

Лекция 8. Методологические подходы в имитационном моделировании.

Цель лекции: владеть методологическими подходами в имитационном моделировании для моделирования процессов моделирования процессов и систем моделирования;

Ключевые слова: дискретная имитация, непрерывная имитация, комбинированная имитация

Основные вопросы:

1. Система
2. Имитация
3. Дискретная имитация
4. Непрерывная имитация
5. Комбинированная имитация

Системы и модели. Система – это совокупность элементов, которые принадлежат ограниченной части реального мира, являющейся объектом исследования. Поэтому система относительное. В одном случае некоторая совокупность элементов может рассматриваться только как небольшая часть большой системы, т.е. в качестве подсистемы, а в другом та же совокупность может быть в центре интересов исследователя, т.е. рассматриваться как система. Сфера действия любой системы и любой модели системы однозначно определяется целью, для достижения которой он выделяется и идентифицируется. Сфера действия любой имитационной модели определяется также особенностями той проблемы, для решения которой разрабатывается эта модель.

Для установления сферы действия системы исследовать должен выявить ее границы и состав. При установлении границ системы выявляются не только физические, но и причинно-следственные взаимосвязи между ее элементами. На систему, которой дано предварительное определение, могут воздействовать некоторые внешние факторы. Если существенно влияют на поведение системы, экспериментировать с такой системой не имеет смысла, и ее следует, переопределить. Если внешние факторы частично воздействуют на систему, существуют следующие возможности:

- расширить определение системы, включив в него эти факторы;
- пренебречь этими факторами;
- трактовать их как входы в систему.

Если внешние факторы трактуются как входы в систему, предполагается, что они функционально задаются с помощью предписанных значений, таблиц или уравнений. Например, когда разрабатывается модель производственной системы (рисунок 2)

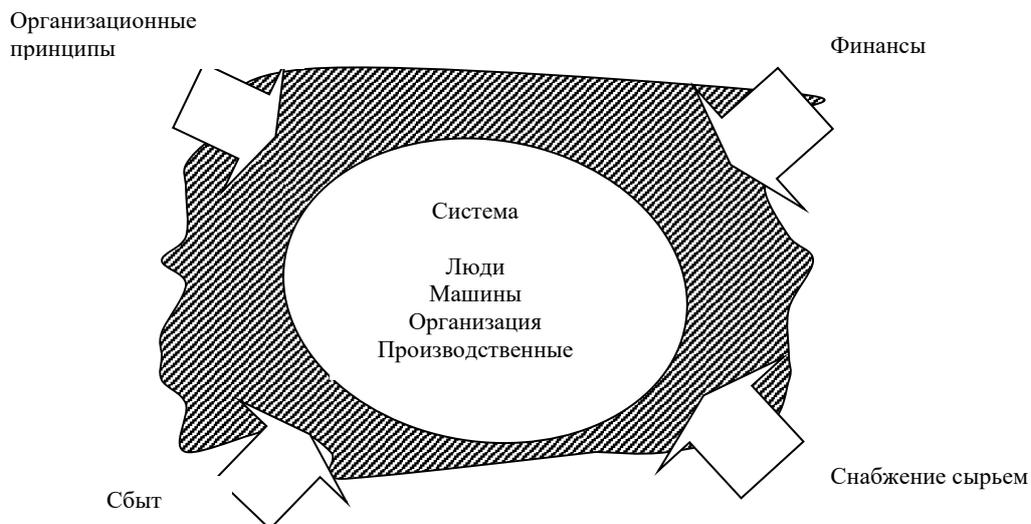


Рисунок 1 – Модель производственной системы в условиях внешних воздействий

Фирмы и сбыт производимого этой фирмой изделия рассматривается как вход в производственную систему, в модель не включаются причинно-следственные взаимосвязи, относящиеся к процессу сбыта. Такая модель будет содержать только статистическое описание предшествующих и предполагаемых продаж, используемое в качестве входа, т.е. организация сбыта находится за границами моделируемой системы. В системной терминологии объекты, которые находятся за границами системы, но могут влиять на ее поведение, формируют окружающую среду этой системы. Таким образом, системы представляют собой совокупность взаимодействующих элементов, которые подвергаются воздействию со стороны внешних факторов.

