

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Брянский государственный технический университет

УТВЕРЖДАЮ

Ректор университета

_____ О. Н. Федонин

« 31 » _____ января _____ 2022 г.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ НЕПРЕРЫВНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В
ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANYLOGIC

Методические указания
к выполнению лабораторной работы №3
для студентов очной формы обучения
по направлению подготовки 09.03.04 – «Программная инженерия»,
профиль «Разработка программно-информационных систем»



Брянск
БГТУ
2022

УДК 004.94

ББК 16.3

Компьютерное моделирование. Построение моделей непрерывных динамических систем в программном комплексе Anylogic: методические указания к выполнению лабораторной работы №3 для студентов очной формы обучения по направлению подготовки 09.03.04 – «Программная инженерия», профиль «Разработка программно-информационных систем» / [разраб. А. А. Трубакова]. – Брянск: БГТУ, 2022. – 12 с. – URL: <http://mark.lib.tu-bryansk.ru/marcweb2/Found.asp>. – Дата публикации 31.01.2022. – Режим доступа: для зарегистр. читателей НБ БГТУ. – Текст: электронный.

Рекомендовано кафедрой «Информатика и программное обеспечение» БГТУ (протокол № 2 от 07.12.2021)

Научный редактор	Д.А. Коростелёв
Редактор издательства	Л. В. Гореленкова
Компьютерный набор	А. А. Трубакова

Темплан 2022 г., п. 150

Подписано в печать 31.12.2021. Формат 60x84 1/16. Усл. печ. л. 0,98.

Брянский государственный технический университет

241035, Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7.

Кафедра «Информатика и программное обеспечение», тел. 56-09-84.

1. Цель работы

Целью работы является ознакомление со средой имитационного моделирования Anylogic и основными принципами построения моделей непрерывных динамических систем на примере модели сердечных сокращений.

Продолжительность работы – 2 часа.

2. Порядок выполнения работы

1. Изучение основных возможностей и принципов работы в среде имитационного моделирования AnyLogic.
2. Изучение математической модели сердечных сокращений.
3. Построение модели сердечных сокращений в среде AnyLogic.
4. Самостоятельное построение имитационной модели колебаний маятника.

3. Теоретические сведения

3.1. Возможности и принципы работы в среде AnyLogic

AnyLogic - первый и единственный на сегодняшний день инструмент имитационного моделирования, объединивший методы системной динамики, «процессного» дискретно-событийного и агентного моделирования в одном языке и одной среде разработки моделей. Гибкость AnyLogic позволяет отражать динамику сложных и разнородных экономических и социальных систем на любом желаемом уровне абстракции. AnyLogic включает набор примитивов и библиотечных объектов для эффективного моделирования производства и логистики, бизнес-процессов и персонала, финансов, потребительского рынка, а также окружающей инфраструктуры в их естественном взаимодействии. Объектно-ориентированный подход, предлагаемый AnyLogic, облегчает интерактивное, поэтапное построение больших моделей.

С помощью AnyLogic есть возможность разрабатывать модели в следующих областях:

- производство;
- логистика и цепочки поставок;
- рынок и конкуренция;
- бизнес-процессы и сфера обслуживания;
- здравоохранение и фармацевтика;
- управление активами и проектами;
- телекоммуникации и информационные системы;
- социальные и экологические системы;
- пешеходная динамика;
- оборона.

Anylogic включает в себя графический язык моделирования, а также позволяет пользователю расширять созданные модели с помощью языка *Java*. Интеграция компилятора *Java* в AnyLogic предоставляет более широкие возможности при создании моделей, а также создание *Java* апплетов, которые могут быть открыты любым браузером. Эти апплеты позволяют легко размещать модели *Anylogic* на веб-сайтах. В дополнение к *Java* апплетам, *Anylogic Professional* поддерживает создание *Java* приложений, в этом случае пользователь может запустить модель без инсталляции *Anylogic*.

Модели *Anylogic* могут быть основаны на любой из основных парадигм имитационного моделирования (рис. 1.): дискретно-событийное моделирование, системная динамика и агентное моделирование.

