

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

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.11 Моделирование систем

Направление подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника

Профиль образовательной программы Автоматизированные системы
обработки информации и управления

Форма обучения заочная

СОДЕРЖАНИЕ

1. Конспект лекций Моделирование систем

1.1 Лекция № 1 Общие сведения

1.2 Лекция № 2 Дискретно-стохастические модели

2. Методические указания по выполнению лабораторных работ

2.1 Лабораторная работа № ЛР-1 Общие сведения

2.2 Лабораторная работа № ЛР-2 Понятие математической схемы

2.3 Лабораторная работа № ЛР-3 Обобщённые модели

2.4 Лабораторная работа № ЛР-4 Последовательность разработки и машинной реализации моделей.

2.5 Лабораторная работа № ЛР-5 Имитационное моделирование. Среда и функциональная структура языка моделирования GPSS.

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1.1 Лекция №1 (1 час).

Тема: «Общие сведения»

1.1.1 Вопросы лекции:

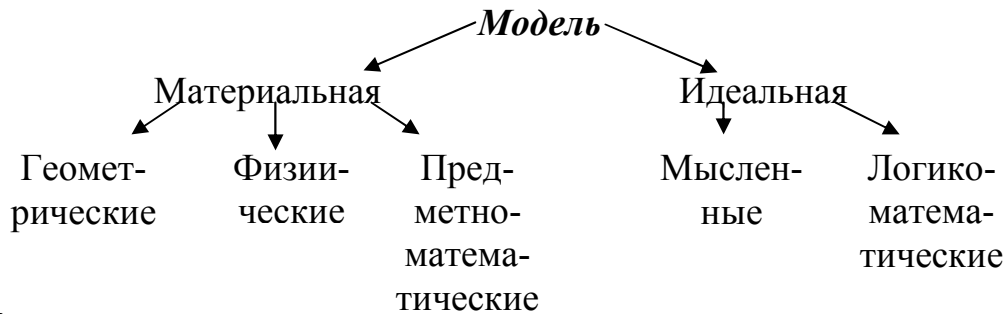
1. Предмет теории моделирования.
2. Роль и место моделирования в исследовании систем.
3. Классификация видов моделирования.
4. Математические схемы моделирования систем.
5. Принципы подхода в моделировании систем.
6. Классификация видов моделирования систем.

1.1.2 Краткое содержание вопросов:

1. Предмет теории моделирования.

Моделирование - это замещение одного объекта (оригинала) другим (моделью) и фиксация и изучение свойств модели. Замещение производится с целью упрощения, удешевления, ускорения изучения свойств оригинала.

Модель (лат. *modulus*— мера) — это объект-заместитель объекта-оригинала, обеспечивающий изучение некоторых свойств оригинала.



Компьютерная модель – это программная реализация математической модели, дополненная различными служебными программами (например, рисующими и изменяющими графические образы во времени). Компьютерная модель имеет две составляющие – программную и аппаратную. Программная составляющая так же является абстрактной знаковой моделью. Это лишь другая форма абстрактной модели, которая, однако, может интерпретироваться не только математиками и программистами, но и техническим устройством – процессором компьютера.

Таким образом, моделирование может быть определено как представление объекта моделью для получения информации об этом объекте путем проведения экспериментов с его моделью. Теория замещения одних объектов (оригиналов) другими объектами (моделями) и исследования свойств объектов на их моделях называется теорией моделирования.

Теория моделирования — взаимосвязанная совокупность положений, определений, методов и средств создания моделей. Сами модели являются предметом теории моделирования.

Теория моделирования является основной составляющей общей теории систем - системологии, где в качестве главного принципа постулируются осуществимые модели: система представима конечным множеством моделей, каждая из которых отражает определённую грань её сущности.

2. Роль и место моделирования в исследовании систем.

Познание любой системы (S) сводится по существу к созданию её модели. Перед изготовлением каждого устройства или сооружения разрабатывается его модель - проект. Любое произведение искусства является моделью, фиксирующее действительность.

Достижения математики привели к распространению математических моделей различных объектов и процессов. Подмечено, что динамика функционирования разных по

физической природе систем однотипными зависимостями, что позволяет моделировать их на ЭВМ.

На качественно новую ступень поднялась моделирование в результате разработки методологии имитационного моделирования на ЭВМ.

Сейчас трудно указать область человеческой деятельности, где бы применялось моделирование. Разработаны модели производства автомобилей, выращивания пшеницы, функционирования отдельных органов человека, жизнедеятельности Азовского моря, атомного взрыва, последствий атомной войны.

Специалисты считают, что моделирование становится основной функцией ВС. На практике широко используются АСУ технологическими процессами организационно-экономическими комплексами, процессами проектирования, банки данных и знаний. Но любая из этих систем нуждается в информации об управляемом объекте и модели управляемой объектом, в моделировании тех или иных управляющих решений.

Сами ВС как сложные и дорогостоящие технические системы могут являться объектами моделирования.

Обычно процесс разработки сложной системы осуществляется итерационно с использованием моделирования проектных решений. Если характеристики не удовлетворяют предъявленным требованиям, то по результатам анализа производят корректировку проекта, затем снова проводят моделирование.

При анализе действующих систем с помощью моделирования определяют границы работоспособности системы, выполняют имитацию экспериментальных условий, которые могут возникнуть в процессе функционирования системы. Искусственное создание таких условий на действительной системе затруднено и может привести к катастрофическим последствиям.

Применение моделирования может быть полезным при разработке стратегии развития ВС, её усовершенствования при создании сетей ЭВМ.

В настоящее время при анализе и синтезе сложных (больших) систем получил развитие системный подход, который отличается от классического (или индуктивного - путем перехода от частного к общему и синтезирует (конструирует) систему путем слияния ее компонент, разрабатываемых отдельно) подхода. В отличие от этого системный подход предполагает последовательный переход от общего к частному, когда в основе рассмотрения лежит цель, причем исследуемый объект выделяется из окружающей среды.

Понятие системы и элемента системы. Специалисты по проектированию и эксплуатации сложных систем имеют дело с системами управления различных уровней, обладающими общим свойством - стремлением достичь некоторой цели. Эту особенность учтем в следующих определениях системы.

Система S — целенаправленное множество взаимосвязанных элементов любой природы.

Внешняя среда E — множество существующих вне системы элементов любой природы, оказывающих влияние на систему или находящихся под ее воздействием.

Понятие модели. Модель — представление объекта, системы или понятия, в некоторой форме, отличного от их реального существования.

Моделирование — во-первых, построение модели, во-вторых, изучение модели, в-третьих, анализ системы на основе данной модели.

При системном подходе к моделированию систем необходимо прежде всего четко определить цель моделирования. Применительно к вопросам моделирования цель возникает из требуемых задач моделирования, что позволяет подойти к выбору критерия и оценить, какие элементы войдут в создаваемую модель M. Поэтому необходимо иметь критерий отбора отдельных элементов в создаваемую модель.

3. Классификация видов моделирования.

Физические модели. В основу классификации положена степень абстрагирования модели от оригинала. Предварительно все модели можно подразделить на 2 группы — физические и абстрактные (математические).

Ф.М. обычно называют систему, эквивалентную или подобную оригиналу, но возможно имеющую другую физическую природу. Виды Ф.М.:

- натуральные;
- квазинатуральные;
- масштабные;
- аналоговые;

Натуральные модели — это реальные исследуемые системы (макеты, опытные образцы). Имеют полную адекватность (соответствия) с системой оригиналом, но дороги.

Квазинатуральные модели — совокупность натуральных и математических моделей. Этот вид используется тогда, когда модель части системы не может быть математической из-за сложности её описания (модель человека оператора) или когда часть системы должна быть исследована во взаимодействии с другими частями, но их ещё не существует или их включение очень дорого (вычислительные полигоны, АСУ).

Масштабная модель — это система той же физической природы, что и оригинал, но отличается от него масштабами. Методологической основой масштабного моделирования является теория подобия. При проектировании ВС масштабные модели могут использоваться для анализа вариантов компоновочных решений.

Аналоговые модели называют системы, имеющие физическую природу, отличающуюся от оригинала, но сходные с оригиналом процессы функционирования. Для создания аналоговой модели требуется наличие математического описания изучаемой системы. В качестве аналоговых моделей используются механические, гидравлические, пневматические и электрические системы. Аналоговое моделирование использует при исследовании средства ВТ на уровне логических элементов и электрических цепей, а так же на системном уровне, когда функционирование системы описывается, например, дифференциальными или алгебраическими уравнениями.

Математические модели. Математические модели представляют собой формализованное представление системы с помощью абстрактного языка, с помощью математических соотношений, отражающих процесс функционирования системы. Для составления математических моделей можно использовать любые математические средства — алгебраическое, дифференциальное, интегральное исчисления, теорию множеств, теорию алгоритмов и т.д. По существу вся математика создана для составления и исследования моделей объектов и процессов.

К средствам абстрактного описания систем относятся также языки химических формул, схем, чертежей, карт, диаграмм и т.п. Выбор вида модели определяется особенностями изучаемой системы и целями моделирования, т.к. исследование модели позволяет получить ответы на определённую группу вопросов. Для получения другой информации может потребоваться модель другого вида. Математические модели можно классифицировать как детерминированные и вероятностные, аналитические, численные и имитационные.

Детерминированное моделирование отображает процессы, в которых предполагается отсутствие всяких случайных воздействий; стохастическое моделирование отображает вероятностные процессы и события. В этом случае анализируется ряд реализаций случайного процесса и оцениваются средние характеристики, т. е. набор однородных реализаций.

Аналитической моделью называется такое формализованное описание системы, которое позволяет получить решение уравнения в явном виде, используя известный математический аппарат.

Численная модель характеризуется зависимостью такого вида, который допускает только частные решения для конкретных начальных условий и количественных параметров моделей.

Имитационная модель — это совокупность описания системы и внешних воздействий, алгоритмов функционирования системы или правил изменения состояния системы под влиянием внешних и внутренних возмущений. Эти алгоритмы и правила не дают возможности использования имеющихся математических методов аналитического и численного решения, но позволяют имитировать процесс функционирования системы и производить вычисления интересующих характеристик. Имитационные модели могут быть созданы для гораздо более широкого класса объектов и процессов, чем аналитические и численные. Поскольку для реализации имитационных моделей служат ВС, средствами формализованного описания ИМ служат универсальные и специальные алгоритмические языки. ИМ в наибольшей степени подходят для исследования ВС на системном уровне.

4. Математические схемы моделирования систем.

Математическая модель — это совокупность математических объектов (чисел, переменных, множеств, векторов, матриц и т.п.) и отношений между ними, адекватно отображающая физические свойства создаваемого технического объекта. Процесс формирования математической модели и использования ее для анализа и синтеза называется математическим моделированием.

При построении математической модели системы необходимо решить вопрос об ее полноте. Полнота модели регулируется, в основном, выбором границы «система S — среда E ». Также должна быть решена задача упрощения модели, которая помогает выделить в зависимости от цели моделирования основные свойства системы, отбросив второстепенные.

При переходе от содержательного к формальному описанию процесса функционирования системы с учетом воздействия внешней среды применяют математическую схему как звено в цепочке «описательная модель — математическая схема — математическая (аналитическая или (и) имитационная) модель».

5. Принципы подхода в моделировании систем.

В настоящее время при анализе и синтезе сложных (больших) систем получил развитие системный подход, который отличается от классического (или индуктивного) подхода. Классический подход рассматривает систему путем перехода от частного к общему и синтезирует (конструирует) систему путем слияния ее компонент, разрабатываемых отдельно. В отличие от этого системный подход предполагает последовательный переход от общего к частному, когда в основе рассмотрения лежит цель, причем исследуемый объект выделяется из окружающей среды.

Объект моделирования. Специалисты по проектированию и эксплуатации сложных систем имеют дело с системами управления различных уровней, обладающими общим свойством — стремлением достичь некоторой цели. Эту особенность учтем в следующих определениях системы.

Система или объект S — целенаправленное множество взаимосвязанных элементов любой природы.

Внешняя среда E — множество существующих вне системы элементов любой природы, оказывающих влияние на систему или находящихся под ее воздействием.

В зависимости от цели исследования могут рассматриваться разные соотношения между самим объектом S и внешней средой E . Таким образом, в зависимости от уровня,

на котором находится наблюдатель, объект исследования может выделяться по-разному и могут иметь место различные взаимодействия этого объекта с внешней средой.

С развитием науки и техники сам объект непрерывно усложняется, и уже сейчас говорят об объекте исследования как о некоторой сложной системе, которая состоит из различных компонент, взаимосвязанных друг с другом. Поэтому, рассматривая системный подход как основу для построения больших систем и как базу создания методики их анализа и синтеза, прежде всего необходимо определить само понятие системного подхода.

Системный подход — это элемент учения об общих законах развития природы и одно из выражений диалектического учения. При системном подходе к моделированию систем необходимо прежде всего четко определить цель моделирования. Поскольку невозможно полностью смоделировать реально функционирующую систему (систему-оригинал, или первую систему), создается модель (система-модель, или вторая система) под поставленную проблему.

Таким образом, применительно к вопросам моделирования цель возникает из требуемых задач моделирования, что позволяет подойти к выбору критерия и оценить, какие элементы войдут в создаваемую модель M . Поэтому необходимо иметь критерий отбора отдельных элементов в создаваемую модель.

Подходы к исследованию систем. Важным для системного подхода является определение структуры системы — совокупности связей между элементами системы, отражающих их взаимодействие. Структура системы может изучаться

1. извне с точки зрения состава отдельных подсистем и отношений между ними,
2. а также изнутри, когда анализируются отдельные свойства, позволяющие системе достигать заданной цели, т. е. когда изучаются функции системы.

В соответствии с этим наметился ряд подходов к исследованию структуры системы с ее свойствами, к которым следует прежде всего отнести структурный подходифункциональный подход.

