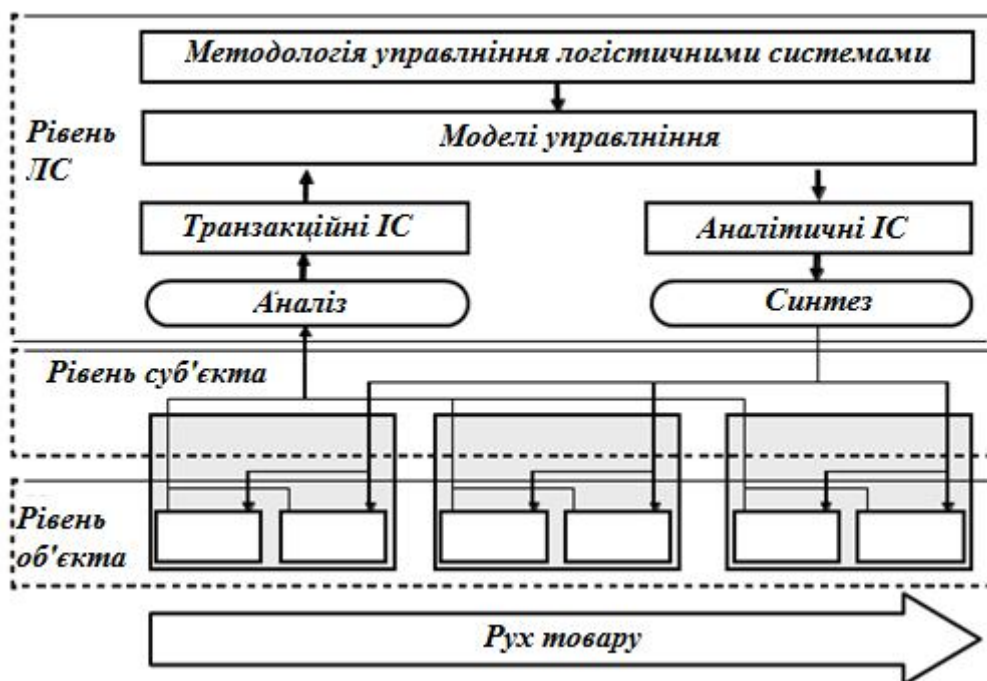


Рисунок 3.1 – Узагальнена схема предметної області логістичні системи

Спеціальні транспортні системи призначені для вирішення конкретних завдань, які виникають при необхідності перевезення особливих вантажів або організації транспортного сполучення в особливих умовах. Прикладами таких си-

стем можуть бути контейнерна транспортна система, система доставки пасажирів до аеропорту і т.п.[1].

Функціональна структура транспортної системи наступна:

У загальному випадку на першому рівні виділяють виробничу і керуючу системи, рисунок 3.2.

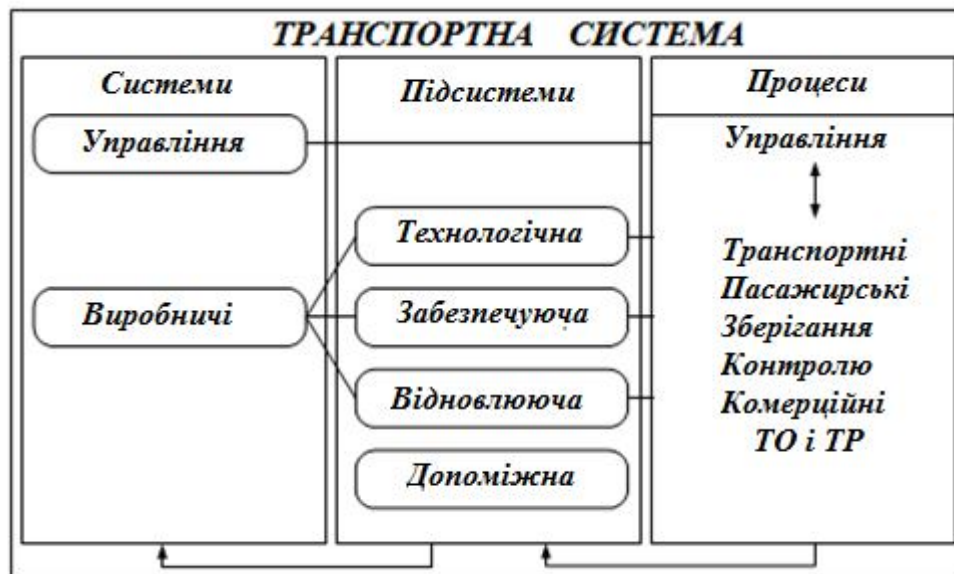


Рисунок 3.2 – Функціональна структура транспортної системи

У виробничій системі виділяються наступні підсистеми:

- технологічна – забезпечує виконання основних функцій транспортної системи;
- забезпечуюча – виконує функції, які супроводжують транспортні процеси;
- відновлююча – виконує функції з підтримки елементів системи в працездатному стані.

Характерною особливістю функціонування транспортних систем є циклічний характер їхньої роботи. Початковою точкою робочого циклу транспортної системи є подача порожнього рухомого складу для виконання перевезень. При перевезеннях вантажів – це подача рухомого складу під навантаження, на пасажирських перевезеннях – виїзд автобуса з кінцевого пункту на маршрут. Зале-

жно від технології виконання перевезень та організації руху в процесі транспортного циклу можуть виконуватися різні транспортні процеси, пов'язані з навантаженням або розвантаженням вантажів, посадкою або висадкою пасажирів. Транспортний цикл закінчується в момент прибуття порожнього рухомого складу для навантаження [2].

Сукупність елементів і зв'язків, що утворюють транспортну систему, не є постійною величиною, а залежить від об'єкта управління та інших факторів. Зазвичай склад системи визначається позицією «спостерігача» – узагальнююча назва дослідника, проектувальника, конструктора, особи, що приймає рішення та інших аналогічних суб'єктів, які вивчають, що створюють систему або управляють нею. Наприклад, для експедитора об'єктом управління є процес доставки вантажу, і, з його точки зору, у транспортну систему увійдуть вантажовласник, перевізник, графік доставки і т. п. [3].

З точки зору перевізника, який уклав з експедитором договір на перевезення, у транспортну систему увійдуть водій, транспортний засіб, вантаж, засоби технічного забезпечення і т. п. Для перевізника об'єктом управління є транспортний засіб, тому всі елементи предметної області, на які він не може впливати, належать до середовища [2].

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення поняттю транспортна система
2. Що розуміють під визначенням інфраструктура в транспортних системах?
3. Що включає в себе система управління транспортними потоками?
4. Які знання необхідні для побудови ефективної транспортної системи?
5. Опишіть функціональну структуру транспортної системи

ТЕМА 4 МОДЕЛІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

Питання для обговорення

1. Транспорт як об'єкт моделювання.
2. Міський пасажирський та вантажний транспорт як складана система.
3. Способи побудови моделей.
4. Ознаки та властивості моделі.

4.1 Транспорт як об'єкт моделювання

Вивчення сутності проблем транспортної перевантаженості сучасних великих міст і мегаполісів спиралося на два методологічні принципи: принцип історизму та принцип системності. Згідно з принципом історизму основна увага в аналізі було приділено формуванню, розвитку і динаміці досліджуваних об'єктів. Аналіз спирається на принцип історизму як методологічний вираз саморозвитку дійсності, включаючи вивчення сучасного стану, минулого і процесів генезису. Принцип системності дозволяє розглядати міський транспорт як складну систему. Причому тут можливі різні підходи. Наприклад, можна розглядати міський транспорт як складну систему з точки зору [4]:

- 1) інтенсивності руху по міських магістралях;
- 2) пропускної здатності перехресть;
- 3) оптимального регулювання і розподілу транспортних потоків за допомогою заборонних та обмежують знаків.

В цьому випадку елементами складної системи будуть:

- 1) міські магістралі та перехрестя;
- 2) засоби сигналізації та управління;
- 3) транспортні засоби.

Можливо вивчати міський пасажирський транспорт як складну систему з транспортних засобів (тролейбусів, автобусів, трамваїв, метрополітену, таксі та ін.), маршрутів руху, перехресть і світлофорів з урахуванням їх завантаження іншими видами транспорту, пасажиропотоками, що формуються в різних пунк-

тах міста в залежності від часу доби, диспетчерських пунктів, засобів зв'язку і збору інформації, органів планування і управління, засобів ремонту і заправки автомобілів і т.д. При такому підході міський пасажирський транспорт як складна система розглядається з точки зору якості обслуговування пасажирів, планування маршрутів, розподілу рухомого складу на маршрутах і визначення оптимальних режимів руху (розкладів), планування поточного та капітального ремонту транспортних засобів [4].

Аналогічно як складну систему можна розглядати міський вантажний транспорт. Замість пасажиропотоків розглядаються вантажопотоки від постійних і тимчасових джерел, що вимагають доставки в постійні і тимчасові пункти призначення. При дослідженні такої складної системи виникають питання попереднього і оперативного планування перевезень, що забезпечує своєчасну і економічну доставку вантажів, а також проблеми, пов'язані з нормальною експлуатацією транспортних засобів [4].

4.2 Способи побудови моделей

При вивченні систем різної природи дослідник стикається з проблемою їх відображення, а також використання в пізнавальній і практичній діяльності. Об'єкт фіксується термінами мови, відображається на папері кресленнями, графіками, фотографіями, рівняннями і формулами, а також макетами, механізмами, пристроями. Потім ці відображення застосовуються для наукового дослідження (наприклад, спостереження, експерименту) або практичної діяльності. Відображення об'єктів називаються моделями, процес їх створення – моделюванням, а використання відповідно в науці називається модельним дослідженням (модельним експериментом, чисельним експериментом, модельним спостереженням) і модельної практикою в практичній діяльності. Способи побудови моделей отримали назву методів моделювання. Вони дуже різноманітні. Практично кожна наука має свій арсенал методів моделювання. Залежно від використовуваних засобів конкретної наукової теорії розрізняють геометричне, фізичне, хімічне, біологічне, економічне, соціальне, політичне, культурологічне

і математичне моделювання. Модель являє собою систему, дослідження якої служить засобом отримання інформації про іншу систему. Обидві системи можуть бути і матеріальними, і абстрактними. Відповідно до цього положення моделі діляться на [2] :

1) матеріальні моделі відображають оригінал за рахунок встановлення між ними певної подібності. Розрізняють три наступних виду подібностей:

– фізична (пряма), при якому модель відтворює досліджуваний процес із збереженням досліджуваних властивостей. Це, наприклад, масштабні моделі транспортних засобів;

– непряма, що виявляється у вигляді збігу або близькості між оригіналом і моделлю абстрактних моделей; особливо поширений цей вид подоби в аналогових моделях: годинник-аналог часу, автопілот-аналог льотчика, електричні схеми-аналог транспортних потоків і т. п. ;

– умовна, яка досягається в результаті угод. Це, наприклад, карти місцевості, посвідчення особи і т. п.;

2) абстрактні моделі створюються за допомогою мислення. Розрізняють внутрішні абстрактні моделі, які відображають механізм мислення і, в кінцевому рахунку, виражаються в мовних конструкціях, і зовнішні, призначені для колективної діяльності.

