**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Методические рекомендации для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Б1.Б.16. Моделирование систем управления

Направление подготовки (специальность) 27.03.04 **“**Управление в технических системах**”**

Профиль образовательной программы " Информационные управляющие комплексы систем безопасности объектов "

Форма обучения *заочная*

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1.1. Организационно-методические данные дисциплины

№ п.п.	Наименование темы	Общий объем часов по видам самостоятельной работы				
		подготовка курсового проекта (работы)	подготовка реферата/эссе	индивидуальные домашние задания (ИДЗ)	самостоятельное изучение вопросов (СИВ)	подготовка к занятиям (ПкЗ)
1	2	3	4	5	6	7
1.	**Раздел 1. Классификация видов моделирования**		**х**		**20**	
1.1.	**Тема 1.** Общие сведения		х		10	
1.2.	**Тема 2.** Принципы подхода в моделировании систем. Классификация видов моделирования систем		х		10	
2.	**Раздел 2. Математические схемы моделирования систем**		**х**		**42**	
2.1.	**Тема 3.** Понятие математической схемы.		х		10	
2.2.	**Тема 4.**Дискретно-детерминированные модели (F–схемы).		х		8	
2.3.	**Тема 5.** Дискретно-стохастические модели (P–схемы).		х		8	
2.4.	**Тема 6.** Непрерывно-стохастические модели (Q–схемы).		х		8	
2.5.	**Тема 7.** Обобщённые модели (A–схемы).		х		8	
3.	**Раздел 3. Формализация и алгоритмизация процесса функционирования систем**		**х**		**44**	
3.1.	**Тема 8.** Последовательность		х		11	

	разработки и машинной реализации моделей.					
3.2.	**Тема 9.** Построение концептуальной модели системы и её формализация.		х		11	
3.3.	**Тема 10.** Алгоритмизация модели и её машинная реализация.		**х**		11	
3.4.	**Тема 11.** Получение и интерпретация результатов моделирования.		х		11	
4.	**Раздел 4. Моделирование систем массового обслуживания**		х		**22**	
4.1.	**Тема 12.** Имитационное моделирование.		**х**		11	
4.2	**Тема 13.** Среда и функциональная структура языка моделирования GPSS.		х		11	

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ВОПРОСОВ

2.1. Тема 1 Общие сведения.

Необходимо рассмотреть следующие вопросы

Теория подобия и моделирования

Моделирование в современной науке и практике исследований

При изучении различных физических явлений применяют два метода исследований, которые позволяют получить количественные закономерности для рассматриваемых явлений. В первом методе используют экспериментальное изучение конкретных свойств, единичного, явления, во втором исходят из теоретического исследования рассматриваемой проблемы.

Достоинством экспериментального метода исследования является достоверность получаемых результатов. Кроме того, при выполнении эксперимента основное внимание можно сосредоточить на изучении величин, представляющих наибольший практический интерес.

Основной недостаток экспериментального метода заключается в том, что результаты данного эксперимента не могут быть использованы применительно к другому явлению, которое в деталях отличается от изученного. Поэтому выводы, сделанные на основании анализа результатов данного экспериментального исследования, не допускают распространения их на другие явления.

Второй метод исследования для нахождения количественных зависимостей, который широко применяется современной наукой, рассматривается в математической или теоретической физике.

При выводе дифференциальных уравнений теоретической физики используются самые общие законы природы. Приложение этих законов к изучаемым явлениям позволяет получить наиболее общие связи между физическими параметрами, характеризующими явления.

Любое дифференциальное уравнение (или система уравнений) является математической моделью целого класса явлений. Под *классом понимается* такая *совокупность явлений, которая характеризуется одинаковым механизмом процессов и одинаковой физической природой.*

Явления, которые входят в класс, подчиняются одинаковым уравнениям, как по форме записи, так и по физическому содержанию входящих в него величин.

При интегрировании любого дифференциального уравнения можно получить бесчисленное множество различных решений, удовлетворяющих этому уравнению.

Чтобы из множества решений получить одно частное, надо знать все характерные особенности данного явления, выделяющие его из всего класса однородных явлений. Эти дополнительные условия, которые вместе с дифференциальным уравнением однозначно определяют единичное явление, называют *условиями однозначности.*

Условия однозначности состоят из: 1) геометрических условий, характеризующих форму и размеры тела или системы; 2) физических условий, которыми обладают тела, составляющие данную систему; 3) граничных условий, которые характеризуют взаимодействие системы с окружающей средой; 4) временных условий, характеризующих протекание процесса в начальный момент времени (для стационарных процессов временные условия отпадают).

