

Заняття 2 / Лекція 2.

МОДЕЛЮВАННЯ ЯК ПРОЦЕС ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Введення

- 1. Роль і місце моделювання в дослідженнях систем управління силами (військами) і засобами (зброєю).**
- 2. Етапи побудови математичної моделі.**
- 3. Основні методи аналітичного моделювання систем управління.**
- 4. Методи імітаційного моделювання систем управління.**

ЛІТЕРАТУРА:

- 1. Информационные технологии в системах управления силами ВМФ (теория и практика, состояние и перспективы развития). – СПб.: Элмор, 2005. – 832 с.**
- 2. Моделювання бойових дій військ (сил) ППО та інформаційне забезпечення процесів управління ними: [монографія] / В.П. Городнов, Г.А. Дробаха, М.О. Єрмошин, Є. Б. Смірнов, В.І. Ткаченко. – Харків: ХВУ, 2004. – 409 с. (С.52-76)**
- 3. Меньков А.В. Теоретические основы автоматизированного управления: учебник для вузов / А.В. Меньков, В.А. Острейковский. – М.: Оникс, 2005. – 640 с.**
- 4. Математичне та програмне забезпечення АСУ спеціального призначення: навч. посібник / Б.І. Нізієнко, С.А. Войтович, Ю.В. Глебов, І.Г. Кіріллов; за заг. ред. Б. І. Нізієнко. – Х.: ХУПС, 2006. – 200 с.**

Під **МАТЕМАТИЧНИМ** забезпеченням (відповідно до ГОСТ) розуміється сукупність **МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ**, методів і алгоритмів вирішення завдань обробки інформації з використанням засобів обчислювальної техніки.



Рисунок 1 – Узагальнені етапи процесу моделювання як критерію пізнання **ІСТИНИ** [2]

1. Роль і місце моделювання в дослідженнях систем управління силами (військами) і засобами (зброєю)

1.1. Характеристика процесу моделювання

МОДЕЛЬ - це подумки представлена чи матеріалізована система, яка заміщає деякий об'єкт (оригінал) подібним з ним за властивостями образом, служить засобом відтворення відомої і отримання нової інформації про оригінал.

Сутність моделювання: заміщення одного об'єкту (оригінала) іншим (моделлю, образом).

Мета моделювання: виявлення властивостей оригіналу шляхом дослідження властивостей моделі.

Моделювання - один із способів вивчення (дослідження) різних явищ.

Моделювання – одна з найважливіших складових частин системних досліджень процесів і систем управління силами (військами) і бойовими засобами (зброєю).

1. Роль і місце моделювання в дослідженнях систем управління силами (військами) і засобами (зброєю)

МЕТОДОЛОГІЧНІ основи моделювання:

- для будь-якої системи можна побудувати **БЕЗПІЧ** моделей, які будуть відрізнятися ступенем деталізації реального об'єкта;
- модель **ЗАВЖДИ** носить **наближений характер** у порівнянні з оригіналом;
- «ефект» від використання моделі **повинен перевищувати ВИТРАТИ** ресурсів на її створення та застосування;
- дотримання **ПРИНЦИПА ДОМІРНОСТІ**, що вимагає щоб систематична помилка моделювання (відхилення моделі від опису модельованої системи) була порівнянна з похибкою опису і з похибкою вихідних даних;
- **модульна побудова моделі**;
- **ВІДКРИТІСТЬ** моделі;
- забезпечення необхідної якості організації робіт з моделювання (ступінь залучення фахівців різних галузей знань), **особливо на ПОЧАТКОВИХ ЕТАПАХ** досліджень.

