**Лекция №12**

**Имитационные модели информационных систем**

**Классификация имитационных моделей**

Имитационные модели принято классифицировать по четырем наиболее распространенным признакам:

* *типу*используемой ЭВМ;
* *способу взаимодействия*с пользователем;
* *способу управления системным временем (механизму*системного времени);
* *способу организации квазипараллелизма (схеме формализации*моделируемой системы).

Первые два признака позволяют разделить имитационные модели на совершенно понятные (очевидные) классы.  
По *типу*используемой ЭВМ различают *аналоговые, цифровые*и *гибридные имитационные модели.*В дальнейшем будем рассматривать *только цифровые модели*.  
По *способу взаимодействия с*пользователем имитационные модели могут быть *автоматическими*(не требующими вмешательства исследователя после определения режима моделирования и задания исходных данных) и *интерактивными*(предусматривающими диалог с пользователем в том или ином режиме в соответствии со сценарием моделирования). Отметим, что моделирование сложных систем, относящихся, как уже отмечалось, к классу *эргатических*систем, как правило, требует применения диалоговых моделей.  
Различают *два механизма системного времени*:

* задание времени с помощью *постоянных временных интервалов*(шагов);
* задание времени с помощью *переменных временных интервалов*(моделирование по особым состояниям).

При реализации первого механизма системное время сдвигается на один и тот же интервал (шаг моделирования) независимо от того, какие события должны наступать в системе. При этом наступление всех событий, имевших место на очередном шаге, относят к его окончанию. На рис. 1, а) показана схема реализации механизма системного времени с постоянным шагом. Так, для этого механизма считают, что событие наступило в момент окончания первого шага; событие — в момент окончания второго шага; события , , — в момент окончания четвертого шага (эти моменты показаны стрелками) и т.д.  
При моделировании *по особым состояниям*системное время каждый раз изменяется на величину, соответствующую интервалу времени до планируемого момента наступления следующего события, т.е. события обрабатываются поочередно – каждое "в свое время". Если в реальной системе какие-либо события наступают одновременно, это фиксируется в модели. Для реализации этого механизма требуется специальная процедура, в которой отслеживаются времена наступления всех событий и из них выделяется ближайшее по времени. Такую процедуру называют *календарем событий*. На рис. 1, б) стрелками обозначены моменты изменения системного времени.  
Существует не столь распространенная разновидность механизма моделирования по особым состояниям, предусматривающая возможность изменения порядка обработки событий, так называемый *механизм моделирования с реверсированием (обращением) шага*по времени. Согласно этому механизму все события в системе разбиваются на два класса: *фазовые*и *простые.*К первым относят события, порядок моделирования которых нельзя изменять во избежание нарушения причинно-следственных связей в моделируемой системе. Остальные события относят к простым. Таким образом, сначала моделируют очередное фазовое событие, а затем — все простые события до этого фазового, причем в произвольном порядке.  
На рис. 2 приведены перечисленные способы управления системным временем.  
Очевидно, что механизм системного времени с постоянным шагом легко реализуем: достаточно менять временную координату на фиксированный шаг и проверять, какие события уже наступили.

[](http://mirea.kremlina.ru/uploads/posts/2017-12/1512415746_1.png)

Рис. 2. Механизмы управления системным временем.

Метод фиксированного шага *целесообразно*применять в следующих случаях:

* события в системе появляются *регулярно*;
* число событий *велико*;
* все события являются для исследователя *существенными*(или заранее неизвестно, какие из них существенны).

Вопрос о том, каким же механизмом системного времени воспользоваться, решается путем анализа достоинств и недостатков каждого применительно к конкретной модели и требует от разработчика высокой квалификации. В некоторых моделях используют комбинированные механизмы системного времени в целях исключения недостатков.  
Важнейшим классификационным признаком имитационных моделей является схема *формализации моделируемой системы*(способ организации квазипараллелизма).  
Наибольшее распространение получили пять способов:

* просмотр *активностей*;
* *составление расписания событий*;
* *управление обслуживанием транзактов*;
* *управление агрегатами*;
* *синхронизация процессов*.

