

## Лекция №14

### Раздел 3. Моделирование с использованием имитационного подхода.

#### Этапы построения имитатора

Процесс построения имитатора можно представить как технологический процесс, многие этапы которого аналогичны этапам, рассмотренным в разделе 2. Однако имеются и определенные отличия. Всего в этом случае можно выделить восемь технологических этапов:

1. **Содержательное описание объекта моделирования:** формулируются основные вопросы о поведении сложной системы, ответы на которые требуется получить; определяется объект имитации; устанавливаются границы и ограничения моделирования; выбираются показатели для сравнения эффективности вариантов системы.
2. **Концептуальная модель системы:** на основе содержательного описания определяется общий замысел модели, выдвигаются основные гипотезы, фиксируются сделанные допущения. Концептуальная модель сложной системы представляет собой упрощенное алгоритмическое отображение реальной системы. Сложная система расчленяется на конечное число частей (декомпозиция системы), сохраняя при этом связи, обеспечивающие их взаимодействие. Полученные части при необходимости вновь расчленяются до тех пор, пока не получатся элементы, удобные для математического или алгоритмического описания. В результате этого сложная система представляется в виде многоуровневой "конструкции" взаимосвязанных элементов, объединенных в подсистемы (подмодели) различных уровней. При этом стремятся к тому, чтобы получаемые подмодели отвечали реально существующим фрагментам системы. В состав концептуальной модели входят: уточненное описание объекта моделирования, свободное от всего того, что не представляет интереса для имитации поведения системы; список параметров и переменных моделирования; критерии эффективности функционирования вариантов системы; список используемых методов обработки результатов имитации и перечисление способов представления результатов моделирования.
3. **Формальное описание объекта моделирования:** построение исследователем формального представления алгоритмов поведения компонентов сложной системы и отражение вопросов взаимодействия компонентов между собой. Для составления формального описания используется один из трех видов формализации: аппроксимация

явлений функциональными зависимостями, алгоритмическое описание процессов в системе и смешанное представление. После составления формального описания выполняют проверку правильности функционирования имитатора, используя классические модели, достоверность которых доказана. При этом выясняют следующие вопросы: позволяет ли имитатор решить поставленные задачи моделирования, насколько полна предложенная схема модели и отражает ли она фактическую последовательность развития процессов в реальной системе. На этом же этапе выполняется выбор вычислительных средств, которые обеспечили бы исследователю легкость программирования, минимальные затраты на моделирование, доступность выбранной ЭВМ, быстрое получение результатов.

4. **Конструирование имитатора:** преобразование формального описания в описание имитатора. Данный этап, как правило, вводится для сложных систем, которые нельзя представить в виде агрегативной схемы или системы массового обслуживания. Здесь же прорабатываются вопросы, связанные с синхронизацией частей компонентов модели друг с другом в модельном времени, организацией сбора статистики, заданием начальных условий моделирования, планированием процесса имитации отдельных вариантов системы, проверкой условий окончания моделирования, обработкой результатов имитации.
5. **Программирование и отладка модели:** данный этап практически не отличается от соответствующего этапа, рассмотренного в разделе 2 для аналитических и численных моделей. Отладочный процесс обязательно включает как независимую отладку отдельных компонентов, так и комплексную отладку программы для всей модели. Данный этап предполагает разработку технической документации на программную реализацию модели.
6. **Испытание и исследование модели:** проверка правильности алгоритма моделирования исследуемого объекта в ходе имитации его поведения; определение степени адекватности модели и объекта исследования. Под адекватностью программной реализации имитатора понимают степень совпадения с заданной точностью векторов характеристик поведения объекта и модели. При отсутствии адекватности проводят *калибровку* модели, то есть уточняют алгоритмы как отдельных компонентов, так и алгоритмы взаимодействия компонентов друг с другом. Данная операция может включать и уточнение формального описания компонентов. *Исследование свойств* имитатора предполагает оценку точности и устойчивости результатов имитации явлений, а также определение чувствительности значений критериев качества к изменению параметров модели. Под *точностью имитации* явления понимают оценку