Системная динамика и дискретно-событийное (процессное) моделирование, под которым мы понимаем любое развитие идей GPSS, – это традиционные устоявшиеся подходы, агентное моделирование – относительно новый. Системная динамика оперирует в основном с непрерывными во времени процессами, тогда как дискретно-событийное и агентное моделирование – с дискретными.

Агентное моделирование до недавнего времени было строго академическим направлением. Однако растущий спрос на глобальную оптимизацию со стороны бизнеса заставил ведущих аналитиков обратить внимание именно на агентное моделирование и его объединение с традиционными подходами с целью получения более полной картины взаимодействия сложных процессов различной природы. Так родился спрос на программные платформы, позволяющие интегрировать различные подходы.



Рис. 1. Основные подходы в имитационном моделировании

3.2. Интерфейс среды AnyLogic

При запуске *Anylogic* отображается стартовая страница. Со стартовой страницы можно создать новый проект, открыть проект, с которым недавно работали, или открыть один из уже разработанных примеров моделей *Anylogic*. *Anylogic* при открытии проекта всегда открывает среду разработки проекта – графический редактор модели. На рис. 2 показаны основные составляющие пользовательского интерфейса этого редактора. Рассмотрим их поочередно.

Окно **Проекты** обеспечивает навигацию по элементам проекта. Проект всегда организуется иерархически, поэтому он отображается в виде дерева: сам проект образует корень дерева рабочего проекта, классы активных объектов и сообщений – следующий уровень, в классах активных объектов могут быть включены функции и т.д. Активный объект является основным структурным элементом модели в *Anylogic*. Активным объектом называется сущность, которая инкапсулирует (включает в себя) данные (атрибуты объекта), функции (методы) и поведение как единое целое.

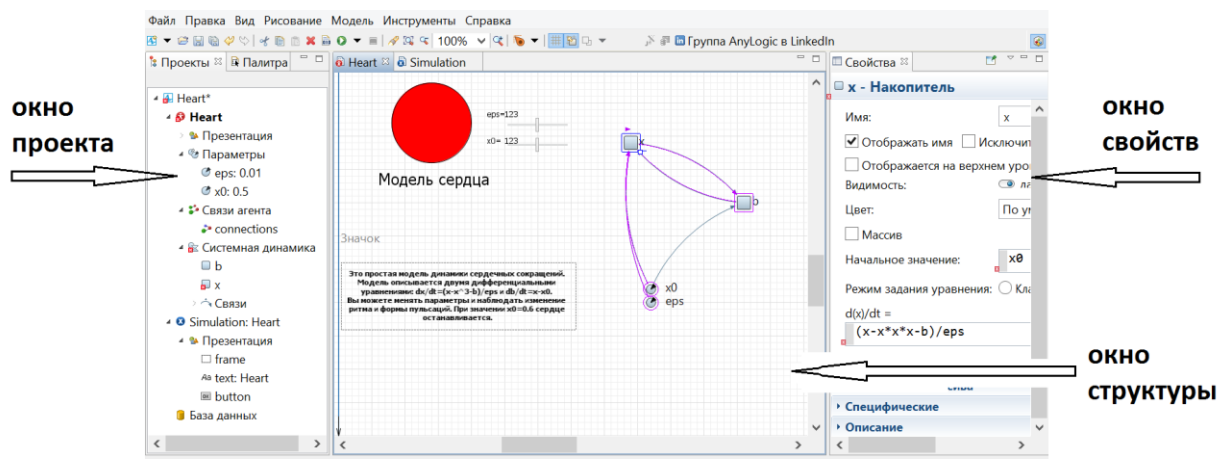


Рис. 2. Окно графического редактора модели

Активный объект строится как класс, который может включать в качестве составных элементов экземпляры других классов активных объектов. Одна из ветвей в дереве проекта имеет название **Simulation**, этот объект объединяет группу экспериментов, которые могут быть выполнены с моделью.

При построении любой модели задается ее структура (т.е. компоненты и связи этих компонентов) и поведение отдельных компонентов. В *Anylogic* активный объект имеет структуру и поведение. Структура активного объекта задается графически в окне редактора. Структуру активного объекта составляют его параметры, переменные, стейтчарты, а также экземпляры других активных объектов, включенные как компоненты в данный активный объект.

