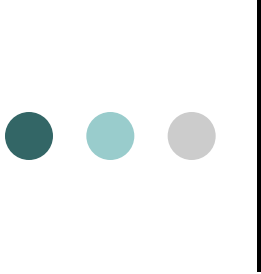




Инструментальные средства моделирования



В современном имитационном моделировании сформировались и наиболее широко применяются три основных подхода

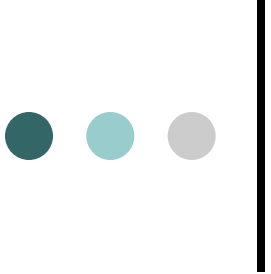
- ▣ **дискретно-событийное моделирование,**
- ▣ **системная динамика и**
- ▣ **агентное моделирование.**



Аппарат системной динамики

- обычно оперирует непрерывными во времени процессами
- предметная область описывается совокупностью динамических связей, отражающих развитие процесса во времени в форме конечно-разностных уравнений и рекуррентных соотношений
- модель воспроизводит поведение объекта за определенный период времени

Исходные аналитические модели - системы обыкновенных дифференциальных уравнений.

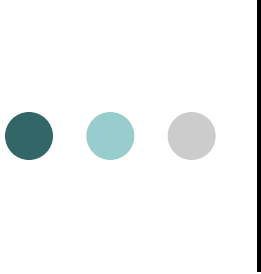


Системная динамика

как методология была предложена в
1961 году

Дж. Форрестером

Методы системной динамики поддерживаются
такими инструментами, как ***DYNAMO, Stella,
Vensim, PowerSim, iThink, ModelMaker*** и др.



Дискретно-событийное моделирование

- используется для дискретных во времени процессов
- описывает потоки случайных событий, проходящие через сложную совокупность путей и узлов
- направлен на исследование стационарных, установившихся процессов.

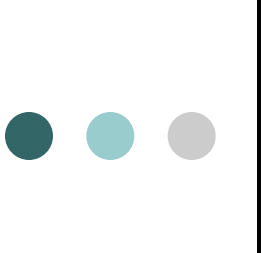
Аналитический прототип - теория систем массового обслуживания



Дискретно-событийное моделирование

обязано своим рождением
Дж. Гордону, который в начале
1960-х спроектировал и
реализовал на мейнфреймах *IBM*
систему **GPSS** - глобальную схему
обслуживания заявок

**GPSS/PC, GPSS/H, GPSS World, Object
GPSS, Arena, SimProcess, Enterprise
Dynamics, Auto-Mod и др.**



GPSS World

□ MS Windows

- встроенные инструменты статистической обработки результатов моделирования,
- встроенный язык программирования расчетов *PLUS*
- Трудоемкость описания моделируемых систем в терминах бизнес-процессов может быть снижена за счет применения таких продуктов, как ***Object GPSS*** или ***ISS 2000***.

ISS 2000 представляет собой лингвистический процессор, с помощью которого пользователь в диалоговом режиме создает автоматически *GPSS*-программу и запускает ее на выполнение



АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- ▣ децентрализованная модель (нет единой точки, определяющей поведение системы в целом)
- ▣ состоит из множества индивидуальных объектов (агентов) и их окружения; поведение системы описывается на индивидуальном уровне;
- ▣ глобальное поведение рассматривается как результат совокупной деятельности агентов, каждый из которых действует сообразно собственному «уставу», существует в общей среде, взаимодействует со средой и другими агентами
- ▣ для описания поведения агентов используются *карты состояний*, являющиеся стандартным инструментом **UML** (*Unified Modeling Language*)
- ▣ позволяет учесть структуру и поведение любой сложности.



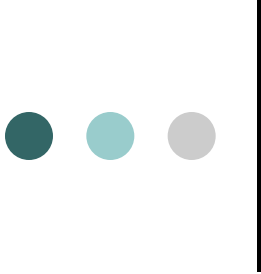
Системы моделирования

- ▣ Задолго до появления концепций системной динамики имитационное моделирование проводилось на аппаратных комплексах. Первыми системами моделирования были аналоговые ЭВМ (или АВМ).



Системы моделирования

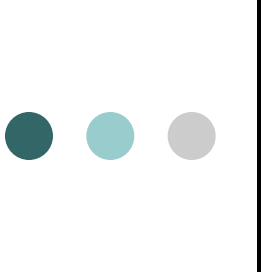
- ▣ ABM - моделирование в реальном масштабе времени линейных и нелинейных динам. систем, описываемых обыкн. дифф. уравнениями



ABM

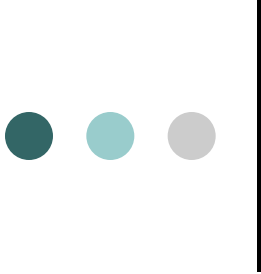
ABM

- математическое и полунатурное моделирование ракет и ракетных комплексов, космических кораблей, самолетов, судов, энергетических установок и др. объектов,
- решение задач в медицине, биологии, химии и в других направлениях науки и техники.