Модели систем классифицируются на дискретно и непрерывно изменяющиеся. Практически одну и ту же систему можно представить в виде дискретно изменяющейся (дискретной) модели либо непрерывно изменяющейся (непрерывной). В имитационном моделировании время является основной независимой переменной. Другие переменные, включенные в имитационную модель, являются функциями времени, т.е. зависимыми переменными.

При *дискретной имитации* зависимые переменные изменяются дискретно в определенные моменты имитационного времени, называемые моментами свершения событий. Переменная времени в имитационной модели может быть либо непрерывной, либо дискретной в зависимости от того, могут ли дискретные изменения зависимых переменных происходить в любые моменты времени или только в определенные моменты.(рисунок 3)

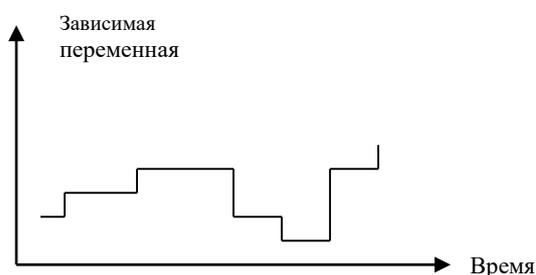


Рисунок 2 - Графическое представление отклика дискретно-событийного имитатора

При *непрерывной имитации* зависимые переменные модели изменяются непрерывно в течение имитационного времени. Непрерывная модель может быть либо непрерывной (рисунок 4) либо дискретной по времени (рисунок 5) в зависимости от того, будут ли значения зависимых переменных доступны в любой точке или только в определенные моменты имитационного времени.

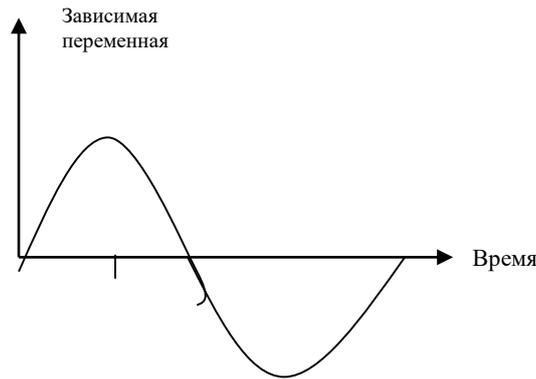


Рисунок 3 - Графическое представление отклика непрерывного имитатора

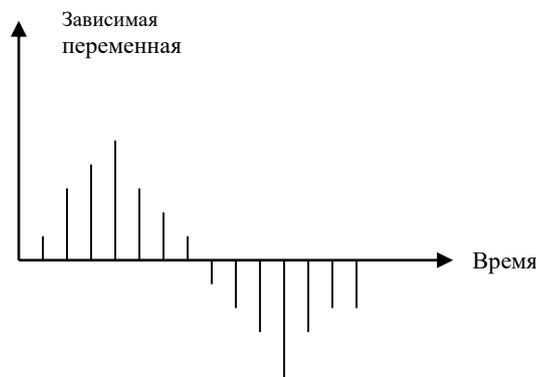


Рисунок 4 - Графическое представление отклика непрерывного имитатора с дискретным временем

При *комбинированной имитации* зависимые переменные модели могут изменяться дискретно, непрерывно или непрерывно с наложенными дискретными скачками. Время изменяется либо дискретно, либо непрерывно. Наиболее важный аспект комбинированной имитации заключается в возможности взаимодействий между дискретно и непрерывно изменяющимися переменными. (рис.6)



Рисунок 5 - Графическое представление отклика комбинированного имитатора

Дискретное имитационное моделирование

Элементы дискретных систем, такие, как люди, оборудования, заказы, потоки материалов и т.п. включенные в имитационную модель, будем называть ее компонентами. Существует много типов компонентов, каждый из которых описывается различными характеристиками. Компоненты, участвующие в действиях различного типа, могут иметь одну или несколько общих характеристик, что позволяет объединять их в группы. Группы компонентов называются файлами.