1. Роль і місце моделювання в дослідженнях систем управління силами (військами) і засобами (зброєю)

1.2. Загальна характеристика математичних моделей

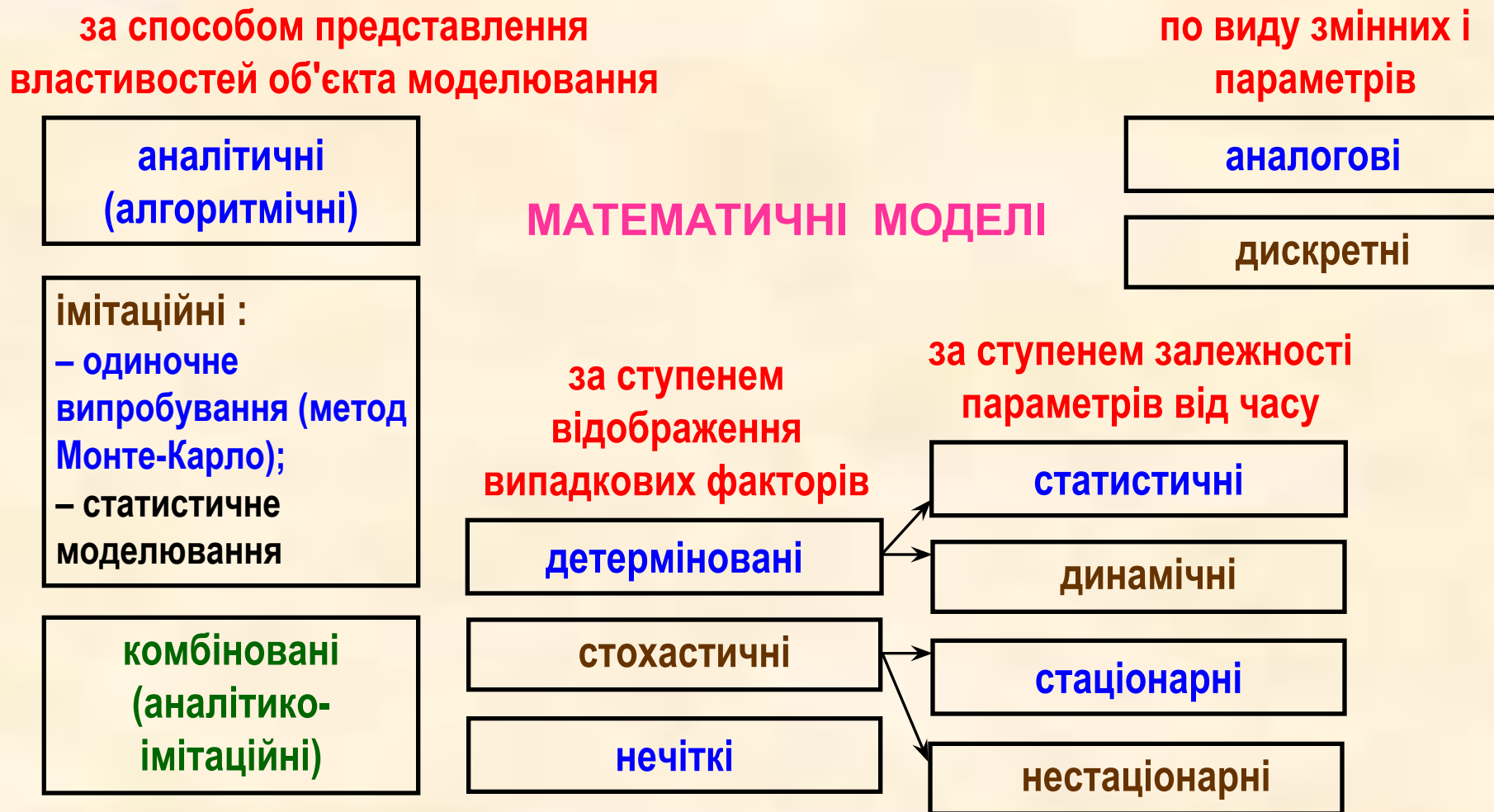


Рисунок 2 – Основні різновиди математичних моделей

1. Роль і місце моделювання в дослідженнях систем управління силами (військами) і засобами (зброєю)

Звичайно під **МАТЕМАТИЧНОЮ МОДЕЛЛЮ** об'єкта розуміють сукупність відносин, виражених за допомогою системи математичних позначень, які відображають його найбільш істотні властивості.