При структурном подходе выявляются состав выделенных элементов системы S и связи между ними. Совокупность элементов и связей между ними позволяет судить о структуре системы. Последняя в зависимости от цели исследования может быть описана на разных уровнях рассмотрения. Наиболее общее описание структуры — это топологическое описание, позволяющее определить в самых общих понятиях составные части системы и хорошо формализуемое на базе теории графов.

Менее общим является функциональное описание, когда рассматриваются отдельные функции, т. е. алгоритмы поведения системы, и реализуется функциональный подход, оценивающий функции, которые выполняет система, причем под функцией понимается свойство, приводящее к достижению цели. Поскольку функция отображает свойство, а свойство отображает взаимодействие системы S с внешней средой E , то свойства могут быть выражены в виде либо некоторых характеристик элементов и подсистем системы, либо системы S в целом. При наличии некоторого эталона сравнения можно ввести количественные и качественные характеристики систем. Для количественной характеристики вводятся числа, выражающие отношения между данной характеристикой и эталоном. Качественные характеристики системы находятся, например, с помощью метода экспертных оценок.

Проявление функций системы во времени $S(t)$, т. е. функционирование системы, означает переход системы из одного состояния в другое, т. е. движение в пространстве состояний Z .

6. Классификация видов моделирования систем.

В основе моделирования лежит теория подобия, которая утверждает, что абсолютное подобие может иметь место лишь при замене одного объекта другим точно

таким же [4]. При моделировании абсолютное подобие не имеет места и стремятся к тому, чтобы модель достаточно хорошо отображала исследуемую сторону функционирования объекта.

Классификационные признаки. В качестве одного из первых признаков классификации видов моделирования можно выбрать степень полноты модели и разделить модели в соответствии с этим признаком на полные, неполные и приближенные. В основе полного моделирования лежит полное подобие, которое проявляется как во времени, так и в пространстве. Для неполного моделирования характерно неполное подобие модели изучаемому объекту. В основе приближенного моделирования лежит приближенное подобие, при котором некоторые стороны функционирования реального объекта не моделируются совсем.

В зависимости от характера изучаемых процессов в системе S все виды моделирования могут быть разделены на детерминированные и стохастические, статические и динамические, дискретные, непрерывные и дискретно-непрерывные. Детерминированное моделирование отображает детерминированные процессы, т. е. процессы, в которых предполагается отсутствие всяких случайных воздействий; стохастическое моделирование отображает вероятностные процессы и события. В этом случае анализируется ряд реализаций случайного процесса и оцениваются средние характеристики, т. е. набор однородных реализаций. Статическое моделирование служит для описания поведения объекта в какой-либо момент времени, а динамическое моделирование отражает поведение объекта во времени.

Дискретное моделирование служит для описания процессов, которые предполагаются дискретными, соответственно непрерывное моделирование позволяет отразить непрерывные процессы в системах, а дискретно-непрерывное моделирование используется для случаев, когда хотят выделить наличие как дискретных, так и непрерывных процессов.

В зависимости от формы представления объекта (системы S) можно выделить мысленное и реальное моделирование.

Мысленное моделирование часто является единственным способом моделирования объектов, которые либо практически нереализуемы в заданном интервале времени, либо существуют вне условий, возможных для их физического создания. Например, на базе мысленного моделирования могут быть проанализированы многие ситуации микромира, которые не поддаются физическому эксперименту. Мысленное моделирование может быть реализовано в виде наглядного, символического и математического.

При наглядном моделировании на базе представлений человека о реальных объектах создаются различные наглядные модели, отображающие явления и процессы, протекающие в объекте. В основу гипотетического моделирования исследователем закладывается некоторая гипотеза о закономерностях протекания процесса в реальном объекте, которая отражает уровень знаний исследователя об объекте и базируется на причинно-следственных связях между входом и выходом изучаемого объекта. Гипотетическое моделирование используется, когда знаний об объекте недостаточно для построения формальных моделей.

Аналоговое моделирование основывается на применении аналогий различных уровней. Наивысшим уровнем является полная аналогия, имеющая место только для достаточно простых объектов.

С усложнением объекта используют аналогии последующих уровней, когда аналоговая модель отображает несколько либо только одну сторону функционирования объекта.

Существенное место при мысленном наглядном моделировании занимает макетирование. Мысленный макет может применяться в случаях, когда протекающие в реальном объекте процессы не поддаются физическому моделированию,

либо может предшествовать проведению других видов моделирования. В основе построения мысленных макетов также лежат аналогии, однако обычно базирующиеся на причинно-следственных связях между явлениями и процессами в объекте. Если ввести условное обозначение отдельных понятий, т. е. знаки, а также определенные операции между этими знаками, то можно реализовать знаковое моделирование и с помощью знаков отображать набор понятий — составлять отдельные цепочки из слов и предложений. Используя операции объединения, пересечения и дополнения теории множеств, можно в отдельных символах дать описание какого-то реального объекта.

В основе языкового моделирования лежит некоторый тезаурус. Последний образуется из набора входящих понятий, причем этот набор должен быть фиксированным. Следует отметить, что между тезаурусом и обычным словарем имеются принципиальные различия. Тезаурус — словарь, который очищен от неоднозначности, т. е. в нем каждому слову может соответствовать лишь единственное понятие, хотя в обычном словаре одному слову могут соответствовать несколько понятий.

Символическое моделирование представляет собой искусственный процесс создания логического объекта, который замещает реальный и выражает основные свойства его отношений с помощью определенной системы знаков или символов.

Математическое моделирование. Для исследования характеристик процесса функционирования любой системы S математическими методами, включая и машинные, должна быть проведена формализация этого процесса, т. е. построена математическая модель.

Под математическим моделированием будем понимать процесс установления соответствия данному реальному объекту некоторого математического объекта, называемого математической моделью, и исследование этой модели, позволяющее получать характеристики рассматриваемого реального объекта. Вид математической модели зависит как от природы реального объекта, так и задач исследования объекта и требуемой достоверности и точности решения этой задачи. Любая математическая модель, как и всякая другая, описывает реальный объект лишь с некоторой степенью приближения к действительности. Математическое моделирование для исследования характеристик процесса функционирования систем можно разделить на аналитическое, имитационное и комбинированное.

Для аналитического моделирования характерно то, что процессы функционирования элементов системы записываются в виде некоторых функциональных соотношений (алгебраических, интегро-дифференциальных, конечно-разностных и т. п.) или логических условий. Аналитическая модель может быть исследована следующими методами: а) аналитическим, когда стремятся получить в общем виде явные зависимости для искомых характеристик; б) численным, когда, не умея решать уравнений в общем виде, стремятся получить числовые результаты при конкретных начальных данных; в) качественным, когда, не имея решения в явном виде, можно найти некоторые свойства решения (например, оценить устойчивость решения).

Наиболее полное исследование процесса функционирования системы можно провести, если известны явные зависимости, связывающие искомые характеристики с начальными условиями, параметрами и переменными системы S . Однако такие зависимости удастся получить только для сравнительно простых систем. При усложнении систем исследование их аналитическим методом наталкивается на значительные трудности, которые часто бывают непреодолимыми. Поэтому, желая использовать аналитический метод, в этом случае идут на существенное упрощение первоначальной модели, чтобы иметь возможность изучить хотя бы общие свойства системы. Такое исследование на упрощенной модели аналитическим методом помогает получить ориентировочные результаты для определения более точных оценок другими методами. Численный метод позволяет исследовать по сравнению с аналитическим

методом более широкий класс систем, но при этом полученные решения носят частный характер. Численный метод особенно эффективен при использовании ЭВМ.

В отдельных случаях исследования системы могут удовлетворить и те выводы, которые можно сделать при использовании качественного метода анализа математической модели. Такие качественные методы широко используются, например, в теории автоматического управления для оценки эффективности различных вариантов систем управления.

В настоящее время распространены методы машинной реализации исследования характеристик процесса функционирования больших систем. Для реализации математической модели на ЭВМ необходимо построить соответствующий моделирующий алгоритм.

При имитационном моделировании реализующий модель алгоритм воспроизводит процесс функционирования системы S во времени, причем имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени, что позволяет по исходным данным получить сведения о состояниях процесса в определенные моменты времени, дающие возможность оценить характеристики системы S .

Основным преимуществом имитационного моделирования по сравнению с аналитическим является возможность решения более сложных задач. Имитационные модели позволяют достаточно просто учитывать такие факторы, как наличие дискретных и непрерывных элементов, нелинейные характеристики элементов системы, многочисленные случайные воздействия и др., которые часто создают трудности при аналитических исследованиях. В настоящее время имитационное моделирование — наиболее эффективный метод исследования больших систем, а часто и единственный практически доступный метод получения информации о поведении системы, особенно на этапе ее проектирования.

Когда результаты, полученные при воспроизведении на имитационной модели процесса функционирования системы S , являются реализациями случайных величин и функций, тогда для нахождения характеристик процесса требуется его многократное воспроизведение с последующей статистической обработкой информации и целесообразно в качестве метода машинной реализации имитационной модели использовать метод статистического моделирования. Первоначально был разработан метод статистических испытаний, представляющий собой численный метод, который применялся для моделирования случайных величин и функций, вероятностные характеристики которых совпадали с решениями аналитических задач (такая процедура получила название метода Монте-Карло). Затем этот прием стали применять и для машинной имитации с целью исследования характеристик процессов функционирования систем, подверженных случайным воздействиям, т. е. появился метод статистического моделирования. Таким образом, методом статистического моделирования будем в дальнейшем называть метод машинной реализации имитационной модели, а методом статистических испытаний (Монте-Карло) — численный метод решения аналитической задачи.

Метод имитационного моделирования позволяет решать задачи анализа больших систем S , включая задачи оценки: вариантов структуры системы, эффективности различных алгоритмов управления системой, влияния изменения различных параметров системы. Имитационное моделирование может быть положено также в основу структурного, алгоритмического и параметрического синтеза больших систем, когда требуется создать систему, с заданными характеристиками при определенных ограничениях, которая является оптимальной по некоторым критериям оценки эффективности.

При решении задач машинного синтеза систем на основе их имитационных моделей помимо разработки моделирующих алгоритмов для анализа фиксированной

системы необходимо также разработать алгоритмы поиска оптимального варианта системы. Далее в методологии машинного моделирования будем различать два основных раздела: статику и динамику,— основным содержанием которых являются соответственно вопросы анализа и синтеза систем, заданных моделирующими алгоритмами.

Комбинированное (аналитико-имитационное) моделирование при анализе и синтезе систем позволяет объединить достоинства аналитического и имитационного моделирования. При построении комбинированных моделей проводится предварительная декомпозиция процесса функционирования объекта на составляющие подпроцессы и для тех из них, где это возможно, используются аналитические модели, а для остальных подпроцессов строятся имитационные модели. Такой комбинированный подход позволяет охватить качественно новые классы систем, которые не могут быть исследованы с использованием только аналитического и имитационного моделирования в отдельности.

Другие виды моделирования. При реальном моделировании используется возможность исследования различных характеристик либо на реальном объекте целиком, либо на его части. Такие исследования могут проводиться как на объектах, работающих в нормальных режимах, так и при организации специальных режимов для оценки интересующих исследователя характеристик (при других значениях переменных и параметров, в другом масштабе времени и т. д.). Реальное моделирование является наиболее адекватным, но при этом его возможности с учетом особенностей реальных объектов ограничены. Например, проведение реального моделирования АСУ предприятием потребует, во-первых, создания такой АСУ, а во-вторых, проведения экспериментов с управляемым объектом, т. е. предприятием, что в большинстве случаев невозможно. Рассмотрим разновидности реального моделирования.

Натурным моделированием называют проведение исследования на реальном объекте с последующей обработкой результатов эксперимента на основе теории подобия. При функционировании объекта в соответствии с поставленной целью удастся выявить закономерности протекания реального процесса. Надо отметить, что такие разновидности натурального эксперимента, как производственный эксперимент и комплексные испытания, обладают высокой степенью достоверности.

С развитием техники и проникновением в глубь процессов, протекающих в реальных системах, возрастает техническая оснащенность современного научного эксперимента. Он характеризуется широким использованием средств автоматизации проведения, применением весьма разнообразных средств обработки информации, возможностью вмешательства человека в процесс проведения эксперимента, и в соответствии с этим появилось новое научное направление — автоматизация научных экспериментов.

Отличие эксперимента от реального протекания процесса заключается в том, что в нем могут появиться отдельные критические ситуации и определяться границы устойчивости процесса. В ходе эксперимента вводятся новые факторы и возмущающие воздействия в процессе функционирования объекта. Одна из разновидностей эксперимента — комплексные испытания, которые также можно отнести к натурному моделированию, когда вследствие повторения испытаний изделий выявляются общие закономерности о надежности этих изделий, о характеристиках качества и т. д. В этом случае моделирование осуществляется путем обработки и обобщения сведений, проходящих в группе однородных явлений. Наряду со специально организованными испытаниями возможна реализация натурального моделирования путем обобщения опыта, накопленного в ходе производственного процесса, т. е. можно говорить о производственном эксперименте. Здесь на базе теории подобия обрабатывают статистический материал по производственному процессу и получают его обобщенные характеристики.

Другим видом реального моделирования является физическое, отличающееся от натурального тем, что исследование проводится на установках, которые сохраняют природу явлений и обладают физическим подобием. В процессе физического моделирования задаются некоторые характеристики внешней среды и исследуется поведение либо реального объекта, либо его модели при заданных или создаваемых искусственно воздействиях внешней среды. Физическое моделирование может протекать в реальном и нереальном (псевдореальном) масштабах времени, а также может рассматриваться без учета времени. В последнем случае изучению подлежат так называемые «замороженные» процессы, которые фиксируются в некоторый момент времени. Наибольшую сложность и интерес с точки зрения верности получаемых результатов представляет физическое моделирование в реальном масштабе времени.

С точки зрения математического описания объекта и в зависимости от его характера модели можно разделить на модели аналоговые (непрерывные), цифровые (дискретные) и аналого-цифровые (комбинированные). Под аналоговой моделью понимается модель, которая описывается уравнениями, связывающими непрерывные величины. Под цифровой понимают модель, которая описывается уравнениями, связывающими дискретные величины, представленные в цифровом виде. Под аналого-цифровой понимается модель, которая может быть описана уравнениями, связывающими непрерывные и дискретные величины.

