

Основные требования, предъявляемые к модели

Наиболее эффективным методом исследования больших систем является **машинное моделирование**, без которого невозможно решение многих крупных проблем.

Сущность машинного моделирования системы состоит в проведении на вычислительной машине эксперимента с моделью, которая представляет собой некоторый программный комплекс, описывающий формально и/или алгоритмически поведение элементов системы S в процессе ее функционирования.

Основные требования, предъявляемые к модели M процесса функционирования системы S .

1. Полнота модели должна предоставлять пользователю 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 большой системы должна быть по возможности минимальной при учете 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 определенного 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 ограниченных вычислительных ресурсов.**

При машинном моделировании системы S характеристики процесса ее функционирования определяются на основе модели M , построенной исходя из имеющейся исходной информации об объекте моделирования. При получении новой информации об объекте его модель пересматривается и уточняется с учетом новой информации. Этот процесс **продолжается до тех пор**, пока не будет получена модель M , которую можно считать **адекватной** в рамках решения поставленной задачи исследования и проектирования системы S .

Моделирование систем с помощью ЭВМ можно использовать в следующих случаях:

а) для исследования системы S до того, как она спроектирована, с целью определения чувствительности характеристики к изменениям структуры, алгоритмов и параметров объекта моделирования и внешней среды;

б) на этапе проектирования системы S 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 ее эксплуатации, для получения информации, дополняющей результаты натурных испытаний (эксплуатации) реальной системы, и для получения прогнозов эволюции (развития) системы во времени.

Основными этапами моделирования системы S являются:

:: построение концептуальной модели системы и ее формализация-проводится исследование моделируемого объекта с точки зрения выделения основных составляющих процесса его функционирования, определяются необходимые аппроксимации и получается обобщенная схема модели системы S , которая преобразуется в машинную модель M_m ;

:: алгоритмизация модели системы и ее машинная реализация;

:: получение и интерпретация результатов моделирования системы.

Концептуальные модели систем и их формализация

На первом этапе машинного моделирования — формулируется модель и строится ее формальная схема, т. е. основным назначением этого этапа является переход от содержательного описания объекта к его математической модели, другими словами, процесс формализации.

Наиболее рационально строить модель функционирования системы по блочному принципу. При этом могут быть выделены три автономные группы блоков такой модели.

Блоки **первой группы** представляют собой имитатор воздействий внешней среды E на систему S .

Блоки **второй группы** являются собственно моделью процесса функционирования исследуемой системы S .

Блоки **третьей группы** — вспомогательными и служат для машинной реализации блоков двух первых групп, а также для фиксации и обработки результатов моделирования.

Элементы системы S группируются в блоки S_I , S_{II} , S_{III} , отражающие процесс функционирования исследуемой системы. Построенная блочная модель процесса функционирования исследуемой системы S предназначена для анализа характеристик этого процесса, который может быть проведен при машинной реализации полученной модели рис. 1.

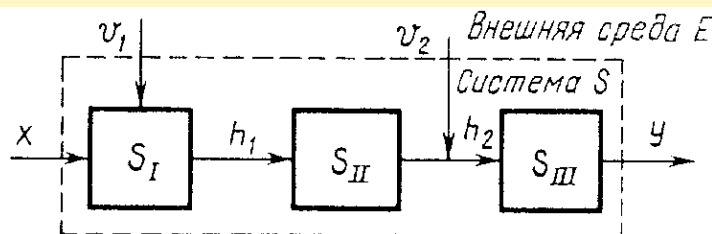


Рис. 1.

Математическая модель представляет собой совокупность соотношений (например, уравнений, логических условий, операторов), определяющих характеристики процесса функционирования системы S в зависимости от структуры системы, алгоритмов поведения, параметров системы, воздействий внешней среды E , начальных условий и времени.

Математическая модель является результатом формализации процесса функционирования исследуемой системы.

Однако на практике получение модели достаточно простого вида для больших систем чаще всего невозможно, поэтому обычно процесс функционирования системы S разбивают на ряд элементарных подпроцессов. При этом необходимо так проводить разбиение на подпроцессы, чтобы построение моделей отдельных подпроцессов было элементарно и не вызывало трудностей при формализации.