По ряду інших класифікаційних ознак розрізняють **МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ**:

- лінійні і нелінійні моделі;
- нейромережеві і графові моделі;
- моделі штучного інтелекту і евристичні моделі;
- логічні і лінгвістичні моделі;
- моделі **ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ** та інші.

1.3. Вимоги до математичних моделей систем управління

Загальні вимоги:

- **ПОВНОТА** математичної моделі;
- **ТОЧНІСТЬ** математичної моделі;
- **АДЕКВАТНІСТЬ** математичної моделі;
- **ЕКОНОМІЧНІСТЬ** математичної моделі;
- **РОБАСТНІСТЬ** математичної моделі;
- продуктивність математичної моделі.

2. Етапи побудови математичної моделі системи

Загальних способів побудови математичних моделей не існує !!!

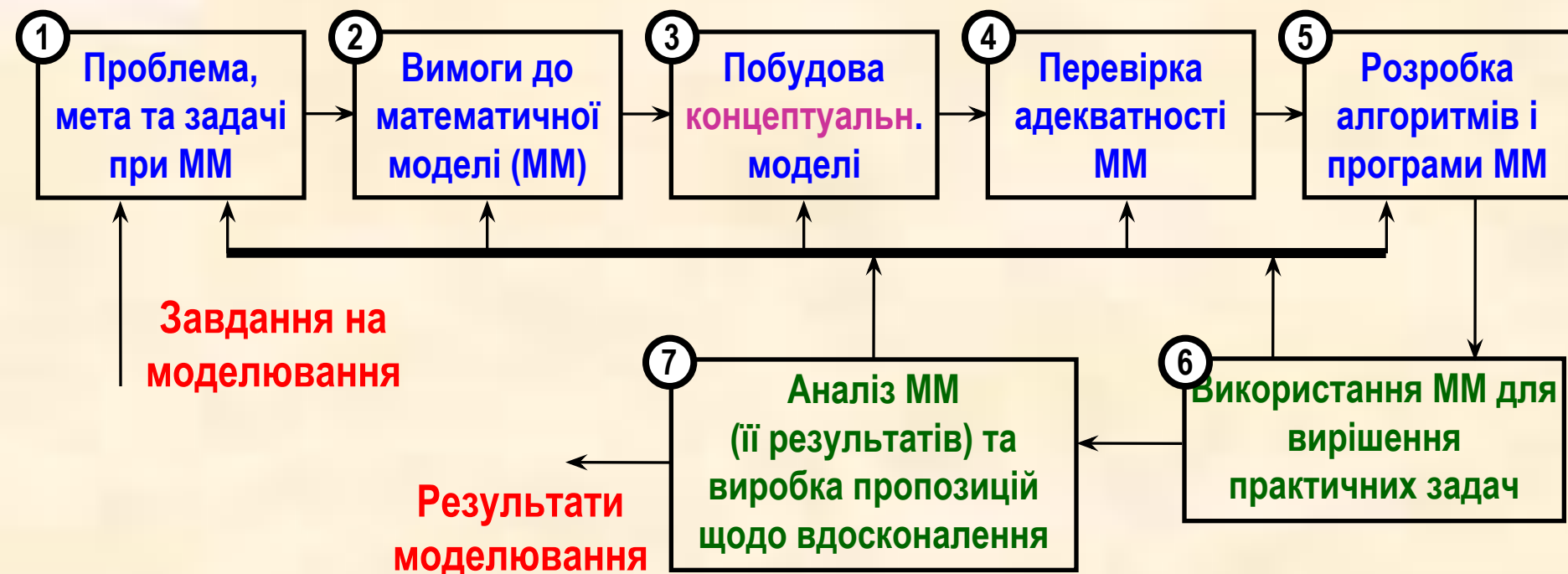


Рисунок 3 – Основні етапи побудови математичних моделей

3:

- вербальна модель;

КОНЦЕПТУАЛЬНА модель;

контроль, випробування, верифікація, валідація;

7:

- прийняття рішення про працездатність системи;

- прогнозування поведінки системи;

- оптимізація системи та інш.