Особое место в моделировании занимает кибернетическое моделирование, в котором отсутствует непосредственное подобие физических процессов, происходящих в моделях, реальным процессам. В этом случае стремятся отобразить лишь некоторую функцию и рассматривают реальный объект как «черный ящик», имеющий ряд входов и выходов, и моделируют некоторые связи между выходами и входами. Чаще всего при использовании кибернетических моделей проводят анализ поведенческой стороны объекта при различных воздействиях внешней среды.

Таким образом, в основе кибернетических моделей лежит отражение некоторых информационных процессов управления, что позволяет оценить поведение реального объекта. Для построения имитационной модели в этом случае необходимо выделить исследуемую функцию реального объекта, попытаться формализовать эту функцию в виде некоторых операторов связи между входом и выходом и воспроизвести на имитационной модели данную функцию, причем на базе совершенно иных математических соотношений и, естественно, иной физической реализации процесса.

1.2 Лекция №2 (2 часа).

Тема: «Дискретно-стохастические модели»

1.2.1 Вопросы лекции:

1. Вероятностные автоматы.
2. Непрерывно-стохастические модели (Q -схемы).

1.2.2 Краткое содержание вопросов:

1. Вероятностные автоматы.

Вероятностный автомат – система, в которой переход из одного состояния в другое происходит случайным образом. Вероятность этого перехода определяется последовательностью его предыдущих состояний $(a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n)$ и входными сигналами (S_1, S_2, \dots, S_m) и записывается в виде функции $P(a_i \rightarrow a_j, S_k)$, где $a_i \rightarrow a_j$ означает переход из состояния (a_i) в состояние (a_j) .

В. а. используются в формальных моделях процессов обучения, в моделях сложного поведения, когда реакция автомата неоднозначна. Примером В. а. может служить система автоматического управления движением транспорта на перекрестке двух улиц с разной интенсивностью движения.

Для простоты рассмотрим В. а. с двумя состояниями: «откр— проезд по магистрали (улица с интенсивным движением) открыт и «закр»— магистраль перекрыта, разрешено поперечное движение.

Входных сигналов тоже два: S_1 — «на поперечной улице ждет транспорт» и S_2 — «эта улица пуста». Переходные вероятности определены так:

$$P(\text{закр} \rightarrow \text{закр}, S_2) = P(\text{откр} \rightarrow \text{закр}, S_2) = 0;$$

$$P(\text{откр} \rightarrow \text{откр}, S_2) = P(\text{закр} \rightarrow \text{откр}, S_2) = 1;$$

$$P(\text{откр} \rightarrow \text{откр}, S_1) = 0,7;$$

$$P(\text{откр} \rightarrow \text{закр}, S_1) = 0,3;$$

$$P(\text{закр} \rightarrow \text{закр}, S_1) = 0,5;$$

$$P(\text{закр} \rightarrow \text{откр}, S_1) = 0,5.$$

Такой автомат по мере надобности пропускает поперечный транспорт, но не перекрывает магистраль при появлении на поперечном направлении каждой отдельной машины. Численные значения вероятностей переходов и время основного такта работы автомата необходимо выбирать исходя из конкретного транспортного режима.

В. а. можно представить в виде системы, состоящей из детерминированного автомата и Случайных чисел датчика, подающего на один из входов автомата независимые сигналы с заданным распределением вероятностей.

2. Непрерывно-стохастические модели (Q-схемы).

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:

1. ожидание обслуживания заявки;
2. собственно обслуживание заявки.

Это можно изобразить в виде некоторого i -го прибора обслуживания Π_i (рис. 2.), состоящего из накопителя заявок N_i , в котором может одновременно находиться $I_i = \overline{0, L_i^H}$ заявок, где L_i^H — емкости i -го накопителя, и канала обслуживания заявок (или просто канала) K_i .

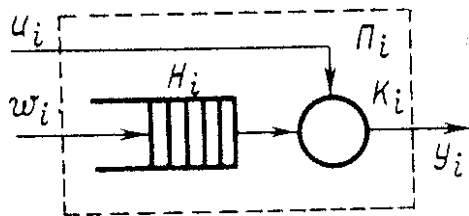


Рис. 2.

На каждый элемент прибора обслуживания Π_i , поступают потоки событий: в накопитель H_i — поток заявок w_i ; на канал K_i — поток обслуживания u_i .

Потоком событий называется последовательность событий, происходящих одно за другим в какие-то случайные моменты времени. Различают потоки однородных и неоднородных событий.

Поток событий называется однородным, если он характеризуется только моментами поступления этих событий (вызывающими моментами) и задается последовательностью $\{t_n\} = \{0 \leq t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n \leq \dots\}$, где t_n — момент наступления n -го события — неотрицательное вещественное число.

Однородный поток событий также может быть задан в виде последовательности промежутков времени между n -м и $(n-1)$ -м событиями $\{\tau_n\}$, которая однозначно связана с последовательностью вызывающих моментов $\{t_n\}$, где $\tau_n = t_n - t_{n-1}$, $n \geq 1$, $t_0 = 0$, т. е. $\tau_1 = t_1$.

Потоком неоднородных событий называется последовательность $\{t_n, f_n\}$, где t_n — вызывающие моменты; f_n — набор признаков события. Например, применительно к процессу обслуживания для неоднородного потока заявок могут быть заданы принадлежность к тому или иному источнику заявок, наличие приоритета, возможность обслуживания тем или иным типом канала и т. п.

поток, в котором события разделены интервалами времени t_1, t_2, \dots , которые вообще являются случайными величинами. Пусть интервалы t_1, t_2, \dots независимы между собой. Тогда поток событий называется потокom c ограниченным последствием. Пример потока событий приведен на рис. 3, где обозначено T_j — интервал между событиями (случайная величина); T_n — время наблюдения; T_c — момент совершения события.

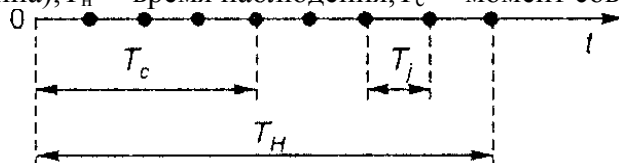


рис. 3.

Интенсивность потока можно рассчитать экспериментально по формуле

$$\lambda = \frac{N}{T_n}$$

где N — число событий, произошедших за время наблюдения T_n . Если $T_n = \text{const}$ или определено какой-либо формулой $T_j = f(T_{j-1})$, то поток называется детерминированным. Иначе поток называется случайным.

Случайные потоки бывают:

1. ординарными — когда вероятность одновременного появления 2-х и более событий равна нулю. Поток событий называется ординарным, если вероятность того, что на малый интервал времени Δt , примыкающий к моменту времени t , попадает больше одного события $P_{>1}(t, \Delta t)$, пренебрежительно мала по сравнению с вероятностью того, что на этот же интервал времени Δt попадает ровно одно событие $P_1(t, \Delta t)$, т. е. $P_1(t, \Delta t) \gg P_{>1}(t, \Delta t)$.

2. стационарными — когда частота появления событий постоянная. Стационарным потоком событий называется поток, для которого вероятность появления

того или иного числа событий на интервале времени зависит лишь от длины этого участка и не зависит от того, где на оси времени взят этот участок.

3. без последствия- когда вероятность не зависит от момента совершения предыдущих событий.

Обычно при моделировании различных систем применительно к элементарному каналу обслуживания K_i можно считать, что поток заявок $w_i \in W$, т. е. интервалы времени между моментами появления заявок (вызывающие моменты) на входе K_i образует подмножество неуправляемых переменных, а поток обслуживания $u_i \in U$, т. е. интервалы времени между началом и окончанием обслуживания заявки, образует подмножество управляемых переменных.

Заявки, обслуженные каналом K_i и заявки, покинувшие прибор Π_i , по различным причинам необслуженными (например, из-за переполнения накопителя H_i), образуют выходной поток $y_i \in Y$, т. е. интервалы времени между моментами выхода заявок образуют подмножество выходных переменных.

В практике моделирования систем, имеющих более сложные структурные связи и алгоритмы поведения, для формализации используются не отдельные приборы обслуживания, а Q-схемы, образуемые композицией многих элементарных приборов обслуживания Π_i (сети массового обслуживания). Если каналы K_i различных приборов обслуживания соединены параллельно, то имеет место многоканальное обслуживание (многоканальная Q-схема), а если приборы Π_i и их параллельные композиции соединены последовательно, то имеет место многофазное обслуживание (многофазная Q-схема). Таким образом, для задания Q-схемы необходимо использовать оператор сопряжения R , отражающий взаимосвязь элементов структуры (каналов и накопителей) между собой. Связи между элементами Q-схемы изображают в виде стрелок (линий потока, отражающих направление движения заявок). Различают разомкнутые и замкнутые Q-схемы.

В разомкнутой Q-схеме выходной поток обслуженных заявок не может снова поступить на какой-либо элемент, т. е. обратная связь отсутствует.

В замкнутых Q-схемах имеются обратные связи, по которым заявки двигаются в направлении, обратном движению вход-выход.

Для задания Q-схемы также необходимо описать алгоритмы ее функционирования, которые определяют набор правил поведения заявок в системе в различных неоднозначных ситуациях. В зависимости от места возникновения таких ситуаций различают алгоритмы (дисциплины) ожидания заявок в накопителе H_i и обслуживания заявок каналом K_i каждого элементарного обслуживающего прибора Π_i Q-схемы. Неоднородность заявок, отражающая процесс в той или иной реальной системе, учитывается с помощью введения классов приоритетов.

В зависимости от динамики приоритетов в Q-схемах различают статические и динамические приоритеты.

Статические приоритеты назначаются заранее и не зависят от состояний Q-схемы, т. е. они являются фиксированными в пределах решения конкретной задачи моделирования.

Динамические приоритеты возникают при моделировании в зависимости от возникающих ситуаций.

Исходя из правил выбора заявок из накопителя H_i на обслуживание каналом K_i , можно выделить относительные и абсолютные приоритеты.

Относительный приоритет означает, что заявка с более высоким приоритетом, поступившая в накопитель H_i ожидает окончания обслуживания предшествующей заявки каналом K_i и только после этого занимает канал.

Абсолютный приоритет означает, что заявка с более высоким приоритетом, поступившая в накопитель H_i прерывает обслуживание каналом K_i заявки с более низким

приоритетом и сама занимает канал (при этом вытесненная из K_i заявка может либо покинуть систему, либо может быть снова записана на какое-то место в H_i).

При рассмотрении алгоритмов функционирования приборов обслуживания Π_i (каналов K_i и накопителей H_i) необходимо также задать набор правил, по которым заявки покидают H_i и K_i , для H_i — либо правила переполнения, по которым заявки в зависимости от заполнения H_i покидают систему, либо правила ухода, связанные с истечением времени ожидания заявки в H_i , для K_i — правила выбора маршрутов или направлений ухода.

Кроме того, для заявок необходимо задать правила, по которым они остаются в канале K_i или не допускаются до обслуживания каналом K_i , т. е. правила блокировок канала. При этом различают блокировки K_i по выходу и по входу.

Весь набор возможных алгоритмов поведения заявок в Q -схеме можно представить в виде некоторого оператора алгоритмов поведения заявок A .

Таким образом, Q -схема, описывающая процесс функционирования системы массового обслуживания любой сложности, однозначно задается в виде $Q = \langle W, U, H, Z, R, A \rangle$.

При ряде упрощающих предположений относительно подмножеств входящих потоков W и потоков обслуживания U (выполнение условий стационарности, ординарности и ограниченного последствия) оператора сопряжения элементов структуры R (однофазное одноканальное обслуживание в разомкнутой системе), подмножества собственных параметров H (обслуживание с бесконечной емкостью накопителя), оператора алгоритмов обслуживания заявок A (бесприоритетное обслуживание без прерываний и блокировок) для оценки вероятностно-временных характеристик можно использовать аналитический аппарат, разработанный в теории массового обслуживания.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

2.1 Лабораторная работа №1 (2 часа).

Тема: «Общие сведения»

2.1.1 Цель работы: Получение практических навыков, необходимых для математического анализа и синтеза конструкций, устройств, технологических процессов.

2.1.2 Задачи работы: Овладение основными математическими методами и теориями, применяемыми в решение типовых задач в области проектирования.

2.1.3 Описание (ход) работы:

Построить пространство событий для испытания «бросание 6-гранного игрального кубика». Определить вероятности случайных событий A, B, C и D:

A – выпадение четного числа очков;

B – выпадение нечетного числа очков;

C – выпадение не более 2-х очков;

D – выпадение более 5-ти очков.

Решение. Построить пространство событий – это значит, определить все возможные элементарные события для испытания. В данной задаче элементарными событиями являются:

a_1 – выпадение числа 1;

a_2 – выпадение числа 2;

a_3 – выпадение числа 3;

a_4 – выпадение числа 4;

a_5 – выпадение числа 5;

a_6 – выпадение числа 6.

Пространство событий представляет собой множество:

$$\Omega = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6\}.$$

Следовательно, общее число элементарных событий $n = 6$.

а) Случайному событию A «выпадение четного числа очков» благоприятствуют элементарные события a_2, a_4 и a_6 . Представим случайное событие A в виде множества:

$$A = \{a_2, a_4, a_6\}.$$

Следовательно, число благоприятствующих элементарных событий $m = 3$.

Подставляя в классическую формулу определения вероятности значения для n и m , получим:

$$P(A) = m/n = 3/6 = 1/2.$$

б) Случайному событию B «выпадение нечетного числа очков» благоприятствуют элементарные события a_1, a_3 и a_5 . Представим случайное событие B в виде множества:

$$B = \{a_1, a_3, a_5\}.$$

Следовательно, число благоприятствующих элементарных событий $m = 3$.