У свою чергу зовнішні абстрактні моделі ділять на ірраціональні (наприклад, театральні вистави) і мовні, які можуть виражатися як на природній мові, так і в спеціальній знаковій формі. В останній групі особливу роль при технічних дослідженнях займають математичні моделі, коли модель являє собою математичний опис об'єкта моделювання;

3) знакові моделі – це матеріальні моделі з абстрактним змістом. Серед цієї групи моделей в управлінській діяльності найбільш значимі інформаційні моделі, або моделі даних. Інформаційні моделі – це засіб формування уявлення про дані, їх склад і використанні в конкретних умовах. Для опису інформаційної завдання використовуються три види подання інформаційної моделі:

– концептуальний – охоплює всю задачу з точки зору адміністратора інформаційної системи – особи, відповідальної в цілому за роботу моделі;

– зовнішній – відображає уявлення про завдання з точки зору конкретного користувача – особи, яка вирішує вузьку задачу роботи системи на конкретному робочому місці. Отже, кожна інформаційна модель буде мати кілька зовнішніх уявлень;

– внутрішній – відбиває уявлення про інформаційну задачу розробника (програміста) з урахуванням особливостей і можливостей конкретної СУБД і комп'ютерів, на яких буде реалізовуватись задача. На основі внутрішньої моделі безпосередньо створюється логічна модель розміщення та обробки даних, яка і служить основою для безпосереднього проектування інформаційної системи.

При вирішенні конкретних завдань реальна дійсність відтворюється з істотними обмеженнями, залежними від області діяльності, поставлених цілей і потужності обчислювальних засобів [2].

Таким чином, реальні процеси відображаються через сприйняття службових функцій окремих користувачів, об'єднуються з точки зору роботи системи в цілому, і на цій основі розробляється інформаційна модель, яка фізично реалізується у вигляді програми для комп'ютера і баз даних, розміщених на фізичному носії інформації. При цьому необхідно зазначити, що якщо, наприклад, математична модель може бути реалізована у вигляді комп'ютерної програми для підвищення швидкості розрахунків, але може використовуватися і без комп'ютера, то інформаційна модель в принципі без комп'ютерної програми (фізичного втілення) не реалізовується[2].

4.3 Ознаки моделі

Необхідними і достатніми ознаками моделі є наступні умови [1]:

– між моделлю і оригіналом є відношення подібності, форма якого явно виражена і точно зафіксована (умова відображення);

– модель в процесі наукового пізнання є заступником досліджуваного об'єкта (умова репрезентативності);

– вивчення моделі дозволяє отримати інформацію (відомості) про оригінал (умова екстраполяції).

Сукупність ознак моделі забезпечує першу і природну вимогу до моделі – її відповідність до модельованого об'єкту або системи. Ця вимога реалізується в умови ізоморфізму моделі і модельованого об'єкта щодо досліджуваних властивостей. Дві системи об'єктів з певними для них властивостями і відносинами називаються ізоморфними, якщо між ними встановлено таку взаємно-однозначну відповідність, при якій відповідні один одному об'єкти мають відповідні властивості і знаходяться в відповідних відносинах між собою. На практиці ізоморфні моделі не призводять до спрощення дослідницького завдання, що є найважливішим стимулом для моделювання, тому в дослідженнях використовуються моделі, що представляють спрощений образ модельованого об'єкта. У цьому випадку говорять про гомоморфізм моделі. Гомоморфізм зберігає всі визначені для вихідної системи властивості і відносини тільки в одну сторону: від модельованого об'єкта до його моделі. При цьому модель може використовувати і істотно більш складні відносини, якщо це забезпечує спрощення досліджень [1].

Моделям повинні бути притаманні такі властивості:

- рефлексивність – будь-яка система є своя власна модель;
- симетричність – будь-яка система є модель кожної своєї моделі;
- транзитивність – модель моделі є модель вихідної системи.

З точки зору управління будь-якою системою її модель являє цінність не стільки для отримання пояснень різних явищ, скільки для передбачення поведінки системи в майбутньому в залежності від зміни тих чи інших факторів [1].

Таким чином, транспортну систему можна визначити як складну систему, яка характеризується стохастичною – випадковою величиною транспортного попиту, погодно-кліматичними факторами, зміною характеристик вулично-дорожньої мережі, аварійними ситуаціями і зносом дорожнього покриття [1].

Питання для самоконтролю

1. В чому полягає суть принципу історизму?
2. З яких точок зору розглядають міський пасажирський транспорт?
3. З яких частин складається система міського пасажирського транспорту?
4. Назвіть види подібностей матеріальних систем
5. На які моделі ділять абстрактні моделі?

ТЕМА 5 МОДЕЛІ ПОПИТУ НА ТРАНСПОРТНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Питання для обговорення

1. Моделювання попиту на транспортне обслуговування
2. Мета транспортної системи
3. Умова збалансованості між можливостями транспортної системи та попитом на неї
4. Етапи визначення попиту на транспортне обслуговування

5.1 Моделювання попиту на транспортне обслуговування

Задоволення попиту на транспортне обслуговування є основною метою транспортної системи. Відповідність можливостей транспортної системи та попиту на її послуги визначається збалансованістю попиту і потужностей транспортної системи. Умова збалансованості буде виконуватися, якщо для будь-якого Θ , що належить періоду t_1, t_2 , виконується така умова [1].

$$\int_{\Theta}^{t_2} p_c(t)dt \leq \int_{\Theta}^{t_2} p_i(t)dt, \quad (5.1)$$

де $p_c(t)$ – «Транспортні технології», щільність заявок на транспортні послуги в момент t ;

$p_i(t)$ – «Транспортні технології», потенціал транспортної системи, що забезпечує їх задоволення.

Відповідно до наведеного умовою попиту і можливості транспортної системи збалансовані, якщо, як показано на рисунку 5.1, площа під кривою збігається з площею прямокутника ABCD і при цьому відсутні періоди, коли транспортна система простоє [1].

Зрозуміло, що ця сама загальна умова не дозволяє уникнути періодів відсутності балансу. Наприклад, в період $t^* - t^{**}$ попит буде перевищувати мож-

ливості транспортної системи, що може бути ліквідовано підвищенням потужності транспортної системи. На практиці завжди доводиться вирішувати задачу допустимості порушення балансу за величиною і часом, так як підвищення потужності системи – це додаткові капітальні та експлуатаційні витрати [1].

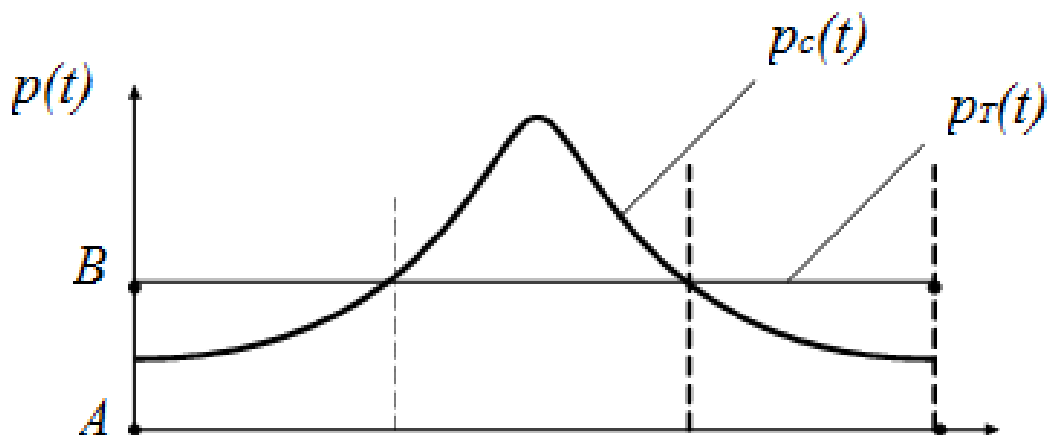


Рисунок 5.1 – Відношення попиту і пропозиції на транспорті

5.2 Етапи визначення попиту на транспортне обслуговування

У зв'язку з цим досить актуальним є точне визначення попиту на транспортні послуги. У процесі визначення попиту можна виділити чотири основні етапи:

- 1) визначення необхідності транспортування і її цілі (генерація поїздок);
- 2) визначення місця завершення транспортування (розподіл поїздок по зонам);
- 3) вибір способу транспортування (вид транспорту і технологія перевезень);
- 4) вибір маршруту руху (розподіл поїздок по мережі).

Ці чотири етапи складають традиційну для транспортних досліджень – чотирьохкрокову процедуру визначення попиту, структура якої представлена на рисунку 5.2 [1].

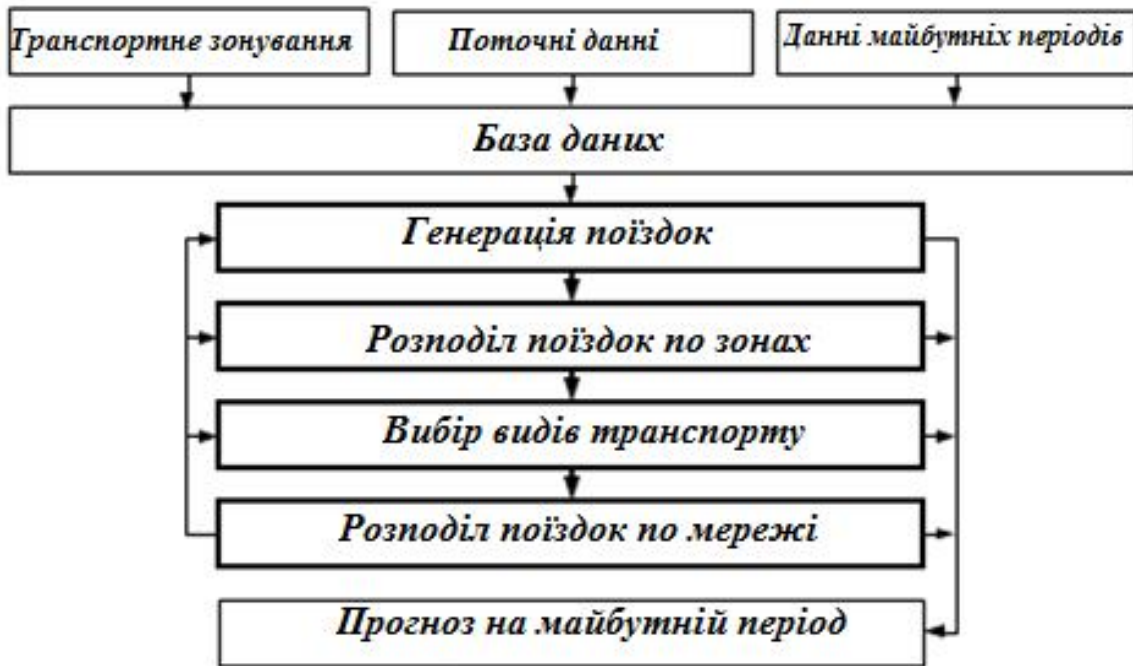


Рисунок 5.2 – Структура класичної чотирьох крокової транспортної моделі

Питання для самоконтролю

1. Як мета основна мета транспортної системи?
2. Чим визначається відповідність можливостей транспортної системи до попиту?
3. Яка головна умова збалансованості можливостей транспортної системи до попиту?
4. Які етапи визначення попиту на транспортні послуги ви знаєте?
5. Що складають етапи визначення попиту на транспортні послуги?