Стейтчарт (или карта состояний) определяет реакции активного объекта на внешние события, т.е. логику его действий во времени. Стейтчарт является

удобным расширением графического представления классического конечного автомата, он состоит, как правило, из состояний и переходов между ними.

Также, в окне структуры можно построить анимации поведения активного объекта. Анимация в *Anylogic* создается в виде графических объектов, которые дают возможность наглядно представить динамику моделируемой системы, т.е. поведение ее во времени. Основная идея здесь состоит в том, что параметры элементов анимационной картинки связываются с переменными и параметрами модели. Изменение переменных модели во времени заставляет изменяться во времени графический образ.

Также в редакторе *Anylogic* для каждого элемента модели существует свое окно **свойств**, в котором указываются свойства (параметры) этого элемента.

3.3. Математическая модель сердечных сокращений

Рассмотрим простейшую математическую модель, описывающую процессы, которые похожи на биение сердца. Данная модель задается парой дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{(x - x^3 - b)}{eps}$$

$$\frac{db}{dt} = x - x_0$$

где x -представляет радиус сердца, x_0 - начальное значение радиуса сердца, b -дополнительная переменная состояния, eps - параметр модели.


4. Построение модели сердечных сокращений в среде AnyLogic

Для начала работы создадим новый проект в системе *Anylogic* с именем Heart. Открытое окно редактора нового проекта содержит три части. Слева в окне классов автоматически будет строиться дерево проекта. Для нового проекта в

нем уже создан корневой класс активного объекта с именем Main, а для проведения экспериментов с будущей моделью уже создан один эксперимент – Simulation. Центральное окно – окно графического редактора структуры для создания структуры активного объекта, представляющего модель. Окно справа – это окно свойств выделенного элемента модели.

Изменим имя корневого объекта модели, назвав его Heart (вместо установленного по умолчанию имени Main).

Первой нашей задачей является построение модели, в которой присутствуют две переменные состояния (x и b) и два параметра – x_0 и eps .

Для введения первой переменной x нажмите на окно **Палитра**, выберете раздел **Системная динамика** и элемент **Накопитель**, с помощью перетаскивания мышью в какое-либо место поля окна редактора структуры объекта Heart добавьте элемент. Используя окно свойств, задайте этой переменной новое имя – x . Созданная переменная x связана с системой дифференциальных уравнений (1). В редакторе Anylogic подобные зависимости можно указывать напрямую в таком же аналитическом виде. Для этого в окне свойств переменной x в поле выберем **Произвольный** вариант **Режима задания уравнения**, после чего ниже в строке $d(x)/dt$ запишем дифференциальное уравнение $(x - \text{row}(x, 3) - b) / eps$. В поле начального значения запишем x_0 . Обратите внимание, что переменная, определенная как интеграл или накопитель, в поле структуры модели отображается фиолетовым прямоугольником со скругленными углами .

Вторую переменную b определим аналогичным образом, задав в качестве уравнения $= x - x_0$, а начальное значение – 0.

Для проверки правильности синтаксиса (формальных правил) модели в любой момент при ее построении можно использовать кнопку **Модель** и выбрать **Построить** на панели инструментов. Если выполнить проверку сейчас, то обнаружатся ошибки, связанные с отсутствием определений для параметров x_0 и eps . Для определения этих параметров необходимо добавить 2 параметра из

Палитра → **Системная динамика** и, используя окно свойств для каждого параметра заполните *Значение по умолчанию* соответственно: $x_0=0,6$ и $eps=0,01$. В окне проекта в разделе **Параметры** появились два добавленных параметра x , eps . В разделе **Системная динамика** в окне проекта можно увидеть созданные ранее переменные.

Одним из важных особенностей *Anylogic* является возможность наглядного представления поведения модели, в частности, представления изменения во времени всех ее переменных. Построим графики изменения переменных x и b . Для этого необходимо в режиме выполнения модели добавить новые диаграммы. Для этого необходимо выбрать **Палитра**, затем, **Статистика** и добавить в окно структуры нужную диаграмму.

