

# ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Ковалева Е.В.

ФГБОУ ВО МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ) УКИТ,  
преподаватель математики

- **Статистическое моделирование** – метод исследования сложных систем, основанный на описании процессов функционирования отдельных элементов в их взаимосвязи с целью получения множества частных результатов, подлежащих обработке методами математической статистики для получения конечных результатов. В основе статистического моделирования лежит метод статистических испытаний – метод Монте-Карло.
- **Имитационная модель** – универсальное средство исследования сложных систем, представляющее собой логико-алгоритмическое описание поведения отдельных элементов системы и правил их взаимодействия, отображающих последовательность событий, возникающих в моделируемой системе.

- Если статистическое моделирование выполняется с использованием имитационной модели, то такое моделирование называется **ИМИТАЦИОННЫМ**
- **Имитационное моделирование (симуляция)** – это распространенная разновидность аналогового моделирования, реализуемого с помощью набора математических средств, специальных компьютерных программ-симуляторов и особых IT, позволяющих создавать в памяти компьютера процессы-аналоги, с помощью которых можно провести целенаправленное исследование структуры и функций реальной системы в режиме ее «имитации», осуществить оптимизацию некоторых ее параметров..

# Что отражает модель?

- Имитационная модель должна отражать логику и закономерности поведения моделируемого объекта во времени (временная динамика) и пространстве (пространственная динамика).

Имитационная модель создается:

- для управления сложными бизнес-процессами, чтобы определить их характерные особенности;
- при проведении экспериментов над объектами в экстренных ситуациях, связанных с рисками, в случаях, когда натуральное моделирование нежелательно или невозможно.

С точки зрения специалиста (информатика-экономиста, математика-программиста или экономиста-математика), имитационное моделирование контролируемого процесса или управляемого объекта — это высокоуровневая информационная технология, которая обеспечивает два вида действий, выполняемых с помощью компьютера:

- работы по созданию или модификации имитационной модели;
- эксплуатацию имитационной модели и интерпретацию результатов;

## Типовые примеры имитационных моделей

- ✓ Управление размещением предприятий, оказывающих однородные услуги;
- ✓ Управление процессом реализации инвестиционного проекта на различных этапах его жизненного цикла с учетом возможных рисков;
- ✓ Прогнозирование финансовых результатов деятельности предприятия;
- ✓ Моделирование процессов логистики для определения временных и стоимостных параметров;
- ✓ Бизнес-реинжиниринг несостоятельного предприятия (изменение структуры и ресурсов);
- ✓ Анализ работы автотранспортных предприятий;
- ✓ Моделирование обслуживания клиентов предприятиями сферы услуг;
- ✓ Модели работы информационных систем и сложных вычислительных систем (аналоги с устройствами обслуживания клиентов); т.д.

# Программное обеспечение

- Особенности характеристики программного обеспечения имитационного моделирования:
- Способность моделирования и отслеживание в общем модельном времени различных потоков (материальных, информационных, денежных и пр.);
- Возможность уточнения параметров и ведения экстремального эксперимента.

## Виды программного обеспечения

- Пакет программ Microsoft Office (особенно, Excel) часто используют для проведения расчетов имитационной модели;
- Система GPSS (General Purpose Simulation System) (1967 г) используется в основном для моделирования систем массового обслуживания;
- Специальные современные имитационные пакеты, реализующие разные подходы к моделированию и имеющие средства визуализации (например, Any Logic).



# Истоки имитационного моделирования

Моделирование как научная дисциплина появилась на рубеже 50–60-х гг. XX века. Научные исследования и практическое применение метода начались в США. Сегодня машинная имитация имеет широкое распространение в решении важных научных и народнохозяйственных задач.

Имитационное моделирование возникло для поддержки решения и исследования задач массового обслуживания (задачи об очередях)

Цель исследования очередей – оптимизация издержек:

Что выгоднее, принять на работу несколько сотрудников, чтобы уменьшить время ожидания клиентов в очереди, либо сэкономить на заработной плате сотрудников, уменьшив их количество.

# Временные диаграммы

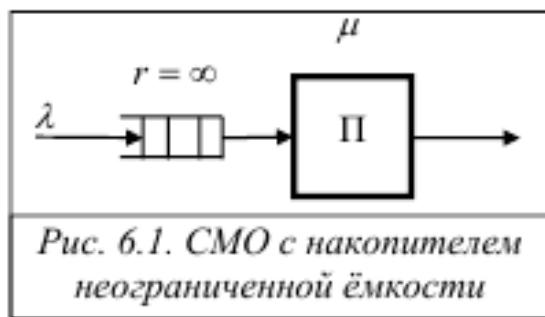
Наиболее широкое применение имитационное моделирование получило при исследовании сложных систем с дискретным характером функционирования, в том числе моделей массового обслуживания. Для описания процессов функционирования таких систем обычно используются временные диаграммы.

**Временная диаграмма** – графическое представление последовательности событий, происходящих в системе. Для построения временных диаграмм необходимо достаточно четко представлять взаимосвязь событий внутри системы. Степень детализации при составлении диаграмм зависит от свойств моделируемой системы и от целей моделирования.