ТЕМА 6 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Питання для обговорення

1. Поняття та суть імітаційного моделювання.
2. Переваги імітаційних моделей.
3. Мови моделювання та теорія масового обслуговування як частина моделювання.
4. Вирішення завдань за допомогою теорії масового обслуговування.
5. Процес створення моделі системи.

6.1 Поняття та суть імітаційного моделювання

Імітаційне моделювання – це різновид математичного моделювання, в якому опис моделі задається у вигляді алгоритмів поведінки та взаємозв'язку елементів модельованої системи. Використовувані алгоритми дозволяють імітувати як поведінку елементів системи, так і всієї системи в цілому, а також визначати необхідні параметри функціонування системи [2].

Такі моделі являють собою комп'ютерну програму, яка крок за кроком відтворює події, що відбуваються в реальній системі. Стосовно до транспортних мереж їх імітаційні моделі відтворюють процеси генерації повідомлень додатками, розбиття повідомлень на пакети і кадри певних протоколів, затримки, пов'язані з обробкою повідомлень, пакетів і кадрів всередині операційної системи, процес отримання доступу комп'ютером до розподільного мережевого середовища, процес обробки пакетів, що надходять маршрутизатором і т.д. При імітаційному моделюванні мережі не потрібно купувати дороге обладнання – його роботи імітується програмами, досить точно відтворюють всі основні особливості і параметри такого устаткування [1].

Перевагою імітаційних моделей є можливість підміни процесу зміни подій в досліджуваній системі в реальному масштабі часу на прискорений процес зміни подій в темпі роботи програми. В результаті за кілька хвилин можна відт-

ворити роботу транспортної мережі протягом декількох днів, що дає можливість оцінити роботу мережі в широкому діапазоні змінних параметрів [1].

Результатом роботи імітаційної моделі є зібрані в ході спостереження за протікаючими подіями статистичні дані про найбільш важливі характеристики мережі: часах реакції, коефіцієнтах використання каналів і вузлів, ймовірності втрат пакетів і т. п [1].

Імітаційне моделювання може бути детермінованим або стохастичним, статичним або динамічним [2].

В стохастичних статичних моделях значення вихідних імовірнісних параметрів формуються за допомогою датчиків випадкових чисел, після чого визначаються значення інших параметрів по заданим функціональним залежностям. Багаторазовий прогін моделі дозволяє зібрати статистику про параметри моделі і по ній визначити їх статистичні характеристики [2].

Динамічні моделі імітують поведінку системи в часі і дозволяють досліджувати роботу системи в заданому часовому діапазоні або прогнозувати її роботу в майбутньому. У таких моделях використовуються поняття подія, процес, активність. Подія – це зміна стану системи, причому подія відбувається миттєво. У проміжку між двома подіями модель залишається незмінною. Процес – це послідовність логічно чи технологічно пов'язаних єдиною метою активностей, а активність – це елементарна робота з переводу системи з одного стану в інший [2].

6.2 Мови моделювання та теорія масового обслуговування як частина моделювання

Існують спеціальні мови імітаційного моделювання, які полегшують процес створення програмної моделі в порівнянні з використанням універсальних мов програмування. Прикладами мов імітаційного моделювання можуть служити такі мови, як SIMULA, GPSS, SIMDIS. Використовувані в даний час в локальних мережах протоколи каналного рівня використовують методи доступу до середовища, засновані на її спільному використанні декількома вузлами за

рахунок розділення в часі. У цьому випадку, як і у всіх випадках поділу ресурсів з випадковим потоком запитів, можуть виникати черги. Для опису цього процесу зазвичай використовуються моделі теорії масового обслуговування [1].

За допомогою теорії масового обслуговування вирішуються завдання організації та планування процесів, в яких, з одного боку, постійно у випадкові моменти часу виникає вимога виконання будь-яких робіт, а з іншого – постійно відбувається задоволення цих вимог, час виконання яких є також випадковою величиною. Перед теорією стоїть завдання досить повно описати суть явищ, що відбуваються і встановити з достатньою для практики точністю кількісний зв'язок між числом постів обслуговування, характеристиками вхідного потоку вимог (заявок) і якістю обслуговування. При цьому під якістю обслуговування розуміється, наскільки своєчасно проведено обслуговування надійшовших в систему вимог [2].

6.3 Процес створення моделі системи

Існують спеціальні, орієнтовані на моделювання транспортних мереж програмні системи, в яких процес створення моделі спрощений. Такі програмні системи самі генерують модель мережі на основі вихідних даних про її топології і використовуваних протоколах, про інтенсивності потоків запитів між комп'ютерами мережі, протяжності ліній зв'язку, про типах використовуваного обладнання і додатків. Програмні системи моделювання можуть бути вузько спеціалізованими і достатньо універсальними, що дозволяють імітувати мережі самих різних типів. Якість результатів моделювання в значній мірі залежить від точності вихідних даних про мережі, переданих в систему імітаційного моделювання [1].

Програмні системи моделювання мереж – інструмент, який може стати в нагоді будь-якому адміністратору корпоративної мережі, особливо при проектуванні нової мережі або внесення кардинальних змін у вже існуючу. Продукти цієї категорії дозволяють перевірити наслідки впровадження тих чи інших рішень ще до оплати придбаного обладнання. Звичайно, більшість з цих програ-

мних пакетів коштують досить дорого, але і можлива економія може бути теж вельми відчутною. Програми імітаційного моделювання мережі використовують у своїй роботі інформацію про просторове розташування мережі, зокрема вузлів, конфігурації зв'язків, швидкостях передачі даних, використовуваних протоколах і типі обладнання, а також про виконувани в мережі додатках [1].

Зазвичай імітаційна модель будується не з нуля. Існують готові імітаційні моделі основних елементів мереж: найбільш поширених типів маршрутизаторів, каналів зв'язку, методів доступу, протоколів і т.п. Ці моделі окремих елементів мережі створюються на підставі різних даних: результатів тестових випробувань реальних пристроїв, аналізу принципів їх роботи, аналітичних співвідношень. В результаті створюється бібліотека типових елементів мережі, які можна налаштовувати за допомогою заздалегідь передбачених в моделях параметрів. Системи імітаційного моделювання зазвичай включають також набір засобів для підготовки вихідних даних про досліджувані мережі – попередньої обробки даних про топологію мережі і вимірному трафіку. Ці засоби можуть бути корисні, якщо модельована мережа являє собою варіант існуючої мережі і є можливість провести в ній вимірювання трафіку і інших параметрів, потрібних для моделювання. Крім того, система забезпечується коштами для статистичної обробки отриманих результатів моделювання [1].

При розробці імітаційної моделі послідовно виконуються наступні етапи роботи [2] :

- формулювання завдання, вибір цільової функції і обмежень системи;
- формалізація опису системи, визначення характеристик елементів і взаємозалежностей;
- підготовка вихідних даних для моделі, включаючи контрольний приклад з відомими результатами для верифікації роботи моделі;
- розробка моделі та її реалізація у вигляді комп'ютерної програми – трансляція моделі;
- планування машинного експерименту для визначення числа прогонів моделі;

- проведення моделювання;
- аналіз отриманих результатів, їх інтерпретація, документування та реалізація в досліджуваній системі

Питання для самоконтролю

1. Що таке імітаційне моделювання?
2. Що можна моделювати імітаційним способом?
3. Що являють собою імітаційні моделі?
4. Які переваги імітаційного моделювання ви знаєте?
5. Що є результатом роботи імітаційного моделювання?
6. Які мови моделювання ви знаєте?
7. Які завдання вирішуються за допомогою теорії масового обслуговування в моделюванні транспортних систем?
8. Від чого залежить якість результату моделювання?
9. Які етапи роботи виконують при розробці імітаційної моделі?

ТЕМА 7 ОБ'ЄКТНО–ОРІЄНТОВНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Питання для обговорення

1. Об'єктно-орієнтовне моделювання як метод підвищення ефективності управління транспортними системами
2. Етапи роботи об'єктно-орієнтовного моделювання
3. Практика використання об'єктно-орієнтованого підходу
4. Класи та їхні групи
5. Ієрархія класів для транспортної системи
6. Принципи роботи об'єктно-орієнтовного моделювання

7.1 Об'єктно-орієнтовне моделювання як метод підвищення ефективності управління транспортними системами

На сьогодні однією з умов підвищення ефективності управління транспортними системами є впровадження інформаційних технологій в технологічні процеси планування і управління автомобільним транспортом. Тут потрібен перехід від традиційних, звичних методів планування і управління до таких методів, де застосування інформаційних технологій дасть найбільш відчутний ефект. Одним з варіантів є перехід від послідовних технологій оперативного планування роботи рухомого складу до об'єктно-орієнтованим.

Об'єктно-орієнтоване моделювання (ООМ) – це метод ототожнення сутностей реального світу для розуміння і пояснення того, як вони взаємодіють між собою для досягнення необхідної мети. Відмінною рисою ООМ, як складової частини об'єктно-орієнтованого підходу, є не опис послідовності виконання дій елементів системи, а аналіз стану кожного елемента, що становить систему, як об'єкта, і виконання в залежності від його результату певних дій. При цьому такі складові ООП(програмування), як успадкування, інкапсуляція, поліморфізм, класи, методи, події і властивості істотно полегшують тиражування та модернізацію створеного продукту [3].

Традиційно в ООМ виділяється три етапи:

- побудова інформаційної моделі, абстрагування реальних сутностей в термінах об'єктів і атрибутів (властивостей);
- побудова моделі станів для формалізації життєвих циклів об'єктів та відображення цієї моделі діаграмами і таблицями переходів. Взаємодія між об'єктами здійснюється шляхом передачі повідомлень про події, що відбуваються з ними;
- розробка моделі процесів, в якій дії в моделях станів розділяються на фундаментальні і багаторазово використовувані процеси (методи).
- Практика використання об'єктно-орієнтованого підходу в інформаційних технологіях показала життєздатність двох підходів до виконання ООМ [3]:
- методу неформального опису, в якому виділяються іменники і дієслова в описі предметної області. Іменники розглядаються як кандидати для утворення класів, а дієслова – кандидати в операції над класами;
- структурного аналізу, при якому на основі моделі системи, представленої діаграмами потоків даних, виділяються зовнішні події і об'єкти, база даних, потік управління, перетворення потоку управління. Далі, на основі аналізу потоку даних і потоку управління виділяються класи і методи класів.

