



ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХ

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ: МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ

27.03.02 «Управление качеством»  
ЛК №5

**Ирина Андреевна Абрашкина**

[abrashkinaia@tpu.ru](mailto:abrashkinaia@tpu.ru)

## ИТОГИ МОДУЛЯ №2, НЕДЕЛИ №4



## ПОНЯТИЕ МОДЕЛИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ

**Моделирование систем** — это та самая деятельность, где теоретические принципы системного анализа (целостность, иерархичность, целевая ориентация и т.д.) находят свое практическое, овеществленное применение для решения реальных задач.

### **Моделирование позволяет:**

- формализовать знания о системе;
- количественно оценить последствия решений;
- экспериментировать без риска и затрат ("что, если...");
- объективизировать процесс принятия решений.



НЕТ МОДЕЛИРОВАНИЯ



**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ** =  
качественные,  
описательные  
рассуждения и  
экспертные оценки,  
подверженные  
субъективизму



## ПОНЯТИЕ МОДЕЛИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ

**Модель** — это упрощенное представление реальной системы, которое отражает существенные, с точки цели исследования, черты и свойства этой системы, игнорируя несущественные.

**Моделирование** — это процесс построения, изучения и применения моделей для анализа и прогнозирования поведения системы, выработки управленческих решений.

### Виды моделей по форме представления:

- 
- мысленные (вербальные, концептуальные);
  - физические (макеты, стенды);
  - знаковые (математические формулы / графы / схемы / таблицы);
  - компьютерные (программы)
- **Вербальные** - описанные словами (план действий, пересказ теории, гипотеза);
  - **Концептуальные** - система взаимосвязанных понятий (модель атома Бора в голове, бизнес-идея);
  - **Макеты**: уменьшенные или увеличенные копии (макет здания, модель молекулы);
  - **Стенды**: установки для экспериментов (аэродинамическая труба, тренажёр вождения);
  - **Математические формулы**: уравнение движения, закон Ома.
  - **Графы, схемы, карты, таблицы**: схема метро, блок-схема алгоритма, график температуры;
  - **Программы**: компьютерная игра, 3D-визуализация здания, виртуальный тренажёр;





## ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

### 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

- четкое определение целей моделирования, вопросов, на которые должна ответить модель, и критериев оценки ее адекватности;
- важно определить и зафиксировать ключевых стейкхолдеров и их потребности (модель, которая идеально отвечает на вопросы аналитика, но игнорирует вопросы генерального директора, обречена на провал при внедрении);

### 2. АНАЛИЗ СИСТЕМЫ И ВЫДЕЛЕНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- определение границ системы, ее основных компонентов, связей между ними и внешней средой;

### 3. РАЗРАБОТКА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ

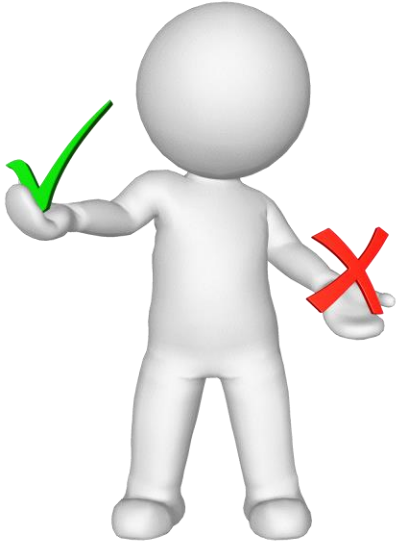
- создание качественного, часто неформального, описания системы на основе постановки задачи;
- выбор наиболее существенных факторов и пренебрежение менее важными.

### 4. ФОРМАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ

- перевод концептуальной модели на формальный язык (математический, логический, алгоритмический);
- выбор типа модели, определение переменных, параметров и соотношений между ними.



## ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ



### 5. РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ (ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ)

- создание программного обеспечения, реализующего формальную модель, особенно если требуется имитационное экспериментирование.

### 6. ВЕРИФИКАЦИЯ, ВАЛИДАЦИЯ И АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

- *Верификация* — проверка правильности технической реализации модели ("правильно ли мы построили модель?");
- *Валидация* — проверка адекватности модели реальной системе ("правильную ли модель мы построили?");
- *Анализ чувствительности*: оценка входных параметров, которые больше всего влияют на результат (например, модель прибыли гиперчувствительна к цене сырья, а не к зарплате сотрудников, именно цене сырья нужно уделить максимум внимания);

### 7. ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С МОДЕЛЬЮ

- определение сценариев, входных данных и количества прогонов модели для получения статистически значимых результатов.



## ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

### 8. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ

- интерпретация выходных данных модели, формулировка выводов и предложений для лица, принимающего решение (ЛПР);

### 9. ВНЕДРЕНИЕ И СОПРОВОЖДЕНИЕ МОДЕЛИ

- использование модели для поддержки принятия решений, при изменении реальной системы модель может требовать модификации.



## ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СИСТЕМ

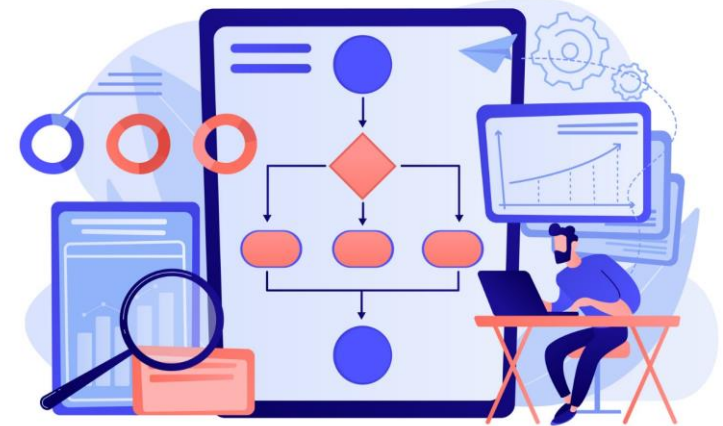
### СТРУКТУРНЫЙ (ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНЫЙ) ПОДХОД

основан на декомпозиции системы на функциональные подсистемы и модули, основное внимание уделяется функциям (что система делает) и иерархической структуре. Классическими методологиями в рамках этого подхода являются:

- **SADT** (Structured Analysis and Design Technique) / **IDEFO**: графический язык для описания бизнес-процессов, представляющий систему как набор взаимосвязанных функциональных блоков;
- **DFD** (Data Flow Diagrams): диаграммы потоков данных, которые показывают, как информация перемещается и преобразуется в системе.

**Преимущества:** хорошая структурированность, понятность, широкое распространение.

**Недостатки:** слабая связь с объектами реального мира, может быть избыточно жестким для сложных систем.





## ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СИСТЕМ

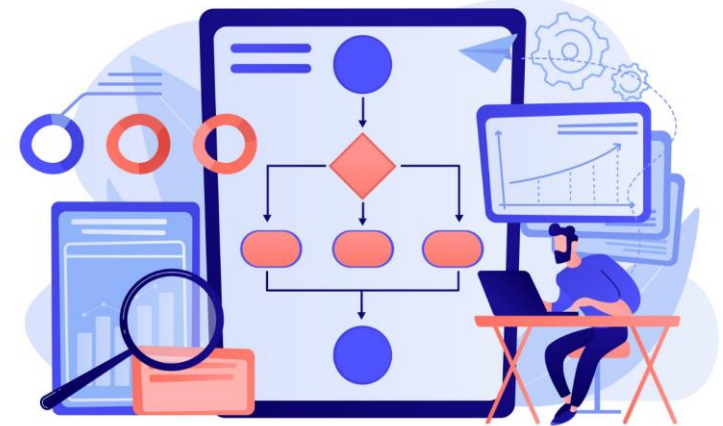
### СТРУКТУРНЫЙ (ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНЫЙ) ПОДХОД

Основан на декомпозиции системы на функциональные подсистемы и модули, основное внимание уделяется функциям (что система делает) и иерархической структуре. Классическими методологиями в рамках этого подхода являются:

- **SADT** (Structured Analysis and Design Technique) / **IDEFO**: графический язык для описания бизнес-процессов, представляющий систему как набор взаимосвязанных функциональных блоков;
- **DFD** (Data Flow Diagrams): диаграммы потоков данных, которые показывают, как информация перемещается и преобразуется в системе.