С помощью классической формулы определения вероятности получим:

$$P(B) = m/n = 3/6 = 1/2.$$

в) Случайному событию C «выпадение не более 2-х очков» благоприятствуют элементарные события a_1 и a_2 :

$$C = \{a_1, a_2\}.$$

Число благоприятствующих элементарных событий $m = 2$.

Вероятность события C:

$$P(C) = m/n = 2/6 = 1/3.$$

г) Случайному событию D «выпадение более 5-ти очков» благоприятствует одно элементарное событие a_6 :

$$D = \{a_6\}.$$

$$m = 1$$

Вероятность события D:

$$P(D) = m/n = 1/6.$$

Пример 2.

Построить пространство событий для испытания «бросание 2-х игральных кубиков – белого и черного». Элементарным событием является пара чисел, выпавших на верхних гранях кубиков. Определить вероятности случайных событий A, B и C:

A – сумма чисел равна 6;

B – сумма чисел более 9;

C – выпал дубль.

Решение. Для задачи с двумя объектами (кубиками) пространство событий удобно представить в виде таблицы, где по вертикали располагаются возможные события для первого объекта, а по горизонтали – возможные значения для другого объекта. В клетках таблицы записываются элементарные события:

События (2-й объект)	События (1-ый объект)				
	1	2	3		k
y_1	11	12	13		1k
y_2	21	22	23		2k
...					
y_r	r1	r2	r3		rk

В условиях задачи пространству событий соответствует таблица (элементарными событиями является пара чисел):

Количество очков, выпавших на белом кубике	Количество очков, выпавших на черном кубике					
1	: 1	: 2	: 3	: 4	: 5	: 6
2	: 1	: 2	: 3	: 4	: 5	: 6
3	: 1	: 2	: 3	: 4	: 5	: 6
4	: 1	: 2	: 3	: 4	: 5	: 6
5	: 1	: 2	: 3	: 4	: 5	: 6
6	: 1	: 2	: 3	: 4	: 5	: 6

или

Количество очков, выпавших на белом кубике	Количество очков, выпавших на черном кубике					
1	11	12	13	14	15	16
2	21	22	23	24	25	26
3	31	32	33	34	35	36
4	41	42	43	44	45	46
5	51	52	53	54	55	56
6	61	62	63	64	65	66

Общее количество элементарных событий соответствует количеству клеток: $n = 36$.

а) Случайному событию А «сумма чисел равна 6» благоприятствуют элементарные события a_{15} , a_{24} , a_{33} , a_{42} и a_{51} . Представим случайное событие А в виде множества:

$$A = \{a_{15}, a_{24}, a_{33}, a_{42}, a_{51}\}.$$

Следовательно, число благоприятствующих элементарных событий $m = 5$.

Подставляя в классическую формулу определения вероятности значения для n и m , получим:

$$P(A) = m/n = 5/36.$$

б) Случайному событию В «сумма чисел более 9» благоприятствуют все элементарные события, при которых сумма чисел равна 10, 11 или 12: a_{46} , a_{55} , a_{64} , a_{56} , a_{65} и a_{66} .

$$B = \{a_{46}, a_{55}, a_{56}, a_{64}, a_{65}, a_{66}\}.$$

Число благоприятствующих элементарных событий $m = 6$.

Вероятность события В:

$$P(B) = m/n = 6/36 = 1/6.$$

в) Случайному событию С «выпал дубль» благоприятствуют все элементарные события, при которых на обоих кубиках выпало одинаковое число очков: a_{11} , a_{22} , a_{33} , a_{44} , a_{55} и a_{66} .

$$C = \{a_{11}, a_{22}, a_{33}, a_{44}, a_{55}, a_{66}\}.$$

Число благоприятствующих элементарных событий $m = 6$.

Вероятность события С:

$$P(C) = m/n = 6/36 = 1/6.$$

Указание: если испытание заключается в том, что два объекта последовательно извлекаются из одной и той же совокупности (два шара из одного ящика, две карты из одной колоды и т.п.), при построении пространства событий необходимо исключить повторы (один и тот же шар нельзя вынуть дважды). Тогда пространство событий будет выглядеть следующим образом:

Событ	События (извлекается 1-ый
-------	---------------------------

ия (извле кается 2-й объект)	объект)				
	1	2	3		k
X_1		12	13		1k
X_2	21		23		2k
X_3	31	32			3k
...					
X_k	k1	k2	k3		

ЗАДАНИЯ «Классическое определение вероятности»

1 Построить пространство событий для испытания «две монеты бросают последовательно». Определить вероятности случайных событий А, В и С:

А – хотя бы на одной из монет выпадет "решка";

В – на одной из монет выпадет "решка", а на другой – "орел";

С – на первой монете выпадет "решка", а на второй – "орел".

2 В ящике находятся 15 шаров, пронумерованных от 1 до 15.

Построить пространство событий для испытания «из ящика вытаскивают один шар». Определить вероятности случайных событий А, В, С и D:

А – вытасчен шар с номером 5;

В – вытасчен шар с номером, не большим 5;

С – вытасчен шар с номером, кратным 5;

D – вытасчен шар с номером, кратным 3 или 4.

3 В ящике находятся 5 шаров, пронумерованных от 1 до 5.

Построить пространство событий для испытания «из ящика вытаскивают последовательно два шара». Элементарным событием является пара номеров на вытасканных шарах. Определить вероятности случайных событий А, В и С:

А – один из шаров имеет номер 5;

В – сумма номеров на вытасканных шарах равна 5;

С – сумма номеров на вытасканных шарах является кратной 3.

4 В группе 20 студентов. У четырех студентов фамилия начинается на букву «А», у трех – на «О», у трех – на «У», у двух – на «К», у двух – на «П», у остальных – на «С».

Построить пространство событий для испытания «преподаватель вызывает одного студента». Определить вероятности случайных событий А, В, С и D:

А – фамилия студента начинается на букву «О» или «П»;

В – фамилия студента начинается на согласную букву;

С – фамилия студента начинается на букву, которая расположена в первой половине алфавита (до буквы «Р»);

D – фамилия студента начинается на согласную букву, которая расположена в первой половине алфавита (до буквы «Р»).

5 Набирая номер телефона, абонент забыл последнюю цифру.

Построить пространство событий для испытания «абонент набирает последнюю цифру наугад». Определить вероятности случайных событий А, В, С и D:

- А – абонент набрал нечетную цифру;
- В – абонент набрал цифру меньше 4;
- С – абонент набрал нечетную цифру больше 5;
- D – абонент набрал нужную цифру.

6 В классе 10 мальчиков и 12 девочек. Из девочек половина – отличницы. Из мальчиков отличниками являются трое.

Построить пространство событий для испытания «учитель вызывает к доске одного школьника». Определить вероятности случайных событий А, В, С и D:

- А – будет вызвана девочка;
- В – будет вызвана девочка-отличница;
- С – будет вызван школьник, учащийся на «отлично»;
- D – будет вызван мальчик, учащийся на отлично, или любая из девочек.

7 В ящике находятся 6 шаров: 3 белых, 2 синих и 1 красный.

Построить пространство событий для испытания «из ящика вытаскивают последовательно два шара». Определить вероятности случайных событий А, В и С:

- А – хотя бы один из шаров – синий;
- В – оба шара – белые;
- С – первым вытащен красный шар.

8 Школьник купил 20 лотерейных билетов, из которых 3 подарил маме, 3 – папе, 2 – бабушке, 2 – дедушке, 1 – брату, остальные оставил себе.

Построить пространство событий для испытания «один из приобретенных лотерейных билетов оказался выигрышным». Определить вероятности случайных событий А, В, С и D:

- А – выигрышный билет достался школьнику;
- В – выигрышный билет достался родителям;
- С – выигрышный билет не достался брату;
- D – выигрышный билет не достался никому.

9 Школьник купил 6 лотерейных билетов, из которых 1 подарил маме, 1 – папе, 2 – брату и 2 оставил себе.

Построить пространство событий для испытания «два из приобретенных лотерейных билетов оказались выигрышными». Определить вероятности случайных событий А, В и С:

- А – оба выигрышных билета достались школьнику;
- В – ни один из выигрышных билетов не достался брату;
- С – хотя бы один из выигрышных билетов достался родителям.

2.2 Лабораторная работа №2 (2 часа).

Тема: «Понятие математической схемы»

2.2.1 Цель работы: Целью работы является изучение матричных способов представления графов.

2.2.2 Задачи работы: Научиться изучать математические схемы с помощью матричных графов

2.2.3 Описание (ход) работы:

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В последнее время теория графов стала простым, доступным и мощным средством решения вопросов, относящихся к широкому кругу проблем. Это проблемы проектирования интегральных схем и схем управления, исследования автоматов, логических цепей, блок-схем программ, экономики и статистики, химии и биологии, теории расписаний и дискретной оптимизации.

ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Граф G задается множеством точек или вершин x_1, x_2, \dots, x_n (которое обозначается через X) и множеством линий или *ребра* a_1, a_2, \dots, a_n (которое обозначается символом A), соединяющих между собой все или часть этих точек. Таким образом, граф G полностью задается (и обозначается) парой (X, A) .

Если ребра из множества A ориентированы, что обычно показывается стрелкой, то они называются *дугами*, и граф с такими ребрами называется *ориентированным* графом (рисунок 1(а)). Если ребра не имеют ориентации, то граф называется *неориентированным* графом (рисунок 1(б)). В случае когда $G=(X, A)$ является ориентированным графом и мы хотим пренебречь направленностью дуг из множества A , то неориентированный граф, соответствующий G , будем обозначать как $G=(X, A)$.

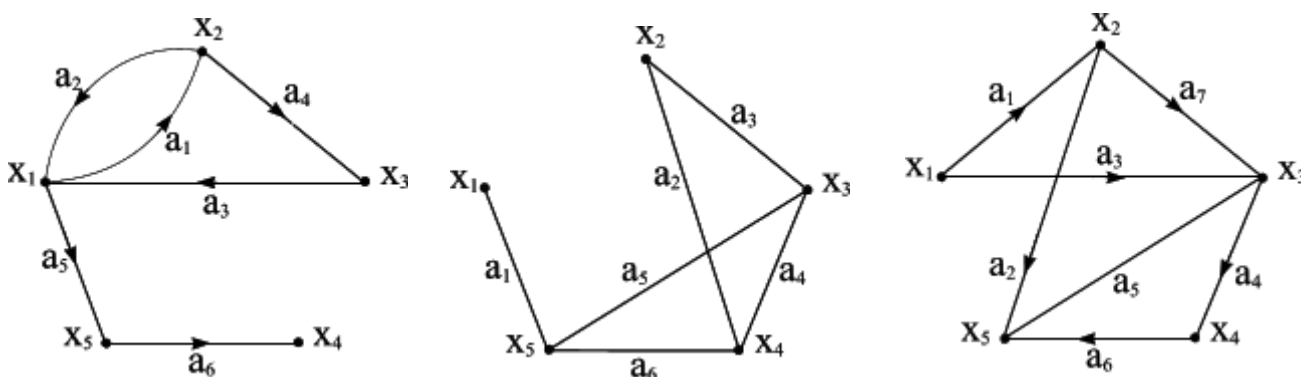


Рисунок 1 (а) – ориентированный граф; (б) – неориентированный граф; (в) – смешанный граф.

Если дуга обозначается упорядоченной парой, состоящей из *начальной* и *конечной* вершин (т. е. двумя *концевыми* вершинами дуги), ее направление предполагается заданным от первой вершины ко второй. Так, например, на рисунке 1(а) обозначение (x_1, x_2) относится к дуге a_1 , а (x_2, x_1) – к дуге a_2 .

Другое, употребляемое чаще описание ориентированного графа G состоит в задании множества вершин X и *соответствия* Γ , которое показывает, как между собой связаны вершины. Соответствие Γ называется *отображением* множества X в X , а граф в этом случае обозначается парой $G=(X, \Gamma)$.

Для графа на рисунке 1(а) имеем $\Gamma(x_1)=\{x_2, x_5\}$, т. е. вершины x_2 и x_5 являются конечными вершинами дуг, у которых начальной вершиной является x_1 .

$$\Gamma(x_2)=\{x_1, x_3\}, \quad \Gamma(x_3)=\{x_1\}, \quad \Gamma(x_4)=\emptyset - \text{пустое множество}, \quad \Gamma(x_5)=\{x_4\}.$$

В случае неориентированного графа или графа, содержащего и дуги, и неориентированные ребра (см., например, графы, изображенные на рисунках 1(б) и 1(в)), предполагается, что соответствие Γ задает такой эквивалентный ориентированный граф, который получается из исходного графа заменой каждого неориентированного ребра двумя противоположно направленными дугами, соединяющими те же самые вершины.

Так, например, для графа, приведенного на рисунке 1(б), имеем $\Gamma(x_5)=\{x_1, x_3, x_4\}$, $\Gamma(x_1)=\{x_5\}$ и др.

Поскольку *прямое соответствие* или *образ* вершины $\Gamma(x_i)$ представляет собой множество таких вершин $x_j \in X$, для которых в графе G существует дуга (x_i, x_j) , то через $\Gamma^{-1}(x_i)$ естественно обозначить множество вершин x_k , для которых в G существует дуга (x_k, x_i) . Такое отношение принято называть *обратным соответствием* или *прообразом* вершины. Для графа, изображенного на рисунке 1(а), имеем

$$\Gamma^{-1}(x_1)=\{x_2, x_3\}, \quad \Gamma^{-1}(x_2)=\{x_1\} \text{ и т. д.}$$

Вполне очевидно, что для неориентированного графа $\Gamma^{-1}(x_i)=\Gamma(x_i)$ для всех $x_i \in X$.

Когда отображение Γ действует не на одну вершину, а на множество вершин $X_q=\{x_1, x_2, \dots, x_q\}$, то под $\Gamma(X_q)$ понимают объединение $\Gamma(x_1) \cup \Gamma(x_2) \cup \dots \cup \Gamma(x_q)$, т. е. $\Gamma(X_q)$ является множеством таких вершин $x_j \in X$, что для каждой из них существует дуга (x_i, x_j) в G , где $x_i \in X_q$. Для графа, приведенного на рисунке 1(а), $\Gamma(\{x_2, x_5\})=\{x_1, x_3, x_4\}$ и $\Gamma(\{x_1, x_3\})=\{x_2, x_5, x_1\}$.

