

## Лекция №13

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

#### Особенности моделей, использующих имитационный подход

Развитие моделей, использующих имитационный подход, связано с необходимостью исследования очень сложных систем, встречающихся на практике. Аналитические и численные методы, позволяющие провести наиболее полное исследование математической модели объекта, применимы далеко не для всех систем. Для многих сложных систем при построении аналитических моделей исследователю зачастую приходится идти на серьезные упрощения, чтобы получить представление о некоторых общих свойствах моделируемой системы, например, оценить устойчивость системы. Моделируемая система может быть настолько сложна, а поведение ее - так многообразно и непредсказуемо, что принятая система гипотез может приводить не только к существенным количественным, но и качественным отличиям результатов моделирования от поведения системы в реальных условиях. При этом повышение степени адекватности модели может оказаться невозможным по многим причинам: неразвитостью существующих аналитических и численных методов, невозможностью построения аналитического описания поведения отдельных элементов системы или взаимодействия между элементами, и так далее. Перечислим ситуации, когда исследователю можно рекомендовать применять модели, имитирующие поведение реального объекта:

1. Если не существует законченной постановки задачи исследования и идет процесс познания объекта моделирования или отдельных его элементов.
2. Если аналитические методы имеются, но математические процедуры трудно реализуемы, сложны и трудоемки.
3. Когда кроме оценки влияния параметров сложной системы желательно осуществить наблюдение за поведением отдельных компонентов этой системы в течение определенного периода времени.
4. Когда имитационный подход оказывается единственным способом исследования сложной системы из-за невозможности наблюдения явлений в реальной обстановке.
5. Когда необходимо контролировать протекание процессов в сложной системе путем замедления или ускорения явлений в ходе имитации.
6. При подготовке специалистов и освоении новой техники, когда имитатор обеспечивает возможность приобретения необходимых навыков в эксплуатации новой техники.

7. Когда изучаются новые ситуации в сложных системах, о которых мало что известно. В этом случае имитация служит для предварительной проверки новых стратегий и правил принятия решений перед проведением экспериментов на реальной системе.
8. Когда основное значение имеет последовательность событий в проектируемой сложной системе и модель используется для предсказания узких мест в функционировании системы и других трудностей, связанных с добавлением в систему новых элементов.

Имитационный подход оправдан, если вопросы, на которые должна ответить модель, относятся не к выяснению фундаментальных законов и причин, определяющих динамику реальной системы, а к анализу поведения системы, как правило, выполняемому в сугубо практических целях.

Суть подхода, используемого при разработке имитаторов, состоит в том, что процесс функционирования сложной системы представляется в виде определенного алгоритма, реализуемого на ЭВМ. Для систем, состоящих из множества элементов, приходится строить модель не только всей системы, но и модели отдельных элементов. Как и для аналитического подхода, разработка модели-имитатора ведется с использованием некоторой совокупности гипотез. Изменение даже одной гипотезы для одного из элементов системы может привести к необходимости пересмотра всей модели системы и поиску новых методов исследования (именно поэтому аналитические и численные подходы к моделированию сложных систем применяют после длительного и всестороннего изучения поведения как всей системы, так и отдельных ее элементов). Имитационный подход позволяет *"максимально использовать всю имеющуюся в распоряжении исследователя информацию о системе"*.

Например, пусть требуется построить модель популяции живых существ с учетом взаимодействия с конкурирующими видами, хищниками и окружающей природой. Объектом моделирования в данном случае является сложная система, состоящая из живых существ разного вида, взаимодействующих друг с другом. При некоторых ограничениях можно описать изменение численности животных с помощью системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Однако биологи, наблюдающие за реальной биосистемой, могут описать поведение отдельных особей только в виде совокупности правил и приближенно контролировать общую численность различных животных. Использовать эти наблюдения для определения констант, входящих в систему уравнений, достаточно сложно. В то же время построить алгоритм, реализующий указанную таблицу правил поведения одной особи, гораздо проще. Если известны правила взаимодействия с особями другого вида и с окружающей природой, то несложно разработать алгоритм, имитирующий поведение всей системы. Если в процессе дальнейшего наблюдения за реальной биосистемой будут уточняться или изменяться некоторые правила поведения или взаимодействия особей, то их учет можно выполнить,

изменив соответствующий алгоритм, без существенной модификации всей модели. Таким образом, на самом раннем этапе исследований реальной системы можно получить ее рабочую модель, которая будет достаточно легко совершенствоваться по мере накопления экспериментального материала.

Имитаторы, как правило, используются для моделирования сложных динамических систем. При этом приходится моделировать не только структуру системы, но и время ее функционирования. При моделировании обычно используется три представления времени:

- *реальное время* моделируемой системы;
- *модельное время*, по которому организуется синхронизация событий в системе;
- *машинное время* имитации, отражающее затраты ресурсов времени ЭВМ на организацию имитации.

Для сложных систем возможна ситуация, когда различные события в различных компонентах происходят одновременно с точки зрения реального времени. Однако подавляющее большинство существующих современных вычислительных устройств не поддерживают распараллеливание вычислений. Поэтому возникает необходимость введения модельного времени, с помощью которого реализуется *квазипараллельная работа* компонент имитатора. Приставка "квази" в данном случае вводится для подчеркивания последовательного характера обработки событий в имитаторе, одновременно возникающих в разных компонентах реальной системы. В отличие от реального времени, модельное время изменяется не непрерывно, а пошагово. При этом величина шага по времени может быть фиксированной или переменной. При фиксированном шаге изменение модельного времени происходит всегда на одну и ту же величину. В случае переменного шага его величина соответствует интервалу времени между соседними событиями в системе. На практике большее распространение получил способ переменного шага.

Еще одной особенностью имитационного подхода является относительная простота учета стохастической неопределенности исходных параметров моделирования. Метод Монте-Карло достаточно хорошо подходит для моделирования параметров имитатора. Использование преобразования случайных величин позволяет получать распределения случайных параметров, соответствующие практически любому закону распределения случайных величин. Работа с имитатором представляет собой вычислительный эксперимент, осуществляемый на ЭВМ, который во многом сродни эксперименту с реальной системой. В связи с такой особенностью имитатор обычно дает ответы на вопросы лишь в статистическом смысле, что следует признать неизбежным при работе со сложными системами и более соответствующим поведению реальных объектов.