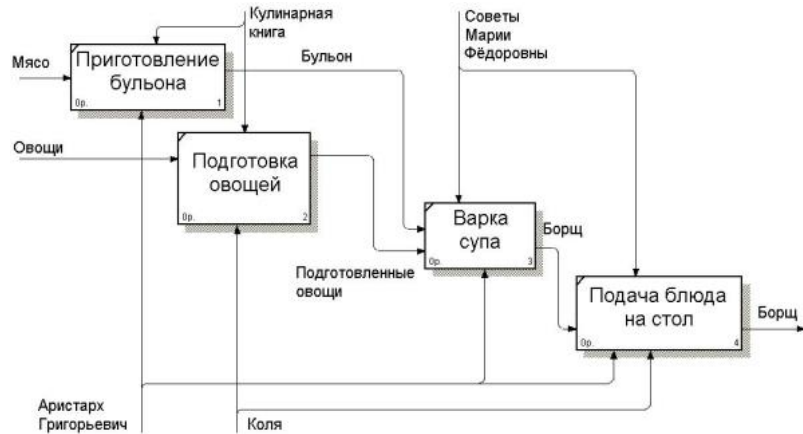
**Преимущества:** хорошая структурированность, понятность, широкое распространение.

**Недостатки:** слабая связь с объектами реального мира, может быть избыточно жестким для сложных систем.



## ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СИСТЕМ

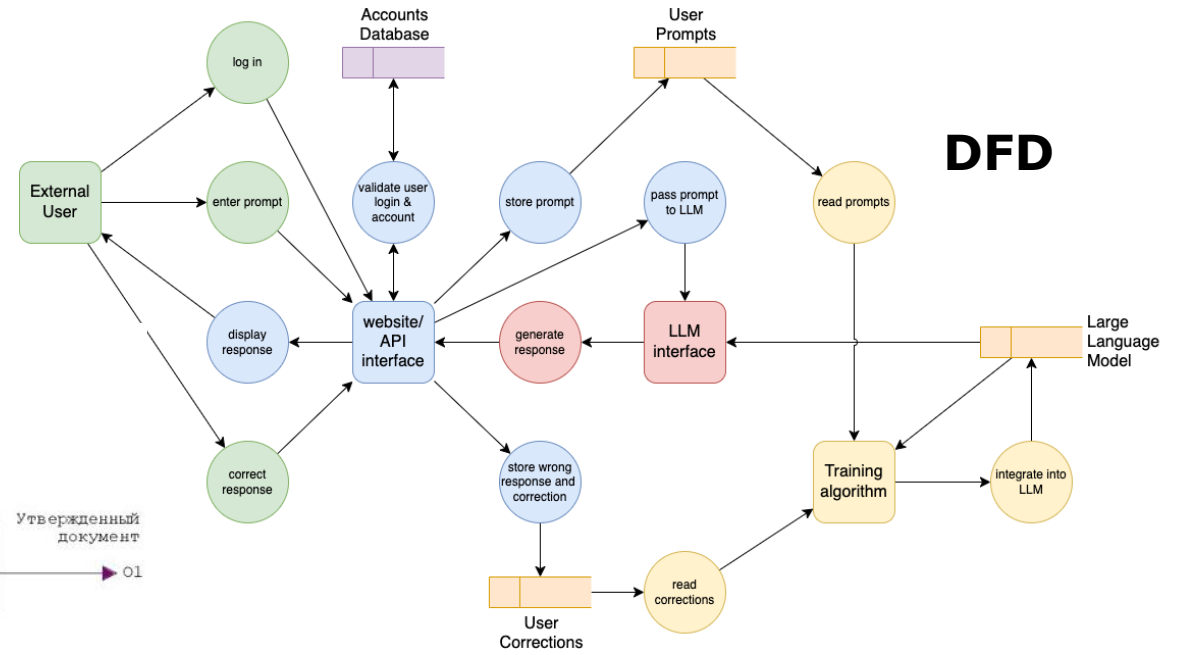
### СТРУКТУРНЫЙ (ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНЫЙ) ПОДХОД