В большинстве случаев и, в частности, в случае конвективного теплообмена из-за сложности изучаемых явлений найти решение, удовлетворяющее дифференциальным уравнениям и условиям однозначности, невозможно.

Следовательно, если недостатком экспериментального метода исследования является невозможность распространения результатов, полученных в данном опыте, на другие явления, отличающиеся от изученного, то недостатком математической физики является невозможность перейти от класса явлений, характеризуемых дифференциальными уравнениями и условиями однозначности, к единичному конкретному явлению. Каждый из этих методов в отдельности не может быть эффективно использован для решения практических задач.

Если положительные стороны математического и экспериментального методов исследования объединить в одно целое, то можно получить универсальный аппарат для изучения различных явлений природы. Такое объединение обоих методов осуществляется *теорией подобия*.

Подобными явлениями называются такие физические явления, которые одинаковы качественно по форме и по содержанию, т.е. имеют одну физическую природу, развиваются под действием одинаковых сил и описываются одинаковыми по форме дифференциальными уравнениями и краевыми условиями.

Обязательным условием подобия физических явлений должно быть геометрическое подобие систем, где эти явления протекают. Два физических явления будут подобны лишь в том случае, если будут подобны все величины, которые характеризуют их.

Для всех подобных систем существуют безразмерные комплексы величин, которые называются *критериями* или *числами подобия*.

Основные положения теории подобия формулируют в виде 3-х *теорем подобия.*

1 *теорема*: Подобные явления имеют одинаковые числа подобия.

2 *теорема*: Любая зависимость между переменными, характеризующая какие-либо явления, может быть представлена, в виде зависимости между числами подобия, составленными из этих переменных. Эта зависимость называется *критериальным уравнением*.

3 *теорема*: Подобны те явления, условия однозначности которых подобны, и числа подобия, составленные из условий однозначности, численно равны.

Числа подобия, составленные из величин, входящих в условия однозначности называются *определяющими*. Числа подобия, в которые входят искомые величины, называются *определяемыми*.

Конкретные числа подобия получают в результате анализа дифференциальных уравнений описывающих изучаемое явление. Применительно к конвективному теплообмену наиболее распространены числа подобия представленные в таблице:

Название	Символ	Определение числа	Физическое содержание
Число Нуссельта	Nu		Безразмерный коэффициент теплоотдачи. Характеризует связь между интенсивностью теплоотдачи и температурным полем в пограничном слое потока.
Число Рейнольдса	Re		Мера отношения сил инерции и вязкости в потоке жидкости. Определяет режим течения жидкости.
Число Грасгофа	Gr		Мера отношения силы молекулярного трения к подъемной силе, обусловленной различием плотностей жидкости в отдельных точках неизотермического потока.
Число Прандтля	Pr		Характеризует влияние физических свойств жидкости на конвективный теплообмен.

В таблице приняты следующие обозначения:

l_0 - *определяющий размер*, т.е. характерный линейный размер, оказывающий основное влияние на процесс конвективного теплообмена, м;

w – скорость потока жидкости, м/с;

l - коэффициент теплопроводности среды, Вт/(м×К);

g - ускорение силы тяжести, м/с^2;

n - коэффициент кинематической вязкости, м^2/с;

b - коэффициент объемного расширения, К$^{-1}$;

a - коэффициент температуропроводности среды, м^2/с.

Число Nu содержит неизвестный коэффициент теплоотдачи a – искомую величину, поэтому является *определяемым* числом подобия. Зная число Нуссельта, определяют коэффициент теплоотдачи a = Nu×l/l_0. Числа Pr, Gr и Re – являются *определяющими*.

Физические параметры, входящие в числа подобия зависят от температуры. Поэтому заранее оговаривается при какой температуре их следует выбирать. Эта температура называется *определяющей.*

При конвективном теплообмене уравнения подобия могут быть представлены в следующем виде:

$Nu = f(Re, Gr, Pr)$

Такая зависимость между числами подобия есть следствие второй теоремы теории подобия.

Зависимость между числами подобия в основном определяется опытным путем.

В случае вынужденного движения жидкости и при развитом турбулентном режиме свободная конвекция в сравнении с вынужденной очень мала, поэтому уравнение подобия теплоотдачи упрощается:

$Nu = f(Re, Pr)$.

Для некоторых газов величина числа Прандтля Pr в процессе конвективного теплообмена почти не изменяется с температурой, поэтому уравнение подобия принимает более простой вид:

$Nu = f(Re)$.