Основными подэтапами построения концептуальной модели M_x системы являются:

1.1. Постановка задачи машинного моделирования системы. Основное внимание уделяется таким вопросам, как: а) признание существования задачи и необходимости машинного моделирования; б) выбор методики решения задачи с учетом имеющихся ресурсов; в) определение масштаба задачи и возможности разбиения ее на подзадачи.

1.2. Анализ задачи моделирования системы. Который включает: а) выбор критериев оценки эффективности процесса функционирования системы S ; б) определение зависимых и независимых переменных модели M ; в) выбор возможных методов идентификации; г) выполнение предварительного анализа содержания второго этапа алгоритмизации модели системы и ее машинной реализации; д) выполнение предварительного анализа содержания третьего этапа получения и интерпретации результатов моделирования системы.

1.3. Определение требований к исходной информации об объекте моделирования и организация ее сбора. На этом подэтапе проводится: а) выбор необходимой информации о системе S и внешней среде E ; б) подготовка априорных данных; в) анализ имеющихся экспериментальных данных; г) выбор методов и средств предварительной обработки информации о системе.

1.4. Выдвижение гипотез и принятие предположений. При выдвижении гипотез и принятии предположений учитываются следующие факторы: а) объем имеющейся информации для решения задач; б) подзадачи, для которых информация недостаточна; в) ограничения на ресурсы времени для решения задачи; г) ожидаемые результаты моделирования.

1.5. Определение параметров и переменных модели. Описание каждого параметра и переменной должно даваться в следующей форме: а) определение и краткая характеристика; б) символ обозначения и единица измерения; в) диапазон изменения; г) место применения в модели.

1.6. Установление основного содержания модели. При этом учитываются следующие особенности: а) формулировка задачи моделирования системы; б) структура системы S и алгоритмы ее поведения, воздействия внешней среды E ; в) возможные методы и средства решения задачи моделирования.

1.7. Обоснование критериев оценки эффективности системы. Для оценки качества процесса функционирования моделируемой системы S необходимо выбрать некоторую совокупность критериев оценки эффективности, т. е. в математической постановке задача сводится к получению соотношения для

оценки эффективности как функции параметров и переменных системы.

1.8. Определение процедур аппроксимации. Для аппроксимации реальных процессов, протекающих в системе S , обычно используются три вида процедур:

а) *Детерминированную*. При детерминированной процедуре результаты моделирования однозначно определяются по данной совокупности входных воздействий, параметров и переменных системы S .

б) *Вероятностная* (рандомизированная) процедура применяется в том случае, когда случайные элементы, включая воздействия, внешней среды E , влияют на характеристики процесса функционирования системы S и когда необходимо получить информацию о законах распределения выходных переменных.

в) *Процедура определения средних значений* используется тогда, когда при моделировании системы интерес представляют средние значения выходных переменных при наличии случайных элементов.

1.9. Описание концептуальной модели системы. На этом подэтапе построения модели системы: а) описывается концептуальная модель M_x в абстрактных терминах и понятиях; б) дается описание модели с использованием типовых математических схем; в) принимаются окончательно гипотезы и предположения; г) обосновывается выбор процедуры аппроксимации реальных процессов при построении модели.

1.10. Проверка достоверности концептуальной модели. Проверка достоверности концептуальной модели МК должна

включать: а) проверку замысла модели; б) оценку достоверности исходной информации; в) рассмотрение постановки задачи моделирования; г) анализ принятых аппроксимаций; д) исследование гипотез и предположений.

1.11. Составление технической документации по первому этапу, который включает в себя: а) подробную постановку задачи моделирования системы S ; б) анализ задачи моделирования системы; в) критерии оценки эффективности системы; г) параметры и переменные модели системы; д) гипотезы и предположения, принятые при построении модели; е) описание модели в абстрактных терминах и понятиях; ж) описание ожидаемых результатов моделирования системы S .

Алгоритмизация моделей систем и их машинная реализация

На втором этапе моделирования — математическая модель, сформированная на первом этапе, воплощается в конкретную машинную модель. Этот этап представляет собой этап практической деятельности, направленной на реализацию идей и математических схем в виде машинной модели M_m процесса функционирования системы S .