Отображение $\Gamma(\Gamma(x_i))$ записывается как $\Gamma^2(x_i)$. Аналогично "тройное" отображение $\Gamma(\Gamma(\Gamma(x_i)))$ записывается как $\Gamma^3(x_i)$ и т. д. Для графа, показанного на рисунке 1(а), имеем:

$$\Gamma^2(x_1)=\Gamma(\Gamma(x_1))=\Gamma(\{x_2, x_5\})=\{x_1, x_3, x_4\};$$

$$\Gamma^3(x_1)=\Gamma(\Gamma^2(x_1))=\Gamma(\{x_1, x_3, x_4\})=\{x_2, x_5, x_1\} \quad \text{и т. д.}$$

Аналогично понимаются обозначения $\Gamma^{-2}(x_i)$, $\Gamma^{-3}(x_i)$ и т. д.

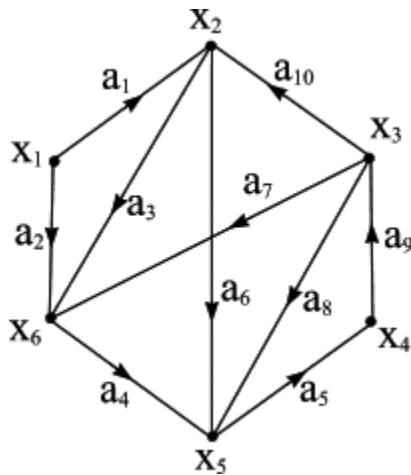


Рисунок 2.

Дуги $a=(x_i, x_j)$, $x_i \neq x_j$, имеющие общие концевые вершины, называются *смежными*. Две вершины x_i и x_j называются смежными, если какая-нибудь из двух дуг (x_i, x_j) и (x_j, x_i) или обе одновременно присутствуют в графе. Так, например, на рисунке 2 дуги a_1 , a_{10} , a_3 и a_6 как и вершины x_5 и x_3 , являются смежными, в то время как дуги a_1 и a_5 или вершины x_1 и x_4 не являются смежными.

Число дуг, которые имеют вершину x_i своей начальной вершиной, называется *полустепенью исхода* вершины x_i , и, аналогично, число дуг, которые имеют x_i своей конечной вершиной, называется *полустепенью захода* вершины x_i .

Таким образом, на рисунке 2 полустепень исхода вершины x_3 , обозначаемая через $\deg^+(x_3)$, равна $|\Gamma(x_3)|=3$, и полустепень захода вершины x_3 , обозначаемая через $\deg^-(x_3)$, равна $|\Gamma^{-1}(x_3)|=1$.

Очевидно, что сумма полустепеней захода всех вершин графа, а также сумма полустепеней исхода всех вершин равны общему числу дуг графа G , т. е.

$$\sum_{i=1}^n \deg^+(x_i) = \sum_{i=1}^n \deg^-(x_i) = m, \quad (1)$$

где n - число вершин и m - число дуг графа G .

Для неориентированного графа $G=(X,\Gamma)$ степень вершины x_i определяется аналогично - с помощью соотношения $deg(x_i) = |\Gamma(x_i)| = |\Gamma^{-1}(x_i)|$.

Петлей называется дуга, начальная и конечная вершины которой совпадают. На рисунке 3, например, дуги a_3 и a_{10} являются петлями.

МАТРИЧНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

МАТРИЦА СМЕЖНОСТИ

Пусть дан граф G , его матрица смежности обозначается через $A=[a_{ij}]$ и определяется следующим образом:

$a_{ij}=1$, если в G существует дуга (x_i, x_j) ,

$a_{ij}=0$, если в G нет дуги (x_i, x_j) .

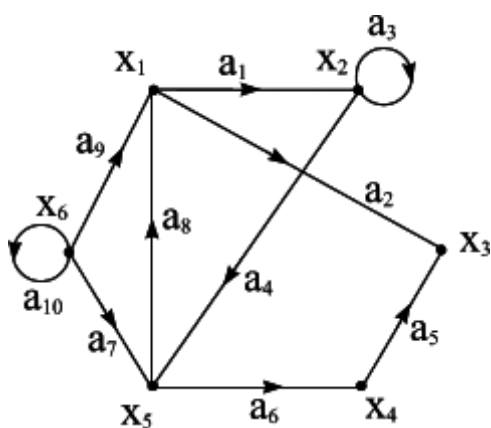


Рисунок 3.

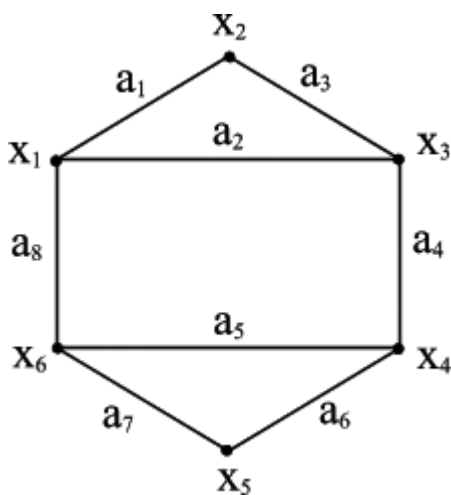
Таким образом, матрица смежности графа, изображенного на рисунке 3, имеет вид

$$= \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix} & \begin{matrix} | \\ | \\ | \end{matrix} \end{matrix}$$

Матрица смежности полностью определяет структуру графа. Например, сумма всех элементов строки x_i матрицы дает полустепень исхода вершины x_i , а сумма элементов столбца x_i - полустепень захода вершины x_i . Множество столбцов, имеющих 1 в строке x_i есть множество $\Gamma(x_i)$, а множество строк, которые имеют 1 в столбце x_i совпадает с множеством $\Gamma^{-1}(x_i)$.

Петли на графе представляют собой элементы, имеющие 1 на главной диагонали матрицы, например a_{22} , a_{66} для графа, изображенного на рисунке 3.

В случае неориентированного графа матрица смежности является симметричной относительно главной диагонали (рисунок 4).



	1	2	3	4	5	6
1						
2						
3						

Рисунок 4.

МАТРИЦА ИНЦИДЕНТНОСТИ

Пусть дан граф G с n вершинами и m дугами. Матрица инцидентности графа G обозначается через $\mathbf{B}=[b_{ij}]$ и является матрицей размерности $n \times m$, определяемой следующим образом:

- $b_{ij}=1$, если x_i является начальной вершиной дуги a_j ;
- $b_{ij}=-1$, если x_i является конечной вершиной дуги a_j ;
- $b_{ij}=0$, если x_i не является концевой вершиной дуги a_j .

Для графа, приведенного на рисунке 3, матрица инцидентности имеет вид:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1								1	1	
2	1		1							
3		1								

Поскольку каждая дуга инцидентна двум различным вершинам (за исключением случая, когда дуга образует петлю), то каждый столбец содержит один элемент, равный 1, и один - равный -1. Петля в матрице инцидентности не имеет адекватного математического представления (в программной реализации допустимо задание одного элемента $b_{ij}=1$).

Если G является неориентированным графом (рисунок 4), то его матрица инцидентности определяется следующим образом:

- $b_{ij}=1$, если x_i является концевой вершиной дуги a_j ;
- $b_{ij}=0$, если x_i не является концевой вершиной дуги a_j .

	1	2	3	4	5	6	7	8
1								
2								
3								

Матрица инцидентности, как способ задания графов, успешно применяется при описании мультиграфов (графов, в которых смежные вершины могут соединяться несколькими параллельными дугами).

3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

По заданной матрице смежности построить неориентированный граф, составить таблицу степеней вершин, матрицу инцидентности, таблицу расстояний и условных радиусов, найти радиус и центр графа.

1)

$$A(G) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

2)

$$A(G) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

3)

$$A(G) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\| \begin{array}{cccccccc} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \|$$

$$A(G) =$$

$$A(G) =$$

$$A(G) =$$

$$A(G) =$$

8)

$$A(G) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

9)

$$A(G) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

2.3 Лабораторная работа №3 (2 часа).

Тема: «Обобщённые модели»

2.3.1 Цель работы: Изучение обобщённых моделей (А-схемы).

2.3.2 Задачи работы: Описать поведение непрерывных и дискретных, детерминированных и стохастических систем.

2.3.3 Описание (ход) работы:

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. aggregatesystem), представляющей собой формальную схему общего вида, которую будем называть А-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 M;
- 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.

Любой агрегат характеризуется следующими множествами: моментов времени T, входных X и выходных Y сигналов, состояний Z в каждый момент времени t. Состояние агрегата в момент времени t обозначается как $z(t) \in Z$, а входные и выходные сигналы — как $x(t) \in X$ и $y(t) \in Y$ соответственно.

Будем полагать, что переход агрегата из состояния $z(t_1)$ в состояние $z(t_2) \neq z(t_1)$ происходит за малый интервал времени, т. е. имеет место скачок δz . Переходы агрегата из состояния $z(t_1)$ в $z(t_2)$ определяются собственными (внутренними) параметрами самого агрегата $h(t) \in H$ и входными сигналами $x(t) \in X$.

Для описания скачков состояний δz в особые моменты времени $t\delta$ будем использовать случайный оператор W, представляющий собой частный случай оператора U, т. е.

$$z(t\delta + 0) = W[t\delta, z(t\delta)].$$

В множестве состояний Z выделяется такое подмножество $Z(Y)$, что если $z(t\delta)$ достигает $Z(Y)$, то это состояние является моментом выдачи выходного сигнала, определяемого оператором выходов

$$y = G[t\delta, z(t\delta)].$$

Таким образом, под агрегатом будем понимать любой объект, определяемый упорядоченной совокупностью рассмотренных множеств T, X, Y, Z, $Z(Y)$, H и случайных операторов V, U, W, G.

Последовательность входных сигналов, расположенных в порядке их поступления в А-схему, будем называть входным сообщением или x - сообщением. Последовательность выходных сигналов, упорядоченную относительно времени выдачи, назовем выходным сообщением или y - сообщением.

Существует класс больших систем, которые ввиду их сложности не могут быть формализованы в виде математических схем одиночных агрегатов, поэтому их формализуют некоторой конструкцией из отдельных агрегатов A_n , которую назовем агрегативной системой или А-схемой. Для описания некоторой реальной системы S в виде А-схемы необходимо иметь описание как отдельных агрегатов A_n , так и связей между ними.

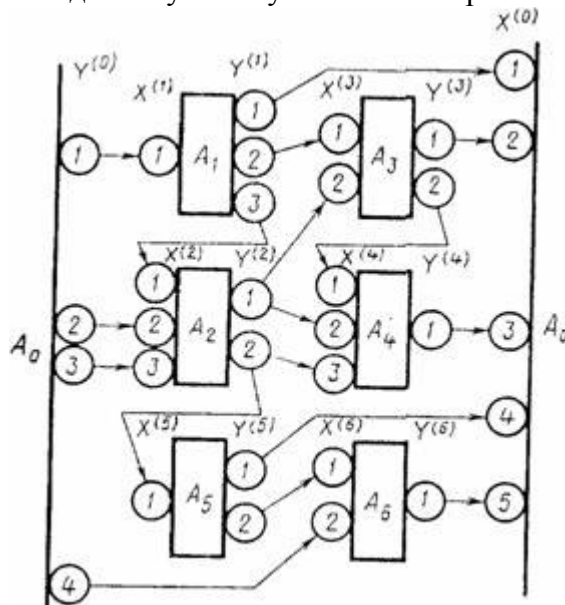
Для построения агрегата вводятся предположения о закономерностях функционирования А-схем, в соответствии реальной системой:

1) взаимодействие между А-схемой и внешней средой E, а также между отдельными агрегатами внутри системы S осуществляется при передаче сигналов, причем взаимные влияния, имеющие место вне механизма обмена сигналами, не учитываются;

2) для описания сигнала достаточно некоторого конечного набора характеристик;

3) элементарные сигналы мгновенно передаются в А-схеме независимо друг от друга по элементарным каналам;

4) к входному контакту любого элемента А-схемы подключается не более чем один элементарный канал, к выходному контакту - любое конечное число элементарных каналов при условии, что ко входу одного и того же элемента А-схемы направляется не более чем один из упомянутых элементарных каналов.



Структура агрегативной системы

Взаимодействие А-схемы с внешней средой Е рассматривается как обмен сигналами между внешней средой Е и элементами А-схемы. В соответствии с этим внешнюю среду Е можно представить в виде фиктивного элемента системы A_0 , вход которого содержит I_0 входных контактов, а выход — J_0 выходных контактов. Сигнал, выдаваемый А-схемой во внешнюю среду Е, принимается элементом A_0 как входной сигнал, состоящий из элементарных сигналов $x_1(0)(t)$, $x_2(0)(t)$, ..., $x_{I_0}(0)(t)$. Сигнал, поступающий в А-схему из внешней среды Е, является выходным сигналом элемента A_0 и состоит из элементарных сигналов $y_1(0)(t)$, $y_2(0)(t)$, ..., $y_{J_0}(0)(t)$.

Таким образом, каждый A_n (в том числе и A_0) как элемент А-схемы в рамках принятых предположений о механизме обмена сигналами достаточно охарактеризовать множеством входных контактов $X_1(n)$, $X_2(n)$, ..., $X_{I_n}(n)$ которое обозначим $\{X_i(n)\}$, и множеством выходных контактов $Y_1(n)$, $Y_2(n)$, ..., $Y_{J_n}(n)$ которое обозначим $\{X_j(n)\}$, где . Полученная пара множеств $\{X_i(n)\}$, $\{X_j(n)\}$ является математической моделью элемента A_n используемого для формального описания сопряжения его с прочими элементами А-схемы и внешней средой Е.