При свободном движении жидкости, когда вынужденная конвекция отсутствует, вместо числа Рейнольдса в уравнение подобия необходимо ввести число Грасгофа. Отсюда получаем

$Nu = f(Gr, Pr)$.

Опытное исследование теплоотдачи капельных жидкостей показало, что коэффициент теплоотдачи a будет величиной, различной в условиях нагревания и охлаждения стенки. Это явление связано с изменением физических параметров жидкости в пограничном слое.

Рекомендуется учитывать направление теплового потока соотношением $e_t = (Pr_{ж}/Pr_{c})^{0,25}$, где $Pr_{ж}$ – число Прандтля при температуре жидкости, а Pr_{c} – число Прандтля при температуре стенки. Тогда общее уравнение подобия для конвективного теплообмена принимает следующий вид:

$Nu = c\ Re^{n} \times Gr^{b} \times Pr^{m} \times e_t$.

В такой же форме можно представить все уравнения для частных случаев. Количественная связь между числами подобия и является предметом экспериментальных исследований.

Моделирование. Опытное исследование различных физических явлений вообще и тепловых явлений в частности может быть проведено путем непосредственного изучения исследуемого явления на образце или изучения его на *модели*. Условия, которым должны удовлетворять модель и протекающий в ней процесс, дает теория подобия.

Все подобные друг другу явления некоторой группы представляют собой одно и то же явление, данное в различных масштабах. Следовательно, изучение определенного конкретного явления данной группы равносильно изучению любого другого явления той же группы. Поэтому в тех случаях, когда непосредственное опытное исследование конкретного явления в образце-натуре затруднительно по техническим или экономическим причинам, его заменяют изучением подобного явления в модели.

Моделированием называют метод экспериментального исследования, в котором изучение какого-либо физического явления производится на уменьшенной модели. Идея о моделировании вытекает из того, что всякое явление, описанное в безразмерных переменных, отражает признаки группы подобных явлений.

Для того чтобы модель стала подобна образцу, необходимо выполнить следующие условия. Моделировать можно процессы, имеющие одинаковую физическую природу и описываемые одинаковыми дифференциальными уравнениями. Условия однозначности должны быть одинаковы во всем, кроме численных значений постоянных, содержащихся в этих условиях. Условия однозначности требуют: геометрического подобия образца и модели, подобия условий движения жидкости во входных сечениях образца и модели, подобия физических параметров в сходственных точках образца и модели, подобия температурных полей на границах жидкой среды. Кроме того, одноименные определяющие числа подобия в сходственных сечениях образца и модели должны быть численно одинаковы.

Практически точное осуществление всех условий моделирования выполнить затруднительно. Поэтому была разработана методика приближенного моделирование заключающаяся в стабильности и автомодельности потока и применяющая *метод локальности*.

Геометрическое подобие образца и модели осуществить нетрудно. Подобное распределение скоростей во входном сечении также может быть выполнено относительно просто. Подобие физических параметров в потоке жидкости для модели и образца выполняется лишь приближенно, а подобие температурных полей у поверхностей нагрева в модели и образце осуществить очень трудно. В связи с этим применяютприближенный метод локального моделирования.

Локальное моделирование заключается в том, что подобие температурных полей осуществляется не во всем объеме аппарата, а в отдельных его местах – сечениях, где производится исследование теплоотдачи. Равенство определяющих критериев в образце и модели может быть выполнено приближенно.

Явление *автомодельности* заключается в том, что при движении жидкости для довольно широкого диапазона скоростей имеет место почти не меняющееся распределение скорости в данном сечении, т. е. оно практически перестает зависеть от Re.

В настоящее время моделирование является одним из основных методов научного исследования и широко используется во многих областях науки и техники.

2.2. Тема 2 Принципы подхода в моделировании систем. Классификация видов моделирования систем.

Необходимо рассмотреть следующие вопросы

Понятие сложной системы.

Подсистемы и элементы

2.3. Тема 3 Понятие математической схемы. Непрерывно-детерминированные модели (*D*–схемы).

Структура, функции, переменные, параметры

состояния и характеристики большой системы

Модели и их роль в изучении процессов

2.4. Тема 4 Дискретно-детерминированные модели (F–схемы). Конечные автоматы

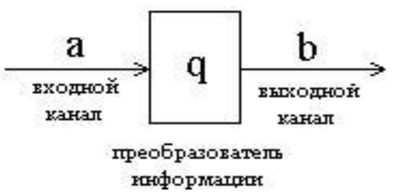
Способы задания работы автоматов

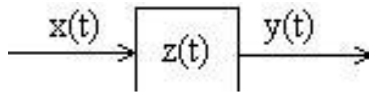
При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Для задания автомата необходимо указать 3 множества:

A – множество входных сигналов (входной алфавит), B – множество выходных сигналов (выходной алфавит),
Q – множество внутренних состояний автомата (алфавит состояний).