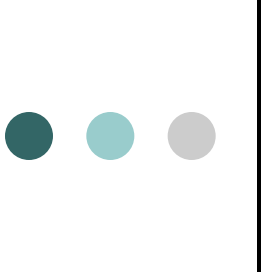
1949—1950 гг. - первые АВМ,
интеграторы постоянного тока
— ИПТ-1 — ИПТ-5.

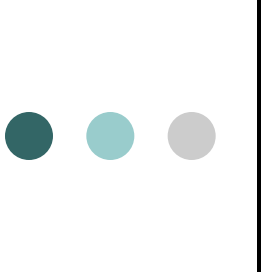
- решение линейных
дифференциальных
уравнений с постоянными и
переменными
коэффициентами

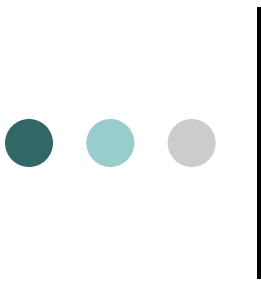


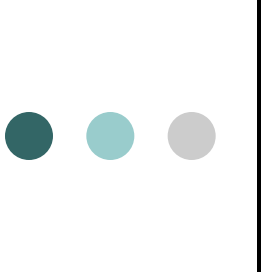
▣ 1952—1953 гг.

**АВМ получают
наименование
«моделирующие установки
постоянного тока» (МПТ)**

- 
- ▣ С 1954 г. АВМ получают название «моделирующие установки нелинейные» (МН).

- 
- **В 1960 г.** - для комплексных авиационных тренажеров — «**Счет-16**» и «**Счет-19**»,
АВМ **МН-12** для моделирования прокатных станов.
 - **В 1961 г.** **МН-13** для моделирования металлургических процессов,
мощная АВМ 40-го порядка «**Байкал**» для моделирования в атомной энергетике.
 - **В 1962 г.** АВМ 40-го порядка «**Катализ**» для моделирования химических процессов.

- 
- **В 1963 г.** появилась **МН-16**, предназначенная для моделирования ракет и ракетных систем, и АВМ «**Этилен**» для управления производством этилена.
 - **В 1965 г.** выпущены вычислительное устройство для авиационных тренажеров «**Счет-22**» и АВМ «**Доза**» для расчета дозовых полей при лучевой терапии.
 - **В 1966 г.** появилась АВМ «**Полимер-2**» для решения нелинейных смешанных задач.
 - **В 1967-1968 гг.** разработан «**Сеграф-1**» для исследования сетевых графиков и «**Трансграф-1**» для моделирования транспортных задач.



Цифровое моделирование

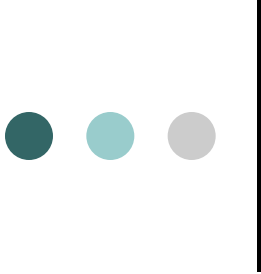
Язык и компилятор ***DYNAMO***,
(Массачусетский технологический институт).

- решение систем линейных и нелинейных алгебраических и дифференциальных уравнений, содержащих до нескольких тысяч переменных
- при этом от пользователя не требуется глубоких знаний программирования.



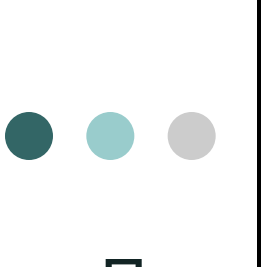
С появлением графических средств
доступа язык моделирования ***DYNAMO***
стал языком
графического моделирования
сложных динамических систем.

В полном объеме его выразительные
возможности реализованы в системе
визуального моделирования
«*iThink*».



«*iThink*»

- ▣ **формальная модель = логические диаграммы → сетевая модель → система уравнений**
- ▣ Полученное решение представляется в виде **графиков и таблиц**, которые подвергаются критическому анализу.
- ▣ Модель пересматривается (*изменяются параметры некоторых узлов сети, добавляются новые узлы, устанавливаются новые или изменяются существовавшие ранее связи и т. д.*), **ВНОВЬ** анализируется и т.д., пока не станет соответствовать реальной ситуации.
- ▣ Выделяются управляемые параметры и такие значения этих параметров, при которых проблема либо снимается, либо перестает быть критически важной.



