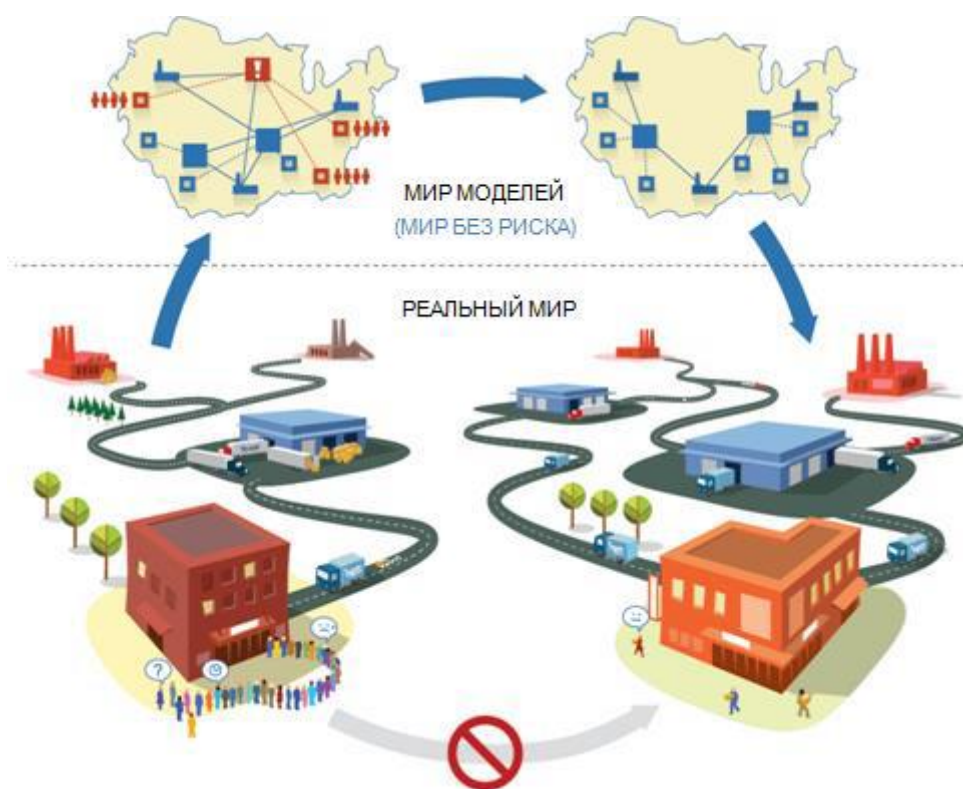


## МОДЕЛИРОВАНИЕ – СПОСОБ РЕШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Строить новые объекты, разрушать или вносить изменения в уже имеющуюся инфраструктуру может быть слишком дорого, опасно или просто невозможно. В таких случаях строится *модель* реальной системы, т.е. система описывается на языке моделирования.

Данный процесс подразумевает переход на определенный уровень абстракции: опуская несущественные детали, мы учитываем только то, что считаем важным. Система в реальном мире всегда сложнее своей модели.



**Все этапы разработки модели – проекция реального мира в мир моделей, выбор уровня абстракции и выбор языка моделирования – менее стандартизованы, чем процесс использования моделей для решения задач. Моделирование до сих пор больше искусство, чем наука.**

**В сущности, моделирование является поиском решения задачи в защищенном от риска мире моделей, в котором мы можем ошибаться, отменять операции, возвращаться в прошлое и начинать все сначала.**

Мощным инструментом моделирования являются компьютеры.