Для лучшего понимания динамики модели и наблюдения развивающихся во времени процессов создадим анимированное изображение, состоящее из динамических графических элементов. Как можно заметить, окно структуры представляет собой плоскость с системой координат (X,Y) с шагом нанесения сетки 10 пикселей. Так же, как и единицу модельного времени можно считать любым интервалом реального времени, размер одного пикселя в окне структуры можно ассоциировать с любой единицей длины. Начало координат и их направления отмечены голубыми стрелками в центре поля; эти стрелки не будут видны во время анимации. Штриховой треугольник на поле показывает рамку – ту часть поля анимации, которая будет видима при работе модели. Будем строить анимацию динамики работы сердечной мышцы как изображение круга (овала), радиус которого будет меняться. Для этого добавим в окно структуры объект **Овал**. Для повышения правдоподобности анимации зададим цвет заливки овала красным. После чего свяжем радиусы овала (через окно свойств) с переменной x , как показано на рис. 3.

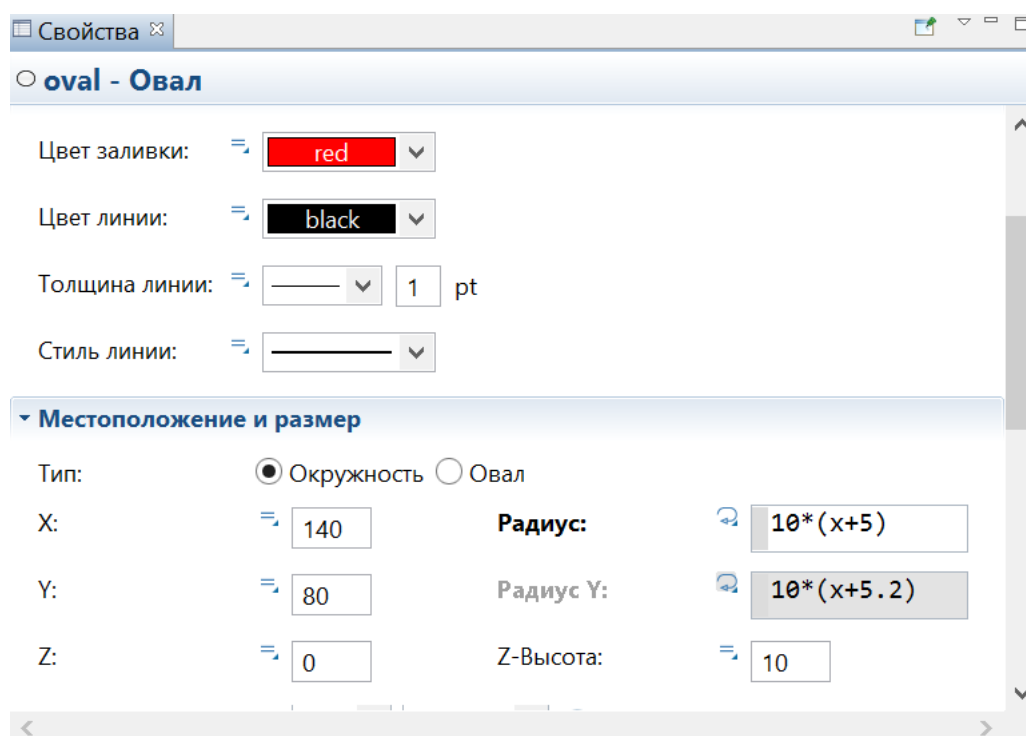


Рис. 3. Окно свойств объекта **Овал**

Для того чтобы вместе с анимацией переменной x видеть график ее изменения, добавим в окно структуры **Временный график** и свяжем ее с переменной x .

Для динамического управления параметрами модели добавим в поле анимации **Бегунок** и свяжем его с параметром ϵ . После чего установим минимальное (0,01) и максимальное (0,5) значения регулирования. Также добавим **Бегунок** для параметра x_0 (минимум 0, максимум 0,9). Для того чтобы наблюдать текущие значения параметров, добавим над первым бегунком объект **Текст**, в котором наберем « ϵ =». Затем справа добавим второй объект **Текст**, который свяжем с параметром ϵ . Аналогичным образом добавим объекты **Текст** сверху второго бегунка.