Stella и iThink

- Предназначены для преобразования моделей принятия решений в *имитационные модели*.
- Основной упор делается на формирование у пользователя умения принимать решения, необходимые для исследования систем со сложными взаимозависимыми связями между подсистемами.
- Широко используют графические функциональные элементы для графического изображения потоков, фондов, эффектов влияния неформализованных факторов.
- Динамика процессов и объектов выражается с помощью пяти типов базовых параметров: **увеличение фондов, исчерпание фондов, рабочий процесс, соединение потоков, адаптация фондов**.
- Модели представляются тремя иерархическими уровнями: **блок-схемы, базовые потоковые схемы, формальные спецификации**.



Пакет *Vensim*

Инструмент для визуального моделирования, поддерживающий

- разработку концептуальной модели,
- документирование,
- собственно моделирование,
- анализ результатов и
- оптимизацию моделей динамических систем.

Простое и гибкое средство для построения имитационных моделей систем с причинно-следственными связями, фондами и потоками. Пакет имеет

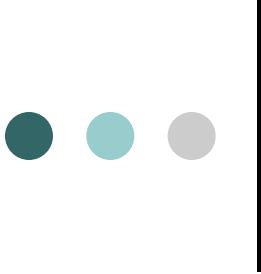
1. графический редактор для построения с помощью мыши классических форрестеровских моделей,
2. Equation Editor для завершения формирования модели, а также
3. развитые средства визуализации поведения модели.

● ● ● | ДРУГИЕ ПОДХОДЫ

Аналогии между фундаментальными процессами взаимодействия молекул (перераспределение импульсов и энергии) и взаимодействия участников рынка (перераспределение денег и товаров)



методы статистической физики к исследованию колебания цен на фондовом рынке.



Узкоспециализированные методологии

предназначены исключительно для моделирования и анализа бизнес-процессов, например,

ARIS

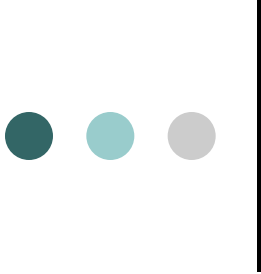
(Architecture of Integrated Information Systems)

- предлагается около 80 типов моделей, отражающих тот или иной аспект моделирования
- развитая репрезентативная графика делает модели в ARIS особенно удобными для представления руководству и принятия стратегических решений.



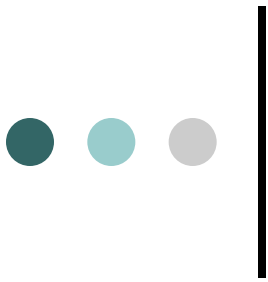
ARIS поддерживает четыре типа моделей, отражающих различные аспекты исследуемой системы:

- **организационные модели**, представляющие структуру системы - иерархию организационных подразделений, должностей и конкретных лиц, многообразие связей между ними, а также территориальную привязку структурных подразделений;
- **функциональные модели**, содержащие иерархию целей, стоящих перед аппаратом управления, с совокупностью деревьев функций, необходимых для достижения поставленных целей;
- **информационные модели**, отражающие структуру информации, необходимой для реализации всей совокупности функций системы;
- **модели управления**, представляющие комплексный взгляд на реализацию деловых процессов в рамках системы.



РЕЗЮМЕ

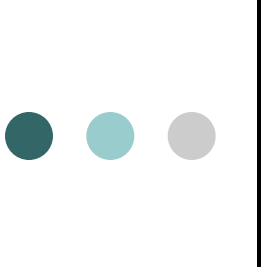
- производственно-технологические модели (традиционно рассматриваемые как СМО) неплохо моделируются дискретно-событийными средствами типа **GPSS**;
- финансовые модели хорошо вписываются в рамки системной динамики;
- для имитационного моделирования трудовых ресурсов может быть полезен агентный подход.



Концепции **объектно-ориентированного проектирования и программирования**, нашедшие свое воплощение в агентном моделировании, позволяют строить модели реальных систем

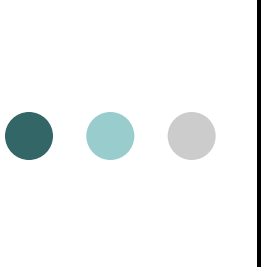
(сложных, нелинейных, с обратными связями и стохастическим поведением)

силами самих пользователей в терминах бизнес-процессов.



Эволюция программных средств моделирования

- первое поколение (50-е годы, **FORTRAN, ALGOL...**) — программирование моделей на языках высокого уровня без какой-либо специальной поддержки;
- второе поколение (60-е годы, **GPSS, SIMULA, SIMSCRIPT, GASP, SLAM**) — специальная поддержка моделирования в виде соответствующих выражений языка, генераторов случайных чисел, средств представления результатов;
- третье поколение (70-е годы) — возможность комбинированного непрерывно-дискретного моделирования;
- четвертое поколение (80-е годы) — ориентация на конкретные области приложения, возможность анимации; интерфейс непрограммирующего пользователя, входные и выходные анализаторы, В наше время на рынке ПО для имитации предлагается более 50 мощных продуктов имитационного моделирования, таких как **Arena, AutoMod, Extend, GPSSWorld** и др.
- пятое поколение (90-е годы **SIMPLEX II, SIMPLE++...**) — графический интерфейс, интегрированная среда для создания и редактирования моделей, планирования экспериментов, управления моделированием и анализа результатов.