### **Преимущества имитационного моделирования**

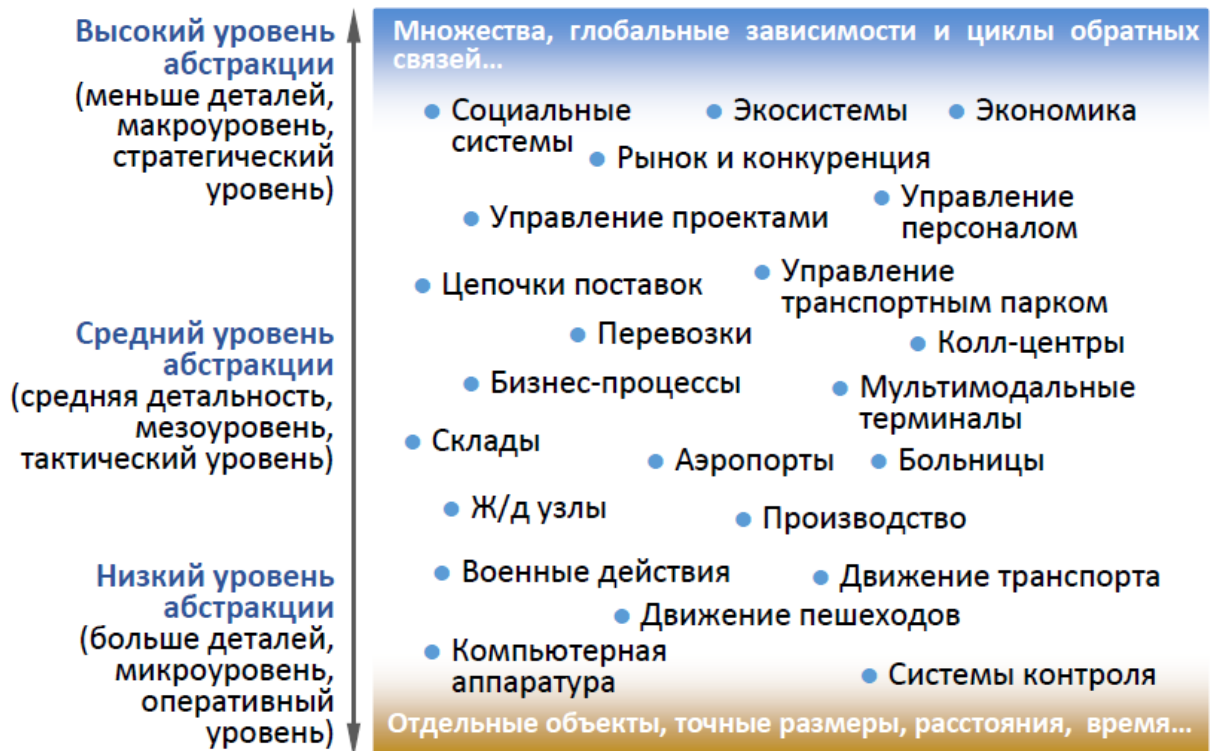
Можно выделить шесть основных преимуществ имитационного моделирования:

1. Имитационные модели позволяют анализировать системы и находить решения в тех случаях, когда такие методы, как аналитические вычисления и линейное программирование не справляются с задачей.
2. После того, как вы определитесь с уровнем абстракции, разрабатывать имитационную модель будет гораздо проще, чем аналитическую, поскольку процесс создания модели будет инкрементальным и модульным.
3. Структура имитационной модели естественным образом отображает структуру моделируемой системы.
4. Имитационная модель позволяет вам отслеживать все объекты системы, учтенные в выбранном уровне абстракции, добавлять метрики и проводить статистический анализ.
5. Одним из главных преимуществ имитационного моделирования является возможность проигрывать модель во времени и анимировать ее поведение. Анимация будет неоспоримым преимуществом при демонстрации модели и может оказаться полезной для верификации модели и нахождения ошибок.

### ***Области применения имитационного моделирования***

Имитационное моделирование доказало свою успешность во многих областях применения. Появление новых методов моделирования и рост

вычислительной мощности компьютеров позволяет утверждать, что количество этих областей будет только расти.



На рисунке выше вы можете видеть распределение областей применения имитационного моделирования соответственно используемым в моделях уровням абстракции.

В нижней части рисунка располагаются модели физического уровня, в которых объекты реального мира моделируются максимально подробно. На этом уровне мы учитываем физическое взаимодействие, размеры, скорости, расстояния. Антиблокировочная система тормозов автомобиля, эвакуация болельщиков со стадиона, движение на регулируемом перекрестке, взаимодействие солдат на поле боя – все эти примеры требуют низкого уровня абстракции при их моделировании.

Модели, расположенные в верхней части схемы, более абстрактны и чаще всего оперируют обобщенными понятиями, такими как совокупность потребителей или статистика уровня занятости, а не отдельными объектами. Так как взаимодействие между объектами происходит на высоком уровне,

такие модели помогают понять взаимосвязи в системе без необходимости моделировать промежуточные шаги, например, изучить влияние вложений в рекламу на продажи продукта компании.