IDEFO



SADT



DFD



## ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СИСТЕМ

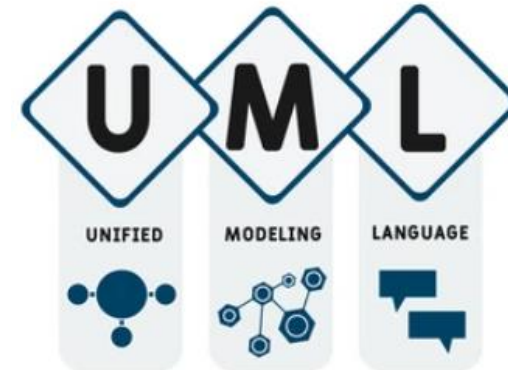
### ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД

Основан на представлении системы как совокупности взаимодействующих объектов, где объект — это сущность, объединяющая данные (атрибуты) и методы (поведение).

- **КЛЮЧЕВЫЕ ПРИНЦИПЫ:** инкапсуляция, наследование, полиморфизм, основной язык моделирования UML (Unified Modeling Language);
- **ДИАГРАММА КЛАССОВ:** описывает статическую структуру системы (классы, их атрибуты, методы и связи).
- **ДИАГРАММА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ:** показывает динамическое взаимодействие объектов во времени.
- **ДИАГРАММА СОСТОЯНИЙ:** описывает поведение объекта, зависящее от его состояния.

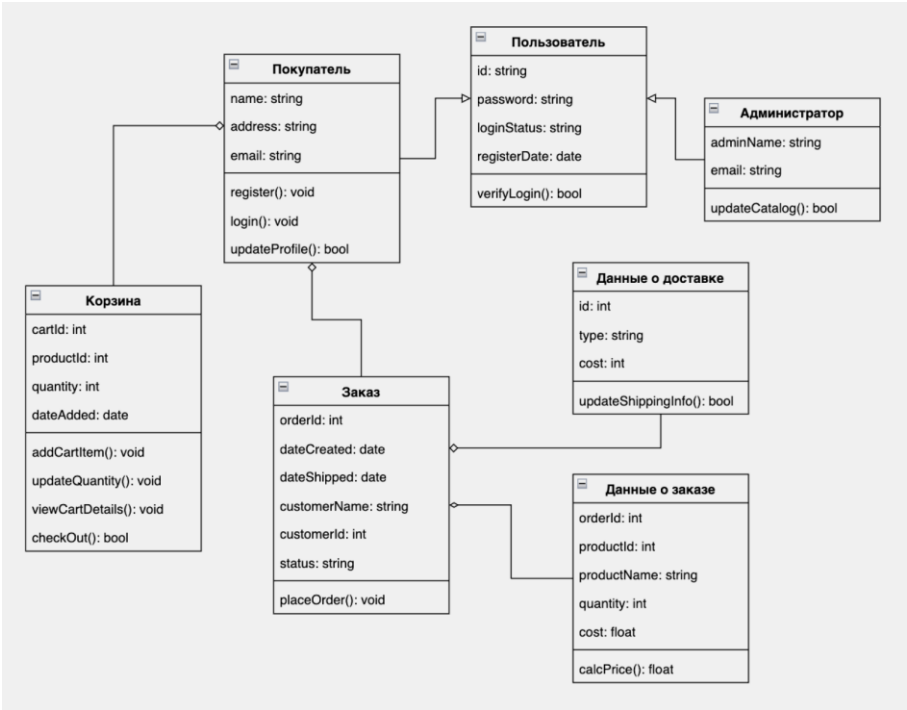
**Преимущества:** прямое отображение сущностей предметной области, лучшая сопровождаемость и модифицируемость моделей, возможность повторного использования компонентов.