2.1. Адекватність моделювання систем управління

Адекватність – відповідність моделі оригіналу (системі, що моделюється).

Вимога **АДЕКВАТНОСТІ** знаходиться в протиріччі з вимогою **ПРОСТОТИ**.

Адекватність – комплексне поняття, що включає поняття **КОРЕКТНОСТІ**, **КОРИСНОСТІ** і **ТОЧНОСТІ**.

ТОЧНІСТЬ моделі - ступінь

близькості значень її кількісних параметрів реальними параметрами системи або процесу (часто розглядається як окрема властивість)

КОРИСНІСТЬ моделі – ступінь відповідності очікуваних результатів (носить прагматичний, змістовний характер)

КОРЕКТНІСТЬ моделі - чіткість, повнота змістовного опису, стійкість і єдиність одержуваного результату в однакових умовах

2.2. Моделювання на основних стадіях життєвого циклу АСУ

Основні групи стадій життєвого циклу АСУ:

- стадії **передпроектної** групи (задуму на створення системи) створення **КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ** проектної моделі, формування інформаційно-логічної моделі взаємодії елементів бойової системи;
- стадії **проектної** групи, на яких ґрунтуються організаційно-технічні рішення;
- стадія **бойового застосування і експлуатації**, на якій обґрунтовуються способи дії сил і застосування засобів, а також способи забезпечення стійкості функціонування АСУ в умовах протидії противника.

ВИСНОВКИ

3. Методы аналитического моделирования систем управления

3.1. Особенности аналитического моделирования методами математического программирования

Для АСУ с изменяющимся во времени количеством **объектов обслуживания (ОО)**, например, воздушных целей, в условиях ограниченных ресурсов **объектов управления (ОУ)**, например, ЗРК, оптимизация процессов управления содержит в себе задачи двух видов:

- распределение ОУ по конкретным ОО, или просто *задача распределения* (назначения);
- распределение ресурсов ОУ по периодам функционирования АСУ (с учетом всей информации об ОО) – *задача планирования*.

Используемые при моделировании методы математического программирования:

- методы **НЕЛИНЕЙНОГО** математического программирования – **метод последовательного распределения** (для выпуклых целевых функций);
- методы **ЛИНЕЙНОГО** математического программирования:
 - а) **нецелочисленного**:
 - симплекс-метод,
 - метод потенциалов и др.;
 - б) **ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО**:
 - метод Гомори (разновидность симплекс-метода);
 - венгерский метод;
 - метод ветвей и границ;
 - приближенные методы и др.

ПРИМЕР 1. (оптимизация параметра при ограничении аналогичного параметра)

Распределить M функциональных задач между N пунктами управления (среднее время решения каждой из задач на каждом из ПУ известно), обеспечив минимум общего времени решения при выполнении ограничений на время выполнения задач в каждом из ПУ.

Математическая модель задачи :

- целевая функция :
$$F_{opt} = \min \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N t_{ij} \cdot x_{ij}; \quad \sum_{j=1}^N x_{ij} = 1 \quad (x_{ij} \in 0, 1)$$
- ограничения :
$$\sum_{i=1}^M t_{ij} \cdot x_{ij} \leq t_j \quad (j \in 1, N)$$
- решение (матрица назначений):
$$\mathbf{X} = \{x_{ij}\}_{i,j=1}^{M,N}$$

Классическая задача ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО математического программирования

Метод решения – приближенный (например, максимума элемента матрицы) с учетом специфики задачи

Практические методы решения задач распределения (назначения)

1

0

ПРИМЕР 2. (оптимизация одного параметра при ограничении другого параметра)

Распределить M функциональных задач между N пунктами управления (среднее время решения каждой из задач на каждом из ПУ известно), обеспечив минимум общего времени решения при выполнении ограничений на общие затраты реализации задач в ПУ.