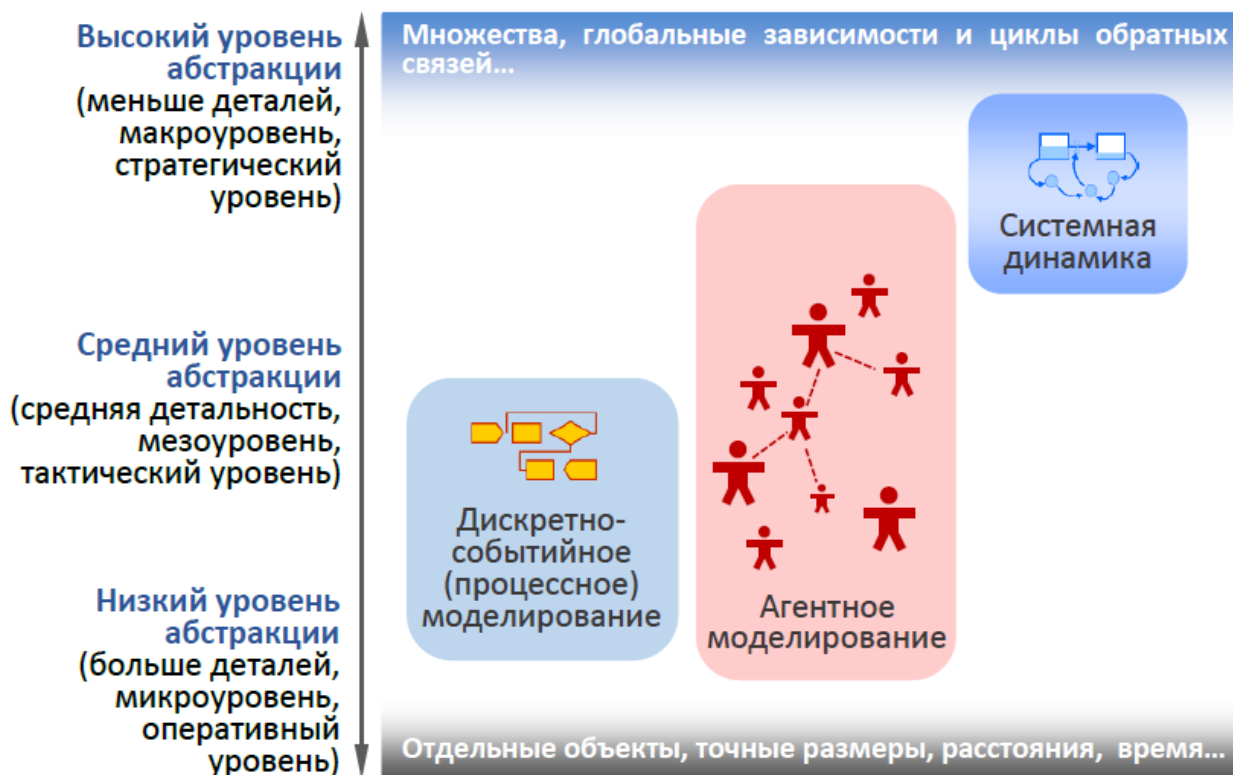
Другие модели имеют средний уровень абстракции. Например, при моделировании отделения скорой помощи необходимо учитывать реальные размеры помещения, чтобы узнать, как долго пациент будет идти от приемной до рентгеновского кабинета. При этом, предположив, что помещение не переполнено, мы можем исключить из рассмотрения физическое взаимодействие между людьми.

Разрабатывая модель бизнес-процесса или работы центра обработки звонков, мы моделируем последовательность и длительность операций, а не место, в котором они происходят. В модели грузоперевозок мы учитываем скорость грузовика или поезда, но в модели цепочки поставок на более высоком уровне мы просто считаем, что доставка заказа занимает от семи до десяти дней.

- **От правильности выбора уровня абстракции зависит успешность проекта моделирования. После того, как вы решите, что включать в модель, а что оставить за пределами уровня абстракции, выбрать метод моделирования будет уже не так сложно.**
- **Нормально и даже ожидаемо, что в процессе разработки модели вам порой придется пересматривать выбранный уровень абстракции. В большинстве случаев вы начинаете с высокого уровня, а позже добавляете необходимые детали.**

## Три метода имитационного моделирования

В современном имитационном моделировании используются три подхода (методологии): дискретно-событийное моделирование, агентное моделирование и системная динамика.



