



МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ: МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ

27.03.02 «Управление качеством»
ЛК №5

Ирина Андреевна Абрашкина
abrashkinaia@tpu.ru

ВВЕДЕНИЕ

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



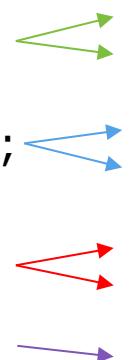
ПОНЯТИЕ МОДЕЛИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ В СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ

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

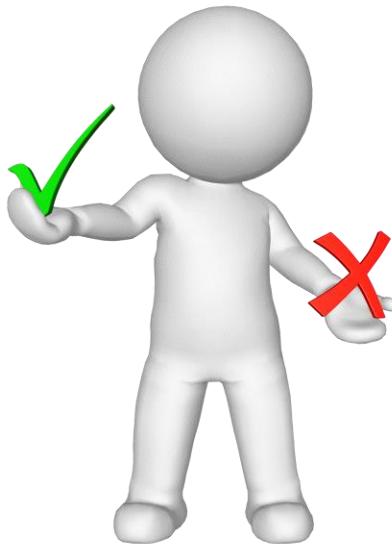
- создание качественного, часто неформального, описания системы на основе постановки задачи;
- выбор наиболее существенных факторов и пренебрежение менее важными.

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

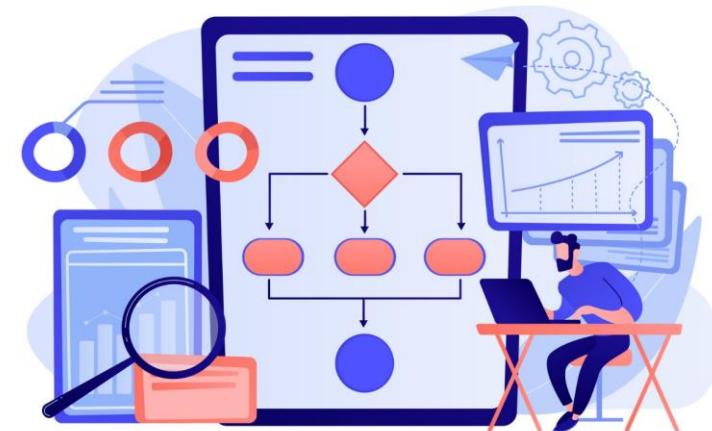
СТРУКТУРНЫЙ (ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНЫЙ) ПОДХОД

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

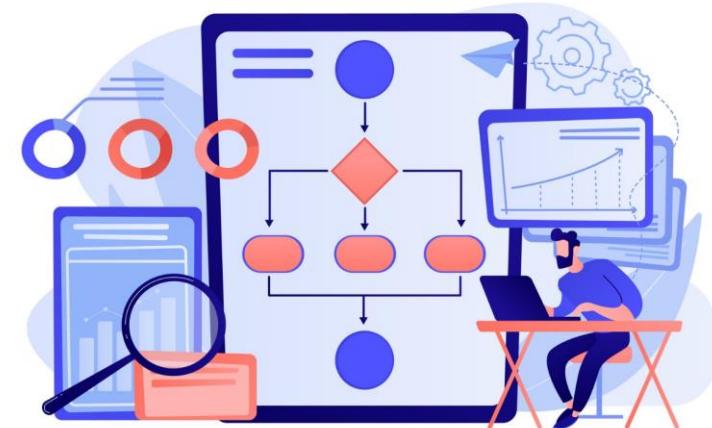
СТРУКТУРНЫЙ (ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНЫЙ) ПОДХОД

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.