Поширення принципів ООМ на планування і управління транспортною системою дозволяє використовувати інформацію про стан об'єктів управління на основі аналізу подій. Залежно від цього, ініціюючи виконання тих чи інших методів, можна змінювати процес функціонування системи, домагаючись оптимальних характеристик її роботи. Основою ООП є модель успадкування, яка дозволяє в ієрархічному порядку «клонувати» класи, зберігаючи загальні і одночасно надаючи їм свої специфічні риси. Таким чином, для опису об'єктів транспортної системи використовується та чи інша ієрархія класів [3].

7.2 Класи та їхні групи

Клас – це безліч сутностей (об’єктів), що мають однакове функціональне призначення, структуру і поведінку і відрізняються значенням параметрів. Іншими словами, це шаблон, або проект, в якому описані загальні характеристики, що визначають «поведінку» об’єкта, який буде на ньому заснований. Таким чином, екземпляр класу – це конкретний об’єкт з безлічі всіх об’єктів того ж самого класу з унікальними значеннями параметрів. Використання примірників класу дозволяє збирати нову модель з типових компонентів, підлаштовуючи їх кожен раз під конкретні умови функціонування, а також використовувати побудовану модель в якості компонента інших моделей [3].

Розбиття реальної або проекрованої системи на компоненти, побудова класів, які відповідають цим компонентам, встановлення зв’язків між компонентами і побудова моделі з примірників класів з урахуванням існуючих зв’язків – це ключові моменти ООМ. Беручи в якості об’єктів транспортної системи такі поняття, як склад, автопоїзд, перегін дороги, контейнер, ми маємо на увазі інформаційну модель фізичного об’єкта, яка використовується в процесі планування та оперативного управління транспортною системою. Опис класу формується за допомогою набору подій, властивостей і методів, властивих даному класу. У маніпулюванні цими трьома характеристиками і полягає управління майбутніми об’єктами. Безпосередньо для створення об’єктів використовуються підкласи. Підклас – це якийсь варіант класу або підкласу, на якому він базується. Утворення підкласів може носити нескінченний характер, при цьому базовий клас буде підставою тільки першого покоління підкласів, а далі такі будуть ґрунтуватися на вже існуючих. У цьому випадку виділяють батьківський клас, який служить підставою для створення відповідного підкласу, а останній часто називають породженим класом [3].

Всі класи діляться на наступні групи [3]:

- класи активних об’єктів, що використовуються для моделювання об’єктів, які можуть генерувати керуючі впливи в транспортній систе-

мі. Ці класи формують потоки управління, які породжують процеси, що розвиваються у часі і впливають на інші об'єкти;

- класи пасивних об'єктів, що не мають власних потоків управління. Примірники цих класів можуть представляти масиви даних, сукупність алгоритмічних операцій і т. д. ;
- класи контейнерів, що використовуються для моделювання об'єктів із закритою складною структурою типу «чорний ящик». Згенеровані на основі класів контейнерів об'єкти містять у собі довільний набір екземплярів класів, які забезпечують необхідну функціональність.

З точки зору представлення об'єктів в моделі всі класи діляться ще на дві наступні групи [3]:

- Візуальні класи використовуються для моделювання об'єктів, які можуть бути візуально відображені в моделі при її реалізації у вигляді комп'ютерної програми. Це термінали, транспортні засоби, вантаж і т. п.
- Невізуальні класи дозволяють моделювати функціональні об'єкти, які повинні забезпечувати тільки виконання певних дій. Наприклад, облікова система, система підтримки запасів і т. п.

Якщо спроектувати принципи ООМ на технологію оперативного планування перевезень, то в першу чергу необхідно виділити класи об'єктів, які формують різні події, що характеризують процес доставки вантажу. Приклад фрагмента ієрархії класів для транспортної системи наведено на рисунку 7.1 [3].

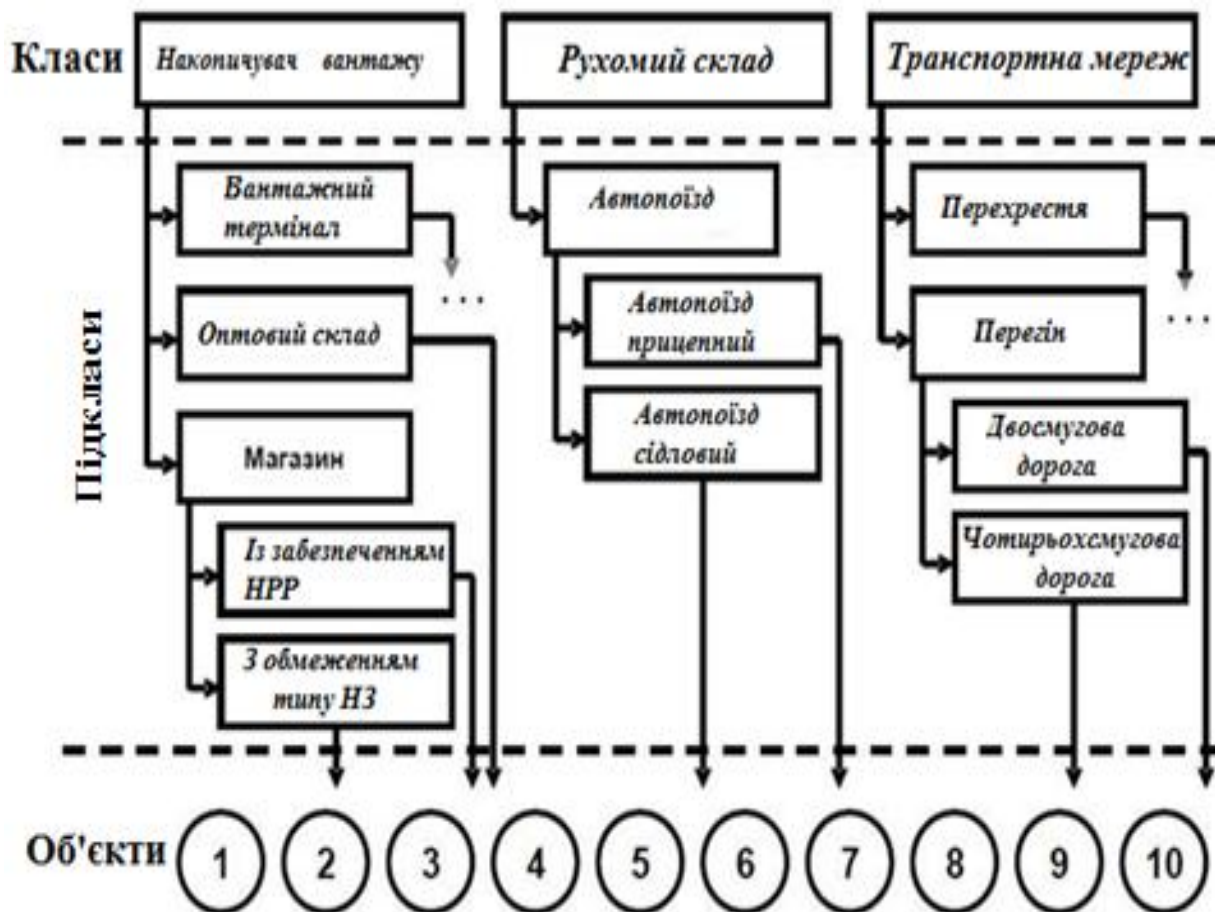


Рисунок 7.1 – Фрагмент ієрархії класів для типового процесу транспортної системи

При моделюванні транспортної системи важливою особливістю є віднесення об'єкта до активних або пасивних. Активні об'єкти можуть самостійно генерувати певний набір подій, наприклад прибуття транспортного засобу на термінал [3].

Пасивні об'єкти в змозі реагувати тільки на події, що генеруються ззовні. Приклад поділу об'єктів транспортної системи на ці дві групи наведено на рисунку 7.2 [3].

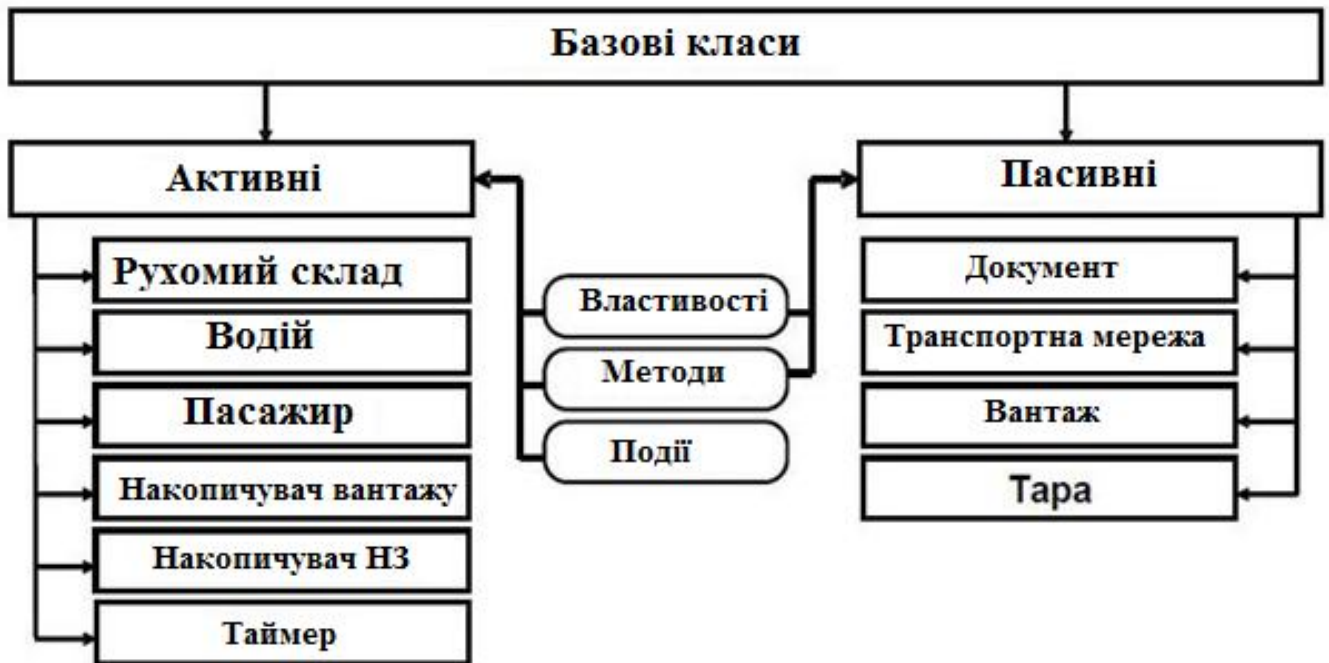


Рисунок 7.2 – Приклад активних і пасивних об’єктів транспортної системи

7.3 Принципи роботи об’єктно-орієнтовного моделювання

Поширення принципів ООМ на планування і управління транспортною системою дозволяє використовувати інформацію про стан об’єктів управління на основі аналізу подій. Залежно від цього, ініціюючи виконання тих чи інших методів, можна змінювати процес функціонування системи, домагаючись оптимальних характеристик її роботи. При цьому істотні втрати часу, пов’язані з послідовною технологією виконання процесу в транспортній системі, можуть бути скорочені за рахунок паралельного виконання методів для різних об’єктів або групи об’єктів [3].