Если A, B, Q – конечные множества, то соответствующий автомат называется ***конечным***.





Время работы автомата считается дискретным t = 0, 1, 2, 3, …. . Входные, выходные сигналы и состояния автомата являются функциями от времени: $a = x(t)$, $b = y(t)$, $q = z(t)$.

Выходные сигналы определяются **функцией выхода**: F: A·Q → B, т.е. $F(a, q)=b$, где $a\in A$, $b\in B$, $q\in Q$.

За смену состояния автомата отвечает **функция следующего состояния** (функция перехода): G: A·Q → Q, т.е. G(a, q) = q'.

Кроме того, особо выделяют начальное состояние q_0.

Подводя итог вышесказанному, можно дать определение автомата:

Определение 4.1. **Конечным абстрактным автоматом** называется система

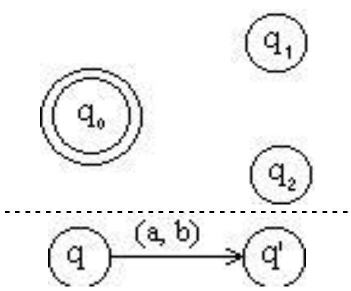
$\alpha = \langle A, B, Q, F, G, q_0\rangle$.

3) Графический – с помощью **диаграммы Мура**.
Определение 4.2. **Диаграмма Мура** это ориентированный корневой граф:

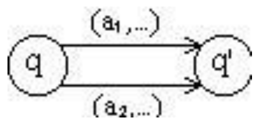
(а) множество вершин которого совпадает с множеством Q;

(б) его ребра (a, b), где $a\in A$, $b\in B$; причем для $\forall q \in Q$ и для $\forall a\in A$ существует толь-ко одно ребро, выходящее из вершины q, в котором первая буква – a.

$F(a, q) = b$



$G(a, q) = q'$

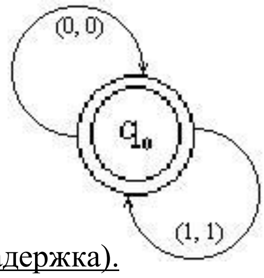


Примеры автоматов:

1) <u>Тривиальный</u> $Q = \{q_0\}$, $A=B=E_2=\{0; 1\}$.

x(t)	z(t-1)	y(t)	z(t)
0	q_0	0	q_0
1	q_0	1	q_0

Диаграмма Мура:



2) <u>Автомат с запаздыванием</u> <u>(автомат-задержка).</u>

A=B=Q={0; 1}

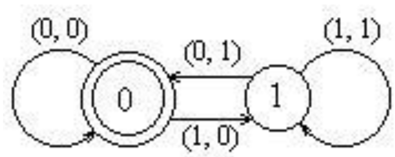
$$y(t) = z(t-1),$$

Определение: $z(t) = x(t),$ Из определения следует, что $y(t) = x(t-1)$.

$$z(0) = 0.$$

x(t)	z(t-1)	y(t)	z(t)
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	1	1

Диаграмма Мура:

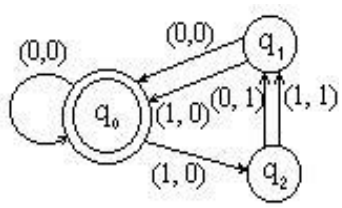


3) <u>Автомат с тремя состояниями</u> <u>(покой,</u> <u>возбуждение и промежуточное состояние)</u>:

A=B=E_2, $Q = \{\underbrace{q_0}_{\text{покой}}, q_1, \underbrace{q_2}_{\text{возбуждение}}\}$

x(t)	z(t-1)	y(t)	z(t)
0	q_0	0	q_0
1	q_0	0	q_2
0	q_1	0	q_0

1	q_1	0	q_0
0	q_2	1	q_1
1	q_2	1	q_1



Словарные функции

Пусть $A = \{a_1, \ldots, a_k\}$ – набор букв (алфавит),

$\alpha = \alpha_1\alpha_2\ldots\alpha_n$ – слово ($\alpha_i \in A$), $|\alpha|$ - длина слова (число букв, из которых состоит слово), λ - пустое слово, $|\lambda| = 0$.