При рассмотрении процессов функционирования некоторых систем можно обнаружить, что для них характерны два типа состояний:

1) **особые**, присущие процессу функционирования системы только в некоторые моменты времени (моменты поступления входных или управляющих воздействий, возмущений внешней среды и т. п.);

2) не особые, в которых процесс находится все остальное время.

Особые состояния характерны тем, что функции состояний изменяются скачкообразно, а между особыми состояниями изменение координат происходит плавно и непрерывно или не происходит совсем.

Не особые состояния при моделировании не рассматриваются.

Удобной формой представления логической структуры моделей процессов функционирования систем и машинных программ является схема. На различных этапах моделирования составляются обобщенные и детальные логические схемы моделирующих алгоритмов, а также схемы программ.

Обобщенная (укрупненная) схема моделирующего алгоритма задает общий порядок действий при моделировании системы она показывает, что необходимо выполнить на очередном шаге моделирования, например обратиться к датчику случайных чисел.

Детальная схема моделирующего алгоритма содержит уточнения, отсутствующие в обобщенной схеме, она показывает не только, что следует выполнить на очередном шаге моделирования системы, но и как это выполнить.

Логическая схема моделирующего алгоритма представляет собой логическую структуру модели процесса функционирования системы. Логическая схема указывает упорядоченную во времени последовательность логических операций, связанных с решением задачи моделирования.

Схема программы отображает порядок программной реализации моделирующего алгоритма с использованием конкретного математического обеспечения. Схема программы представляет собой интерпретацию логической схемы моделирующего алгоритма разработчиком программы на базе конкретного алгоритмического языка.

Логическая схема алгоритма и схема программы могут быть выполнены как в укрупненной, так и в детальной форме. Для начертания этих схем используется набор символов, определяемых ГОСТ 19.701 — 90 (ИСО 5807 — 85) «Единая система программной документации».

Некоторые наиболее употребительные в практике моделирования на ЭВМ символы показаны на рис. 2., где изображены основные, специфические и специальные символы процесса.

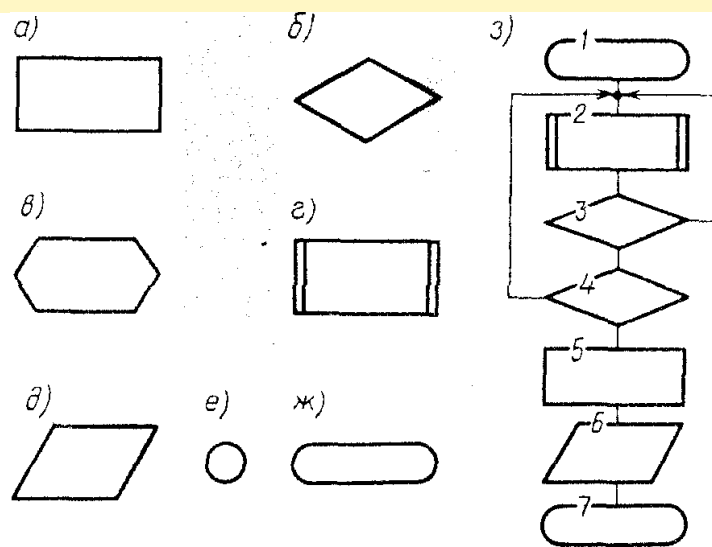


Рис 2.

К ним относятся: основной символ: а — процесс — символ отображает функцию обработки данных любого вида (выполнение определенной операции или группы операций, приводящее к изменению значения, формы или размещения

информации или к определению, по которому из нескольких направлений потока следует двигаться); специфические символы процесса: б — решение — символ отображает решение или функцию переключательного типа, имеющую один вход и ряд альтернативных выходов, один и только один из которых может быть активизирован после вычисления условий, определенных внутри этого символа (соответствующие результаты вычисления могут быть записаны по соседству с линиями, отображающими эти пути); в — подготовка — символ отображает модификацию команды или группы команд с целью воздействия на некоторую последующую функцию (установка переключателя, модификация индексного регистра или инициализация программы); г — predetermined процесс — символ отображает predetermined процесс, состоящий из одной или нескольких операций или шагов программы, которые определены в другом месте (в подпрограмме, модуле); д — ручная операция — символ отображает любой процесс, выполняемый человеком; специальные символы: е — соединитель — символ отображает выход в часть схемы и вход из другой части этой схемы и используется для обрыва линии и продолжения ее в другом месте (соответствующие символы-соединители должны содержать одно и то же уникальное обозначение); ж — terminator — символ отображает выход во внешнюю среду и вход из внешней среды (начало или конец схемы алгоритма, внешнее использование или пункт назначения данных).