**Недостатки:** более высокая сложность на начальных этапах проектирования.

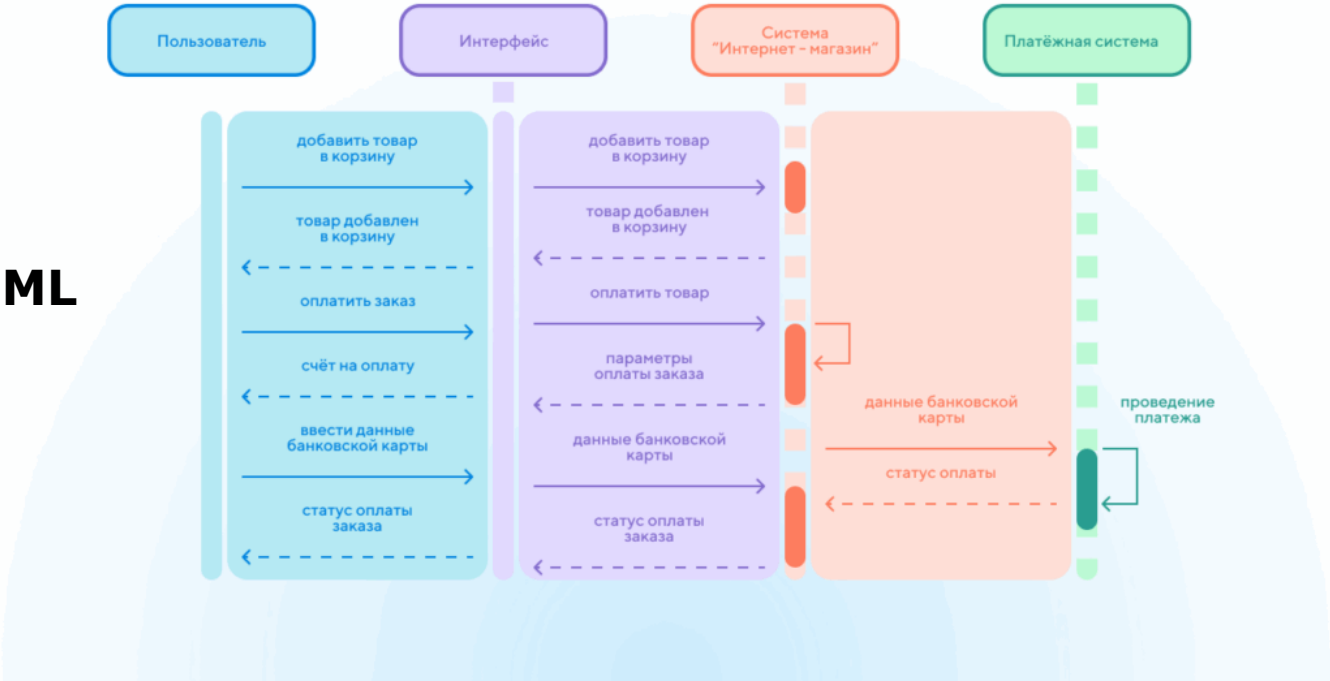


## ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СИСТЕМ

### ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД



UML





## ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СИСТЕМ

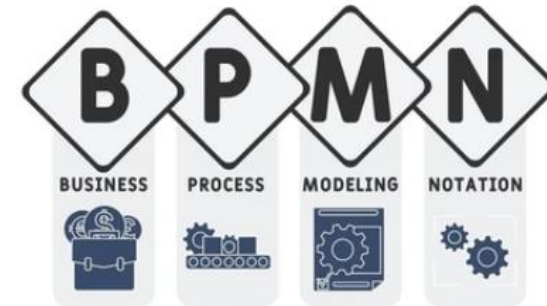
### ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД

Основан на бизнес-процессах системы, рассматривая их как последовательность действий, преобразующих входы в выходы и создающих ценность для потребителя. Модели в этом подходе отвечают на вопросы "Кто?", "Что?", "Когда?" и "Как?".

- **BPMN** (Business Process Model and Notation): стандарт для графического описания бизнес-процессов, понятный как бизнес-аналитикам, так и техническим специалистам;
- **EPC (Event-Driven Process Chain)**: цепочка процессов, управляемых событиями;
- этот подход фокусируется не на организационной структуре, а на сквозных процессах, создающих ценность, что позволяет выявлять узкие места, избыточность, задержки и оптимизировать процесс в целом, а не работу отдельных подразделений по отдельности.