Если в А-схеме к контакту $X_i(n)$ не подключен никакой элементарный канал, то оператор R не определен на этом контакте $X_i(n)$. Оператор R называется оператором сопряжения элементов (агрегатов) в А-схему. Совокупность множеств $\{X_i(n)\}$, $\{X_l(k)\}$ и оператор R образуют схему сопряжения элементов в систему S . Оператор сопряжения R можно задать в виде таблицы, в которой на пересечении строк с номерами элементов (агрегатов) n и столбцов с номерами контактов i располагаются пары чисел k, l , указывающие номер элемента k и номер контакта l , с которым соединен контакт $X_i(n)$.

Таким образом, использование обобщенной типовой математической схемы моделирования, т. е. А-схемы, в принципе не отличается от рассмотренных ранее D-, F-, P-, N-, Q-схем. Для частного случая, а именно для кусочно-линейных агрегатов, результаты могут быть получены аналитическим методом. В более сложных случаях, когда применение аналитических методов неэффективно или невозможно, прибегают к имитационному методу, причем представление объекта моделирования в виде А-схемы может являться тем фундаментом, на котором базируется построение имитационной системы и ее внешнего и внутреннего математического обеспечения. Стандартная форма представления исследуемого объекта в виде А-схемы приводит к унификации не только

алгоритмов имитации, но и к возможности применять стандартные методы обработки и анализа результатов моделирования системы S.

Рассмотренные примеры использования типовых математических схем (F-, D, Q-, N-, A-схем) позволяют формализовать достаточно широкий класс больших систем, с которыми приходится иметь дело в практике исследования и проектирования сложных систем.

2.4 Лабораторная работа №4 (2 часа).

Тема: «Последовательность разработки и машинной реализации моделей»

2.4.1 Цель работы: Рассмотреть алгоритм реализации машинных моделей.

2.4.2 Задачи работы: Реализация моделей с помощью ЭВМ.

2.4.3 Описание (ход) работы:

В настоящее время наиболее эффективным методом исследования систем является машинное моделирование, без которого невозможно решение многих задач.

Моделирование с использованием компьютера позволяет исследовать механизм явлений, протекающих в реальном объекте с большими или малыми скоростями, когда в натурных экспериментах с объектом трудно (или невозможно) проследить за изменениями, протекающими в течение короткого времени, или когда получение достоверных результатов сопряжено с длительным экспериментом.

Сущность машинного моделирования системы состоит в проведении на компьютере эксперимента с моделью, которая представляет собой некоторый программный комплекс, описывающий формально и (или) алгоритмически поведение элементов системы в процессе её функционирования, т.е. в их взаимодействии друг с другом и внешней средой.

Основные требования, предъявляемые к модели процесса функционирования системы.

1. Полнота модели должна предоставлять исследователю возможность получения необходимого набора оценок характеристик системы с требуемой точностью и достоверностью.

2. Гибкость модели должна давать возможность воспроизведения различных ситуаций при варьировании структуры, алгоритмов и параметров системы.

3. Длительность разработки и реализации модели системы должна быть по возможности минимальной при учёте ограничений на имеющиеся ресурсы.

4. Структура модели должна быть блочной, т.е. допускать возможность замены, добавления и исключения некоторых частей без переделки всей модели.

5. Информационное обеспечение должно предоставлять возможность эффективной работы модели с базой данных систем определённого класса.

6. Программные и технические средства должны обеспечивать эффективную (по быстродействию и памяти) машинную реализацию модели и удобное общение с ней пользователя.

7. Должно быть реализовано проведение целенаправленных (планируемых) машинных экспериментов с моделью системы с использованием аналитико-имитационного подхода при наличии ограничений.

При машинном моделировании системы характеристики процесса её функционирования определяются на основе модели, построенной исходя из имеющейся исходной информации об объекте моделирования. При получении новой информации об объекте его модель пересматривается и уточняется, т.е. процесс моделирования является итерационным. Этот итерационный процесс продолжается до тех пор, пока не будет

получена модель, которую можно считать адекватной в рамках решения поставленной задачи исследования и проектирования системы.

Моделирование систем на ЭВМ целесообразно использовать в следующих случаях:

а) для исследования системы до того, как она спроектирована, с целью оценки эффективности будущей системы, а также определения чувствительности характеристик системы к изменениям структуры, алгоритмов и параметров объекта моделирования и внешней среды;

б) на этапе проектирования системы для анализа и синтеза различных вариантов системы и выбора среди конкурирующих такого варианта, который удовлетворял бы заданному критерию оценки эффективности системы при принятых ограничениях;

в) после завершения проектирования и внедрения системы, т.е. при её эксплуатации, для получения информации, дополняющей результаты натурных испытаний реальной системы, и для получения прогнозов эволюции системы во времени.

Основными этапами моделирования систем являются [8]:

- построение концептуальной модели системы и её формализация;
- алгоритмизация модели системы и её машинная реализация;
- получение и интерпретация результатов моделирования системы.

Взаимосвязь перечисленных этапов моделирования систем и их составляющих (подэтапов) представлена в виде сетевого графика (рис. 3.1).

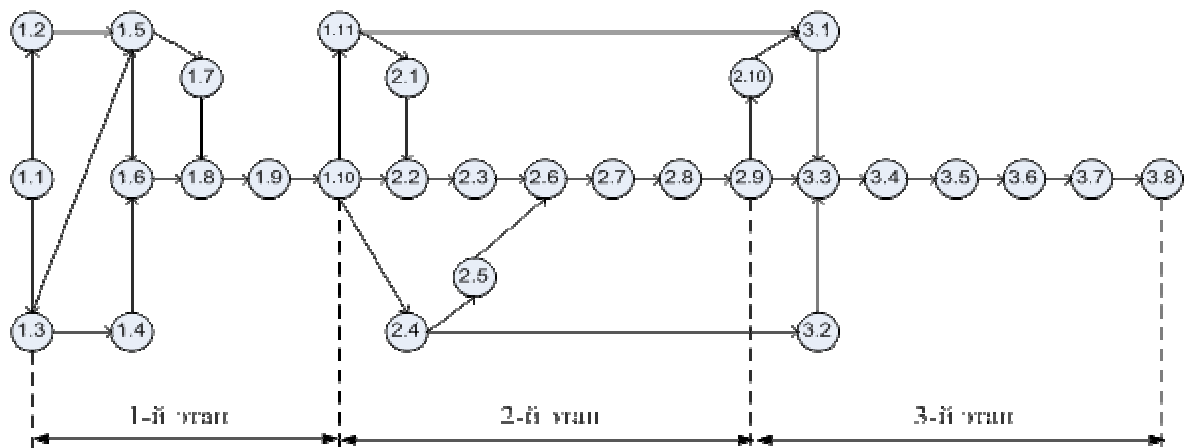


Рис. 3.1. Взаимосвязь этапов моделирования систем

К подэтапам относятся: 1.1 – постановка задачи машинного моделирования системы; 1.2 – анализ задачи моделирования системы; 1.3 – определение требований к исходной информации об объекте моделирования и организация её сбора; 1.4 – выдвижение гипотез и принятие предложений; 1.5 – определение параметров и переменных модели; 1.6 – установление основного содержания модели; 1.7 – обоснование критериев оценки эффективности системы; 1.8 – определение процедур аппроксимации; 1.9 – описание концептуальной модели системы; 1.10 – проверка достоверности концептуальной модели; 1.11 – составление технической документации по первому этапу; 2.1 – построение логической схемы модели; 2.2 – получение математических соотношений; 2.3 – проверка достоверности модели системы; 2.4 – выбор вычислительных средств для моделирования; 2.5 – составление плана выполнения работ по программированию; 2.6 – построение схемы программы; 2.7 – проверка достоверности схемы программы; 2.8 – проведение программирования модели; 2.9 – проверка достоверности программы; 2.10 – составление технической документации по второму этапу; 3.1 – планирование машинного эксперимента с моделью системы; 3.2 – определение требований к вычислительным средствам; 3.3 – проведение рабочих расчётов; 3.4 – анализ результатов моделирования системы; 3.5 – представление

результатов моделирования; 3.6 – интерпретация результатов моделирования; 3.7 – подведение итогов моделирования и выдача рекомендаций; 3.8 – составление технической документации по третьему этапу.

Таким образом, процесс моделирования системы сводится к выполнению перечисленных подэтапов, сгруппированных в виде трёх этапов. На этапе построения концептуальной модели M_K и её формализации проводится исследование моделируемого объекта с точки зрения выделения основных составляющих процесса его функционирования, определяются необходимые аппроксимации и получается обобщённая схема модели системы, которая преобразуется в машинную модель M_M на втором этапе моделирования путём последовательной алгоритмизации и программирования модели. Последний этап моделирования системы сводится к проведению согласно разработанному плану рабочих расчётов на ЭВМ с использованием выбранных программно-технических средств, получению и интерпретации результатов моделирования системы. Очевидно, что при построении модели и её машинной реализации при получении новой информации возможен пересмотр ранее принятых решений.

2.5.Лабораторная работа №5 (2 часа).

Тема: «Имитационное моделирование. Среда и функциональная структура языка моделирования GPSS»

2.5.1 Цель работы: Овладение навыком имитационного моделирования. Изучить возможность оценки эффекта конструкторских решений в чрезвычайно сложных системах реального мира

2.5.2 Задачи работы:

1 Провести серию вычислительных экспериментов.

2Рассмотреть общецелевые системы моделирования сложных систем.

2.5.3 Описание (ход) работы:

Компьютерное моделирование как новый метод научных исследований основывается на:

1. *построении математических моделей* для описания изучаемых процессов;
2. *использовании новейших вычислительных машин*, обладающих высоким быстродействием (миллионы операций в секунду) и способных вести диалог с человеком.

Суть *компьютерного моделирования* состоит в следующем: на основе математической модели с помощью ЭВМ проводится серия вычислительных экспериментов, т.е. исследуются свойства объектов или процессов, находятся их оптимальные параметры и режимы работы, уточняется модель. Например, располагая уравнением, описывающим протекание того или иного процесса, можно изменяя его *коэффициенты*, начальные и граничные условия, исследовать, как при этом будет вести себя *объект*. *Имитационные модели* - это проводимые на ЭВМ *вычислительные эксперименты* с математическими моделями, имитирующими поведение реальных объектов, процессов или систем.

Реальные процессы и системы можно исследовать с помощью двух типов математических моделей: аналитических и имитационных.

В аналитических моделях поведение реальных процессов и систем (РПС) задается в виде явных *функциональных зависимостей*(уравнений линейных или нелинейных, дифференциальных или интегральных, систем этих уравнений). Однако получить эти зависимости удастся только для сравнительно простых РПС. Когда явления сложны и многообразны исследователю приходится идти на упрощенные представления сложных РПС. В результате аналитическая модель становится слишком грубым приближением к

действительности. Если все же для сложных РПС удастся получить аналитические модели, то зачастую они превращаются в трудноразрешимую проблему. Поэтому исследователь вынужден часто использовать *имитационное моделирование*.

Имитационное моделирование представляет собой численный метод проведения на ЭВМ вычислительных экспериментов с математическими моделями, имитирующими поведение реальных объектов, процессов и систем во времени в течение заданного периода. При этом функционирование РПС разбивается на элементарные явления, подсистемы и модули. Функционирование этих элементарных явлений, подсистем и модулей описывается набором алгоритмов, которые имитируют элементарные явления с сохранением их *логической структуры* и последовательности протекания во времени.

Имитационное моделирование - это совокупность методов *алгоритмизации* функционирования объектов исследований, программной реализации алгоритмических описаний, организации, планирования и выполнения на ЭВМ вычислительных экспериментов с математическими моделями, имитирующими функционирование РПС в течение заданного периода.

Под алгоритмизацией функционирования РПС понимается пооперационное описание работы всех ее функциональных подсистем отдельных модулей с уровнем детализации, соответствующем комплексу требований к модели.

"*Имитационное моделирование*" (ИМ)- это двойной термин. "Имитация" и "*моделирование*" - это синонимы. Фактически все области науки и техники являются моделями реальных процессов. Чтобы отличить математические модели друг от друга, исследователи стали давать им дополнительные названия. Термин "*имитационное моделирование*" означает, что мы имеем дело с такими математическими моделями, с помощью которых нельзя заранее вычислить или предсказать поведение системы, а для предсказания поведения системы необходим *вычислительный эксперимент* (имитация) на математической модели при заданных исходных данных.

Основное достоинство ИМ:

1. возможность описания поведения компонент (элементов) процессов или систем на высоком уровне детализации;
2. отсутствие ограничений между параметрами ИМ и состоянием внешней среды РПС;
3. возможность исследования динамики взаимодействия компонент во времени и пространстве параметров системы;

Эти достоинства обеспечивают имитационному методу широкое распространение.

Рекомендуется использовать *имитационное моделирование* в следующих случаях:

1. Если не существует законченной постановки задачи исследования и идет процесс познания объекта моделирования. *Имитационная модель* служит средством изучения явления.
2. Если аналитические методы имеются, но математические процессы сложны и трудоемки, и *имитационное моделирование* дает более простой способ решения задачи.
3. Когда кроме оценки влияния параметров (переменных) процесса или системы желательно осуществить наблюдение за поведением компонент (элементов) процесса или системы (ПС) в течение определенного периода.
4. Когда *имитационное моделирование* оказывается единственным способом исследования сложной системы из-за невозможности наблюдения явлений в реальных условиях (реакции термоядерного синтеза, исследования космического пространства).
5. Когда необходимо контролировать протекание процессов или поведение систем путем замедления или ускорения явлений в ходе имитации.
6. При подготовке специалистов для новой техники, когда на *имитационных моделях* обеспечивается возможность приобретения навыков в эксплуатации новой техники.

7. Когда изучаются новые ситуации в РПС. В этом случае имитация служит для проверки новых стратегий и правил проведения натурных экспериментов.

8. Когда особое значение имеет последовательность событий в проектируемых ПС и модель используется для предсказания узких мест в функционировании РПС.

Однако ИМ наряду с достоинствами имеет и недостатки:

1. Разработка хорошей ИМ часто обходится дороже создания аналитической модели и требует больших временных затрат.