<u>Свойства</u>:

1) Свойство пустого слова: $\lambda\alpha = \alpha\lambda = \alpha$
2) Ассоциативность: $(\alpha\beta)\chi = \alpha(\beta\chi)$
3) Некоммутативность: $\alpha\beta \neq \beta\alpha$

<u>Обозначения</u>:

A^n – множество всех слов длины n.

$A^* = \bigcup_{n=0}^{\infty} A^n$ - множество всех слов, которые можно составить из букв алфавита A.

Сверхслово – слово, состоящее из бесконечного числа букв.

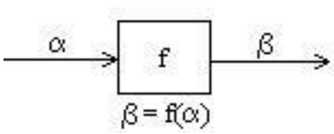
A^ω - множество всех сверхслов $\alpha_1\alpha_2\ldots$

Отображение f: $A^* \to B^*$ называется **словарной функцией**.

Примеры:

1) $f(x) = \lambda$
2) $f(x) = x$
3) $f(x_1, \ldots, x_n) = x_n x_{n-1} \ldots x_1$ f(сон) = нос
4) $A=B=\{0, 1\} \Rightarrow f(x_1, \ldots, x_n) = x_1, x_1 \vee x_2, x_2 \vee x_3, \ldots, x_{n-1} \vee x_n$

Определение 4.3. Словарная функция называется **автоматной**, если существует автомат, реализующий ее.



Покажем, что действительно словарную функцию f: $A^* \to B^*$ можно реализовать автоматом. Введем функцию g: $A^* \to Q$. Пусть $g(\alpha)$ – состояние, в которое перейдет автомат после подачи сигнала α. Тогда

$$f(\lambda) = \lambda$$

$$f(\alpha\beta) = f(\alpha)\, F(\beta, g(\alpha))$$

, где F – функция выхода.

$g(\lambda) = q_0$ - начальное состояние автомата

$g(\alpha\beta) = G(\beta, g(\alpha))$ - функция следующего состояния автомата

Таким образом, соответствие между функцией f и автоматом <A, B, Q, F, G, q_0> установ-лено.

Определение 4.4. Словарная функция f(x) называется **детерминированной**, если выполняются условия:

1) длины выходного и входного слов равны между собой: $|f(\alpha)| = |\alpha|$;
2) для любых слов $\alpha, \beta \in A^*$ слово $f(\alpha)$ – начало слова $f(\alpha\beta)$, то есть $f(\alpha\beta)=f(\alpha)f_\alpha(\beta)$, где $f_\alpha(\beta)$ – остаточная функция для слова α.

Пример:

$f_\alpha(\beta) = \alpha \vee \beta_1, \beta_1 \vee \beta_2, \ldots$

$\alpha=0 \Rightarrow f_\alpha(\beta) = \beta_1, \beta_1 \vee \beta_2, \ldots = g(\beta)$

$\alpha=1 \Rightarrow f_\alpha(\beta) = 1, \beta_1 \vee \beta_2, \ldots = h(\beta)$

$g(\beta)$ и $h(\beta)$ – разные остаточные функции.

<u>Утверждение</u>: Функция, остаточная к детерминированной, есть детерминированная функ-ция.

Доказательство:

Докажем f_α – детерминированная, если $f(x)$ – детерминированная. Для этого прове-рим выполнение двух условий из определения детерминированной функции (4.4).

1) $|f_\alpha(\beta)| = |\beta|$?

Так как f детерминированная то:

а) $|f(\alpha,\beta)| = |\alpha\beta| = |\alpha| + |\beta|$ (1)

б) $f(\alpha,\beta) = f(\alpha)f_\alpha(\beta)$ и, следовательно,

$$|f(\alpha,\beta)| = |f(\alpha)| + \cdot |f_\alpha(\beta)| = |\alpha| + \cdot |f_\alpha(\beta)|. \quad (2)$$

Из (1) и (2) следует

$$|f_\alpha(\beta)| = |\beta|$$

2) $f\alpha(\beta\gamma) = f\alpha(\beta)\delta$?

Так как f детерминированная, то

$$f(\alpha\beta\gamma) = f(\alpha)\, f\alpha(\beta\gamma)\,. \qquad (3)$$

С другой стороны,

$$f(\alpha\beta\gamma) = f(\alpha\beta)\, f\alpha\beta(\gamma) = f(\alpha) f\alpha(\beta)\, f\alpha\beta(\gamma)\,. \qquad (4)$$

Из (3) и (4) следует:

$$f\alpha(\beta\gamma) = f\alpha(\beta)\, f\alpha\beta(\gamma)\,.$$

$f\alpha\beta(\gamma) = \delta$ - остаточная функция к функции f_α.