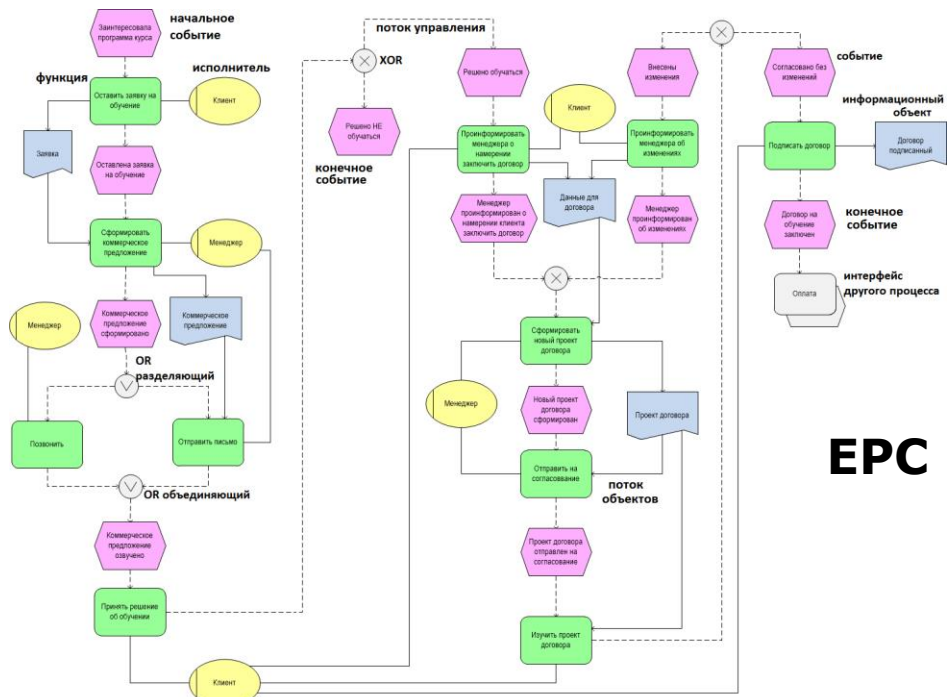
**Преимущества:** ориентация на ценность для клиента, позволяет выявлять узкие места, избыточность и оптимизировать процессы.