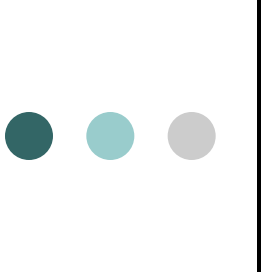
Современное состояние имитационного моделирования

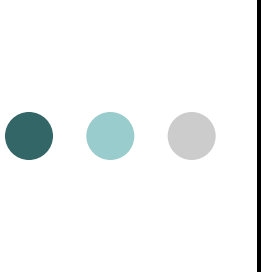
Ведутся работы по

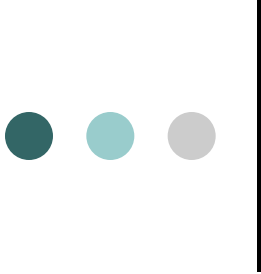
-  совместному функционированию распределенных имитационных моделей,
-  связи имитационных моделей через Интернет,
-  универсализации моделей,
-  расширению библиотек элементов моделей.

В литературе по моделированию встречаются такие названия как

- 📁 пакеты,
- 📁 софт,
- 📁 имитационные системы,
- 📁 имитационные среды,
- 📁 языки имитационного моделирования,
- 📁 проблемно-ориентированные имитаторы,
- 📁 процедурно и объектно-ориентированные языки моделирования,
- 📁 проблемно-ориентированные информационно-вычислительные системы,
- 📁 системы автоматизированного моделирования,
- 📁 генераторы программ,
- 📁 модельно-ориентированные имитационные пакеты,
- 📁 пакеты имитационного моделирования для ПВЭМ и т.д.

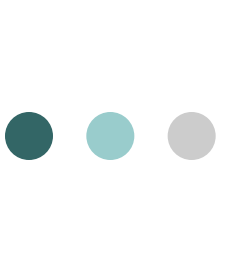
- 
- Универсальные языки;
 - Специализированные языки;
 - Имитационные среды.

- 
- Такой подход требует аналитического описания процессов с последующим переводом полученной системы уравнений в программу для ЭВМ. Поэтому разработка таких программ занимает нескольких человеко-месяцев труда специалистов по технологии, программированию и математике. Модель, содержит сотни (тысячи) команд, трудно поддается доработке (как правило, исправить или дополнить моделирующую программу может только тот, кто ее разрабатывал). Часто время разработки модели отстает от развития моделируемой системы производства и модель становится ненужной.



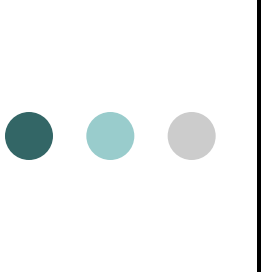
Универсальные языки (C, Delphi)

- **Динамику системы описывают уравнениями, которые кодируют в программу, затем проводят расчет уравнений и устанавливают связь выходных величин с входными.**
- Для имитационного моделирования универсальные языки применяют редко.



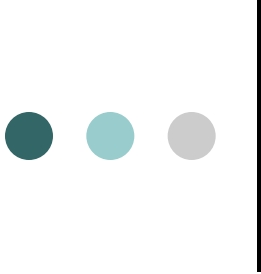
Специализированные языки (*GPSS, SIMAN, SLAM, SIMSCRIPT, SIMULA, GASP*).

- программное обеспечение, ориентированное на имитацию процессов
- языки высокого уровня, в которых стандартные операции имитационного моделирования представляют собой блоки в виде последовательностей команд на одном из универсальных языков
- Поведение системы отображается последовательностью событий. Событием является начало или окончание какой либо операции. Процесс отображается не системой уравнений, а взаимодействием элементов модели $E_1, \dots, E_n$ во времени и пространстве.
- Специализированные языки имитационного моделирования различаются способами учета времени, сложностью изменения структуры модели, способами проведения экспериментов.



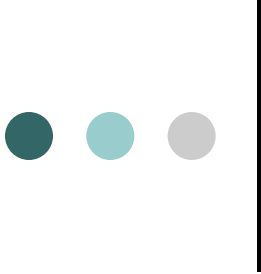
Имитационные среды (*Arena, AutoMod, AlphaSim, Anylogic, Deneb, Extend, GPSS World, MicroSaint, MAST* и др.).