Поскольку выполнены оба условия детерминированной функции, то f_α - детерминированная функция.

Вывод: Мы доказали, что если f – детерминированная, то:

1) $f\alpha$ – детерминированная,
2) $(f\alpha)\beta = f\alpha\beta$ - детерминированная,
3) $f(x_1, ..., x_n) = f(x_1)\, f_{x_1}(x_2, ..., x_n) = f(x_1)\, f_{x_1}(x_2)\, f_{x_1x_2}(x_3, ..., x_n) =$
$= f(x_1) f_{x_1}(x_2) \ldots f_{x_1 \ldots x_{n-1}}(x_n)\,.$

Другими словами, функция $f(x_1, x_2, \ldots, x_n, \ldots) = y_1, y_2, \ldots, y_n, \ldots$ - детерминированная, если y_n зависит от $x_1, x_2, \ldots, x_n$, но не зависит от последующих входных символов $x_{n+1}, x_{n+2}, \ldots$

Пример: $\varphi(x(1), x(2), \ldots) = x(2)x(3)\ldots$, то есть $y(t) = x(t+1)$, $t \geq 1$.

Данная функция не является детерминированной, так как y(t) зависит от входного сигнала в следующий момент времени.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

В теории автоматов изучаются также более сложные модели, например вероятностные (недетерминированные или стохастические) автоматы. Вероятностные автоматы отличаются тем, что в них переходы из одного состояния в другое происходят случайным образом, т.е. входной сигнал может вызывать переход из текущего состояния в различные состояния с некоторой вероятностью. Вероятностный автомат может быть задан в виде графа или таблицы переходов, которая принимает вид матрицы переходных вероятностей. Задание алгоритма работы вероятностного автомата рассмотрим на примере автомата управления светофором (АУС) на перекрестке улиц с различной интенсивностью движения. Этот автомат преимущественно пропускает транспорт по улице с интенсивным движением (магистрали) и не перекрывает ее при появлении на поперечной улице каждой отдельной машины. Естественно, что численные значения вероятностей переключения светофора и длительность его сигналов выбираются исходя из реальных условий. Схема такого перекрестка может быть представлена в виде рисунка 11.1. На перекрестке установлены светофоры (С) и датчики (Д) наличия транспорта на поперечной улице. Сигналы от датчиков являются входными сигналами для автомата. Выходным сигналом автомата является сигнал управления светофором. Для простоты будем считать, что автомат имеет только два состояния: проезд по магистрали открыт (Q0) или закрыт (Q1). Очевидно, что при открытом движении по магистрали движение по поперечной улице запрещено и наоборот. Входным сигналом является сигнал от датчика наличия транспорта на поперечной улице

2.5Тема 5 Дискретно-стохастические модели (P–схемы). Вероятностные автоматы

Необходимо рассмотреть следующие вопросы

Аналитические и имитационные модели

Комбинированные (аналитико-имитационные) модели

Методы машинной реализации моделей

2.6 Тема 6 Непрерывно-стохастические модели (*Q*–схемы).

Непрерывно-стохастические модели на примере систем массового обслуживания

При непрерывно-стохастическом подходе в качестве типовых математических схем применяется система массового обслуживания (англ. queueing system), которые будем называть Q-схемами. Системы массового обслуживания представляют собой класс математических схем, разработанных в теории массового обслуживания и различных приложениях для формализации процессов функционирования систем, которые по своей сути являются процессами обслуживания.

В качестве процесса обслуживания могут быть представлены различные по своей физической природе процессы функционирования экономических, производственных, технических и других систем, например потоки поставок продукции некоторому предприятию, потоки деталей и комплектующих изделий на сборочном конвейере цеха, заявки на обработку информации ЭВМ от удаленных терминалов и т. д.

При этом характерным для работы таких объектов является случайное появление заявок (требований) на обслуживание и завершение обслуживания в случайные моменты времени, т. е. стохастический характер процесса их функционирования. Остановимся на основных понятиях массового обслуживания, необходимых для использования Q-схем, как при аналитическом, так и при имитационном.

В любом элементарном акте обслуживания можно выделить две основные составляющие:

ожидание обслуживания заявки;

собственно обслуживание заявки.

Описать поведение непрерывных и дискретных, детерминированных и стохастических систем

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Этот подход позволяет описывать поведение непрерывных и дискретных, детерминированных и стохастических систем, т. е. по сравнению с рассмотренными является обобщенным (универсальным) и базируется на понятии агрегативной системы (от англ. aggregate system), представляющей собой формальную схему общего вида, которую будем называть A-схемой .