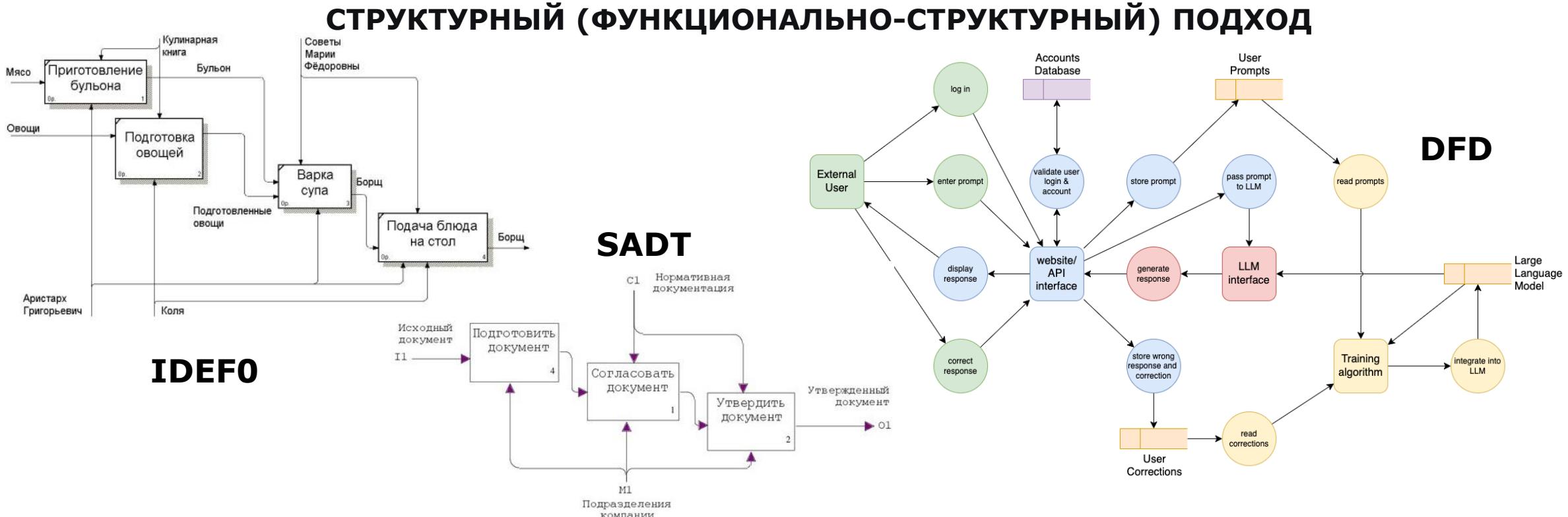
Преимущества: хорошая структурированность, понятность, широкое распространение.

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



МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СИСТЕМ



ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СИСТЕМ

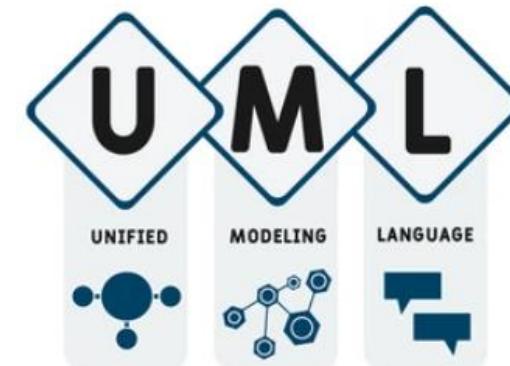
ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД

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.

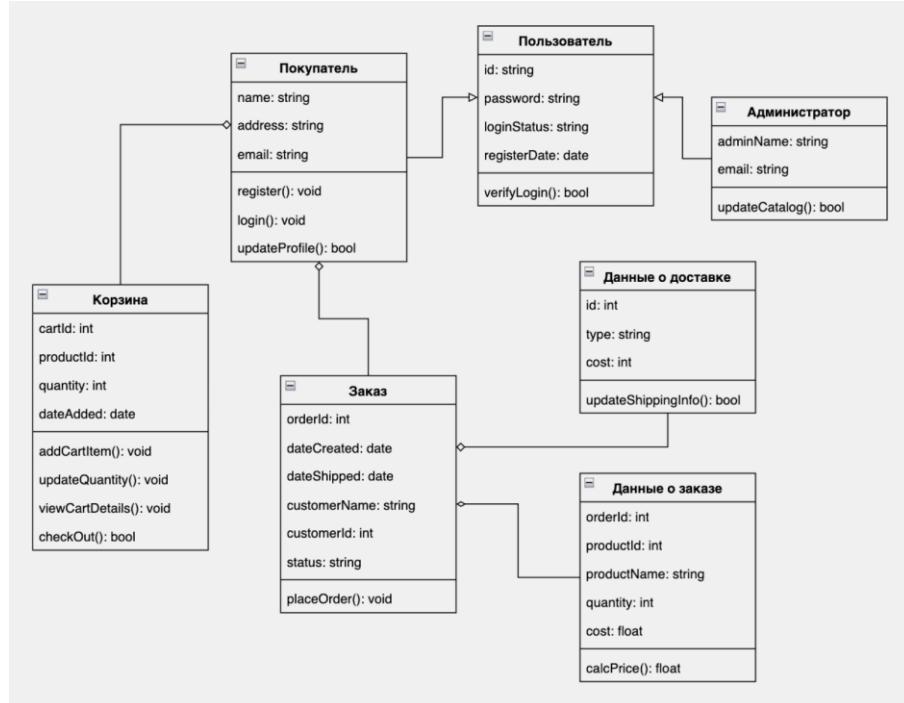
Недостатки: более высокая сложность на начальных этапах проектирования.