- Вместо составления программы пользователь составляет модель, выбирая из библиотеки графические модули, и/или заполняет специальные бланки.
- автоматизированы процессы
статистической обработки данных,
управления проведением экспериментов,
оптимизации поведения системы,
сравнения различных альтернатив.
существует возможность создания своих собственных блоков на
встроенных универсальных языках.
- имитационная среда обеспечивает возможность визуализации
процесса имитации и связи с инструментами компьютерного
проектирования систем
- В отличие от специализированных языков имитационное
моделирование ведется быстрее, но область приложения
большинства систем имитации ограничена.



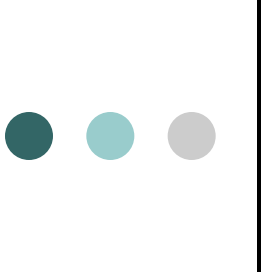
Интегрированные системы моделирования (ИСМ)

- программное средство моделирования шестого поколения, развивающее важнейшие особенности средств пятого поколения и ориентированное на использование не только массовых компьютеров, но и параллельных высокопроизводительных вычислительных систем



Основные принципы построения ИСМ

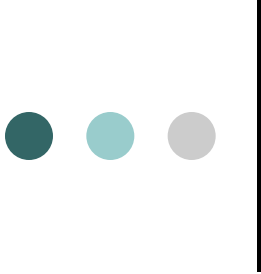
- модульная структура,
- масштабируемость,
- открытая архитектура,
- иерархия моделей,
- развитый графический интерфейс.



Модульная структура

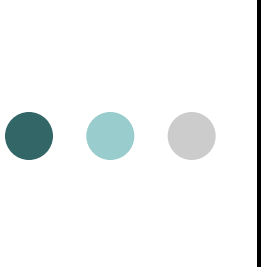
Разбиение системы на относительно автономные модули с четко специфицированным интерфейсом

- снижение порога сложности системы и максимальное распараллеливание работ по ее разработке, развитию и сопровождению;
- возможность постепенного развития системы за счет эволюции и замены отдельных модулей;
- вариативность функциональных возможностей, (альтернативные наборы модулей)
- высокая гибкость и адаптируемость системы за счет комплектации наборами модулей, которые максимально соответствуют текущим требованиям;
- расширение возможностей интеграции системы с другими программными продуктами за счет использования различных интерфейсных модулей для связи с внешними системами и независимого использования отдельных модулей в других системах



Масштабируемость

Данный принцип предполагает реализацию на основе модульности различных вариантов ИСМ, отличающихся как сложностью и объемом, так и требованиями к аппаратным средствам



Масштабируемость

- возможность реализации простейших вариантов системы для целей ознакомления и первоначального обучения с минимальными требованиями к аппаратным средствам и ориентацией на компьютерные средства, массово используемые в учебном процессе;
- постепенное наращивание функциональных возможностей системы по мере роста подготовленности пользователя и использования более производительных и совершенных аппаратных средств;
- возможность эффективного использования массового параллелизма различных высокопроизводительных вычислительных систем при решении задач повышенной сложности и ресурсоемкости

Открытая архитектура

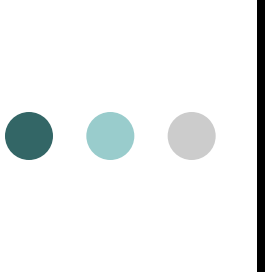
Четкая спецификация межмодульных интерфейсов позволяет обеспечить их взаимозаменяемость

- возможность доукомплектации системы наборами специализированных модулей, дополняющими ее функциональные характеристики;
- возможность разработки сторонними организациями отдельных комплектующих модулей, ориентированных на конкретные приложения, что позволяет существенно расширить потенциальные области применения системы;
- развитие системы непосредственно пользователем путем разработки и совершенствования соответствующих модулей;
- расширение возможностей системы за счет включения внешних программных средств (различных редакторов, средств символьной манипуляции, визуализации и т. п.)
- возможность интеграции отдельных программных модулей системы в другие программные продукты

Иерархия моделей

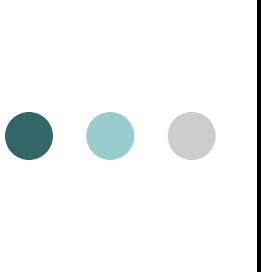
Поддержка создания и редактирования иерархически специфицированных моделей

- построение на базе элементарных модельных блоков и структур **синтезированных блоков и структур**, соответствующих конкретным моделируемым объектам (электродвигатель, регулятор и т. п.), которые в свою очередь также могут использоваться в качестве элементов для построения более укрупненных моделей;
- формирование **библиотек** различного уровня модельной иерархии, ориентированных на широкий спектр приложений и различный уровень подготовки пользователей;
- возможность создания **модельных библиотек высокого уровня готовности и специализации** для конкретных областей применения.