Целью дискретного имитационного моделирования является воспроизведение взаимодействий, в которых участвуют компоненты, и изучение поведения и функциональных возможностей исследуемой системы. Для этого выделяются состояния системы и описываются действия, которые переводят ее из одного состояния в другое. Говорят, что система находится в определенном состоянии, когда все ее компоненты находятся в состояниях, совместимых с областью значений, описывающих это состояние характеристик. Таким образом, **имитация** – это динамический «портрет» состояний системы во времени, т.е. воспроизведение поведения системы во времени.

При дискретной имитации состояние системы может меняться только в моменты свершения событий. Так как состояние системы не изменяется между этими моментами, полный динамический портрет состояний системы может быть получен путем продвижения имитационного времени от одного события к другому. Функционирование дискретной имитационной модели можно задать следующим образом: определяя изменения состояния системы, происходящие в момент свершения событий; описывая действия, в которых принимают участие элементы системы, или процесс, через который проходят элементы. Взаимосвязь между понятиями событие, действие и процесс представлены на рисунке 7.

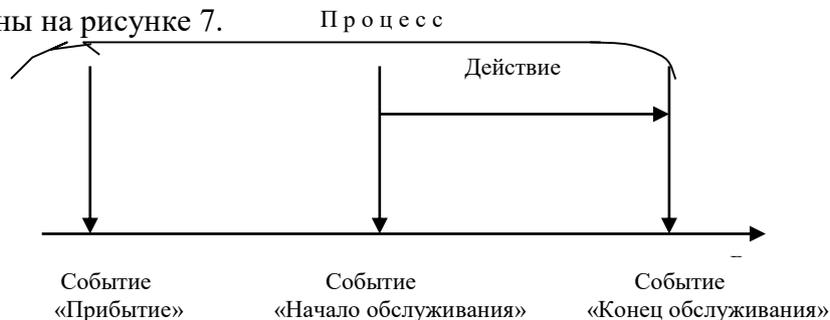


Рисунок 6 - Взаимосвязь между событиями, действиями и процессами

Событие происходит в тот момент, когда принимается решение о начале или окончании действия. Процесс – это ориентированная во времени последовательность событий, которая может состоять из нескольких действий. Эти представления лежат в основе трех альтернативных методологических подходов к построению дискретных имитационных моделей, называемых обычно *событийным подходом*, *подходом сканирования активностей* и *процессно-ориентированным подходом*.

Событийный подход. При событийном подходе система моделируется путем идентификации изменений, происходящих в ней в моменты свершения событий. Задача исследователя заключается в описании событий, которые могут изменить состояние системы, и определении логических взаимосвязей между ними. Имитация функционирования системы осуществляется путем выполнения упорядоченной во времени последовательности логически взаимосвязанных событий.

Для иллюстрации событийного подхода вновь рассмотрим пример банка с одним кассиром. Клиенты заходят в банк, после возможного ожидания обслуживаются кассиром и затем уходят. Состояние системы в этом примере определяется состоянием кассира и числом ожидающих обслуживания клиентов. Оно остается неизменным, за исключением моментов, когда клиент прибывает в систему или покидает ее. Поэтому событийная модель в данном случае состоит из описания действия, происходящего в момент прибытия и окончания обслуживания очередного клиента. Так как изменения состояния системы могут происходить только в эти моменты времени, использование событий «прибытие» и «конец обслуживания» полностью обеспечивает воспроизведение динамики функционирования системы.

Обсудим сначала логику события «прибытие». Операторная схема этого события имеет следующий вид:

Планирование следующего прибытия.

Если кассир занят: число ожидающих = число ожидающих + 1;

Возврат.

Если кассир свободен: перевод кассира в состояние «занят»;

Планирование события «окончание» обслуживания в момент времени = текущее время + время обслуживания; возврат.

Конец.

На первом планируется прибытие следующего клиента, что входе имитации при неоднократном обращении к этой процедуре позволяет организовать непрерывный поток прибытий. Поведение прибывшего клиента зависит от состояния системы в текущий момент времени. Если кассир занят, прибывший клиент становится в очередь. И изменение состояния системы осуществляется путем увеличения числа ожидающих клиентов на единицу. Если кассир свободен, прибывший клиент сразу же обслуживается, и изменение состояния системы осуществляется путем перехода в состояние «занят». Кроме того, должно быть запланировано событие «конец обслуживания» для данного клиента в момент времени, равный текущему времени плюс время, затрачиваемое кассиром на обслуживание.