Математическая модель задачи :

- целевая функция : $F_{opt} = \min \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N t_{ij} \cdot x_{ij}; \quad \sum_{j=1}^N x_{ij} = 1 \quad (x_{ij} \in 0, 1)$
- ограничения : $\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N r_{ij} \cdot x_{ij} \leq B$
- решение (матрица назначений) : $\mathbf{X} = \{x_{ij}\}_{i,j=1}^{M,N}$

Задача **ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО** математического программирования

Метод решения – **приближенный** (например, **максимума элемента матрицы**) с учетом специфики задачи и элементами метода «ветвей и границ»

$$\sum_{i=1}^{k-1} \bar{b}_i + b_{kj} + \sum_{i=k+1}^M \bar{b}_i \leq B \quad - \text{условие исключения элемента } b_{kj} \text{ из рассмотрения ;}$$

$(k \in 1, M; j \in 1, N)$

$$\bar{b}_i = \min_j b_{ij} \quad (i \in 1, M) \quad - \text{минимальный элемент в строке матрицы затрат.}$$

3.2. Особенности аналитического моделирования с использованием систем массового обслуживания

Системой массового обслуживания (СМО) называется система, состоящая из каналов для обслуживания заявок и «накопителей» для временного их хранения.

Классификация СМО Кендалла – Башарина $(A / B / C) : (D / E / F),$

A - входной поток заявок на обслуживание ;

B - поток обслуживания заявок в системе массового обслуживания ;

C - число каналов обслуживания (**первая тройка символов обязательна**);

D - дисциплина постановки и обслуживания заявок в накопителе;

E - емкость накопителя;

F - длина популяции (общее число заявок, которые поступят на обработку в систему массового обслуживания).

Некоторые условные обозначения при задании потоков:

- простейший поток – M ; - поток Пуассона – P ; - детерминированный поток – D ;

- равномерный поток – N ; - поток Эрланга k -го порядка – E_k ; - поток общего вида - G

Дисциплины обслуживания – простейшие из них : $FIFO, LIFO$.

$M/M/1:FIFO/\infty/\infty$ – простейшая СМО, процесс обработки – МАРКОВСКИЙ, для получения количественных характеристик используются **МАРКОВСКИЕ цепи с непрерывным временем**

2 **Случайный процесс называется МАРКОВСКИМ** (процессом без последствия), если для каждого момента времени вероятность любого состояния процесса в будущем зависит только от его состояния в настоящий момент и не зависит от того, каким образом он оказался в этом состоянии.

Марковский процесс с конечным числом состояний называется МАРКОВСКОЙ ЦЕПЬЮ (непрерывные и дискретные).

ЦЕПЬ называется **дискретной**, если исследуемый случайный процесс – дискретный во времени, т.е. смена состояний происходит в дискретные моменты времени – такты).

Существует два способа задания марковских цепей: **графическое** и **матричное**.

Примеры использования МАРКОВСКИХ ЦЕПЕЙ при моделировании:

- организация обстрела воздушных целей ЗРК. Каждое состояние в этом случае может характеризовать этап решения задачи, а также число целей (своих ЗРК), сохранивших боеспособность;
- организация функционирования систем разведки воздушного пространства. В этом случае каждое состояние может описывать факты обнаружения, сопровождения, потери контакта с целями;
- моделирование процесса технического обслуживания системы управления и ее подсистем. Здесь могут быть рассмотрены состояния, связанные с этапами технического обслуживания, с фактами выхода из строя отдельных элементов, их восстановлением, отказами подсистем и всей системы в целом.

Марковский процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем называется марковской цепью с непрерывным временем или непрерывной марковской цепью.

Смену состояний случайного процесса описывают дифференциальные уравнения Колмогорова, в которых неизвестными являются вероятности нахождения марковского процесса в различных состояниях.

Для каждого состояния строится одно дифференциальное уравнение первого порядка, в левой части которого записывается производная этой вероятности по времени, а в правой части – потоки вероятностей.

Под потоком вероятности понимают произведение вероятности нахождения процесса в некотором состоянии на интенсивность перехода в данное состояние или выхода из него.