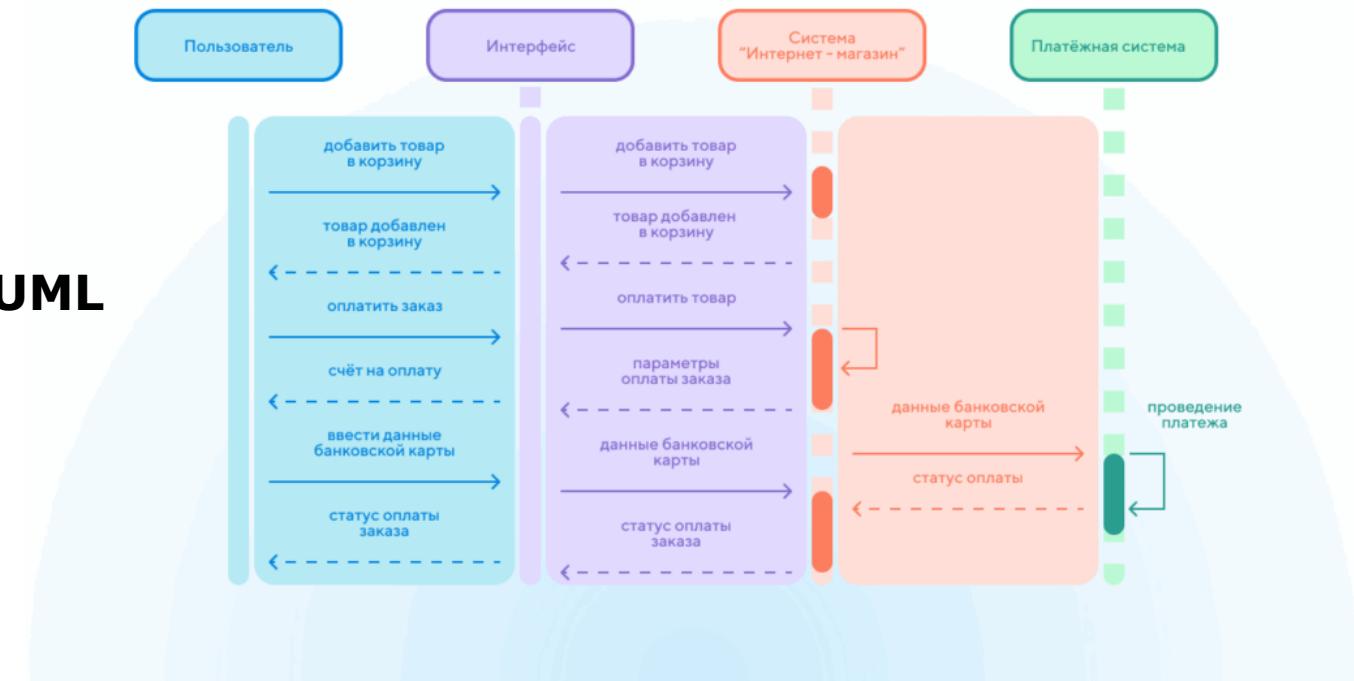
МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СИСТЕМ

ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД



UML



ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СИСТЕМ

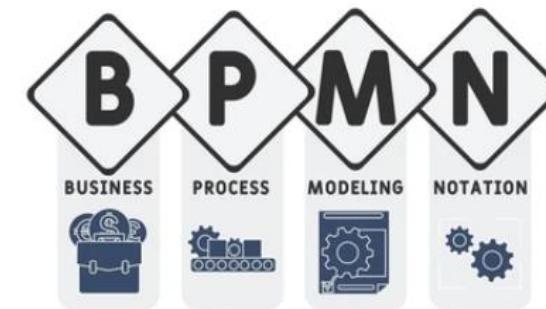
ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД

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.