Наприклад, для кожного об’єкта набір методів можна об’єднати в чотири групи [3]:

- планування і (або) підготовка об’єкта до виконання будь-яких дій;
- виконання дії;
- перевірка завершеності дії і правильності його виконання;
- документальне оформлення дії.

У цьому випадку виконання методів всіх чотирьох груп складе завершений цикл функціонування об'єкта, як це показано на рисунку 7.3.



Рисунок 7.3 – Цикл роботи об'єкта

Паралельність роботи системи забезпечується за рахунок того, що методи для зв'язаних об'єктів виконуються не після завершення циклу роботи кожного об'єкта, а можуть ініціюватися певними подіями. Схематично це показано на рисунку 7.4. Реалізація запропонованого підходу може бути здійснена за допомогою вже сьогодні доступних для автоперевізників засобів [3].

Таким чином, використання принципів об'єктно-орієнтовного моделювання забезпечує [3]:

- автоматизацію управління зовнішніми бізнес-операціями між різними суб'єктами транспортної системи;
- оптимізацію транспортної системи за рахунок паралельного виконання окремих процесів;
- достовірну
- інформацію про стан системи в реальному масштабі часу

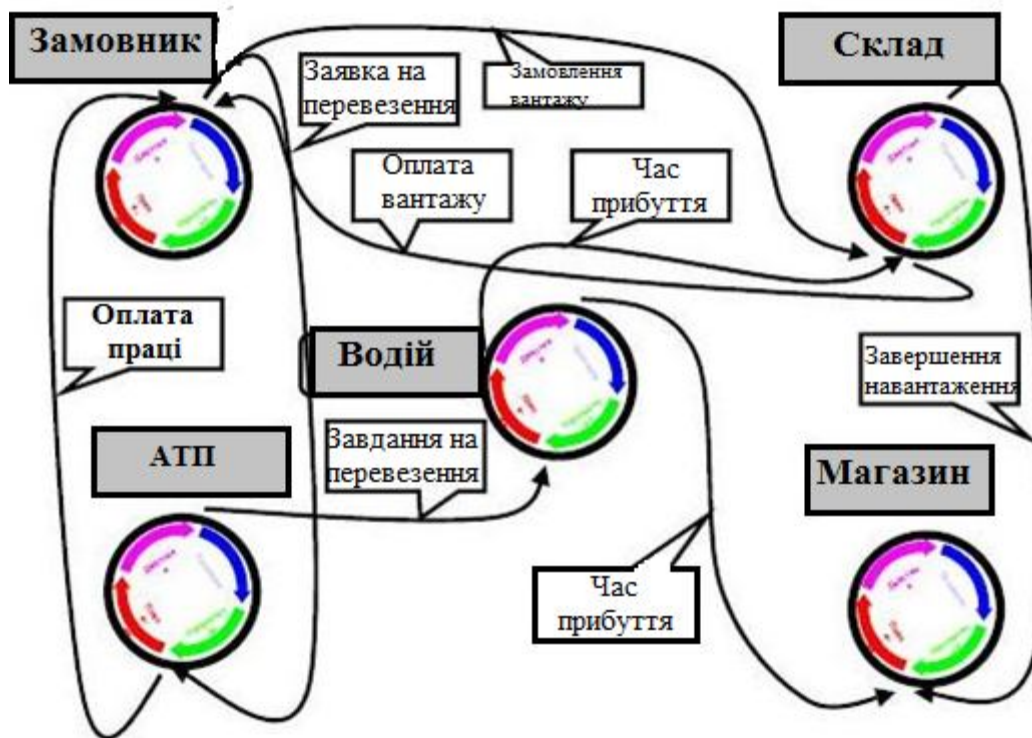


Рисунок 7.4 – Приклад схеми планування і управління доставкою вантажу, заснованої на принципах об'єктно-орієнтовного моделювання

Питання для самоконтролю

1. Що таке об'єктно-орієнтовне моделювання ?
2. Які складові об'єктно-орієнтовного моделювання полегшують тиражування та модернізацію створеної моделі?
3. Які етапи ООМ ви знаєте?
4. Назвіть підходи до виконання ООМ
5. Що розуміється під поняттям клас?
6. На які групи діляться класи?
7. Назвіть підкласи класу Накопичувач вантажу
8. Назвіть підкласи класу Транспортна мережа
9. Які групи набору методів ви знаєте?
10. Що входить до циклу роботи об'єкту?

ТЕМА 8 МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ВАНТАЖНИХ ТА ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

Питання для обговорення

1. Дослідження та прогнозування показників при моделюванні вантажних перевезень
2. Статична лінійна балансова модель міжгалузевих зв'язків
3. Моделювання при пасажирських перевезеннях
4. Параметри зовнішнього середовища системи міського пасажирського транспорту
5. Статистичні методи визначення попиту на послуги міського пасажирського транспорту

8.1 Дослідження та прогнозування показників при моделюванні вантажних перевезень

При нестабільній клієнтурі або великих розмірах розглянутого транспортного об'єкта частіше застосовується транспортна робота. Можуть використовуватися й інші вимірювачі потреб в перевезеннях, наприклад авто години.

Для вирішення завдань перспективного планування транспортних об'єктів, які спеціалізуються на перевезенні вантажів, в основному використовуються такі характеристики зовнішнього середовища, як обсяг перевезень або транспортна робота.

Прогнозування цих показників найчастіше виконується за допомогою моделей прогностичного напрямку, описаних на початку розділу. Але при розгляді вантажних перевезень існує можливість застосування більш досконалого апарату опису структури зовнішнього середовища.

Дослідження вантажних транспортних систем багато в чому засновані на тому, що значна частина діяльності вантажного транспорту спрямована на обслуговування різних підприємств, що грають ту чи іншу роль у системі виробництва і розподілу товарів і послуг. Тобто зовнішнім середовищем для вантаж-

ного транспорту найчастіше є система виробництва.

Структура системи виробництва дуже інертна, якщо виділяти в ній досить великі елементи. Стабільність елементів системи виробництва і стійкість зв'язків між ними дозволяє використовувати їх характеристики для визначення умов роботи транспортних систем при перспективному плануванні.

Статична лінійна балансова модель міжгалузевих зв'язків – розроблена для вирішення питань макроекономічного планування в масштабах окремого регіону або країни.

Окремий випадок Статичної лінійної балансової моделі міжгалузевих зв'язків – двосекторна модель може бути застосована для прогнозування обсягів роботи окремого виробничого об'єкта, в тому числі і транспортної системи. В цьому випадку СЛБМ є інструментом визначення структури зовнішнього середовища, тобто обсягу роботи транспортної системи. Обмежень на таке використання СЛБМ досить багато. Основним з них, з точки зору системного аналізу, є сталість структури елементів економічної системи, адже дослідження найчастіше якраз і спрямоване на зміну структури одного елемента – транспортної підсистеми.

Тому використання СЛБМ обмежено, в основному, перспективним плануванням. Однак зрозуміти всі обмеження можна, тільки розглянувши загальний випадок – багатосекторний варіант СЛБМ.

Модель складається з n виробничих секторів і одного сектора кінцевого споживання. Під виробничим сектором в моделі розуміються різні підприємства, об'єднані в виробничі комплекси. Зазвичай це окремі галузі виробництва, але може бути використано і більш детальне уявлення, за умови дотримання коректності системи припущень.

Якщо використовувати системну термінологію, то виробничий сектор – це елемент економічної системи. Як зовнішнього середовища для економічної системи тут виступає суспільство, яке з одного боку витрачає трудові і природні ресурси на виробництво товарів і послуг, з іншого боку – споживає продукти виробництва.

Кількість секторів в моделі залежить від мети дослідження, потрібної точності рішення і коректності припущень щодо сталості коефіцієнтів прямих витрат.

У СЛБМ, як і в інших варіантах системних досліджень, структура елементів (секторів) вважається постійною. У той же час усередині секторів можуть відбуватися активні процеси, спрямовані на вдосконалення організації його роботи, що буде призводити до зміни структури сектора, яка характеризується набором коефіцієнтів прямих витрат. Так, заходи щодо вдосконалення організації перевезень, зазвичай дозволяють скоротити пробіг рухомого складу, що означає скорочення витрати палива і інших експлуатаційних витрат при тих же, що й колись обсягах транспортної роботи.

З точки зору СЛБМ це означає скорочення міжсекторних потоків при тому ж валовому випуску сектора, що призводить до відповідного скорочення коефіцієнтів прямих витрат.

Основне застосування при розгляді транспортних об'єктів може знайти окремий випадок СЛБМ – двухсекторна модель. У цій моделі з усіх суб'єктів економічної діяльності даного регіону або країни виділяються два значно відмінних сектора, рисунок 8.1.



Рисунок 8.1 – Фізичне відображення двухсекторної статичної лінійної балансової моделі міжгалузевих зв'язків

Перший з них являє об'єкт системного дослідження («Транспорт»), другий – сукупність інших підприємств економіки регіону або держави («Вироб-

ництво»). Природно, що ці елементи дуже відрізняються за розмірами, так як прикладні дослідження зазвичай адресуються відносно невеликому, порівняно з усією економікою, об'єкту. Вплив об'єкту дослідження на сектор «Виробництво» дуже невеликий через різницю в масштабах, тому метою розрахунків за двухсекторною моделлю завжди є розрахунок валового випуску об'єкта дослідження. Це також дозволяє подолати проблему сталості структури елементів економічної системи на стадії визначення параметрів зовнішнього середовища.

Характеристика зовнішнього середовища для вирішення завдань поточного планування роботи вантажних транспортних систем також заснована на особливостях клієнтури. Так як це в більшості випадків великі об'єкти, то їх список відносно невеликий і збір вихідної інформації заснований на індивідуальному вивченні і прогнозуванні характеристик кожного клієнта. Якщо ж досліджуваний об'єкт в основному обслуговує дрібних разових клієнтів, то для визначення характеристик зовнішнього середовища тут частіше застосовуються прогностичні моделі.