2. Может оказаться, что ИМ неточна (что бывает часто), и мы не в состоянии измерить степень этой неточности.

3. Зачастую исследователи обращаются к ИМ, не представляя тех трудностей, с которыми они встретятся и совершают при этом ряд ошибок методологического характера.

И тем не менее ИМ является одним из наиболее широко используемых методов при решении задач синтеза и анализа сложных процессов и систем.

Одним из видов *имитационного моделирования* является статистическое *имитационное моделирование*, позволяющее воспроизводить на ЭВМ функционирование сложных случайных процессов.

При исследовании сложных систем, подверженных случайным возмущениям используются вероятностные аналитические модели и вероятностные *имитационные модели*.

В вероятностных аналитических моделях влияние случайных факторов учитывается с помощью задания вероятностных характеристик случайных процессов (законы распределения вероятностей, спектральные плотности или корреляционные функции). При этом построение вероятностных аналитических моделей представляет собой сложную *вычислительную задачу*. Поэтому вероятностное аналитическое *моделирование* используют для изучения сравнительно простых систем.

Подмечено, что введение случайных возмущений в *имитационные модели* не вносит принципиальных усложнений, поэтому исследование сложных случайных процессов проводится в настоящее время, как правило, на *имитационных моделях*.

В вероятностном *имитационном моделировании* оперируют не с характеристиками случайных процессов, а с конкретными случайными числовыми значениями параметров ПС. При этом результаты, полученные при воспроизведении на *имитационной модели* рассматриваемого процесса, являются случайными реализациями. Поэтому для нахождения объективных и устойчивых характеристик процесса требуется его многократное воспроизведение, с последующей статистической обработкой полученных данных. Именно поэтому исследование сложных процессов и систем, подверженных случайным возмущениям, с помощью *имитационного моделирования* принято называть статистическим моделированием.

Статистическая модель случайного процесса - это *алгоритм*, с помощью которого имитируют работу сложной системы, подверженной случайным возмущениям; имитируют взаимодействие элементов системы, носящих вероятностный характер.

При реализации на ЭВМ статистического *имитационного моделирования* возникает задача получения на ЭВМ случайных числовых последовательностей с заданными вероятностными характеристиками. Численный метод, решающий задачу генерирования последовательности случайных чисел с заданными законами распределения, получил название "*метод статистических испытаний*" или "*метод Монте-Карло*".

Так как *метод Монте-Карло* кроме статистического моделирования имеет *приложение* к ряду численных методов (взятие интегралов, решение уравнений), то целесообразно иметь различные термины.

Итак, статистическое *моделирование* - это способ изучения сложных процессов и систем, подверженных случайным возмущениям, с помощью *имитационных моделей*.

Метод Монте-Карло - это численный метод, моделирующий на ЭВМ псевдослучайные числовые последовательности с заданными вероятностными характеристиками.

Методика статистического моделирования состоит из следующих этапов:

1. Моделирование на ЭВМ *псевдослучайных последовательностей* с заданной корреляцией и законом распределения вероятностей (*метод Монте-Карло*), имитирующих на ЭВМ случайные значения параметров при каждом испытании;
2. Преобразование полученных числовых последовательностей на *имитационных математических моделях*.
3. Статистическая обработка результатов моделирования.

Обобщенный *алгоритм* метода статистических испытаний представлен на рис. 1.



Рисунок 1. Обобщенный алгоритм метода статистических испытаний

GPSS (GeneralPurposeSimulationSystem) – общецелевая система моделирования сложных систем, разработанная Джеффри Гордоном. Первоначально разрабатывалась и поддерживалась компанией IBM. В настоящее время имеются версии различных разработчиков. GPSS World – самая современная версия GPSS для персональных ЭВМ и ОС Windows. Разработана компанией MinutemanSoftware. В России и странах СНГ распространяется ООО «Элина-Компьютер» (Казань).

Подробная информация о GPSS World и условиях его распространения может быть получена по адресу: <http://www.elina-computer.ru>.

Информация о системе на русском языке:

<http://www.gpss.ru> – Портал GPSS.RU, посвященный имитационному моделированию с использованием GPSS и не только,

<http://gpss-forum.narod.ru> – Сайт Юрия Носкова о GPSS.

GPSS World – общецелевая система имитационного моделирования

Система GPSS World, разработанная компанией MinutemanSoftware (США), – это мощная среда компьютерного моделирования общего назначения, разработанная для профессионалов в области моделирования. Это комплексный моделирующий инструмент, охватывающий области как дискретного, так и непрерывного компьютерного моделирования, обладающий высочайшим уровнем интерактивности и визуального представления информации.

Использование GPSS World дает возможность оценить эффект конструкторских решений в чрезвычайно сложных системах реального мира.

GPSS World основан на оригинальном языке компьютерного моделирования GPSS, что означает GeneralPurposeSimulationSystem – общецелевая система моделирования. В основном этот язык был разработан Джеффри Гордоном приблизительно в 1960 году в IBM и привнес множество важных концепций в каждую из коммерческих реализаций языков

компьютерного моделирования дискретных событий, разработанных с тех пор. GPSS World – это прямое развитие языка моделирования GPSS/PC, одной из первых реализаций GPSS для персональных компьютеров. После своего появления в 1984 году GPSS/PC и его последующие версии сохранили тысячам пользователей миллионы долларов. В настоящее время версия GPSS World для ОС Windows имеет расширенные возможности, включая пользовательскую среду с интегрированными функциями работы с Интернет.

GPSS World разработан для оперативного получения достоверных результатов с наименьшими усилиями. В соответствии с этими целями в GPSS World хорошо проработана визуализация процесса моделирования, а также встроены элементы статистической обработки данных. Сильная сторона GPSS World – это его прозрачность для пользователя.

Прозрачность для пользователя ценна по трем причинам. Во-первых, опасно полагаться на непрозрачное моделирование типа “черный ящик”, внутренние механизмы функционирования которого скрыты от пользователя. Мало того, что в этом случае нельзя быть уверенным, подходит ли оно для какого-либо конкретного случая, но и невозможно гарантировать, что оно работает, как задумано. Во-вторых, удачные имитационные модели являются очень ценными и пригодны в течение длительного периода времени. Возможно, потребуется, чтобы новые сотрудники ознакомились с внутренними процессами модели, а это почти невозможная задача, если модель не имеет высокого уровня прозрачности. В-третьих, одним из наиболее эффективных, но наименее известных преимуществ компьютерного имитационного моделирования является возможность проникновения в самую суть поведения системы, когда опытный профессионал в области моделирования может видеть внутреннюю динамику в наиболее важные моменты времени процесса моделирования.

GPSS World был разработан с целью решить все эти проблемы. GPSS World является объектно-ориентированным языком. Его возможности визуального представления информации позволяют наблюдать и фиксировать внутренние механизмы функционирования моделей. Его интерактивность позволяет одновременно исследовать и управлять процессами моделирования. С помощью встроенных средств анализа данных можно легко вычислить доверительные интервалы и провести дисперсионный анализ. Кроме того, теперь есть возможность автоматически создавать и выполнять сложные отсеивающие и оптимизирующие эксперименты.

GPSS World был разработан, чтобы полностью использовать возможности вашей вычислительной системы. Использование механизма виртуальной памяти позволяет моделям реально достигать размера миллиарда байт. Вытесняющая многозадачность и многопоточность обеспечивают высокую скорость реакции на управляющие воздействия и дают возможность GPSS World одновременно выполнять множество задач. Это также означает, что система моделирования GPSS World может использовать вычислительные возможности, предоставляемые симметричными многопроцессорными архитектурами (SMP).

GPSS World сочетает в себе функции дискретного и непрерывного моделирования. Возможность перехода из дискретной фазы моделирования в непрерывную фазу и обратно обеспечивает тесную связь с непрерывным моделированием. В непрерывной фазе могут быть установлены пороговые значения, управляющие созданием транзактов в дискретной фазе.

Последняя версия GPSS World 4.3.2. (от 8 ноября 2001 года) включает в себя массу нововведений, позволяющих проводить более эффективные исследования и сделать работу с системой максимально простой и удобной для пользователя.

Транслятор

Высокоэффективный транслятор является частью программы GPSS World, которая создает объекты “Процесс моделирования”. Перед включением в объект “Процесс моделирования” все операторы модели проходят трансляцию. Точно так же

интерактивные операторы транслируются в глобальной области видимости прежде, чем они будут переданы существующему объекту “Процесс моделирования”.

Архитектура

На уровне интерфейса GPSS World представляет собой реализацию архитектуры “документ-вид”, общей для всех приложений операционной системы Windows. Объекты могут быть открыты в нескольких окнах, изменены и сохранены на постоянных носителях информации. Привычное меню главного окна и блокировка недоступных команд меню, не отвлекая внимания, направляет пользователя к конечной цели. GPSS World был разработан с целью достичь тесной интерактивности даже в многозадачной среде с использованием виртуальной памяти.

Многозадачность

Многопоточная архитектура GPSS World позволяет совместно запускать несколько процессов моделирования и экспериментов. Одновременно выполняются не только обновление окон, пользовательский ввод, дисковый ввод-вывод, печать и процесс моделирования, но также в одно и то же время может быть запущено любое количество процессов моделирования.

Виртуальная память

Процессы моделирования непосредственно не ограничиваются размером физической памяти с произвольным доступом (ОЗУ), в которой выполняется объект “Процесс моделирования”. Используя механизм виртуальной памяти, модели могут достигать размера до гигабайта. Количество объектов также ограничивается только обеспечиваемым размером файла подкачки. Для достижения оптимальной производительности необходимо использовать значительный объем реальной памяти. Выделение и управление памятью для объектов происходит невидимо для пользователя. Объекты автоматически создаются до тех пор, пока не потребуются дополнительная информация.

Интерактивность

GPSS World поддерживает высокий уровень интерактивности даже во время процесса моделирования. Используя команду главного меню окна модели Command (Команда), ускоряющие клавиши или настройки модели, закрепляя за функциональными клавишами собственные команды, вы можете передавать существующему объекту “Процесс моделирования” любой оператор. Вы можете использовать диалоговое окно “SimulationCommand” (“Команда”) для ввода операторов, отсутствующих в выпадающем меню, а с помощью команды INCLUDE вы можете посылать процессу моделирования интерактивные операторы любой сложности.

Визуализация

GPSS World отличается высоким уровнем визуализации выполняющегося процесса моделирования. Для наблюдения и взаимодействия с процессом моделирования используются двадцать различных окон, соответствующих большей части объектов GPSS. Для получения, сохранения и печати визуального представления состояния процесса моделирования не требуется дополнительных усилий, кроме операций с окнами.

Анимация

В GPSS World существует ряд анимационных возможностей. Уровень их реализма изменяется от абстрактной визуализации, не требующей никаких усилий, до высоко реалистических динамических изображений, включающих в себя сложные элементы, созданные пользователем.

Абстрактная анимация

В GPSS World встроена функция комплексной стилизованной анимации. Эта функция обеспечивается большим количеством окон, которые динамически отображают объекты GPSS в процессе моделирования по мере изменения их состояния. Для создания

такой анимации не требуется дополнительных усилий. Графические изображения могут быть сохранены для включения в отчеты и/или распечатаны.

Пост-процессорная анимация

GPSS World имеет внешний интерфейс, который может поддерживать анимационные пакеты, управляемые трассировочными данными. Таким способом могут быть разработаны фотореалистичные анимации. Для использования этого интерфейса необходимо создать выходной поток, содержание и форматирование данных которого удовлетворяет правилам анимационного пакета, поставляемого сторонним разработчиком.

Оперативная анимация

GPSS World имеет набор PLUS-процедур динамического вызова, позволяющих вызывать функции во внешних исполняемых файлах. Это обеспечивает оперативную связь с анимационными пакетами других разработчиков.

Язык моделирования

GPSS World является реализацией GPSS, общецелевой системы моделирования, улучшенной встроенным языком программирования PLUS – языком программирования низкого уровня моделирования.

Эта версия GPSS включает в себя 53 типа блоков и 25 команд, а также более чем 35 системных числовых атрибутов, которые обеспечивают текущие переменные состояния, доступные в любом месте модели.

PLUS – это небольшой, но эффективный процедурный язык программирования, созданный из 12 типов операторов. Его эффективность во многом обеспечивается большой библиотекой процедур, содержащей математические функции и функции манипуляции со строками, и большого набора вероятностных распределений.

В GPSS World модель определяется как последовательность операторов. Это операторы GPSS, операторы PLUS-процедур или операторы PLUS-экспериментов. За исключением списков данных функции, все операторы GPSS должны состоять из одной текстовой строки длиной до 250 символов. Любой оператор GPSS может входить в модель и сохраняться в файле модели или может быть передан процессу моделирования в интерактивном режиме.

Нововведения

В языке моделирования было сделано множество изменений. Было исключено понятие управляющих операторов. Теперь все операторы, не являющиеся операторами блоков GPSS, называются просто командами. Номера строк игнорируются в GPSS World. Если же они используются, то должны начинаться в первом столбце текстовой строки.

Также в GPSS World не применяется автоматическое округление. Теперь необходимо явно использовать процедуру Int() или какой-либо другой метод, если требуется округлять промежуточные числовые результаты. Это справедливо для всех выражений, а также для операторов VARIABLE и BVARIABLE. Теперь значения, возвращаемые системными числовыми атрибутами (СЧА), в зависимости от конкретного СЧА могут быть целого, вещественного или строчного типа. Даже СЧА, возвращающие значения в тысячных долях, выполняют это с помощью вещественных чисел двойной точности, лежащих в интервале от 0 до 1000 включительно. “Старые” округления и целочисленные СЧА могут быть использованы в коммерческой версии GPSS World в режиме совместимости с GPSS/PC, который рассматривается далее.

PLUS-операторы могут занимать любое количество текстовых строк. Операторы GPSS, кроме списков данных функции, должны находиться на одной текстовой строке, максимальная длина которой теперь составляет 250 символов.