На данный момент, существует три метода:

- *Системная динамика*
- *Дискретно-событийное моделирование*
- *Агентное моделирование*

Каждый метод применяется в некотором диапазоне уровней абстракции. Системная динамика предполагает очень высокий уровень абстракции и, как правило, используется для стратегического моделирования. Дискретно-событийное моделирование поддерживает средний и низкий уровни абстракции. Между ними находятся агентные модели, которые могут быть как очень детализированными, когда агенты

представляют физические объекты, так и предельно абстрактными, когда с помощью агентов моделируются конкурирующие компании или правительства государств.

Прежде чем выбрать метод моделирования, следует тщательно исследовать моделируемую систему и цели моделирования.

### **Агентное моделирование**

*Агентное моделирование* - относительно новый метод моделирования.

Поначалу оно являлось преимущественно предметом теоретических дискуссий в академических кругах, а начиная с 2000-х годов разработчики имитационных моделей стали использовать его на практике.

Переход к агентному моделированию был вызван:

- Желанием глубже изучить системы, которые сложно описать традиционными методами моделирования.
- Развитием технологии агентного моделирования (объектно-ориентированное моделирование, диаграммы состояний).
- Быстрому росту мощности процессоров и объема оперативной памяти компьютеров. Агентные модели более требовательны к ресурсам, чем модели системной динамики или дискретно-событийные модели.

Агентное моделирование предлагает разработчику моделей альтернативный взгляд на поведение системы.

**Вы можете не знать ни поведения системы в целом, ни ее главных переменных и зависимостей между ними, или не видеть четкой схемы процессов, но при этом понимать, как ведут себя отдельные элементы системы. В таком случае вы можете начать создание модели с идентификации моделируемых объектов (агентов) и задания их поведения. Иногда вам может понадобиться объединить агентов в сеть позволить им взаимодействовать друг с другом, либо же поместить агентов в среду, которая имеет свою собственную динамику. Таким**

**образом, глобальное поведение системы формируется из многих десятков (тысяч, миллионов) параллельно протекающих процессов.**

На данный момент не существует стандартного языка агентного моделирования. Структура агентной модели может быть задана как графически, так и с помощью сценариев. Поведение агента может быть задано различными способами. Если у агента есть состояние, от которого зависят его действия и реакции, то его поведение лучше всего задавать с помощью диаграммы состояний. Иногда поведение агента задается действиями, выполняемыми при наступлении определенных событий.

Иногда внутренняя динамика агента лучше всего задается с помощью дискретных событий или системной динамики. Так же и динамика среды, в которой живут агенты, может моделироваться с помощью традиционных методологий. По этой причине многие агентные модели совмещают в себе несколько подходов к моделированию.

Агентами могут быть самые разные объекты: транспортные средства, оборудование, проекты, организации, земельные участки, люди и так далее.

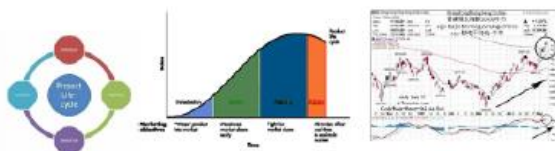
**Люди в разных ролях:  
покупатели, сотрудники, пациенты,  
доктора, клиенты, солдаты, ...**



**Оборудование, транспорт:  
грузовики, машины, краны,  
самолеты, вагоны, станки, ...**



**Нематериальные вещи:  
проекты, продукты, инновации, идеи,  
инвестиции, ...**



**Организации:  
компании, политические партии, страны, ...**



### ***Что представляют собой агенты:***

- **Агенты не являются клеточными автоматами** и не обязательно обитают в дискретном пространстве (как в игре «Жизнь»). Во

многих агентных моделях пространство вообще отсутствует. Когда пространство все же необходимо, оно чаще всего является непрерывным (это может быть карта мира или план здания).

- **Агенты – не обязательно люди.** Агентом может быть все, что угодно: транспортное средство, оборудование, проект, организация или даже идея.
- **Агентом может быть объект, кажущийся абсолютно пассивным.** Например, в модели нефтепровода вы можете представить сегмент трубы как агента, задав для него графики техобслуживания, вероятности происхождения аварий, логику проведения ремонтных работ, затраты и т.д.
- **Агентов в модели может быть как много, так и мало.** При этом агенты могут быть как одного типа, так и разных.
- **Существуют агентные модели, в которых агенты вообще не взаимодействуют друг с другом.** Например, в моделях потребления алкоголя, развития ожирения или хронических заболеваний индивидуальная динамика агента зависит только от его личных параметров и, в некоторых случаях, от среды.