**Имитационное моделирование можно рассматривать как процесс реализации диаграммы функционирования исследуемой системы на основе сведений о характере функционирования отдельных элементов и их взаимосвязи.**

Имитационное моделирование обеспечивает возможность испытания, оценки и проведения экспериментов с исследуемой системой без каких-либо непосредственных воздействий на нее.

# Принципы организации имитационного моделирования



Рассмотрим принципы имитационного моделирования на примере простейшей базовой модели в виде *одноканальной системы массового обслуживания с однородным потоком заявок* (рис.6.1), в которую поступает случайный поток заявок с интервалами между соседними заявками, распределёнными по закону  $A(\tau)$ , а длительность обслуживания заявок в приборе распределена по закону  $B(\tau)$ .

3) «модельное или реальное время», показывающее дискретное (скачкообразное) изменение времени в реальной системе, каждый момент которого соответствует одному из следующих событий: поступление заявки в систему или завершение обслуживания заявки в приборе; ющими в систему заявками, отметим, что в эти моменты времени происходит изменение состояния системы, описываемое числом заявок, находящихся в системе;



4) «число заявок в системе»

математическое ожидание:  $\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \tau_{u_i} ;$

второй начальный момент:  $\mu^{(2)} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \tau_{u_i}^2 ,$

Следовательно, могут быть получены значения дисперсии, среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации времени пребывания заявок в системе.

# Временная диаграмма может быть реализована следующим образом:

- формируются моменты поступления всех заявок в систему;
- для каждой заявки определяются длительности обслуживания в приборе;
- формируются моменты завершения обслуживания (выхода заявок из системы).

## Второй подход – пошаговое построение диаграммы

Для этого следует сформировать переменную для модельного времени и выбрать шаг  $\Delta t$  его изменения. В каждый такой момент времени необходимо проверять, какое событие (поступление в систему или завершение обслуживания заявки) произошло в системе за предыдущий интервал  $\Delta t$ .

**Достоинства:**



## Второй подход – пошаговое построение диаграммы

### Достоинство

значительно сокращается потребность в памяти, поскольку в этом случае в каждый момент времени необходимо хранить в памяти ЭВМ значения параметров (моментов поступления и завершения обслуживания) только тех заявок, которые находятся в системе на данный момент времени.

### Недостатки

С одной стороны, интервал  $\Delta t$  должен быть как можно меньше для уменьшения методической погрешности моделирования, с другой стороны, интервал  $\Delta t$  должен быть как можно больше для уменьшения времени моделирования.

# Принцип «продвижения модельного времени до ближайшего события»

- По всем процессам, параллельно протекающим в исследуемой системе, в каждый момент времени формируются моменты наступления «ближайшего события в будущем».
- Модельное время продвигается до момента наступления ближайшего из всех возможных событий. В зависимости от того, какое событие оказалось ближайшим, выполняются те или иные действия.
- ✓ Если ближайшим событием является поступление заявки в систему, то выполняются действия, связанные с занятием прибора при условии, что он свободен, и занесение заявки в очередь, если прибор занят.
- ✓ Если же ближайшим событием является завершение обслуживания заявки в приборе, то выполняются действия, связанные с освобождением прибора и выбором на обслуживание новой заявки из очереди, если последняя не пуста.
- Затем формируется новый момент наступления этого же события.

## Типовые процедуры имитационных моделей

- 1) выработка (генерирование) случайных величин:  
равномерно распределенных;  
с заданным законом распределения;
- 2) формирование потоков заявок и имитация обслуживания;
- 3) организация очередей заявок;
- 4) организация службы времени;
- 5) сбор и статистическая обработка результатов моделирования.

**Системные часы**, хранящие значение текущего модельного времени.

## Недостатки

- разработка хорошей имитационной модели часто обходится дороже создания аналитической модели и требует больших временных затрат;
- может оказаться, что имитационная модель неточна (что бывает часто), и мы не в состоянии измерить степень этой неточности;
- зачастую исследователи обращаются к имитационному моделированию, не представляя тех трудностей, с которыми они встретятся и совершают при этом ряд ошибок методологического характера.

***И, тем не менее, имитационное моделирование является одним из наиболее широко используемых методов при решении задач синтеза и анализа сложных процессов и систем.***

## Перечень рекомендуемой литературы:

1. Орлова, И. В. Экономико-математическое моделирование: Практическое пособие по решению задач / И.В. Орлова. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва: Вузовский учебник: НИЦ ИНФРА-М, 2020. - 140 с. - ISBN 978-5-16-105235-8. - Текст : электронный. - URL:  
<https://new.znanium.com/catalog/product/1057221>
2. Бережная Е.В., Бережной В.И. Математические методы моделирования экономических систем: Учеб. пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Финансы и статистика, 2006. - 432 с: ил. ISBN 5-279-02940-8

# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Все вопросы отправляйте на электронную почту:  
[e.kovaleva@mgutm.ru](mailto:e.kovaleva@mgutm.ru)