Со знаком «плюс» записывают потоки вероятностей, входящие в состояние, со знаком «минус» – потоки вероятностей, выходящие из состояния.

В случае, если анализируемый случайный процесс стационарный, вероятности его нахождения в различных состояниях не зависят от времени и остаются постоянными.

ПРИМЕР 3.

Оценить **эффективность** системы управления пункта наведения (ПН), который позволяет одновременно наводить n истребителей на цели, описав ее моделью системы массового обслуживания (СМО) без очереди. Записать систему дифференциальных уравнений Колмогорова, описывающих СМО, при интенсивности налета λ и интенсивности μ «обслуживание» одним истребителем одной цели.

Решение.

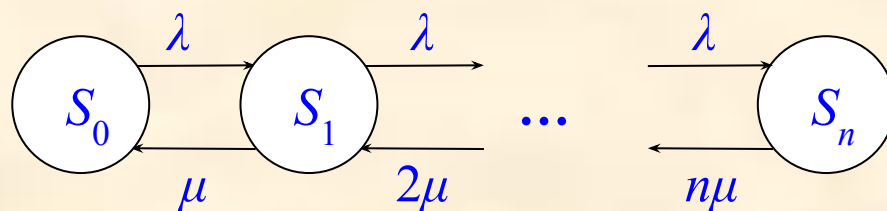


Рисунок 4 – Граф состояний системы

Потоки вероятностей

$$\begin{cases} \partial P_0 / \partial t = -\lambda P_0 + \mu P_1; \\ \partial P_1 / \partial t = -[\lambda + \mu] \cdot P_1 + \lambda P_0 + 2\mu P_2; \\ \dots \\ \partial P_n / \partial t = -n\mu P_n + \lambda P_{n-1}. \end{cases}$$

Как изменится система дифференциальных уравнений для стационарного случая?

$$\partial P_i / \partial t = 0$$

$$P_i = \frac{\rho^i}{i!} \cdot P_0; \quad \rho = \frac{\lambda}{\mu}; \quad P_0 = \left(\sum_{i=0}^n \frac{\rho^i}{i!} \right)^{-1};$$

Мат.ожидание числа «обслуживаемых» целей

$$m_C = \sum_{k=1}^n k \cdot P_k = P_0 \cdot \sum_{k=1}^n \frac{\rho^k}{(k-1)!}$$

Примеры использования многофазных СМО для моделирования вычислительных систем

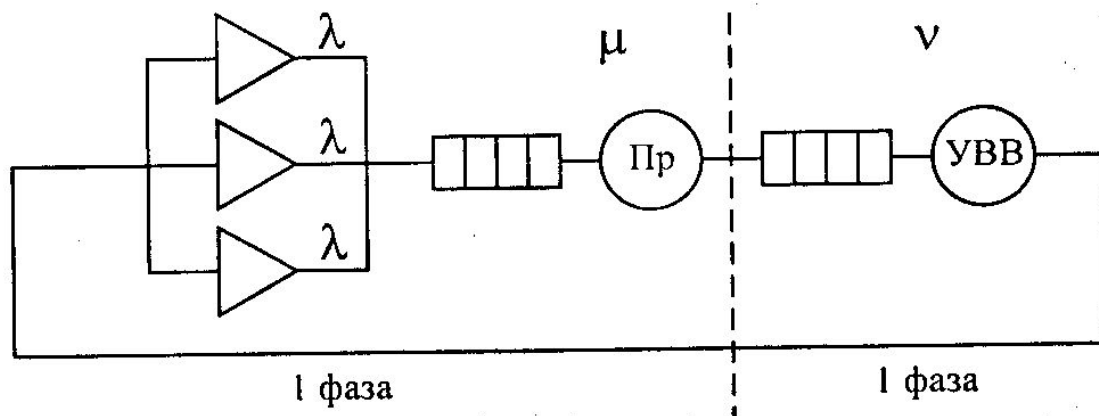


Рисунок 5 – Структура двухфазной СМО, моделирующая вычислительную систему

ПРИМЕР 4.