8.2 Моделювання при пасажирських перевезеннях

Моделювання процесу функціонування міського пасажирського транспорту має кардинальну відмінність від побудови моделей елементів транспортного процесу перевезення вантажів. Це пов'язано з тим, що в система «транспорт» функціонує в соціальному середовищі (системі), активно взаємодіючи з нею. Незважаючи на те, що соціальні системи структуровані і мають різні форми організації, елементи даних систем – люди, володіють різними психологічними установками, цілями функціонування та т.д. Внаслідок цього, можливість передбачити поведінку елементів соціальної системи часом буває досить складно. Виходячи з цього при моделюванні процесу функціонування міського пасажирського транспорту вдаються або до спрощення моделей (призводить до зниження рівня точності результатів моделювання), або до отримання переліку можливих станів системи – інтервалу, в якому знаходяться найбільш вірогідні варіанти вирішення поставленого завдання.

Виходячи з цього до основних параметрів зовнішнього середовища системи міського пасажирського транспорту можна віднести:

1) Пасажиروобмін зупиночних пунктів.

2) Пасажиропотоки за напрямками руху.

3) Попит населення на пересування за розрахунковий період. Мережеві пересування – середня кількість пересувань, які реалізовані на масовому міському транспорті по мережі.

4) Обсяг перевезення на і-му маршруті.

5) Коливання попиту на пересування по місяцях, сезонах.

6) Рухливість – середня кількість поїздок, що припадають на 1 жителя міста в день, місяць, рік.

Статистичні методи визначення попиту на послуги міського пасажирського транспорту дозволяють спрогнозувати значення кореспонденцій на майбутній період, базуючись на звітних даних натурних обстежень пересувань пасажирів. До цих методів належать: метод єдиного коефіцієнта зростання, метод середніх коефіцієнтів зростання, Детройтський метод і метод Фратара. Натурні обстеження трудових пересувань пасажирів виконуються анкетним методом, який полягає в анкетуванні пасажирів за місцем роботи з фіксуванням наступних характеристик: місця проживання, адреси місця роботи, виду транспорту, якими користуються при поїзді на роботу, номери маршрутів. Дана інформація дозволяє з найбільшим ступенем точності сформувати матрицю трудових пересувань. Обстеження повинно бути суцільним, тобто спостереження піддаються всі підприємства міської агломерації.

Основним недоліком даного методу є значна трудомісткість, що припускає використання великої кількості обліковців, узгодження з місцевими органами влади періоду обстеження, наявності дозволу у проведенні обстеження з боку керівництва кожного підприємства і т.д. У нинішніх умовах при приватній формі власності більшості підприємств ймовірність отримання дозволу в проведенні анкетування на всіх підприємствах міста занадто мала. Виключення ж зі списку певного переліку місць прикладання праці призведе до спотворення

отриманих результатів. Анкетування передбачає безпосередній контакт пасажира з обліковцем – це призводить до дуже значних часових витрат, так як необхідно опитати кожного працівника підприємства. З метою зниження трудовитрат в якості альтернативи анкетування пропонується проведення аналізу особистих справ працівників підприємства, в яких вказана практично вся необхідна для формування матриці кореспонденцій інформація. Однак існує ймовірність, що отримана інформація за деякими одиницям спостереження не буде відповідати дійсності. Наприклад, вказане місце прописки може кардинальним чином відрізнятись від місця фактичного проживання. Стосовно до статистичних методів прогнозу попиту на трудові пересування принцип розрахунків за моделями даної групи полягає у визначенні пропорційного збільшення значення кореспонденції на основі очікуваної ступеня зміни обсягу пересувань в загальній сукупності по місту або окремо між районами. Найменш трудомістким методом, що дає результати з великим ступенем похибки, є метод єдиного коефіцієнта зростання.

Даний метод отримав слабе поширення через отримання результатів з невисоким ступенем точності, що призводить до неможливості розробки коректних рішень щодо розвитку маршрутної мережі та внесення корективів в її роботу.

Питання для самоконтролю

1. Які характеристики зовнішнього середовища використовуються для вирішення завдань перспективного планування транспортних об'єктів?
2. На чому засновані дослідження вантажних транспортних систем?
3. Що таке статична лінійна балансова модель міжгалузевих зв'язків?
4. Що означає термін виробничий сектор?
5. Опишіть фізичне відображення двосекторної СЛБМ
6. В чому полягає відмінність моделювання процесу функціонування міського пасажирського транспорту від побудови моделей елементів транспортного процесу перевезення вантажів?

7. Назвіть основні параметри зовнішнього середовища системи міського пасажирського транспорту

8. Що дозволяють зробити статистичні методи визначення попиту на послуги міського пасажирського транспорту?

ТЕМА 9 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ

Питання для обговорення

1. Основи планування експериментальних досліджень
2. Планування експериментальних досліджень
3. План експерименту та методи його побудови
4. Метод побудови матриці плану експерименту
5. Параметри оцінки результатів експерименту
6. Закономірності перебігу результатів експерименту

9.1 Основи планування експериментальних досліджень

Найважливішою складовою будь-якого наукового дослідження є експеримент. При цьому крім основного джерела отримання нових знань, експеримент є ефективним інструментом побудови моделей і їх дослідження. В основі експериментальних досліджень лежить експеримент, що є науково поставленим дослідом або наглядом явища в чітко витриманих умовах, які дозволяють досліджувати його проходження, керувати ним, відтворювати його при відтворенні тих же умов.

Основною метою експерименту є перевірка теоретичних положень (гіпотез), а також більш широке і глибоке вивчення об'єкта дослідження.

Експерименти бувають: природні і штучні, активні і пасивні.

Природні експерименти припускають умови, коли дослідник не вибирає і не готує заздалегідь незалежну змінну, а також не виконує активного впливу на хід процесу, а тільки спостерігає за ходом, не втручаючись. Перевагою такого експерименту є збереження в незмінному вигляді внутрішніх і зовнішніх зв'язків об'єкта дослідження, нівелюється їх спотворення. Складністю даного виду експерименту є необхідність очікування тих умов функціонування об'єкта, яких вимагає мета дослідження.

Штучні експерименти широко використовуються в більшості наукових досліджень. Штучний експеримент спрямований на вивчення явищ, ізольованих в необхідній мірі для того, щоб оцінити їх в кількісних і якісних відносинах.

Слід зазначити, що обсяг і трудомісткість проведення експериментальних досліджень залежить від глибини теоретичних досліджень, складності попередньо побудованих моделей. Наприклад, вид моделі, наявність чисельних значень в ній безпосередньо впливає на трудомісткість експерименту.

На відміну від традиційних форм виконання експериментів раціонально використовувати методи математичного планування, які дозволяють одночасно вивчати вплив ряду факторів (багатофакторний експеримент) на досліджуваний об'єкт. Вони засновані на математичній теорії експерименту, яка визначає умови оптимального проведення дослідження, в тому випадку і при неповному знанні фізичної сутності явища. Математичні методи планування експерименту дозволяють досліджувати і оптимізувати складні системи і процеси, забезпечуючи високу ефективність експерименту і точність визначення досліджуваних факторів.

Планування експериментальних досліджень проводиться за такими етапами:

- висувається гіпотеза. Гіпотеза – система логічних висновків, за допомогою якої, на основі ряду фактів, робиться висновок про існування об'єкта, зв'язку або причино появу, причому достовірність цього висновку потребує доведення (перевірки).

- формується мета експерименту;

- визначаються факторні ознаки, одиниці їх вимірювання та рівні варіювання;

- визначається вид уявлення результуючої ознаки, при цьому дуже важливим є можливість його оцінки, тобто чисельна інтерпретація і одиниці вимірювання

9.2 План експерименту та методи його побудови

Початком планування експерименту є збір, вивчення і аналіз наявних даних про об'єкт дослідження. В результаті дослідник повинен визначити вихідний параметр (функцію відгуку) і вхідні параметри x .

Вихідний параметр (змінна стану об'єкта) – повинен мати кількісну характеристику, тобто вимірюватися з достатнім ступенем точності і однозначно характеризувати об'єкт дослідження.

Основною вимогою до вхідних параметрів x є їх варіативність (межі зміни). При цьому факторні ознаки не повинні бути корельовані між собою, а між факторною ознакою і результуючою ознакою мусить бути функціональний взаємозв'язок.

Вся сукупність факторів формує факторний простір область, в межах якої може бути представлений набір факторів. В рамках планування експерименту факторний простір має бути максимальним, тобто охоплювати мінімальні і максимальні межі всіх факторів. Так, наприклад, для двохфакторної моделі транспортної системи факторний простір представлено на рисунку 9.1, за яким видно, що це площина, описана правильною геометричною фігурою виду квадрат або прямокутник.

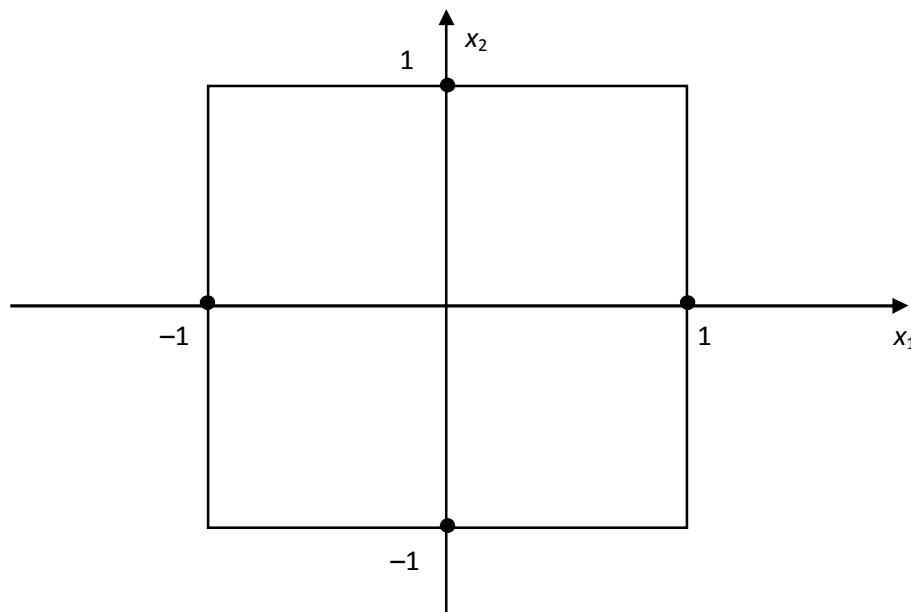


Рисунок 9.1 – Факторний простір в кодовому вигляді для функції $y = f(x_1, x_2)$

Ґрунтуючись на кодованому просторі рисунку 9.1 можна скласти матрицю-план повного двохфакторного екстремального експерименту (табл.9.1).

Таблиця 9.1 — План повного двох факторного екстремального експерименту

Номер досліджу	Фактори		Функція відгуку, у
	x_1	x_2	
1	- 1	- 1	y_1
2	+ 1	- 1	y_2
3	- 1	+ 1	y_3
4	+ 1	+ 1	y_4

Представлений метод побудови матриці плану експерименту дозволяє виконати основну умову – ортогональність планування.