Рассмотрим логику обработки события «конец обслуживания». Операторная схема этого события имеет следующий вид:

Если число ожидающих больше нуля; число ожидающих = число ожидающих - 1;

Планирование окончания обслуживания в момент времени, равный текущему времени + время обслуживания;

Возврат.

Если число ожидающих равно нулю: перевод кассира в состояние «свободен»;

Возврат.

Конец.

Кассир заканчивает обслуживание очередного клиента, сначала проверяем, есть ли клиенты, ожидающие обслуживания. Если такие клиенты есть, их число уменьшается на единицу и планируется событие «конец обслуживания» первого из ожидающих клиентов. В противном случае кассир переходит в состояние «свободен».

При имитации функционирования банка с одним кассиром на основе использования событийного подхода мы должны воспроизвести хронологию (календарь) событий и причины, вызывающие их появление в соответствующие моменты имитационного времени. Календарь событий первоначально содержит отметку только о первом событии «прибытие». В ходе имитации возникновение других событий «прибытие» и «конец обслуживания» должно быть запланировано в календаре в соответствии с логикой функционирования системы. События выполняются в упорядоченной по времени последовательности, при этом имитационное время продвигается от одного события к другому.

Подход сканирования активностей. При использовании подхода сканирования активностей разработчик описывает действия, в которых принимают участие элементы системы, и задает условия, определяющие начало и окончание этих действий. События, которые начинают или завершают действие, не планируются разработчиком модели, а инициируются по условиям, определенным для данного действия. Условия начала или окончания действия проверяются после очередного продвижения имитационного времени. Если заданные условия удовлетворяются, происходит соответствующее действие. Для того, чтобы было выполнено каждое действие в модели, сканирование условий производится для всего множества действий при каждом продвижении имитационного времени.

Подход сканирования активностей обеспечивает простую схему моделирования для решения целого ряда проблем. Он наиболее эффективен для ситуаций, в которых продолжительность действия определяется в зависимости от того, насколько состояние системы удовлетворяет заданным условиям. Тем не менее, так как необходимо сканировать условия для каждого действия, подход сканирования активностей менее эффективен по сравнению с событийным подходом и поэтому имеет ограниченное применение в дискретной имитации.

Процессно-ориентированный подход. Имитационные языки, включающие операторы для моделирования процесса прохождения элементов через систему, обычно называются процессно-ориентированными. Эти операторы определяют последовательность событий, которые автоматически выполняются имитационным языком, по мере того элементы продвигаются через систему. Например, следующий набор операторов может быть использован для описания процесса в модели банка:

Создавать прибывающих клиентов через каждые T единиц времени;

Ожидать кассира;

Продвинуть время на продолжительность обслуживания;

Освободить кассира;

Удалить кассира;

Первый оператор генерирует прибывающих в систему клиентов через каждые T единиц имитационного времени. Величина T может быть константой или принимать случайные значения. Оператор «ожидать» определяет, что клиент ожидает до тех пор, пока кассир освободится. Этот тип оператора аналогичен понятию действия по условию, применяемого в подходе сканирования активностей. Оператор «продвинуть время» моделирует тот период времени, в течение которого клиент обслуживался кассиром. Этот тип оператора аналогичен оператору планирования в событийном подходе. Он помещает в календарь событий метку о том, что обслуживание клиента будет закончено в момент, равный текущему имитационному времени плюс время обслуживания. После завершения обслуживания клиент покидает систему и кассир освобождается. Освобождение кассира позволяет сразу же приступить к обработке какого-либо ожидающего клиента из оператора «ожидать».

Из приведенного примера видно, что процессно-ориентированный подход сочетает в себе черты событийного подхода и подхода сканирования активностей. Он обеспечивает описание прохождения компонентов через процесс, содержащий ресурсы. Простота этого подхода состоит в том, что определяемая операторами логика событий заложена в самом имитационном языке.

Непрерывное имитационное моделирование.

В непрерывной имитационной модели состояние системы представляется с помощью непрерывно изменяющихся зависимых переменных. Для того чтобы отличать непрерывно изменяющиеся переменные от дискретно изменяющихся, будем первые называть переменными состояния. Непрерывная имитационная модель создается путем задания уравнений для совокупности переменных состояния, динамическое поведение которых имитирует реальную систему.