Разработать модель вычислительной системы, состоящей из 3-х автоматизированных рабочих мест, одного центрального процессора (Пр) и одного устройства ввода-вывода (УВВ) в виде **ДВУХФАЗНОЙ** СМО

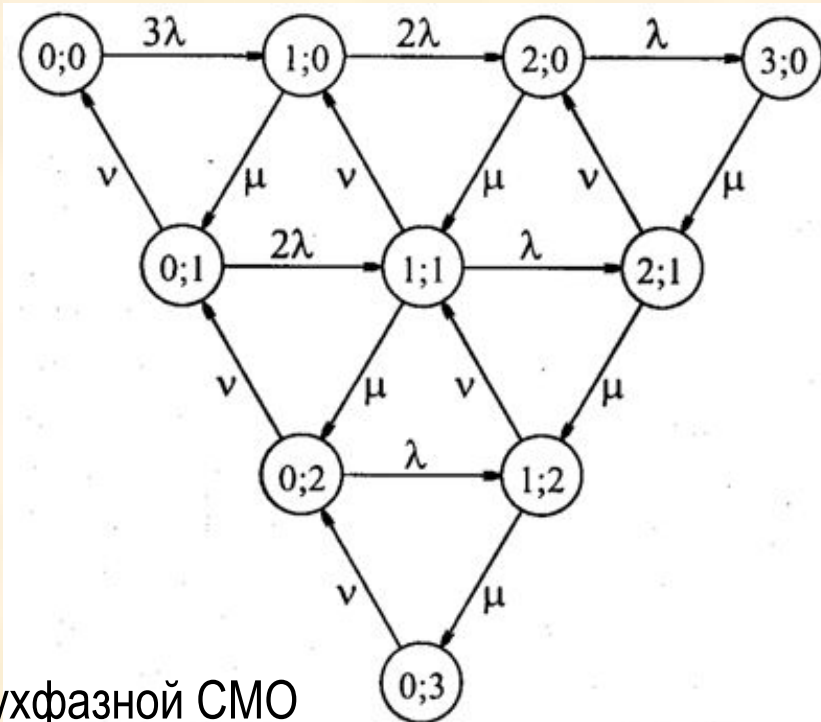


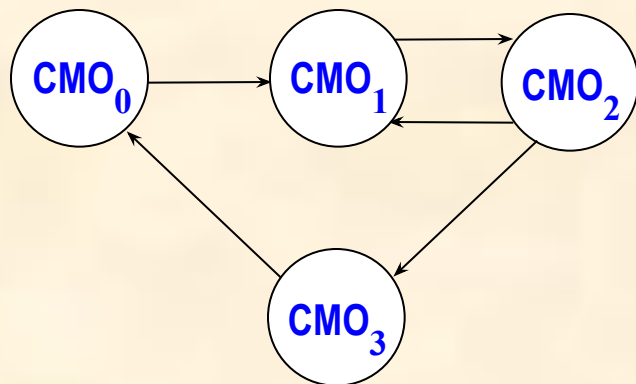
Рисунок 6 – Граф марковской цепи для двухфазной СМО

Использование стохастических сетей (совокупность взаимосвязанных СМО) для моделирования взаимодействующих систем

ПРИМЕР 5.

Поток воздушных целей поступает в систему с темпом $\bar{\tau}$. Определить время цикла управления $\bar{T}$, если :

- обработка в ВК реализуется циклически в среднем за время $\bar{t}$;
- оператор (ЛПР) принимает решение, рекомендованное ВК, или корректирует его;
- после принятия решения оператором (ЛПР) ЦУ выдается на огневые средства ЗРК .



СМО₀ – модель СОЦ и огневых средств ЗРК;
СМО₁ – модель процесса выработки на ВК плана обстрела целей;
СМО₂ – модель действий оператора АРМ ;
СМО₃ – модель процесса обработки и передачи ЦУ на огневые средства ЗРК

Рисунок 7 – Граф стохастической сети

3.3. Методи рішення задач прийняття рішень (ЗПР)



Рисунок 8 – Класифікація задач прийняття рішень

Методи рішення (моделі) однокритерійних ЗПР

ЗПР в умовах невизначеності

ЗПР в умовах ризику (стохаст.визначен.)