### **Системная динамика**

*“Системная динамика – это подход к имитационному моделированию, своими методами и инструментами позволяющий понять структуру и динамику сложных систем. Также системная динамика – это метод моделирования, использующийся для создания точных компьютерных моделей сложных систем для дальнейшего их использования с целью проектирования более эффективной организации и политики взаимоотношений с данными системами. Вместе эти инструменты позволяют нам создавать микромиры-симуляторы, где пространство и время могут быть сжаты и замедлены так, чтобы мы могли изучить последствия наших решений, быстро освоить методы и понять структуру*

*сложных систем, спроектировать тактики и стратегии для большего успеха.”*

*Джон Штерман, “Бизнес-процессы: Системное мышление и моделирование сложного мира”*

Метод *системной динамики* был изобретен в 1950-х Джейм Форрестером из Массачусетского Технологического Института (MIT). Используя свой научный и инженерный опыт, Форрестер искал способ применения законов физики, в частности, законов электрических цепей, к исследованиям и описанию динамики процессов социальных и экономических систем.

Системная динамика чаще всего используется для разработки долгосрочных стратегических моделей и предполагает высокий уровень агрегации объектов: модели системной динамики рассматривают людей, товары, ресурсы и другие отдельные элементы в количественных терминах.

Системная динамика предоставляет методы изучения динамических систем. Предполагается, что вы:

Моделируете систему как закрытую структуру, которая сама определяет собственное поведение.

Обнаруживаете циклы обратной связи, уравнивающего или усиливающего типа. Циклы обратной связи занимают центральное место в системной динамике.

Задаете накопители и потоки, которые на них влияют.

Накопители характеризуют состояние системы. Они содержат память системы. Модель работает только с совокупностью объектов: отдельные элементы, содержащиеся в накопителе, не различимы. Потоки представляют интенсивность, с которой меняются эти состояния системы.

Если вам сложно разделить понятия потока и накопителя, представьте, что мы ими измеряем. Накопители обычно используются, чтобы обозначить совокупность людей, уровни запасов, денежные средства или знания, тогда

как потоки измеряют количество чего-либо за период времени, например, количество клиентов в месяц или долларов в год.

Цель данной главы – научить вас разрабатывать модели системной динамики в AnyLogic. Если вы хотите получить больше информации о самом подходе моделирования, мы рекомендуем книгу Джона Штермана “Бизнес-процессы: Системное мышление и моделирование сложного мира”.

### **Дискретно-событийное моделирование в AnyLogic**

*Дискретно-событийное моделирование* зародилось примерно тогда же, когда появилась системная динамика. В 1961 году инженер компании IBM Джеффри Гордон представил программу GPSS, которая считается первой реализацией метода моделирования на основе дискретных событий. В наши дни существует множество различных программных инструментов для дискретно-событийного моделирования, в том числе и современная версия GPSS.

**Дискретно-событийное моделирование предполагает представление моделируемой системы в виде процесса, то есть последовательности операций, выполняемых с агентами.**

Модель задается графически в виде диаграммы процесса, блоки которой представляют собой отдельные операции. Как правило, диаграмма процесса начинается с блока «источник», генерирующего агентов. Этот блок передает агентов в последующие блоки диаграммы, задающие операции моделируемого процесса. Завершается диаграмма процесса обычно блоком, уничтожающим этих агентов.

Под *агентами*, называемыми в GPSS *транзакциями*, а в некоторых других моделирующих программах - *заявками*, могут пониматься клиенты, пациенты, телефонные звонки, документы, компоненты изделий или сами изделия, поддоны, автомобили, проекты, идеи и т.д.

Под *ресурсами* может пониматься персонал, врачи, рабочие, оборудование и транспорт.

Типовыми операциями дискретно-событийной модели являются задержка (моделирующая выполнение определенной операции, например, обработку звонка или детали), обслуживание агента ресурсом, ветвление процесса и т.д. Поскольку агенты конкурируют за обладание ресурсами, необходимыми для выполнения операций, то это может приводить к задержкам, и практически во всех дискретно-событийных моделях присутствуют очереди.

Как времена прибытия агентов, так и времена их обслуживания обычно являются случайными величинами, и их значения генерируются функциями распределения вероятностей. Поэтому и сами дискретно-событийные модели являются стохастическими, и для получения репрезентативного результата модель должна проработать определенное время, или же нужно выполнить определенное количество прогонов модели.

Типовыми результатами дискретно-событийной модели являются:

занятость ресурсов;

время, проведенное агентом в системе или определенной ее части;

длины очередей;

время ожидания;

пропускная способность и узкие места системы.