**Недостатки:** может упускать из виду структурные и данные аспекты системы.

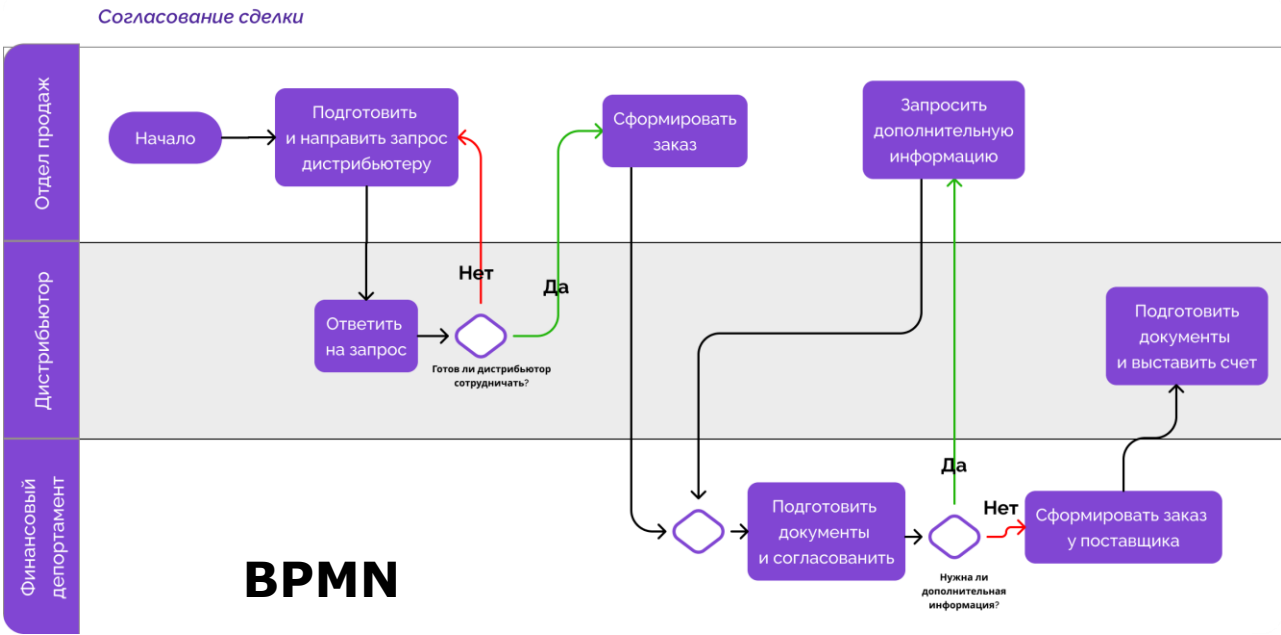


## ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СИСТЕМ

### ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД



EPC



BPMN



## ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СИСТЕМ

### ИМИТАЦИОННЫЙ (СИНТЕТИЧЕСКИЙ) ПОДХОД

Мощнейший инструмент системного анализа для исследования сложных динамических стохастических систем, где имитационная модель — это компьютерная программа, которая воспроизводит логику и динамику поведения системы во времени. Основные типы имитационных моделей:

- **ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНЫЕ МОДЕЛИ:** система представлена как последовательность событий, происходящих в дискретные моменты времени;
- **СИСТЕМНАЯ ДИНАМИКА:** система описывается с помощью потоков (материалов, информации, денег) и накопителей (запасов);
- **АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ:** система представлена как совокупность активных агентов, взаимодействующих друг с другом и со средой по определенным правилам.

**Преимущества:** можно получить статистику о поведении системы при различных условиях без воздействия на реальный объект.

**Недостатки:** может упускать из виду структурные и данные аспекты системы.

- Пример: модель работы цеха, где события — "поступление заказа", "начало обработки", "окончание обработки".
- Пример: модель развития компании, экологическая модель.
- Пример: модель толпы, модель потребительского рынка, модель распространения инноваций. Позволяет изучать *emergent behavior* — свойства системы, возникающие в результате взаимодействия простых агентов.



## МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

### АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

- получение точного решения в виде формул, эффективны для относительно простых, хорошо формализуемых систем;
- пример: решение систем линейных уравнений для нахождения точки равновесия в экономической модели, расчет траектории полета снаряда с использованием уравнений баллистики.

### СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МЕТОДЫ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

- анализ данных, построение регрессионных моделей, оценка параметров распределений в стохастических моделях;
- пример: оценка риска страхового случая (например, ДТП) на основе исторических данных о авариях, возрасте водителей и других факторах;

### МЕТОДЫ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ (ТМО)

- аналитический аппарат для изучения систем с очередями, расчет показателей эффективности (среднее время ожидания, загрузку каналов, длину очереди);
- пример: оптимизация работы кол-центра: расчет необходимого количества операторов, чтобы среднее время ожидания звонка не превышало 2 минут;





## МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ



### МЕТОДЫ ТЕОРИИ ИГР

- моделирование конфликтных ситуаций, в которых результат действия одного участника зависит от действий других;
- пример: моделирование конфликтных ситуаций в экономике, военных действиях, политике.

### СЕТЕВЫЕ МЕТОДЫ

- моделирование и оптимизирование процессов, представленные в виде сетей (работ, событий, зависимостей);
- пример: Метод PERT и диаграммы Ганта для управления проектами, поиск оптимального маршрута доставки грузов .

### КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

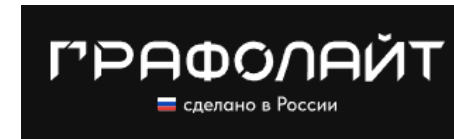
- анализ и поддержка принятия решений в слабоструктурированных ситуациях;
- позволяет строить модели представлений экспертов о системе, выявлять причинно-следственные связи и анализировать сценарии воздействия на систему;
- пример: когнитивные карты, анализ причин низких продаж нового продукта.



## ИНСТРУМЕНТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

### ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ

- **AnyLogic, GPSS World, Arena, PowerSim, iThink:** профессиональные среды имитационного моделирования;
- **MATLAB / Simulink, Wolfram Mathematica, Python, SCAD Office, FlowVision, Universal Mechanism, SimInTech, ПТК АСТРА:** мощные платформы для математического и инженерного моделирования;
- **Bizagi Modeler, ARIS, Microsoft Visio, Camunda, DRAW.IO, Графолайт, Business Studio, ELMA BPM:** инструменты для бизнес-моделирования в нотациях BPMN, EPC, UML, SADT/IDEFO, DFD и мн.др;



## ПРИНЦИПЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ

**ПРИНЦИПЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ** — это своего рода «техника безопасности» для аналитика, предупреждающая фатальные ошибки и разочарования.