Характеристика этих способов требует введения ряда понятий.  
Основными составными частями модели ИС являются *объекты,*которые представляют компоненты реальной системы. Для задания свойств объектов используются *атрибуты (параметры).*Совокупность объектов с одним и тем же набором атрибутов называют *классом объектов.*Все объекты подразделяют на *активные*(представляющие в модели те объекты реальной системы, которые способны функционировать самостоятельно и выполнять некоторые действия над другими объектами) и *пассивные*(представляющие реальные объекты, самостоятельно в рамках данной модели не функционирующие).  
Работа *(активность)*представляется в модели *набором операций, выполняемых в течение некоторого времени и приводящих к изменению состояний объектов системы. В рамках конкретной модели любая работа рассматривается как единый дискретный шаг (возможно, состоящий из других работ). Каждая работа характеризуется временем выполнения и потребляемыми ресурсами.*  
Событие представляет собой *мгновенное изменение состояния некоторого объекта системы (т.е. изменение значений его атрибутов).*Окончание любой активности в системе является событием, так как приводит к изменению состояния объекта (объектов), а также может служить инициатором другой работы в системе.  
*Под процессом понимают логически связанный набор активностей, относящихся к одному объекту.*Выполнение таких активностей называют *фазой процесса.*Различие между понятиями "активность" и "процесс" полностью определяется степенью детализации модели. Например, смена позиций мобильным объектом в одних моделях может рассматриваться как сложный процесс, а в других — как работа по изменению за некоторое время номера позиции. *Процессы, включающие одни и те же типы работ и событий, относят к одному классу.*Таким образом, моделируемую систему можно представить соответствующим числом классов процессов. Между двумя последовательными фазами (работами) некоторого процесса может иметь место любое число фаз других процессов, а их чередование в модели, собственно, и выражает суть квазипараллелизма.  
В ряде случаев функциональные действия (ФД) *компонент (объектов) реальной системы одинаковы, а общее их число ограничено.*Каждое ФД можно описать *простейшими работами,*которые приводят *лишь к изменению значений временных координат*компонент системы. Взаимодействие такого рода активностей аналогично функционированию системы массового обслуживания. Однотипные активности объединяются и называются *приборами массового обслуживания.*Инициаторами появления событий в такой модели становятся *заявки (транзакты) на обслуживание*этими приборами.  
В некоторых реальных системах ФД *отдельных компонент тесно взаимодействуют друг с другом. Компоненты обмениваются между собой сигналами,*причем выходной сигнал одной компоненты может поступать на вход другой, а сами ФД можно *в явном виде описать математическими зависимостями.*Если появление выходного сигнала таким образом определяется соответствующим набором "входов", можно реализовать так называемый *модульный принцип построения модели.*Каждый из модулей строится по *стандартной (унифицированной, типовой) структуре*и называется *агрегатом.*  
Рассмотрим характеристики *способов организации квазипараллелизма.*  
*Способ просмотра активностей*применяется при следующих условиях:

* все ФД компонент реальной системы различны, причем для выполнения каждого из них требуется выполнение некоторых (своих) условий;
* условия выполнимости известны исследователю заранее и могут быть заданы алгоритмически;
* в результате ФД в системе наступают различные события;
* связи между ФД отсутствуют и они осуществляются независимо друг от друга.

В данном контексте имитационная модель состоит из двух частей:

* множества активностей (работ);
* набора процедур проверки выполнимости условий инициализации активностей, т.е. возможности передачи управления на реализацию алгоритма этой активности.

Проверка *выполнимости условия инициализации работы*основана либо *на анализе значений параметров и/или переменных модели,*либо *вычислении моментов времени, когда должно осуществляться данное ФД.*  
После *выполнения каждой активности производится модификация системного времени для данного компонента и управление передается в специальный управляющий модуль,*что и составляет суть имитации для этого способа организации квазипараллелизма.  
*Составление расписания событий*применяется в тех случаях, когда реальные процессы характеризуются рядом достаточно строгих ограничений:

* различные компоненты выполняют *одни и те же ФД*;
* начало выполнения этих ФД *определяется одними и теми же условиями,*причем они *известны*исследователю и заданы *алгоритмически*;
* в результате ФД происходят *одинаковые события независимо друг от друга*;
* *связи*между ФД *отсутствуют,*а каждое ФД выполняется *независимо*.