Будь-який план є ортогональним, якщо для нього виконуються такі умови:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 0, \quad (9.1)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij}^2 = m, \quad (9.2)$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \cdot x_{(i+1)j} = 0, \quad (9.3)$$

де m – число дослідів повного факторного експерименту;

j – номер досліджу;

i – номера факторів.

Кількість дослідів у плані експерименту залежить від кількості рівнів варіювання кожного фактора. У таблиці 9.1 представлений план, що передбачає два рівні варіювання, виходячи з цього кількість дослідів в плані експерименту буде визначатися за формулою:

$$m = 2^n, \quad (9.4)$$

де n – кількість факторних ознак, од.

На основі (9.4) можна представити загальний вид визначення кількості дослідів в експерименті:

$$m = q^n, \quad (9.5)$$

де q – рівні варіювання факторних ознак.

На основі плану двох факторного екстремального експерименту виконується побудова повних факторних експериментів для умови $n > 2$. Так, наприклад, при трьох факторах в досвіді, план експерименту формується таким чином:

Етап 1. – Записується план двофакторного екстремального експерименту і повторюється двічі, так як кількість дослідів становитиме

$2^3 = 8$. При цьому поле для третього фактора залишаємо порожнім.

Таблиця 9.2 – Перший етап заповнення плану трьох факторного екстремального експерименту

Номер дослідів	Фактори			Функція відгуку, y
	x_1	x_2	x_3	
1	2	3	4	5
1	- 1	- 1		y_1
2	+ 1	- 1		y_2

Продовження таблиці 9.2

1	2	3	4	5
3	- 1	+ 1		y_3
4	+ 1	+ 1		y_4
5	- 1	- 1		y_5
6	+ 1	- 1		y_6
7	- 1	+ 1		y_7
8	+ 1	+ 1		y_8

Етап 2. Для дотримання умови ортогонального плану остання колонка (для фактора x^3) заповнюється наступним чином:

– Перші чотири дослідів факторна ознака варіюється на нижньому рівні (- 1);

– З п'ятого по восьмий дослідів (всього чотири дослідів) факторна ознака варіюється на верхньому рівні (+ 1).

В результаті отримуємо план трьохфакторного екстремального експеримента, для якого виконуються умови (9.1) – (9.3). Таким чином, отриманий план експерименту є ортогональним.

Таблиця 9.3 – Перший етап заповнення плану трьох факторного екстремального експерименту

Номер дослідів	Фактори			Функція відгуку, y
	x_1	x_2	x_3	
1	2	3	4	5
1	- 1	- 1	- 1	y_1
2	+ 1	- 1	- 1	y_2
3	- 1	+ 1	- 1	y_3
4	+ 1	+ 1	- 1	y_4
5	- 1	- 1	+ 1	y_5

Продовження таблиці 9.3

1	2	3	4	5
6	+ 1	- 1	+ 1	y_6
7	- 1	+ 1	+ 1	y_7
8	+ 1	+ 1	+ 1	y_8

Для отримання плану чотирьохфакторного екстремального повного факторного експерименту основою є план 2^3 (табл. 9.3), для якого виконуються описані вище два етапи.

Наведені плани екстремальних експериментів типу 2^n можна назвати простими, так як в них виконується варіювання факторів лише на двох рівнях. Вони ефективні при дослідженні функцій лінійного виду, так як в цьому випадку достатньо двох точок для визначення характеру її зміни. Однак, в більшості випадків взаємозв'язок між факторними і результируючим ознаками є нелінійним. Для цього необхідно вводити додаткову точку дослідження, що дозволить охарактеризувати взаємозв'язок між $\{x\}$ і y . Як правило, цією точкою є центр між x_{\min} і x_{\max} і позначається як «0». У цьому випадку кількість дослідів в плані визначатиметься по залежності:

$$m = 3^n \quad (9.6)$$

Використовуючи формулу (9.6) можна легко визначити збільшення кількості дослідів при трьохрівневому варіюванні факторних ознак. Наприклад, при двох факторах збільшення становить $3^2 - 2^2 = 5$ од. План екстремального двофакторного експерименту при 3-х рівнях варіювання факторів представлений в таблиці 9.4.

Таблиця 9.4 – План повного двохфакторного екстремального експерименту при 3-х рівнях варіювання

Номер досліду	Фактори		Функція відгуку, <i>y</i>
	<i>x</i> ₁	<i>x</i> ₂	
1	– 1	– 1	<i>y</i> ₁
2	+ 1	– 1	<i>y</i> ₂
3	– 1	+ 1	<i>y</i> ₃
5	0	– 1	<i>y</i> ₅
6	0	+ 1	<i>y</i> ₆
7	– 1	0	<i>y</i> ₇
8	+ 1	0	<i>y</i> ₈
9	0	0	<i>y</i> ₉

9.3 Параметри оцінки результатів експерименту

Для проведення дослідів з необхідною точністю і достовірністю необхідно знати ту кількість вимірювань, при яких експериментатор впевнений в позитивному результаті. Однак велика кількість вимірювань вимагає значних витрат часу і ресурсів. Внаслідок цього ключовим питанням при проведенні експериментальних досліджень є кількість дослідів, які дозволяти з заданим рівнем довірчої ймовірності сформулювати обсяг вибірки. Тобто масив чисел, що отримується є вибіркою з генеральної сукупності (загальна кількість можливих результатів або станів об'єкта), отриманий масив повинен володіти репрезентативністю. Мінімальна кількість необхідних серій дослідів (в рамках одного досвіду – незмінні рівні варіювання факторних ознак) можна розрахувати за такою залежністю:

$$n = \frac{t_{\beta}^2 \cdot \sigma^2}{\varepsilon^2}, \quad (9.7)$$

де t_β – стандартизоване відхилення інтегральної функції нормального закону розподілу, при рівні довірчої ймовірності 0,95 набуває значення, що дорівнює 1,96;

σ – середньоквадратичне відхилення;

ε – задається рівень помилки.

Помилка ε визначається виходячи з рівня довірчої ймовірності, що задається і математичного очікування:

$$\varepsilon = \bar{x} \cdot 0,05. \quad (9.8)$$

Формула (9.7) виходить з наступного співвідношення:

$$\varepsilon = t_\beta \cdot \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}. \quad (9.9)$$

У разі, якщо відома величина генеральної сукупності, використовується наступна формула визначення необхідної кількості серій дослідів:

$$n = \frac{t_\beta^2 \cdot \sigma^2}{\varepsilon^2 + \frac{t_\beta^2 \cdot \sigma^2}{N}}, \quad (9.10)$$

де N – величина генеральної сукупності, од.

Перевірка відтворюваності результатів вимірювань оцінюється за критерієм Кохрена. Суть даної перевірки полягає в наступному:

– для кожної серії дослідів обчислюється середньоарифметичне значення \bar{y}_i .

– обчислюється D дисперсія по всіх серій дослідів;

– визначається максимальне значення дисперсії – $\max D$.

Значення критерію Кохрена визначається за формулою:

$$K_{кр} = \frac{\max D_i}{\sum_{i=1}^m D_i}, \quad (9.11)$$

де n – кількість серій дослідів, од.

Дослід вважається відтвореним, якщо виконується умова (9.12)

$$K_{кр} \leq K_{км}, \quad (9.12)$$

де $K_{км}$ – табличне значення критерію Кохрена, приймається в залежності від рівня довірчої ймовірності і числа ступенів свободи $q = n - 1$, де n – кількість дослідів в одній серії. В результаті експериментальних досліджень отримані чисельні значення результуючої ознаки, що характеризують досліджуваний процес або явище. На початку експерименту висувалася гіпотеза про характер зміни результуючої ознаки і його взаємозв'язку з факторними ознаками. У зв'язку з цим першочерговим є визначення (оцінки) рівня адекватності отриманих даних. Для цього використовується критерій Фішера. На основі експериментальних значень його розрахунок виконується за такою залежністю:

$$K_{фэ} = \frac{D_a}{D_{cp}}, \quad (9.13)$$

де D_a – дисперсія адекватності;

D_{cp} – середня дисперсія всього експерименту.

Отримана модель є адекватною, якщо виконується умова:

$$K_{фэ} \leq K_{фм}, \quad (9.14)$$

де $K_{фм}$ — табличне значення критерію Фішера.

9.4 Закономірності перебігу результатів експерименту

Більшість процесів на транспорті носить випадковий (стохастичний) характер. У цьому випадку виникають складності в моделюванні даних локальних процесів і всього транспортного процесу в цілому. У зв'язку з цим особливо актуальним є питання визначення закономірності протікання елементів транспортного процесу, яку можна описати функцією розподілу випадкової величини і щільністю ймовірності функції розподілу.

Функцією розподілу випадкової величини X називається ймовірність того, що вона прийме значення менше, ніж задане x :

$$F(x) = P\{X < x\}. \quad (9.15)$$

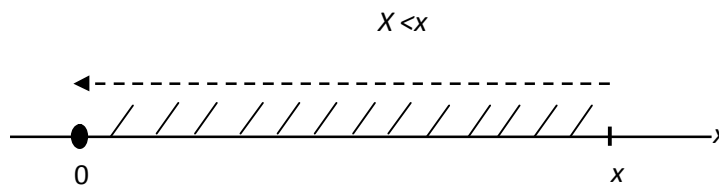


Рисунок 9.2 – Графічна інтерпретація ймовірності події

На основі залежності (9.15) і рисунку 9.2 можна сформулювати основні властивості функції розподілу: $F(x)$ – неспадна функція свого аргументу, тобто при $x_2 > x_1$ має місце $F(x_2) \geq F(x_1)$;

$$F(-\infty) = 0;$$

$$F(\infty) = 1$$

Таким чином, функція розподілу $F(x)$ будь-якої випадкової величини є неспадна функція свого аргументу, значення якої укладені між 0 і 1 , тобто $0 \leq F(x) \leq 1$

Перше правило можна графічно інтерпретувати в такий спосіб:

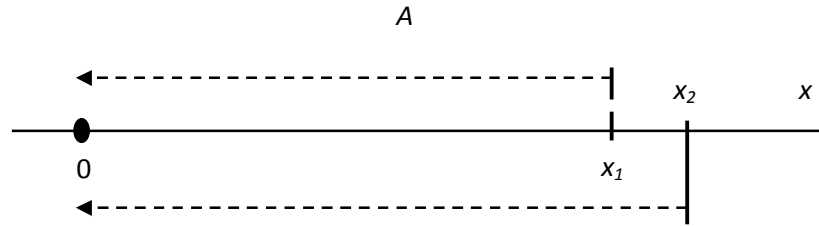


Рисунок 9.3 – Графічна інтерпретація першої властивості функції розподілу

Розглянемо варіант, коли випадкова величина X має дуже багато можливих значень, розташованих дуже близько один до одного на числовій осі. Якщо ми побудуємо її функцію розподілу то отримаємо, що безліч варіантів результату утворюють безперервну криву лінію.

Як законом розподілу, що має сенс тільки для безперервних випадкових величин, вводиться поняття щільності розподілу або щільності ймовірності.