Модели непрерывных систем часто определяются в терминах производных переменных состояния. Это объясняется тем, что иногда легче задать выражение для определения скорости изменения переменной состояния, чем сделать это непосредственно для самой переменной. Уравнения такого вида, включающие производные переменных состояния, называют дифференциальными уравнениями. Пусть, например, в процессе разработки модели мы составили следующее дифференциальное уравнение для переменной состояния s по времени t :

$$\frac{ds(t)}{dt} = s^2(t) + t^2, \quad s(0) = k$$

Первое уравнение определяет скорость изменения s как функцию от s и t , второе уравнение – начальное условие для переменной состояния. Цель имитационного эксперимента – определить реакцию переменной состояния в зависимости от имитационного времени.

Комбинированные дискретно-непрерывные модели.

В комбинированных дискретно-непрерывных моделях независимые переменные могут изменяться как дискретно, так и непрерывно. В рамках методологии комбинированного моделирования исследуемая система описывается с помощью элементов, их атрибутов и переменных состояния. Поведение системы имитируется путем вычисления значений переменных состояния через небольшие отрезки времени и значений атрибутов элементов в моменты свершения событий.

В комбинированном моделировании применяются два типа событий: *временные события* (события, свершение которых планируется в определенные моменты времени) и *события состояния* (эти события не планируются, а происходят тогда когда система достигает определенного состояния). Например, как показано на рисунке 8 событие состояния произойдет, когда переменная состояния $SS(1)$ пересечет переменную состояния $SS(2)$ в положительном направлении. Отметим, что понятие «событие состояния» аналогично понятию «сканирование активностей», в котором событие также не планируется, а инициируется определенным состоянием системы. Возможность возникновения события состояния должна проверяться при каждом продвижении имитационного времени.

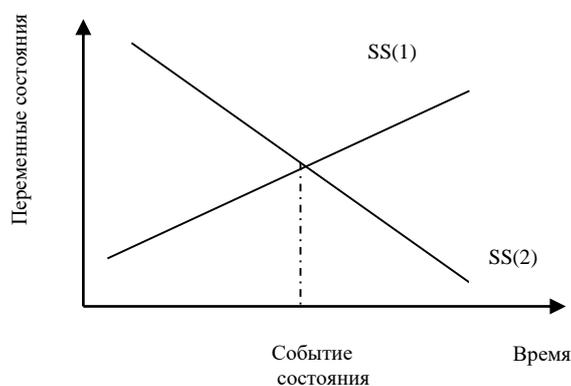


Рисунок 7- Пример наступления события состояния

Контрольные вопросы

1. Что такая система?
2. Что такое имитация?
3. Что такое дискретная, непрерывная и комбинированная имитация?

Основная литература:

1. Варфоломеев В.И. Алгоритмическое моделирование элементов экономических систем. Практикум. Уч.пособие. Москва «Финансы и статистика» . 2000.

2. Прицкер А. Введение в имитационное моделирование и язык СЛАМ. Монография, Москва, Мир.1987.
3. Шукаев Д.Н. Имитационное моделирование на ЭВМ. Уч.пос.Алматы, 1995.
4. Шукаев Д.Н. Моделирование случайных закономерностей на ЭВМ. Уч.пос. Алма-Ата, 1991.
5. Шукаев Д.Н., Абдуллина В.З., Муртазина А.У. Методические указания к практическим занятиям по курсу «Моделирование систем». Алма-Ата 1985.
6. Шукаев Д.Н., Абдуллина В.З., Муртазина А.У. Методические указания к лабораторным занятиям по курсу «Моделирование систем».Алма-Ата 1987.
7. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. Монография, изд-во «Мир»1978.
8. Гмурман В.Е.Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистикеУч.пос для вузов.М.;Высш.школа, 1999.
9. Исмаилова Р.Т. Методические указания по курсу Имитационному моделированию для практических и самостоятельных работ. Алматы, КазНТУ, 2003г.
- 10.Исмаилова Р.Т. Методические указания по курсу Имитационному моделированию для лабораторных и самостоятельных работ .Алматы, КазНТУ, 2003г.