Математические выражения, заключенные в скобки, теперь могут использоваться почти везде, где используются СЧА. Выражения являются неотъемлемой частью языка PLUS, но они также используются для расширения возможностей операндов в операторах GPSS. Если выражения используются в операндах операторов GPSS, они должны быть заключены в скобки. Также были добавлены новые типы операторов.

К студенческой и коммерческой версии GPSS World были добавлены новые возможности:

- Автоматический генератор отсеивающего эксперимента;
- Автоматический генератор оптимизирующего эксперимента;
- Теперь в студенческой версии доступны кадры состояния;
- Библиотечная процедура дисперсионного анализа (ANOVA);
- Переменное количество аргументов в процедуре PolyCatenate();
- Библиотечные процедуры динамического вызова внешних функций;
- Возможность трассировки PLUS;
- Пакетный режим работы;
- Команда EXIT с различными режимами сохранения файлов;
- Диалоговые окна создания блоков;
- Настраиваемые интервалы табуляции;
- PLUS-процедуры для операций с потоками данных.
- Новые операторы GPSS
- Новые блоки

Были добавлены следующие новые блоки:

ADOPT – Изменяет номер семейства.

DISPLACE – Меняет транзакту следующий по порядку блок в последовательности блоков.

PLUS – Вычисляет значение PLUS-выражения и сохраняет результат в параметре.

INTEGRATION – Включает/выключает интегрирование переменной пользователя.

OPEN – Инициализирует поток данных.

CLOSE – Закрывает поток данных.

READ – Считывает следующую строку данных из потока данных.

WRITE – Передает значение величины в поток данных.

SEEK – Изменяет указатель строки в потоке данных.

Новые команды

Были добавлены операторы, обеспечивающие управление интегрированием непрерывных переменных, применение составных файлов модели и библиотек процедур, а также вызов PLUS-экспериментов.

CONDUCT – Выполняет зарегистрированный PLUS-эксперимент.

EXIT – Завершает сеанс работы с GPSS World, при этом может сохранять объекты.

INTEGRATE – Автоматически вычисляет интеграл для переменной пользователя.

INCLUDE – Считывает и транслирует дополнительные файлы модели.

Новые СЧА

Новый системный числовой атрибут A1 возвращает семейство активного транзакта. Его удобно использовать совместно с новым блоком ADOPT, который позволяет изменять семейство активного транзакта.

Полиморфные типы данных

Переменные могут принимать значения одного из четырех типов. Переменные, управляемые пользователем, такие, как ячейки, элементы матриц, параметры транзактов и переменные пользователя, могут принимать целочисленное, вещественное, строковое и неопределенное значение. Значения времени могут быть целыми или вещественными двойной точности.

Преобразования типов происходит автоматически. Процедуры, которые требуют в качестве аргумента значение определенного типа данных, принудительно преобразуют аргумент к соответствующему типу. Например, если вы передаете строку процедуре, которая требует числовое значение, будет использован числовой эквивалент этой строки. Точно так же, если вы пытаетесь записать (WRITE) числовое значение, оно будет автоматически преобразовано в текстовую строку.

Строковые величины имеют много вариантов использования. Они могут использоваться в потоках данных для создания отчетов и файлов с результатами, а также для прямого доступа к внутренним данным. Строковые константы обозначаются заключением строки между парой двойных кавычек. Для представления двойных кавычек внутри строки используется пара двойных кавычек. Например, для представления одной строки внутри другой строки необходимо использовать 6 символов кавычек. Внутренняя строка (подстрока) заключается между двумя парами двойных кавычек, а итоговая строка будет заключаться между еще одной парой двойных кавычек. Библиотека процедур содержит много строковых процедур, которые могут использоваться для создания и манипулирования строковыми данными.

Теперь ячейкам и матрицам может быть присвоено значение UNSPECIFIED (неопределенный тип данных). Команда INITIAL позволяет присваивать это значение ячейкам, элементам матрицы и даже целым матрицам. Если элемент данных UNSPECIFIED был использован в операции, которая требует некоторого значения, произойдет останов по ошибке. Библиотечная процедура дисперсионного анализа (ANOVA) теперь распознает элементы UNSPECIFIED в матрице результатов как недоступные результаты прогонов эксперимента.

Многомерные матрицы

Матрицы могут иметь до 6 измерений. Динамические окна “Matrix” (“Матрица”) позволяют просматривать любые поперечные сечения матрицы, одновременно можно открыть любое количество таких окон. Для использования во время исполнения процедуры могут быть созданы временные матрицы. Для инициализации матрицы с тремя и более измерениями используются присваивающие PLUS-операторы.

Выражения

GPSS World поддерживает широкое использование выражений. Они могут использоваться в PLUS-процедурах или в операторах GPSS (если заключены в скобки). Это означает, что в операндах блоков и команд могут производиться эффективные вычисления. Выражения могут производить простые вычисления, вызывать процедуры, выполняющие математические или строковые операции, производить выбор вероятностного распределения или выполнять заданные пользователем алгоритмы, включая файловый ввод-вывод.

Совместимость

GPSS World совместим с GPSS/PC и обычно выдаёт результаты, которые статистически неотличимы от результатов, выдаваемых GPSS/PC. Этот уровень совместимости может быть достигнут исправлением некоторых отличий и запуском процесса моделирования.

Кроме того, доступен ещё более высокий уровень совместимости, называемый режимом совместимости с GPSS/PC. В большинстве случаев можно достигнуть точного повторения результатов. Тем не менее, GPSS World использует новую исполняемую библиотеку. Применяемый в нём метод округления чисел с плавающей запятой немного отличается от используемого в GPSS/PC. Но даже в этом случае большинство моделей GPSS/PC с небольшими изменениями могут давать идентичные результаты при выполнении под управлением коммерческой версии GPSS World в режиме совместимости с GPSS/PC. Последовательность действий, которой вы должны придерживаться, подробно рассматривается далее, после описания отличий GPSS World от GPSS/PC.

Отличия от GPSS/PC

GPSS World имеет много отличий от GPSS/PC. GPSS World основывается на идее, что текстовый объект “Модель” формируется и/или модифицируется, а затем транслируется с целью создания объекта “Процесс моделирования”. Этим он отличается от GPSS/PC, в котором используются понятия файла программы и процесса моделирования.

В GPSS World была полностью заменена операция загрузки модели, используемая в GPSS/PC. Вместо последовательного ввода и просмотра каждой строки, одну за другой, в GPSS World применяется полноэкранный текстовый редактор и команда меню CreateSimulation (Создать процесс моделирования). Любые ошибки, обнаруженные во время трансляции, сохраняются в очереди сообщений об ошибках, поэтому они могут быть легко найдены и исправлены. Быстродействие транслятора гарантирует, что обнаружение и исправление ошибок происходит очень быстро.

GPSS World не выполняет операцию предотвращения ошибки при каждом нажатии клавиши, как это было в GPSS/PC. Вместо этого для создания процесса моделирования GPSS World использует транслятор модели. Это ускоряет время загрузки модели в сотни раз. Однако это привело к изменению механизма обнаружения ошибок. Теперь ошибки обнаруживаются в течение трансляции и могут быть исправлены с помощью команды NextError (Следующая ошибка) из меню Edit (Правка) главного окна. Курсор автоматически перемещается к ошибке, а в строке состояния внизу главного окна появляется сообщение об этой ошибке.

Возможно, наиболее заметным изменением по сравнению с GPSS/PC является отсутствие необходимости в нумерации строк, которая фактически игнорируется в GPSS World. Это означает, что расположение блоков больше не определяется номером строки оператора блока, а определяется только относительным положением этой строки в файле (файлах) модели, переданном транслятору. Т.к. новый оператор INCLUDE позволяет объектам “Модель” содержать в себе другие файлы текстового формата, объекты “Модель” представляют собой считываемую транслятором последовательность операторов, которая определяет расположение блоков в процессе моделирования. Несмотря на то, что блоки больше не могут быть вставлены во время процесса моделирования, для большинства целей будет проще повторно транслировать модель, если необходимо изменить структуру блоков, т.к. трансляция выполняется очень быстро. При использовании режима ручного моделирования сохраняется высокий уровень интерактивности. Это означает, что любой оператор может использоваться в течение процесса моделирования в качестве интерактивного оператора.

В GPSS World был сохранён высокий уровень интерактивности. Любой оператор модели может быть передан для выполнения выполняющемуся процессу моделирования. PLUS-процедуры могут быть определены или даже переопределены “на лету”. Команды GPSS могут использоваться для переопределения объекта или управления процессом моделирования. Блоки могут использоваться, так же, как и в GPSS/PC, для создания временного блока, в который направляется активный транзакт. Все это выполняется после трансляции модели с помощью меню Command (Команда).

В GPSS World не используется автоматическое округление. Теперь для округления промежуточных числовых результатов необходимо явно использовать процедуру Int() или какой-либо другой метод. Это касается и всех выражений, а также операторов VARIABLE и BARIABLE.

Теперь значения, возвращаемые системными числовыми атрибутами (СЧА), в зависимости от конкретного СЧА могут быть целого, вещественного или строчного типа. Даже СЧА, возвращающие значения в тысячных долях, выполняют это с помощью вещественных чисел двойной точности, лежащих в интервале от 0 до 1000 включительно. “Старые” округления и целочисленные СЧА могут быть использованы в коммерческой версии GPSS World в режиме совместимости с GPSS/PC.

Использование в GPSS World многозадачной архитектуры также привело к некоторым изменениям. Прежде всего, теперь для представления команд или изменения состояния посылаются служебные сообщения. Таким образом, оперативное обновление окна выполняется посредством очереди сообщений, поступающих от процесса моделирования. Точно так же большинство команд, полученных объектом “Процесс моделирования”, перед выполнением помещаются в очередь команд процесса

моделирования. Исключения составляют только команды SHOW и HALT, которые выполняются немедленно. Кроме того, команда HALT удаляет из очереди все оставшиеся команды.

Остальные изменения перечислены далее и более подробно рассматриваются в других частях данного руководства пользователя:

PLUS-операторы могут включать в себя любое количество текстовых строк. Хотя операторы GPSS, кроме списков данных функции, должны находиться на одной текстовой строке, максимальная длина которой теперь составляет 250 символов.

Математические выражения, заключённые в скобки, могут теперь использоваться практически везде, где используются СЧА.

Системные числовые атрибуты в зависимости от конкретного типа теперь могут возвращать целочисленные, вещественные или строковые значения. В режиме совместимости с GPSS/PC СЧА, за исключением модификаторов функций, возвращают только целочисленные значения.

Введен новый системный числовой атрибут, A1, который возвращает номер семейства активного транзакта.

Блок HELP больше не используется. Его заменили блоком PLUS, который поддерживает вложение в модель законченных процедур, а также блоками потоков данных, которые поддерживают связь с внешними файлами и программами.

Управляющий оператор MICROWINDOW был заменен окном “Expression” (“Выражения”), которое может быть открыто с помощью подменю Window (Окно).

Управляющий оператор PLOT был заменен окном “Plot” (“График”), которое может быть открыто с помощью подменю Window (Окно).

Управляющий оператор END был заменен командой EXIT, которая может завершать сеанс работы с GPSS World. END теперь является ключевым словом языка PLUS.

Управляющий оператор ANOVA был заменен библиотечной процедурой ANOVA.

Управляющий оператор EVENTS был заменен окнами “CEC Snapshot” (“Кадр CTC”) и “FEC Snapshot” (“Кадр СБС”), которые могут быть открыты с помощью подменю Window (Окно).

Управляющий оператор GROUPS был заменен окнами “NumericGroupsSnapshot” (“Кадр числовых групп”) и “TransactionGroupsSnapshot” (“Кадр групп транзактов”), которые могут быть открыты с помощью подменю Window (Окно).

Управляющий оператор RESULT был заменен блоками управления потоками ввода-вывода, которые могут автоматически записывать данные в файл результатов.

Управляющий оператор WINDOW был заменен специальным подменю Window (Окно) в меню главного окна.

Управляющий оператор USERCHAINS был заменен окном “UserchainsSnapshot” (“Кадр списков пользователя”), которое может быть открыто с помощью подменю Window (Окно).

Управляющий оператор ANITRACE больше не используется. Анимация в GPSS World обеспечивается потоками данных и постпроцессорами сторонних разработчиков.

Блок MOVE больше не используется. Анимация в GPSS World обеспечивается потоками данных и постпроцессорами сторонних разработчиков.

Окно “Positions” и файл POSITION.GPS больше не используются. Анимация в GPSS World обеспечивается потоками данных и анимационными пакетами сторонних разработчиков.

Символ “@”, обозначающий вложение файлов, был заменен оператором INCLUDE, который использует в качестве операнда полный путь доступа к файлу, заключённый в двойные кавычки.

Системный числовой атрибут Z1 больше не отображает общий объем физической памяти. Теперь он возвращает значение максимального объема памяти, который может быть выделен, возвращаемое операционной системой.

Следующие функции управления исходным текстом, присутствовавшие в GPSS/PC, были заменены графическим интерфейсом пользователя, полноэкранным редактором и соответствующими опциями: DELETE, DISPLAY, DOS, EDIT, RENUMBER и SAVE.

Ячейками, матрицами, именованными величинами и параметрами транзактов теперь поддерживаются значения целочисленного, вещественного или строкового типа данных. Значения времени могут быть целочисленными или вещественными. Целочисленная арифметика неограниченной точности, применявшаяся в GPSS/PC, больше не используется.

Команды REPORT теперь всегда функционируют в режиме NOW. Операнд A больше не используется и должен быть нулевым.

Теперь PLUS-выражениях допускается использование процедур из библиотеки PLUS-процедур. Также поддерживаются процедуры обработки строк и более двадцати встроенных вероятностных распределений.

Матрицы GPSS теперь могут иметь до 6 измерений. Любое двумерное поперечное сечение матрицы может динамически просматриваться в окне "Matrix" ("Матрица").

Изменились приоритеты операторов. Новые приоритеты рассматриваются в Главе 3. Если возникают какие-либо проблемы, необходимо выделить скобками все операции в выражениях из программных файлов GPSS/PC.