Анализ существующих средств моделирования систем и задач, решаемых с помощью метода моделирования на ЭВМ, неизбежно приводит к выводу, что комплексное решение проблем, возникающих в процессе создания и машинной реализации модели, возможно лишь в случае, если моделирующие системы имеют в своей основе единую формальную математическую схему, т. е. А-схему.

Такая схема должна одновременно выполнять несколько функций:

· являться адекватным математическим описанием системы S;

· служить основой для построения алгоритмов и программ при машинной реализации модели М;

· позволять в упрощенном варианте (для частных случаев) проводить аналитические исследования.

· при агрегативном подходе сначала дается формальное определение объекта моделирования – агрегативной системы, которая является математической схемой, отображающей системный характер изучаемых объектов.

При агрегативном описании сложный объект (система) разбивается на конечное число частей (подсистем), сохраняя при этом связи, обеспечивающие их взаимодействие. Если некоторые из полученных подсистем оказываются в свою очередь еще достаточно сложными, то процесс их разбиения продолжается до тех пор пока не образуются подсистемы, которые в условиях рассматриваемой задачи моделирования могут считаться удобными для математического описания. В результате такой декомпозиции сложная система представляется в виде многоуровневой конструкции из взаимосвязанных элементов, объединенных в подсистемы различных уровней.

В качестве элемента А-схемы выступает агрегат, а связь между агрегатами осуществляется с помощью оператора сопряжения R. агрегат сам может рассматриваться как А-схема, т. е. может разбиваться на элементы (агрегаты) следующего уровня.

2.7 Тема 7 Обобщённые модели (*А*–схемы).

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Имитационное моделирование – это разработка и выполнение на компьютере программной системы, отражающей структуру и функционирование (поведение) моделируемого объекта или явления во времени. Такую программную систему называют имитационной моделью этого объекта или явления. Объекты и сущности имитационной модели представляют объекты и сущности реального мира, а связи структурных единиц объекта моделирования отражаются в интерфейсных связях соответствующих объектов модели. Таким образом, имитационная модель – это упрощенное подобие реальной системы, либо существующей, либо той, которую предполагается создать в будущем. Имитационная модель обычно представляется компьютерной программой, выполнение программы можно считать имитацией поведения исходной системы во времени

В русскоязычной литературе термин «моделирование» соответствует американскому «modeling» и имеет смысл создание модели и ее анализ, причем под термином «модель» понимается объект любой природы, упрощенно представляющий исследуемую систему.

Слова «имитационное моделирование» и «вычислительный (компьютерный) эксперимент» соответствуют англоязычному термину «simulation». Эти термины подразумевают разработку модели именно как компьютерной программы и исполнение этой программы на компьютере.

Итак, имитационное моделирование – это деятельность по разработке программных моделей реальных или гипотетических систем, выполнение этих программ на компьютере и анализ результатов компьютерных экспериментов по исследованию поведения моделей. Имитационное моделирование имеет существенные преимущества перед аналитическим моделированием в тех случаях, когда:

– отношения между переменными в модели нелинейны, и поэтому аналитические модели трудно или невозможно построить;

– модель содержит стохастические компоненты;

– для понимания поведения системы требуется визуализация динамики происходящих в ней процессов;

– модель содержит много параллельно функционирующих взаимодействующих компонентов.

Во многих случаях имитационное моделирование – это единственный способ получить представление о поведении сложной системы и провести ее анализ.

Имитационное моделирование может использоваться при принятии решений на стадиях проектирования и анализа производственных систем (например, конвейерных линий или складских помещений), транспортных систем (автомагистралей, портов, метрополитена), различных организаций, предоставляющих сервисы массового обслуживания (парикмахерских, центров обработки заказов по телефону, больниц, автозаправок, банков), социальных и финансовых систем и т. п

2.8 Тема 8 Последовательность разработки и машинной реализации моделей При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