$Q = \{q_{ij}\}_{i,j=1}^{m,n}$ -матриця виграшів (ефективності)

Невизначеність нестохастичної природи

2. Невизначеність стохастичної природи

2. Оптимізація в середньому

Стратегічні невизначеності

Однорівневі ЗПР

Неантагоністичні ЗПР

Різновиди критеріїв

Байєса

Лапласа

Вальда

Гурвіца

Севіджа

$$F^* = \max_i \sum_{j=1}^n p_j \cdot q_{ij} \quad F^* = \min_i \sum_{j=1}^n p_j \cdot r_{ij}$$

$$F^* = \frac{1}{n} \max_i \sum_{j=1}^n q_{ij} \equiv \max_i \sum_{j=1}^n q_{ij}$$

$$F^* = \max_i \min_j q_{ij}$$

$$F^* = \max_i \left[\beta \cdot \min_j q_{ij} + (1 - \beta) \cdot \max_j q_{ij} \right]$$

$$F^* = \min_i \max_j r_{ij}$$

ВИСНОВКИ

4. Методи імітаційного моделювання систем управління

4.1. Метод Монте-Карло (одиначного випробування)

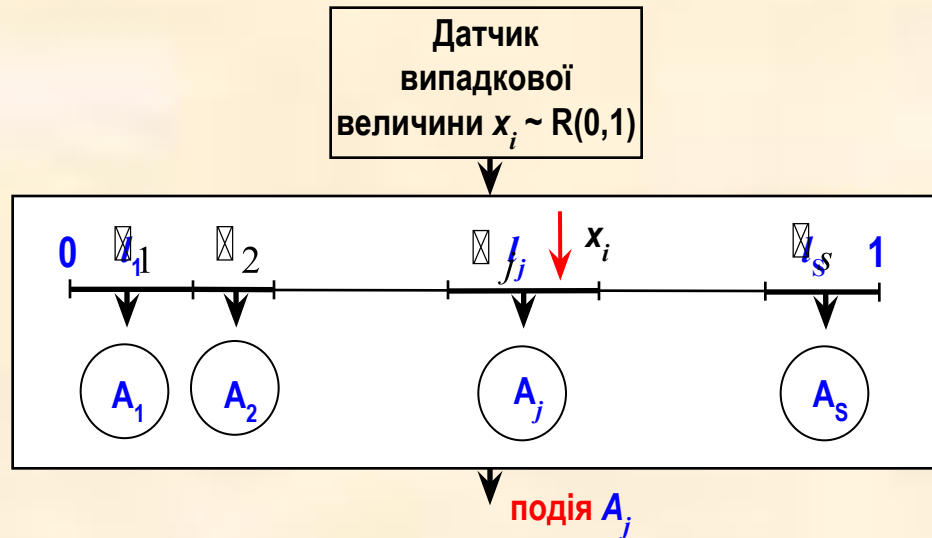


Рисунок 9 – Схема імітації випадкової події A_j

Основні співвідношення алгоритму
одиначного випробування

$$L_{j-1} \leq x_i \leq L_j; \quad j \in 1, s; \quad i \in 1, 2, \dots$$

$$L_j = \sum_{k=1}^j x_k = \sum_{k=1}^j p_k; \quad x_k = p_k$$

$$L_0 = 0$$

s – кількість станів системи;

i – номер одиначного випробування

4.2. Методи статистичного моделювання

В основі лежать методи формування випадкових величин із заданими законами розподілу та кореляційними властивостями. Ці величини імітують значення істотних параметрів систем.

1. Методи формування незалежних випадкових величин із заданим законом розподілу :

- метод функціонального перетворення ;
- метод кусочно-лінійної апроксимації функції або щільності розподілу та інш.

2. Методи формування корельованих відліків нормальних випадкових величин :

- метод лінійного перетворення та інш.