Добавим также в окно структуры объект **Текст**, который будет пояснять назначение и принцип работы созданной модели конечному пользователю. В качестве текста укажем: «Это простая модель динамики сердечных сокращений. Модель описывается двумя дифференциальными уравнениями: $dx/dt=(x-x^3-b)/\epsilon$ и $db/dt=x-x_0$. Вы можете менять параметры и наблюдать изменение ритма

и формы пульсаций. При значении $x_0=0,6$ сердце останавливается.» В результате получим окно анимации, показанное на рис. 4.

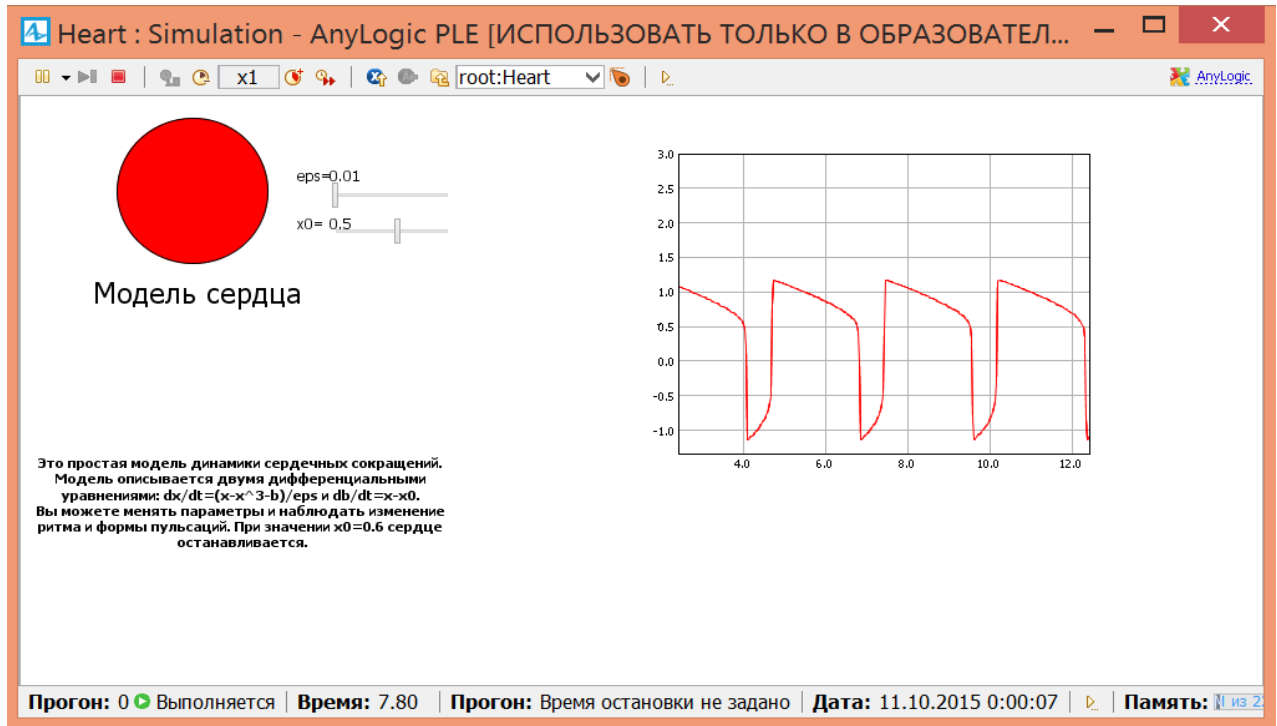


Рис. 4. Анимационное окно модели сердечных сокращений

Задание для самостоятельного выполнения

Постройте в среде *Anylogic* модель колебаний математического маятника (рис. 5) с выводом на экран графика изменения угла наклона маятника, анимации его колебаний в 3-D окне и возможность динамически менять длину маятника.