На втором этапе моделирования – этапе алгоритмизации модели и ее машинной реализации – математическая модель, сформированная на первом этапе, воплощается в конкретную машинную модель. Принципы построения моделирующих алгоритмов Процесс функционирования системы S можно рассматривать как последовательную смену ее состояний в -мерном пространстве. Очевидно, что задачей моделирования процесса функционирования исследуемой системы S является построение функций z, на основе которых можно провести вычисление интересующих характеристик процесса функционирования системы. Для этого должны иметься соотношения, связывающие функции z с переменными, параметрами и временем, а также начальные условия в момент времени . Для детерминированной системы , в которой отсутствуют случайные факторы, состояние процесса в момент времени может быть однозначно определено из соотношений математической модели по известным начальным условиям. Если шаг достаточно мал, то таким путем можно получить приближенные значения z. Для стохастической системы , т.е. системы, на которую оказывают воздействия случайные факторы, функция состояний процесса z в момент времени и соотношения модели, определяют лишь распределение вероятностей для в момент времени . В общем случае и начальные условия могут быть случайными, задаваемыми соответствующим распределением вероятностей. При этом структура моделирующего алгоритма для стохастических систем соответствует детерминированной системе. Только вместо состояния необходимо вычислять распределение вероятностей для возможных состояний. Такой принцип построения моделирующих алгоритмов называется принципом . Это наиболее универсальный принцип, позволяющий определить последовательные состояния процесса функционирования системы S через заданные интервалы времени . Но с точки зрения затрат машинного времени он иногда оказывается неэкономичным. При рассмотрении процессов функционирования некоторых систем можно обнаружить, что для них характерны два типа состояний: 1) особые, присущие процессу функционирования системы только в некоторые моменты времени (моменты поступления входных или управляющий воздействий, возмущений внешней среды и т.п.); 2) не особые, в которых процесс находится все остальное время. Особые состояния характерны еще и тем, что функции состояний в эти моменты времени изменяются скачком, а между особыми состояниями изменение координат происходит плавно и непрерывно или не происходит совсем. Таким образом, следя при моделировании системы S только за ее особыми состояниями в те моменты времени, когда эти состояния имеют место, можно получить информацию, необходимую для построения функции . Очевидно, для описанного типа систем могут быть построены моделирующие алгоритмы по "принципу особых состояний". Обозначим скачкообразное (релейное) изменение состояния z как , а «принцип особых состояний» – как принцип . «Принцип » дает возможность для ряда систем существенно уменьшить затраты машинного времени на реализацию моделирующих алгоритмов по сравнению с «принципом ». Логика построения моделирующего алгоритма, реализующего «принцип », отличается от рассмотренной для «принципа » только тем, что включает в себя процедуру определения момента времени , соответствующего следующему особому состоянию системы S. Для исследования процесса функционирования больших систем рационально использование комбинированного принципа построения моделирующих алгоритмов, сочетающих в себе преимущества каждого из рассмотренных принципов.

2.9 Тема 9 Построение концептуальной модели системы и её формализация Концептуальная модель и ее формализация

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

На первом этапе машинного моделирования – построения концептуальной модели МК системы и её формализации – формулируется модель и строится её формальная схема, т.е. основным назначением этого этапа является переход от содержательного описания объекта к его математической модели, другими словами, процессу формализации.

Моделирование систем на ЭВМ в настоящее время – наиболее универсальный и эффективный метод оценки характеристик систем. Наиболее ответственным и наименее формализованными моментами в этой работе являются проведение границы между системой и внешней средой, упрощение описания системы и построение сначала концептуальной, а затем формальной модели системы. Модель должна быть адекватной, иначе невозможно получить положительные результаты моделирования, т.е. исследование процесса функционирования системы на неадекватной модели вообще теряет смысл. Под адекватной моделью понимается модель, которая с определённой степенью приближения на уровне понимания моделируемой системы разработчиком модели отражает процесс её функционирования во внешней среде.

Наиболее рационально строить модель функционирования системы по блочному принципу. При этом могут быть выделены три автономные группы блоков модели. Блоки первой группы представляют собой имитатор воздействий внешней среды на систему; блоки второй группы являются собственно моделью процесса функционирования исследуемой системы; блоки третьей группы – вспомогательные, служат для машинной реализации блоков двух первых групп, а также для фиксации и обработки результатов моделирования.

2.10 Тема 10 Алгоритмизация модели и её машинная реализация.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности

Стохастические системы и возможности

их компьютерного моделирования

Датчики случайных чисел. Метод Монте-Карло

2.11 тема 11 Получение и интерпретация результатов моделирования.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности

Имитация случайных событий при имитационных

экспериментах со стохастическими системами

2.12 Тема 12 Имитационное моделирование.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности

Общая характеристика СМО-моделирования на ЭВМ

Примеры систем и сетей массового обслуживания

Аналитические методы расчета характеристик пуассоновских СМО

2.13 Тема 13 Среда и функциональная структура языка моделирования GPSS.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности

Моделирование потоков заявок в реальных системах.

Моделирование станций обслуживания и очередей

Моделирование СМО в пространстве состояний