В таких условиях имитационная модель по сути состоит из *двух процедур*:

* *проверки выполнимости*событий;
* обслуживания *(обработки)*событий.

Выполнение этих процедур *синхронизируется в модельном времени*так называемым *списковым механизмом планирования.*Процедура проверки выполнимости событий схожа с ранее рассмотренными для просмотра активностей (напомним, что окончание любой работы является событием и может инициализировать другую активность) с учетом того, что при выполнении условия происходит *не инициализация работы, а обслуживание (розыгрыш) события с последующим изменением системного времени*для данного компонента. Корректировка системного времени осуществляется календарем событий.  
Условия применимости *транзактного способа организации квазипараллелизма*были приведены при определении понятия "транзакт". Связь между приборами массового обслуживания устанавливается с помощью *системы очередей, выбранных способов генерации, обслуживания и извлечения транзактов.*Так организуется *появление*транзактов, *управление их движением, нахождение в очереди, задержки в обслуживании, уход транзакта из системы и т.п. Событием в*такой имитационной модели является *момент инициализации любого транзакта.*Типовыми структурными элементами модели являются *источники*транзактов; их поглотители; блоки, имитирующие *обслуживание*заявок; *управляющий модуль.*Имитация функционирования реальной системы производится путем *выявления очередной (ближайшей по времени) заявки,*ее *обслуживания, обработки итогов обслуживания*(появления нового транзакта; поглощения заявки; изменения возможного времени поступления следующего транзакта и т.п.), *изменения системного времени до момента наступления следующего события.*  
В случае построения имитационной модели с *агрегатным способом организации квазипараллелизма*особое внимание следует уделять *оператору перехода системы из одного состояния в другое. Имитация*производится *за счет передачи управления от агрегата к агрегату при выполнении определенных условий, формирования различных сигналов и их доставки адресату, отработки внешних сигналов, изменения состояния агрегата*и т.п. При этом в *управляющем модуле осуществляется временная синхронизация состояний всех агрегатов.*Отметим, что выделение такого способа реализации квазипараллелизма является достаточно условным, так как квазипараллельная работа агрегатов системы может быть организована другими способами — активностями, планированием событий, взаимодействием транзактов, процессами. Иными словами, агрегатный способ прежде всего ориентирован на использование *типовых математических схем (типовых агрегатов) для описания компонент системы и организации их взаимодействия одним из перечисленных способов.*  
*Процессный способ организации квазипараллелизма*применяется в случаях:

* *все ФД*компонент реальной системы *различны*;
* *условия инициализации ФД*также *различны*;
* в любой момент времени в компоненте может выполняться *только одно ФД*;
* *последовательность ФД*в каждом компоненте *определена*.

Принято считать, что процессный подход объединяет лучшие черты других способов: *краткость описания активностей и эффективность событийного представления*имитации. Процессным способом можно организовать имитацию ИС любой сложности, но такой способ особенно эффективен в тех случаях, когда требуется высокий уровень детализации выполнения ФД, а сама имитационная модель используется для поиска "узких" мест в работе системы. *При таком подходе особо важно соблюдение сходства структуры модели и объекта исследования.*Имитационная модель представляет собой набор описаний процессов, каждое из которых посвящено одному классу процессов, а также информационных и управляющих связей между компонентами модели. *Каждой компоненте объекта моделирования соответствует свой процесс. Переход от выполнения одной активности к другой активности того же процесса*считают изменением его состояния и называют *активизацией процесса. Проверка выполнимости условий активизации*процесса и появление событий *осуществляется самим процессом.*Процессный способ широко применяется в задачах моделирования проектируемых систем. Он позволяет реализовать *многоуровневое модульное моделирование,*предусматривающее внесение в модель частичных изменений по результатам исследований.  
На рис. 3 представлена классификация способов организации квазипараллелизма.  
Отметим, что в настоящее время для реализации всех перечисленных схем формализации моделируемой системы созданы *специализированные программные средства, ориентированные на данный способ организации квазипараллелизма,*что, с одной стороны, *облегчает программную реализацию модели,*но, с другой стороны, *повышает ответственность исследователя*за правильность выбора соответствующей схемы.

[](http://mirea.kremlina.ru/uploads/posts/2017-12/1512415758_2.png)

Рис. 3.Классификация имитационных моделей по способу организации квазипараллелизма.