Принцип адекватности (целесообразности): главный вопрос при создании модели — не «насколько она детальна?», а «насколько она подходит для достижения моей цели?».

Парадокс «черного ящика (не знаем, что внутри)» & «белого ящика (знаем, что внутри, но не знаем как работает)»: выбор между сложностью и понятностью, поиск компромисса – «серый ящик».

Ограничения и риски моделирования:

- некорректные допущения: модель — это упрощение, если допущения неверны, выводы будут катастрофически ошибочны;
- «мусор на входе — мусор на выходе»: даже идеальная по логике модель даст ложный результат при неточных входных данных;
- когнитивные искажения: невольно возможно «встроить» в модель свои ожидания, заложить излишне оптимистические показатели;
- "оверификация" модели - вера, что модель и есть реальность, забывая об ее упрощенной природе.



## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ И ВЫБОР

**КЛЮЧЕВАЯ КОМПЕТЕНЦИЯ** — не просто знать методы, а уметь выбирать оптимальный из них для конкретной задачи, подобно тому, как мастер выбирает нужный инструмент из своего чемодана.

**КЛЮЧЕВОЙ ПРИНЦИП:** не бывает «лучшего» метода моделирования вообще — бывает метод, лучшим образом подходящий для вашей конкретной цели.

### Критерии выбора:

- цель модели, требуемая точность, доступность данных, время и стоимость создания;
- время и стоимость: насколько дорого и долго создавать такую модель, окупится ли это?



### Краткий гид по выбору:

- «Как устроен процесс?» → BPMN, EPC;
- «Что будет, если изменить параметры?» → имитационное моделирование;
- «Куда инвестировать?» → системная динамика;
- «Почему это происходит?» → причинно-следственные диаграммы;
- «Какова оптимальная стратегия?» → теория игр, математическое программирование;
- «Как спроектировать систему?» → UML, IDEF0;
- «Что произойдет в будущем?» → статистические модели, нейросети.





## МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ КОММУНИКАЦИИ

**МОДЕЛЬ** — это не только инструмент анализа, но и язык общения между заказчиками, разработчиками, бизнес-аналитиками, менеджерами и исполнителями.

Как провести сеанс совместного моделирования, где все участники процесса рисуют его вместе?

Как понять, что модель не работает как инструмент коммуникации (люди не понимают, спорят без причины, игнорируют ее)?

Как выбрать нужное и понятное для конкретной аудитории?

Что является признаком успешной коммуникации с помощью модели? (Все кивают? Все начинают действовать согласно ей? Возникают правильные вопросы?)

Как "переводить" одно и то же бизнес-содержание между техническими специалистами и топ-менеджерами?



## МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ КОММУНИКАЦИИ

### УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНОСТЬЮ ЧЕРЕЗ АБСТРАКЦИЮ ДЛЯ РАЗНЫХ АУДИТОРИЙ

- представить одну и ту же систему на разных уровнях абстракции (техническим специалистам - диаграмму классов UML, руководству компании - блок-схемы процесса BPMN);

### ВИЗУАЛИЗАЦИЯ И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ

- статистические диаграммы – только начало, далее любые способы «оживить» модель» (дашборды, анимация, интерактивный прототип;

### ДОСТИЖЕНИЕ КОНСЕНСУСА И ВЫЯВЛЕНИЕ СКРЫТЫХ ТРЕБОВАНИЙ

- совместное построение моделей (маркерная доска или специализированное ПО);

### ОБОСНОВАНИЕ РЕШЕНИЙ И СНИЖЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯМ

- предложить изменение бизнес-процесса без обоснования = столкнуться с сопротивлением;

### ЯЗЫК ДЛЯ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ КОМАНД

- сложные проекты требуют участия специалистов из разных областей (IT, маркетинг, логистика, финансы);



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**МОДЕЛИРОВАНИЕ** = ядро системного анализа

Грамотное применение моделирования позволяет:

- глубоко понять структуру и поведение системы;
- выявить скрытые зависимости и причинно-следственные связи;
- протестировать различные сценарии и стратегии управления без риска для реальной системы;
- сократить затраты и время на разработку и внедрение новых систем;
- обосновать принимаемые решения, переведя их из области интуиции в область количественного анализа.







ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХ

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**