Подэтапы второго этапа моделирования.

2.1. Построение логической схемы модели. Рекомендуется строить модель по блочному принципу. При построении блочной

модели проводится разбиение процесса функционирования системы на отдельные достаточно автономные подпроцессы. Блоки такой модели бывают двух типов: основные и вспомогательные. Каждый основной блок соответствует некоторому реальному подпроцессу, имеющему место в моделируемой системе S , а вспомогательные блоки представляют собой лишь составную часть машинной модели, они не отражают функции моделируемой системы и необходимы лишь для машинной реализации, фиксации и обработки результатов моделирования.

2.2. Получение математических соотношений. Одновременно с выполнением подэтапа построения логической схемы модели необходимо получить, если это возможно, математические соотношения в виде явных функций, т. е. построить аналитические модели. Схема машинной модели M_m должна представлять собой полное отражение заложенной в модели концепции и иметь: а) описание всех блоков модели с их наименованиями; б) единую систему обозначений и нумерацию блоков; в) отражение логики модели процесса функционирования системы; г) задание математических соотношений в явном виде.

2.3. Проверка достоверности модели системы. Эта проверка является первой из проверок, выполняемых на этапе реализации модели. Поэтому определение достоверности модели можно считать наиболее важной проблемой при моделировании систем. При этом проверяются: а) возможность решения поставленной задачи; б) точность отражения замысла в логической схеме; в) полнота логической схемы модели; г) правильность используемых математических соотношений.

2.4. Выбор инструментальных средств для моделирования.

Вопрос о выборе ЭВМ сводится к обеспечению следующих требований: а) наличие необходимых программных и технических средств; б) доступность выбранной ЭВМ для разработчика модели; в) обеспечение всех этапов реализации модели; г) возможность своевременного получения результатов.

2.5. Составление плана выполнения работ по программированию.

План при использовании универсальной ЭВМ должен включать в себя: а) выбор языка (системы) программирования модели; б) указание типа ЭВМ и необходимых для моделирования устройств; в) оценку примерного объема необходимой оперативной и внешней памяти; г) ориентировочные затраты машинного времени на моделирование; д) предполагаемые затраты времени на программирование и отладку программы на ЭВМ.

2.6. Спецификация и построение схемы программы.

Наличие логической блок-схемы модели позволяет построить схему программы, которая должна отражать: а) разбиение модели на блоки, подблоки и т. д.; б) особенности программирования модели; в) проведение необходимых изменений; г) возможности тестирования программы; д) оценку затрат машинного времени; е) форму представления входных и выходных данных.

2.7. Верификация и проверка достоверности схемы программы.

Верификация программы — доказательство того, что поведение программы соответствует спецификации на программу. Эта проверка является второй на этапе машинной реализации модели системы.

2.8. Проведение программирования модели. При достаточно подробной схеме программы, которая отражает все операции логической схемы модели, можно приступить к программированию модели.

2.9. Проверка достоверности программы. Эта последняя проверка на этапе машинной реализации модели, которую необходимо проводить: а) обратным переводом программы в исходную схему; б) проверкой отдельных частей программы при решении различных тестовых задач; в) объединением всех частей программы и проверкой ее в целом на контрольном примере моделирования варианта системы S.

2.10. Составление технической документации по второму этапу. Для завершения этапа машинной реализации модели необходимо составить техническую документацию, содержащую: а) логическую схему модели и ее описание; б) адекватную схему программы принятые обозначения; в) полный текст программы; г) перечень входных и выходных величин с пояснениями; д) инструкцию по работе с программой; е) оценку затрат машинного времени на моделирование с указанием требуемых ресурсов ЭВМ.