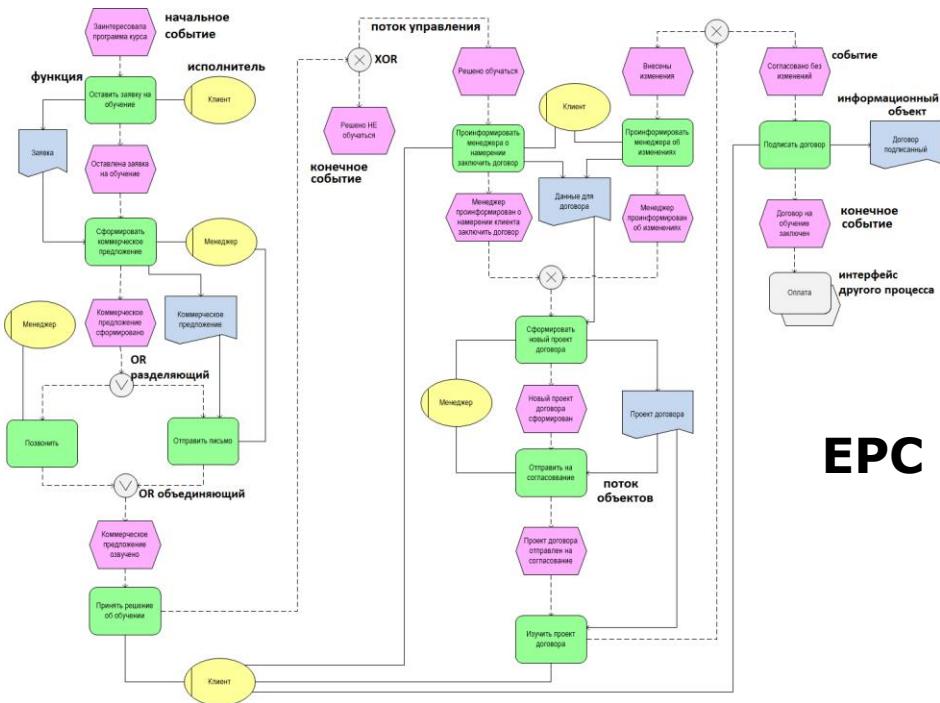
Недостатки: может упускать из виду структурные и данные аспекты системы.



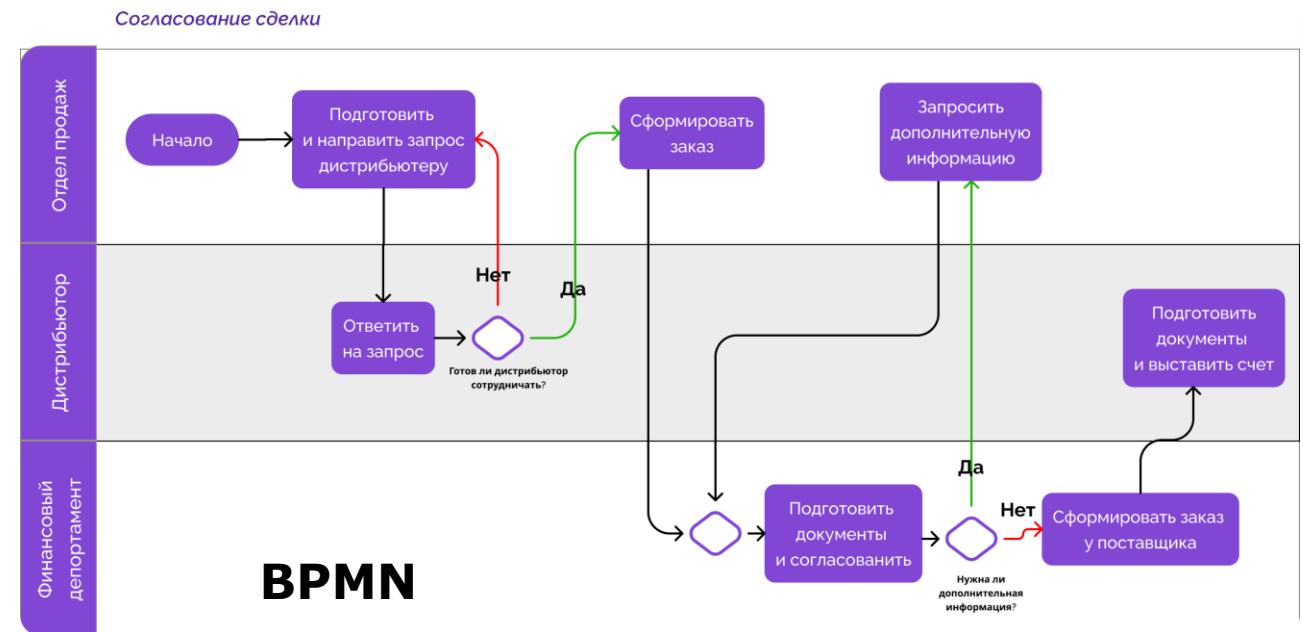
МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ

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:** представлена как последовательность 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.

система
событий,



- 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 оптимизация 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.



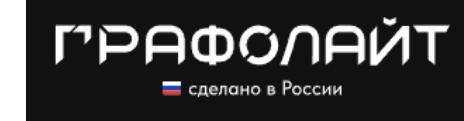
МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ



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/IDEF0, DFD и мн.др;



draw.io



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 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?



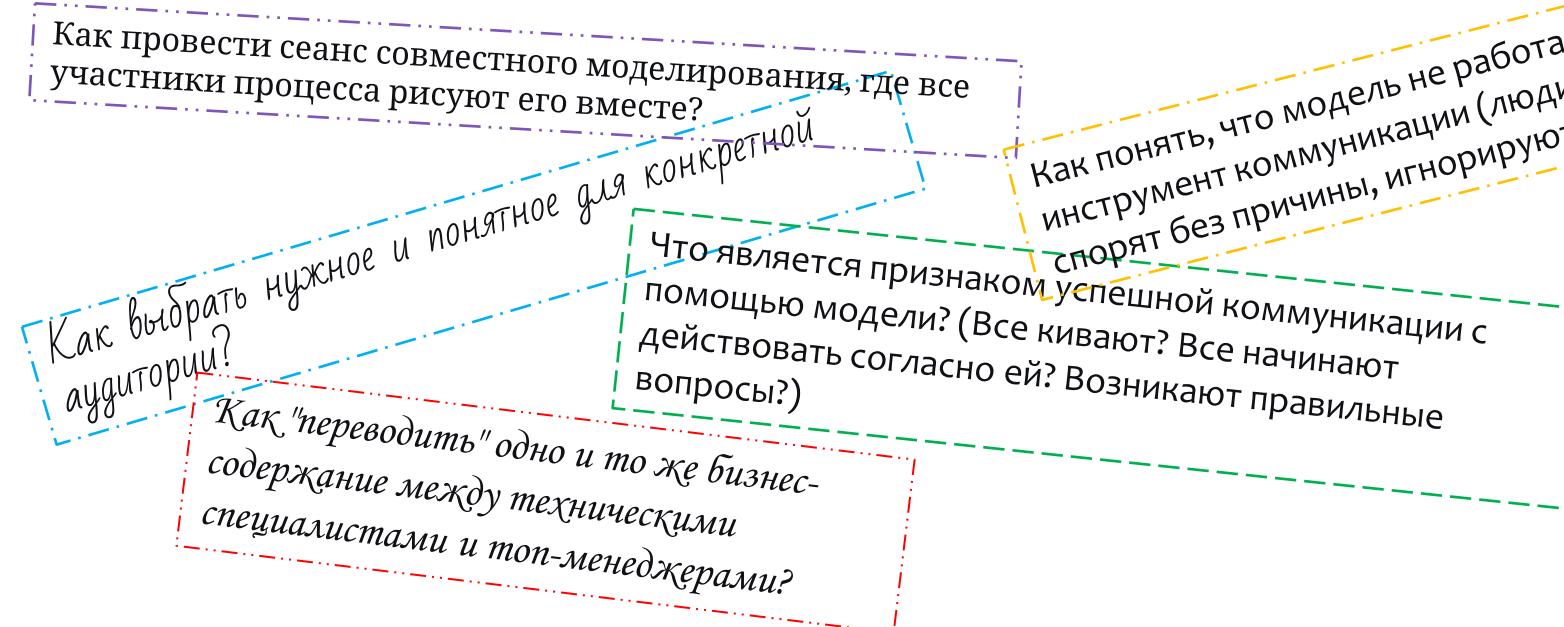
Краткий гид по выбору:

- «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.



МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ

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.





СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!