Графический интерфейс

- ▣ **наглядность** создаваемых моделей, процессов и результатов моделирования;
- ▣ **возможность выполнения** большинства **операций** от начального синтеза модели до анализа полученных результатов без использования алфавитно-цифровой клавиатуры, а **с помощью только указательного устройства** (манипуляторов «мышь», трекбол и т. п.), что существенно упрощает эксплуатацию системы;
- ▣ **возможность непосредственного «визуального проектирования» моделей** путем манипуляции с пиктограммами без привлечения специальных языков описания моделей, требующих особого изучения, что позволяет значительно сократить время освоения системы и во многих случаях — затраты времени на подготовку, отладку и документирование моделей.

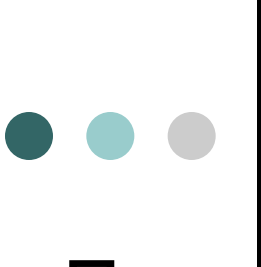


Интегрированная система моделирования *Pilgrim*

объектно-ориентированная система
имитационного моделирования,
имеющая возможности агрегирования
экономических объектов;

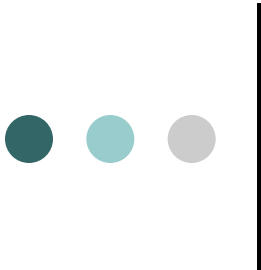
охватывает возможности всех классов:

- системной динамики,
- стохастического дискретного
моделирования,
- пространственного моделирования.



AnyLogic

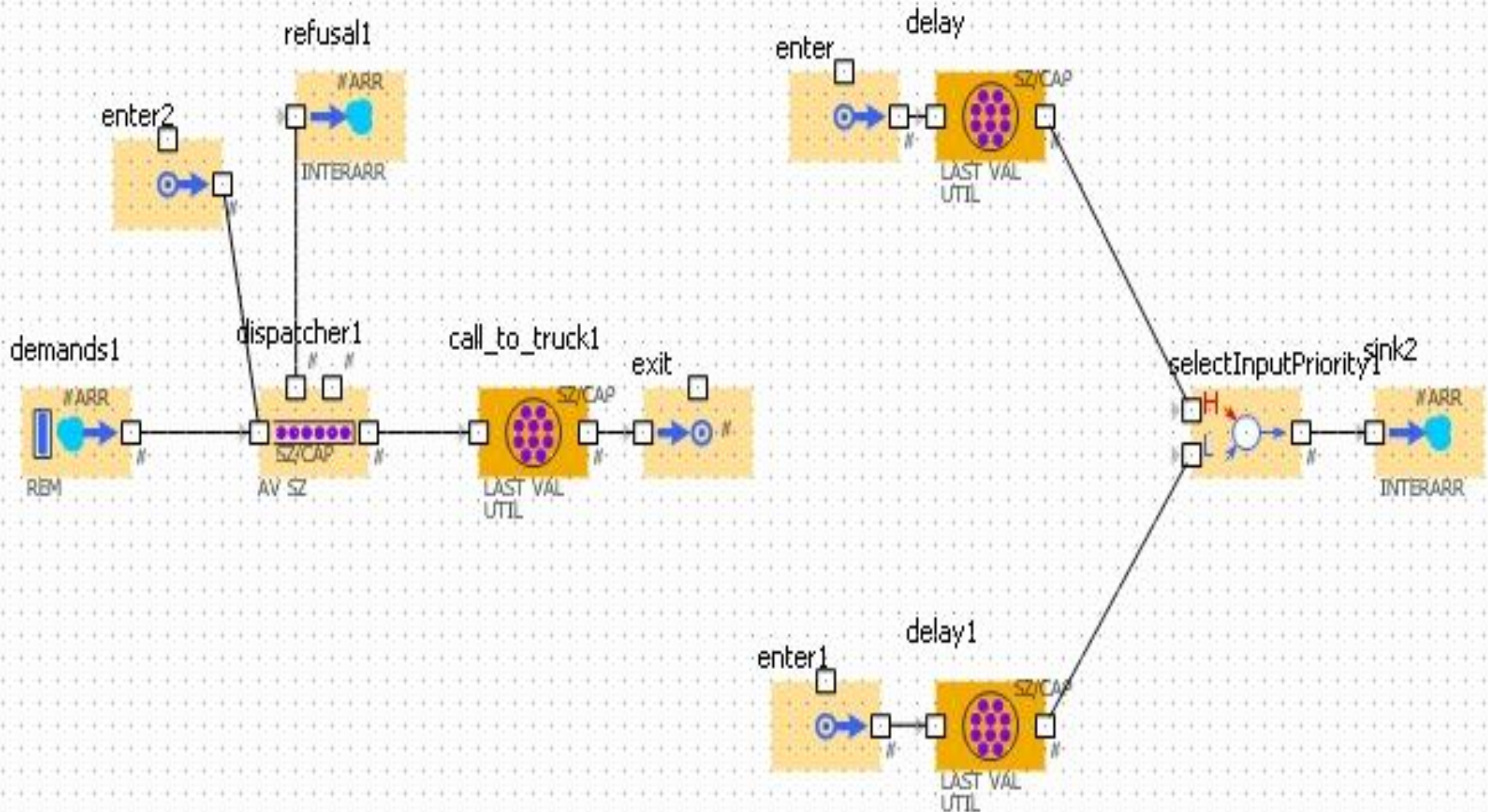
- Программный инструмент *AnyLogic* основан на объектно-ориентированной концепции
- Модель организована как набор взаимодействующих параллельно функционирующих активностей
- Графическая среда поддерживает проектирование, разработку, документирование модели, выполнение компьютерных экспериментов с моделью – от анализа чувствительности до оптимизации параметров модели относительно некоторого критерия.