Таким образом, на этом этапе разрабатывается схема модели системы S, проводится ее алгоритмизация и программирование с использованием конкретных программно-технических средств.

Получение и интерпретация результатов моделирования систем

На третьем этапе моделирования —ЭВМ используется для проведения рабочих расчетов по составленной и отлаженной программе. Результаты этих расчетов позволяют

проанализировать и сформулировать выводы о характеристиках процесса функционирования моделируемой системы S .

В ходе машинного эксперимента изучается поведение исследуемой модели M процесса функционирования системы S на заданном интервале времени. Поэтому критерий оценки является в общем случае векторной случайной функцией, заданной на этом же интервале.

Часто используют более простые критерии оценки, например вероятность определенного состояния системы в заданный момент времени, отсутствие отказов и сбоев в системе на интервале и т. д. При интерпретации результатов моделирования вычисляются различные статистические характеристики закона распределения критерия оценки.

Прежде чем приступить к последнему, третьему, этапу моделирования системы, необходимо для его успешного проведения иметь четкий план действий, сводящийся к выполнению следующих основных подэтапов.

3.1. Планирование машинного эксперимента с моделью системы. Планирование машинного эксперимента призвано дать в итоге максимальный объем необходимой информации об объекте моделирования при минимальных затратах машинных ресурсов. При этом различают стратегическое и тактическое планирование машинного эксперимента. При стратегическом планировании эксперимента ставится задача построения оптимального плана эксперимента для достижения цели, поставленной перед моделированием (например, оптимизация структуры, алгоритмов и параметров системы S , исследуемой методом моделирования на ЭВМ). Тактическое планирование

машинного эксперимента преследует частные цели оптимальной реализации каждого конкретного эксперимента из множества необходимых, заданных при стратегическом планировании (например, решение задачи выбора оптимальных правил остановки при статистическом моделировании системы 5 на ЭВМ).

3.2. Определение требований к вычислительным средствам. Необходимо сформулировать требования по времени использования вычислительных средств, т. е. составить график работы на одной или нескольких ЭВМ, а также указать те внешние устройства ЭВМ, которые потребуются при моделировании.

3.3. Проведение рабочих расчетов. После составления программы модели и плана проведения машинного эксперимента с моделью системы S можно приступить к рабочим расчетам на ЭВМ, которые обычно включают в себя: а) подготовку наборов исходных данных для ввода в ЭВМ; б) проверку исходных данных, подготовленных для ввода; в) проведение расчетов на ЭВМ; г) получение выходных данных, т. е. результатов моделирования.

3.4. Анализ результатов моделирования системы. Чтобы эффективно проанализировать выходные данные, полученные в результате расчетов на ЭВМ, необходимо знать, что делать с результатами рабочих расчетов и как их интерпретировать.

3.5. Представление результатов моделирования. Целесообразно в каждом конкретном случае выбрать наиболее подходящую форму, так как это существенно влияет на эффективность их дальнейшего употребления заказчиком.

3.6. Интерпретация результатов моделирования. Основное содержание этого подэтапа — переход от информации, полученной в результате машинного эксперимента с моделью к информации применительно к объекту моделирования, на основании которой и будут делаться выводы относительно характеристик процесса функционирования исследуемой системы S.

3.7. Подведение итогов моделирования и выдача рекомендаций. При подведении итогов моделирования должны быть отмечены главные особенности, полученные в соответствии с планом эксперимента над моделью результатов, проведена проверка гипотез и предположений и сделаны выводы на основании этих результатов.

3.8. Составление технической документации по третьему этапу. Эта документация должна включать в себя: а) план проведения машинного эксперимента; б) наборы исходных данных для моделирования; в) результаты моделирования системы; г) анализ и оценку результатов моделирования; д) выводы по полученным результатам моделирования; указание путей дальнейшего совершенствования машинной модели и возможных областей ее приложения.

Таким образом, процесс моделирования системы S сводится к выполнению перечисленных этапов моделирования.

Рассмотренная последовательность этапов и подэтапов отражает наиболее общий подход к построению и реализации модели ; системы S.