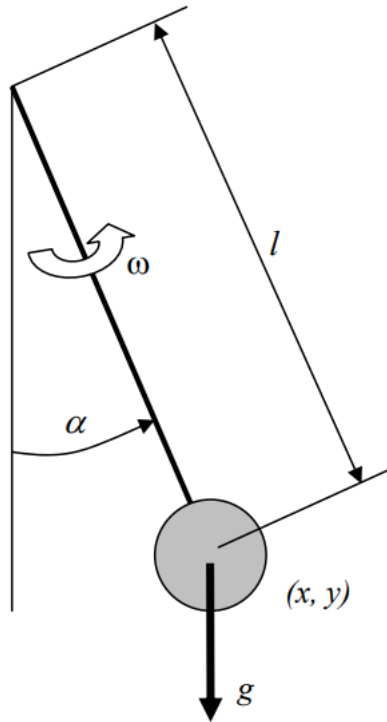


Рис. 5. Модель колебания математического маятника

Для построения модели колебаний маятника перейдем от модели, используемой ДУ второго порядка:

$$m_M l_M^2 \theta'' + c l^2 \theta' + m_M g l_M \sin(\theta) = M, \quad (2)$$

к модели, в которой максимальной порядок производной равен 1. Также из рассматриваемой ранее модели исключим возмущающий момент, заменив его начальным значением угла. В результате получим следующую математическую модель ($m_M = 1$):

$$\begin{aligned} \frac{d\theta}{dt} &= \omega \\ \frac{d\omega}{dt} &= -c \cdot \omega - \frac{g}{l} \sin \theta \end{aligned}$$

Дальнейшее построение модели в среде *Anylogic* во многом аналогично рассмотренному.

Задайте параметры модели согласно вашему варианту и определите период колебаний маятника (при отсутствии сопротивления) и время затухания процесса колебаний.

№ Варианта	c	l_M , м	Нач. зн. угла
1	0,8	1	0,5
2	1	1,2	0,6
3	0,9	1,25	0,7
4	0,8	1,3	0,8
5	1	0,9	0,9
6	0,9	0,8	1
7	0,8	1,15	1,1
8	1	1,3	1,2
9	0,9	1,23	1,3
10	0,8	1,56	1,4
11	1	1,34	1,5
12	0,9	0,97	1,6
13	0,85	1,2	1,7
14	0,8	1,24	0,5
15	1	1,26	0,6
16	0,9	1,52	0,7
17	0,8	1,32	0,8
18	1	1,67	0,9
19	0,85	1,29	1
20	0,8	1,56	1,1

Дополнительное задание

В качестве дополнительного задания реализуйте одну из представленных на выбор задач:

1. Добавьте в модель второй маятник, закрепленный в той же точке и смоделируйте упругое соударение маятников.

2. Доработайте модель таким образом, чтобы учитывался боковой ветер.
3. Доработайте модель таким образом, чтобы показывалось время с момента прохождения маятником высшей точки.
4. Доработайте модель таким образом, чтобы показывалось время с момента прохождения маятником низшей точки.
5. Доработайте модель таким образом, чтобы моделировался отскок маятника от препятствия (стенки), расположенной перпендикулярно траектории движения маятника. Учтите потерю скорости при отскоке.
6. Доработайте презентацию модели таким образом, чтобы при остановке маятника в верхней точке траектории он менял цвет, ровно на 2 секунды.
7. Доработайте модель таким образом, чтобы автоматически подсчитывалось количество колебаний маятника.

Формой отчета по данной лабораторной работе является построенная в системе AnyLogic модель.

Список рекомендуемой литературы

1. Ахмадиев, Ф.Г. Математическое моделирование и методы оптимизации [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ф.Г. Ахмадиев, Р.М. Гильфанов. – Казань: Казанский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2017. – 179 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/73309.html>.
2. Боев, В.Д. Компьютерное моделирование [Электронный ресурс] / В.Д. Боев, Р.П. Сыпченко. – 2-е изд. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016. – 525 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/73655.html>.
3. Введение в математическое моделирование [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Н. Ашихмин [и др.]. – М.: Логос, 2016. – 440 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/66414.html>.
4. Тупик, Н.В. Компьютерное моделирование [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.В. Тупик. – 2-е изд. – Саратов: Вузовское образование, 2019. – 230 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/79639.html>.
5. Карпов, Ю. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю. Карпов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.
6. Лоу, А.М. Имитационное моделирование / А.М. Лоу, В.Д. Кельтон. – 3-е изд. – СПб.: Питер, 2004. – 847 с.