Пример

- Диспетчер управляет внутризаводским транспортом и имеет в своем распоряжении два грузовика. Заявки на перевозки поступают к диспетчеру каждые 5 ± 4 мин. С вероятностью 0,5 диспетчер запрашивает по радио один из грузовиков и передает ему заявку, если тот свободен. В противном случае он запрашивает другой грузовик и таким образом продолжает сеансы связи, пока один из грузовиков не освободится. Каждый сеанс связи длится ровно 1 мин. Диспетчер допускает накопление у себя до 5 заявок, после чего вновь прибывшие заявки получают отказ. Грузовики выполняют заявки на перевозку за 12 ± 8 мин. Смоделировать работу внутризаводского транспорта в течении 10 час. Подсчитать число обслуженных и отклоненных заявок. Определить коэффициенты загрузки грузовиков.

Библиотека *Enterprise Library*



demands1 – генератор заявок

Свойства

Общие | Количество | Описание

Имя:

Тип:

Параметры:

Имя	Значение
onExit	
newEntity	Entity.class
generationType	distribution
firstArrivalTime	0
interarrivalTime	5+ uniform(-4, 4)
entitiesPerArrival	1
arrivalsMax	infinity
canWaitAtOutput	true

dispatcher1 – очередь на обработку заявок

Свойства

Общие | Количество | Описание

Имя:

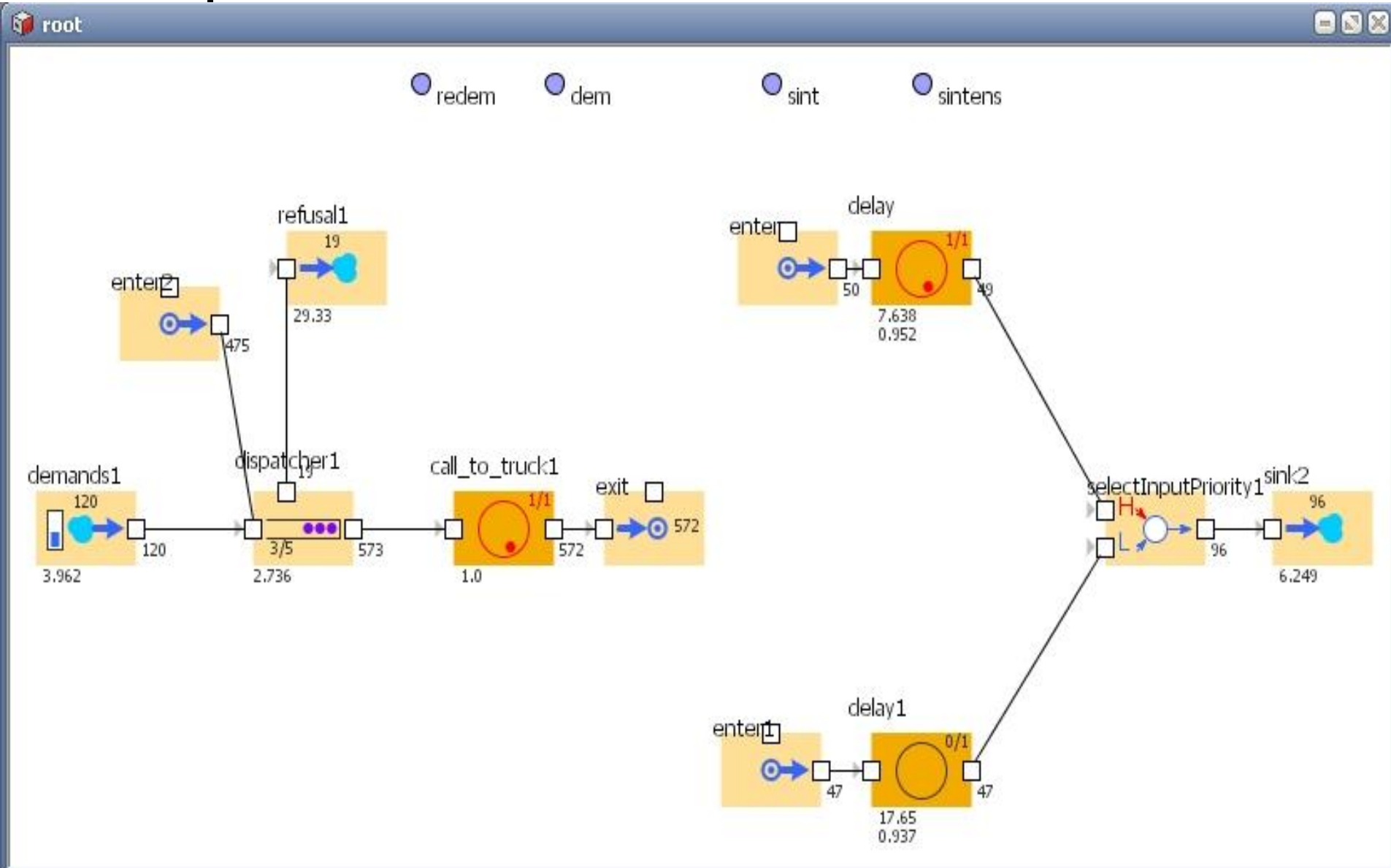
Тип:

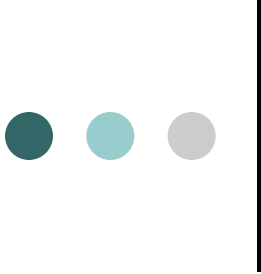
Параметры:

Имя	Значение
onEnter	
onExitPreempted	
onExitTimeout	
onAtExit	
onExit	
queueType	FIFO
capacity	5
entitiesToAnimate	all
preemption	true
timeout	false
statsEnabled	true
animationShape	
animationType	AUTO
animationForward	true

Результаты

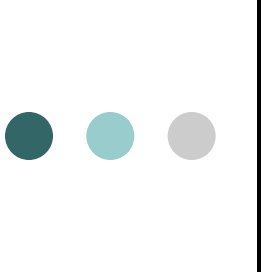
AnyLogic





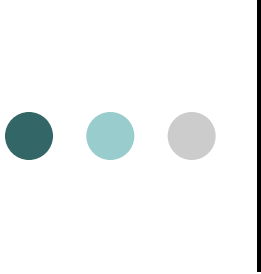
AnyLogic

Все значения получены без каких-либо усилий со стороны разработчиков модели. Они представляются при работе библиотечных блоков автоматически.



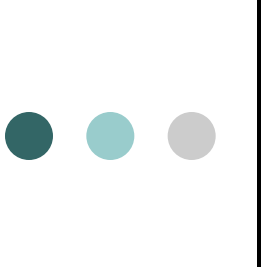
Графическое представление систем с помощью блок-схем широко используется во многих важных сферах деятельности:

- ▣ производстве,**
- ▣ логистике,**
- ▣ системах обслуживания,**
- ▣ бизнес-процессах,**
- ▣ моделировании компьютерных и телекоммуникационных сетей –
везде, где задачи анализа являются
ТИПОВЫМИ.**



AnyLogic

- позволяет моделировать широкий класс событийно-дискретных систем с помощью визуальных гибких расширяемых блоков, как стандартных, так и дополнительно созданных разработчиком.



IBM планирует *Sequoia* мощностью 20 петафлопс

- Компания IBM планирует построить суперкомпьютер Sequoia, мощность которого составит 20 петафлопс (квадриллион операций в секунду). Он будет размещен в Ливерморской национальной лаборатории министерства энергетики США. Sequoia будет включать 1,6 миллиона процессоров. Объем оперативной памяти системы составит 1,6 петабайта. Площадь, которую будет занимать Sequoia, составит 318 квадратных метров.
- Предполагается, что суперкомпьютер Sequoia запустят в 2012 году. Он будет использоваться для изучения ядерного оружия, в частности, для моделирования его испытаний.
- Представители IBM подчеркивают, Sequoia может использоваться и в мирных целях. В частности, этот суперкомпьютер способен моделировать погодные изменения в 40 раз быстрее используемых в настоящее время систем. Для моделирования землетрясения ему понадобится в 50 раз меньше времени, чем современным вычислительным комплексам.
- В настоящее время самым мощным суперкомпьютером в мире является IBM Roadrunner, производительность которого составляет 1,105 петафлопс. Кроме того, в ноябре 2008 года в США был запущен еще один суперкомпьютер с производительностью выше петафлопса - Jaguar. В 2011 году запустить петафлопсовый суперкомпьютер намерены китайцы.