влияния стохастических элементов на функционирование модели сложной системы. *Устойчивость результатов моделирования* характеризуется сходимостью контролируемых параметров к определенным величинам при увеличении времени моделирования варианта сложной системы, что обычно наблюдается на практике для систем с конечным числом состояний. *Стационарность режима моделирования* характеризует некоторое установившееся равновесие процессов в модели системы, когда дальнейшее увеличение времени моделирования не приводит к получению новой информации. *Чувствительность модели* определяется величиной минимального приращения значений выбранного критерия качества, вычисляемого по статистикам моделирования, при последовательном изменении параметров моделирования на всем диапазоне их изменения. Следует отметить, что без оценки точности, устойчивости и чувствительности имитатора нельзя рассчитывать на доверие к нему как со стороны разработчика, так и со стороны заказчика.

7. **Эксплуатация имитатора.** Этап начинается с составления плана экспериментов, позволяющего исследователю получить максимум информации при минимальных затратах на проведение вычислений и обработку результатов. При этом необходимо выполнить обязательное статистическое обоснование плана экспериментов. Планирование эксперимента представляет собой процедуру выбора минимального числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с заданной точностью. После составления плана экспериментов приступают к их реализации. Итогом работы являются результаты экспериментов на модели.
8. **Анализ результатов моделирования:** всесторонний анализ полученных результатов с целью получения рекомендаций по проектированию системы или ее модификации. На результаты анализа и их интерпретацию существенное влияние может оказывать способ представления данных на ЭВМ. Так, использование средств компьютерной графики и мультипликации могут оказать существенную помощь на данном этапе.

Успех или неудача проведения имитационных экспериментов с моделями сложных систем существенным образом зависит от инструментальных средств, используемых для моделирования, то есть от набора аппаратно-программных средств, представляемых пользователю-разработчику или пользователю-исследователю имитатора. В настоящее время существует большое количество специальных языков создания имитаторов на ЭВМ, которые называют *языками моделирования*. Перед разработчиком возникает проблема выбора языка, наиболее эффективного для целей моделирования конкретной системы. Языки моделирования заслуживают пристального внимания, так как, во-первых, число существующих языков и

систем моделирования превышает несколько сотен и необходимо научиться ориентироваться в них. Во-вторых, почти каждый новый язык моделирования является не только средством, облегчающим доведение концептуальной модели до готовой машинной моделирующей программы, но и представляет собой новый способ "видения мира", то есть построения моделей реальных систем. К наиболее известным языкам моделирования систем с дискретными событиями относят SIMULA, SIMSCRIPT, GPSS, SOL, CSL.

В заключение еще раз остановимся на достоинствах и недостатках имитационного подхода. При достаточно глубоком знании поведения реальной системы и правильном представлении в имитаторе феноменологической информации имитаторы характеризуются, вообще говоря, большей близостью к реальной системе, чем аналитические и численные модели. В значительной степени такая близость обусловлена блочным принципом построения имитатора, который позволяет выполнять верификацию каждого блока до его включения в общую модель, а также благодаря тому, что имитатор может включать зависимости более сложного характера, которые трудно (а иногда невозможно) учесть с помощью математических соотношений. В то же время создать хороший имитатор поведения сложной системы, как правило, сложнее, дольше и дороже, чем аналитическую модель. Это связано с обязательным присутствием в цикле создания имитатора этапа программирования, стоимость, сложность и длительность которого может быть значительной. Кроме того, необходимость использования ЭВМ соответствующего класса в значительной степени осложняет использование модели. И, наконец, срок жизни имитатора, как правило, ограничен сроком использования ЭВМ, для которых была разработана его программная реализация. Учитывая, что время разработки достаточно сложного имитатора составляет несколько лет, а период существенного обновления вычислительной техники сократился до 5-10 лет, то все это является серьезным недостатком моделей, основанных на имитационном подходе. Быстрое развитие средств вычислительной техники, совершенствование языков и технологий разработки имитаторов позволяет надеяться, что отмеченные недостатки будут со временем устраняться.