Щільність розподілу неперервної випадкової величини X в точці x називається похідна її функції розподілу в цій точці. Вона позначається як $f(x)$:

$$f(x) = F'(x) = \frac{d}{dx} F(x). \quad (9.16)$$

Графічно щільність розподілу можна представити в такий спосіб (рис.9.4).

Вид розподілу щільності ймовірності зумовлюється законом розподілу, а точніше сказати функцією розподілу.

Розглянемо три основних закони розподілу випадкових величин, що найчастіше зустрічаються на транспорті.

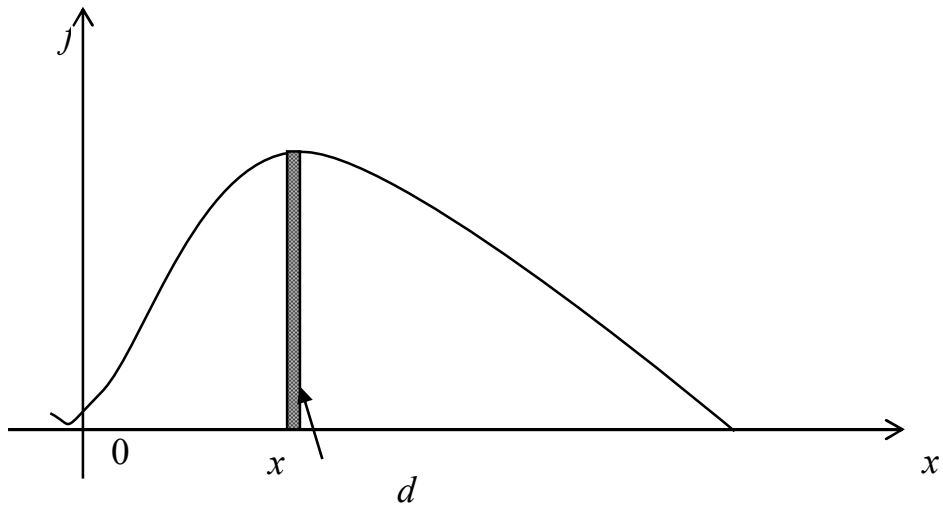


Рисунок 9.4 – Графічний показ щільності розподілу

1. Рівномірний закон розподілу неперервної випадкової величини.

Щільність ймовірності для рівномірно розподіленої випадкової величини має вигляд:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} \text{ при } x \in (a; b) \\ 0 \text{ при } x \notin (a; b) \end{cases} \quad (9.17)$$

Графічно вираз (9.17) можна представити таким чином:

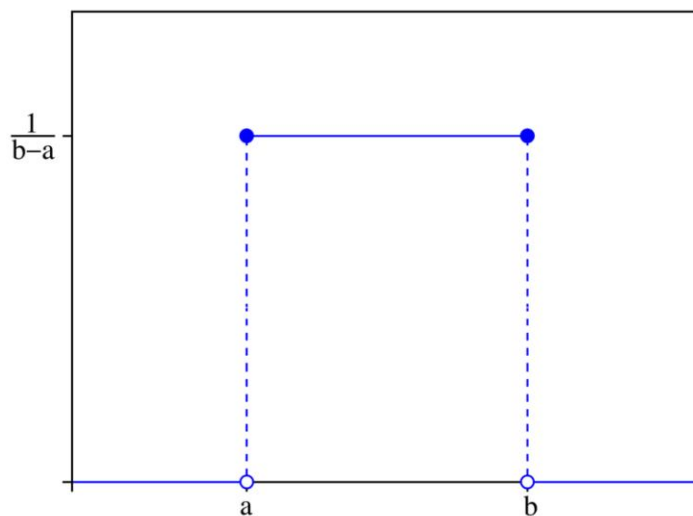


Рисунок 9.5 – Графік щільності розподілу рівномірної с.в.

Математичне очікування в цьому випадку дорівнює

$$\mu_x = \frac{a + b}{2}. \quad (9.18)$$

При моделюванні, як правило, основою для визначення значень параметрів елементів транспортного процесу використовується випадкова величина рівномірно розподілена в інтервалі від (0; 1).

1. Показовий (експонентний) закон розподілу неперервної випадкової величини.

Щільність ймовірності, розподіленої по показовому закону, має вигляд:

$$f(x) = \begin{cases} \lambda \cdot e^{-\lambda x} & \text{при } x > 0 \\ 0 & \text{при } x \leq 0 \end{cases}. \quad (9.19)$$

Величина λ є параметром розподілу. Графік показового розподілу має такий вигляд:

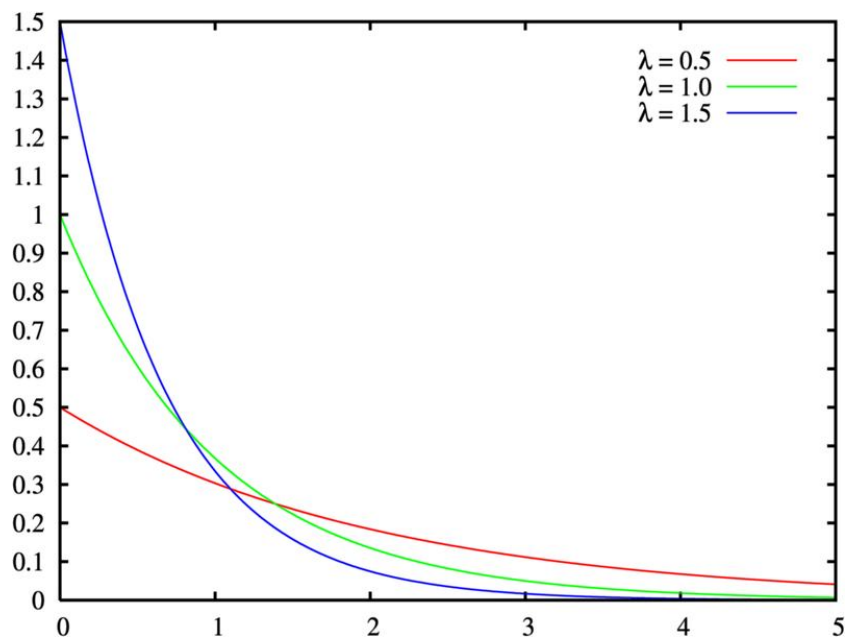


Рисунок 9.6 – Графік щільності розподілу показовою с.в.

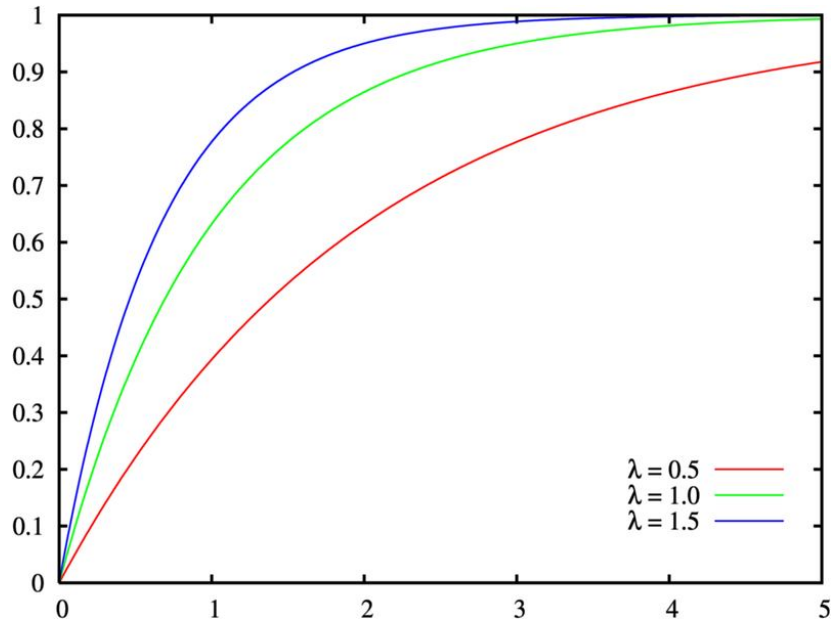


Рисунок 9.7 – Графік показової функції розподілу с.в.

Функція розподілу: $F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$

Отримання випадкової величини:

$$\begin{aligned}
 \omega &= F(x) \\
 \omega &= 1 - e^{-\lambda \cdot x} \\
 e^{-\lambda \cdot x} &= 1 - \omega \\
 \lambda \cdot x &= \ln(1 - \omega) \\
 x &= \frac{1}{\lambda} \cdot \ln(1 - \omega)
 \end{aligned}
 \tag{9.20}$$

1. Нормальний закон розподілу:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}},
 \tag{9.21}$$

Випадкова величина, яка формується на основі рівномірно розподілених в інтервалі (0; 1).

$$\xi_i = \sum_{t=1}^{12} \psi_t - 6. \quad (9.22)$$

Центрування і масштабування випадкової величини:

$$x = \sigma \cdot \xi_i + \mu_V. \quad (9.23)$$

Питання для самоконтролю

1. Яка мета експерименту?
2. На що спрямований штучний експеримент?
3. Які етапи планування експериментальних досліджень ви знаєте?
4. Що таке вихідний параметр?
5. За яких умов план є ортогональним?
6. Яким має бути факторний простір в рамках планування експерименту?
7. Від чого залежить кількість дослідів у плані експерименту ?
8. Як визначається мінімальна кількість необхідних серій дослідів?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лекции по моделированию транспортных систем [Электронный ресурс]
Режим доступа : http://vk.com/doc-43418084_378726731.
2. Лотиш В. В. Моделювання транспортних систем : конспект лекцій : для студентів спеціальності 8.05020203 – Автоматика та автоматизація на транспорті (за видами транспорту) денної форми навчання / В. В. Лотиш ; Луцький НТУ. – Луцьк : Луцький НТУ, 2015. – 28 с.
3. Горев А. Э. Основы теории транспортных систем : учеб. пособие / А. Э. Горев; СПбГАСУ. – СПб : 2010. – 214 с.
4. Семёнов В. В. Исторический анализ моделирования транспортных процессов и транспортной инфраструктуры / В. В. Семёнов – М. : Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2015.
5. Россолов А. В. Моделирование транспортных систем : Конспект лекций : для студентов транспортных ВУЗов направления подготовки 6.070101 – Транспортные технологии / А. В. Россолов; ХНАДУ. – Харьков : ХНАДУ, 2013. – 65 с.

Навчальне видання

ДАВІДІЧ Юрій Олександрович
ФАЛЕЦЬКА Галина Іванівна

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ»

*(для магістрів усіх форм навчання
спеціальності 275 – Транспортні технології)*

Відповідальний за випуск *В. К. Доля*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *Г. І. Фалецька*

План 2017, поз. 145Л

Підп. до друку 26.04.2017. Формат 60×84 1/16

Друк на різнографі

Ум. друк. арк. 2,6

Зам. №

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач

Харківський національний університет
міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.