

О. К. Альсова

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ В СРЕДЕ EXTENDSIM

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ АКАДЕМИЧЕСКОГО
БАКАЛАВРИАТА**

2-е издание

*Рекомендовано Учебно-методическим отделом высшего образования
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по инженерно-техническим направлениям*

**Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru**

Москва ■ Юрайт ■ 2018

УДК 51(075.8)
ББК 22.1я73
А56

Автор:

Альсова Ольга Константиновна — доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники факультета автоматике и вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета.

Рецензенты:

Зыбарев В. М. — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета;

Гриф М. Г. — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизированных систем управления факультета автоматике и вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета.

Альсова, О. К.

А56 Имитационное моделирование систем в среде ExtendSim : учеб. пособие для академического бакалавриата / О. К. Альсова. — 2-е изд. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 115 с. — (Серия : Бакалавр. Академический курс).

ISBN 978-5-534-06956-3

В пособии рассмотрены вопросы разработки и исследования имитационных моделей систем средствами визуальной среды моделирования ExtendSim.

Приведено описание базового инструментария ExtendSim для разработки моделей систем в рамках дискретно-событийного подхода.

Пособие содержит большое количество примеров, позволяющих изучить основные способы и приемы разработки моделей систем в ExtendSim, оценить эффективность системы на основе модели, провести анализ чувствительности модели, статистически обработать результаты моделирования. Также рассмотрены основные типовые ситуации, которые возникают при моделировании потоков поступления и обслуживания заявок в системе и которые необходимо учесть в модели.

В пособии приведены контрольные вопросы и задачи для использования в рамках лабораторного практикума при изучении соответствующих разделов дисциплин «Имитационное моделирование», «Математическое моделирование».

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Для бакалавров, обучающихся по направлениям «Информатика и вычислительная техника» и «Программная инженерия».

УДК 51(075.8)

ББК 22.1я73



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

© Альсова О. К., 2016

© Альсова О. К., 2018, с изменениями

© ООО «Издательство Юрайт», 2018

ISBN 978-5-534-06956-3

Оглавление

Введение.....	5
1. Введение в среду имитационного моделирования	
ExtendSim	8
1.1. Общая характеристика среды ExtendSim	8
1.2. Описание объектов и основных приемов работы в среде ExtendSim	9
1.3. Контрольные вопросы и задания.....	23
2. Инструментарий ExtendSim для разработки и исследования дискретно-событийных моделей	24
2.1. Разработка простейшей модели.....	24
2.2. Инструменты 2D и 3D анимации процесса моделирования...	29
2.3. Инструменты и способы генерации потоков поступления и обслуживания заявок.....	31
2.4. Инструменты для моделирования событий	37
2.5. Инструменты для статистической обработки результатов моделирования	43
2.6. Инструменты анализа чувствительности модели.....	49
2.7. Контрольные вопросы и задания.....	54
2.8. Инструменты для управления потоком заявок.....	61
2.8.1. Маршрутизация заявок.....	61
2.8.2. Условная маршрутизация	66
2.8.3. Моделирование процессов прерывания обслуживания	72
2.9. Контрольные вопросы и задания.....	76
2.10. Инструменты для объединения и разделения потоков заявок (элементов)	80
2.10.1. Объединение и разделение элементов.....	80
2.10.2. Свойства элементов при объединении и разделении ..	87
2.10.3. Объединение элементов с помощью сопоставления...	89
2.10.4. Объединение и разделение с динамическим размером группы	90
2.11. Инструменты для моделирования ресурсов.....	92
2.11.1. Использование ресурсов при моделировании	92

2.11.2. Метод пула ресурсов.....	94
2.11.3. Метод экземпляров ресурсов	97
2.11.4. Планирование использования ресурсов	100
2.12. Контрольные вопросы и задания.....	104
Литература	110
Приложение. Блоки библиотеки Item.lix	112

Введение

Моделирование (в широком смысле) — это основной метод исследования во всех областях знаний. Методы моделирования используются для оценок характеристик сложных систем и принятия научно обоснованных решений в разных сферах человеческой деятельности. Существующую или проектируемую систему можно исследовать с помощью математических моделей с целью оценки эффективности и оптимизации процесса ее функционирования.

С развитием вычислительной техники, программных средств и технологий широкое применение получили имитационные методы моделирования систем.

Суть имитационного моделирования заключается в имитации процесса функционирования системы во времени, с соблюдением таких же соотношений длительности операций, как в системе оригинале. При этом имитируются элементарные явления, составляющие процесс, сохраняется их логическая структура, последовательность протекания во времени. В результате применения имитационного моделирования получают оценки выходных характеристик системы, которые необходимы при решении задач анализа, управления и проектирования систем.

В основе имитационного моделирования лежит разработка и выполнение на компьютере программы, отражающей структуру и функционирование (поведение) моделируемого объекта или процесса во времени. Программа представляет имитационную модель этого объекта (системы, процесса), выполнение программы можно считать имитацией поведения исходной системы во времени. Имитационная модель — это упрощенное подобие реальной системы, либо существующей, либо той, которую предполагается создать в будущем.

Одно из наиболее важных решений, которые приходится принимать разработчику имитационной модели, касается выбора программного обеспечения. Если программное обеспечение недостаточно гибко или с ним сложно работать, то имитационное моделирование может дать неправильные результаты или оказаться вообще невыполнимым. Компьютерная программа имитации может быть разработана с помощью различных инструментальных средств. К ним относятся как

универсальные языки программирования (*C#, C++, Java, ...*), так и специализированные инструментальные среды имитационного моделирования (*GPSS, Arena, AnyLogic, ExtendSim, ...*).

Использование специализированных сред имитационного моделирования в сравнении с применением универсальных языков программирования дает несколько преимуществ.

1. Среда имитационного моделирования автоматически предоставляет большинство функциональных возможностей, требующихся для создания имитационной модели, что позволяет существенно сократить время, необходимое для программирования, и общую стоимость проекта.

2. Имитационные модели, которые созданы с помощью специализированных средств моделирования, как правило, проще модифицировать и использовать.

3. Среда имитационного моделирования обеспечивают более совершенные механизмы обнаружения ошибок, поскольку они выполняют автоматический поиск ошибок многих типов. И так как модель не требует большого числа структурных компонентов, уменьшаются шансы совершить какую-либо ошибку.

В данном учебном пособии рассмотрены вопросы разработки и исследования имитационных моделей систем в специализированной визуальной среде моделирования *ExtendSim*.

В результате изучения материалов учебного пособия и выполнения практических заданий, приведенных в конце каждого раздела, студенты должны:

знать

- основные объекты и инструментарий среды *ExtendSim*, используемые для разработки и исследования имитационных моделей систем;
- последовательность разработки модели системы в среде *ExtendSim*;

уметь

- разрабатывать имитационную модель системы в среде *ExtendSim*;
- статистически обрабатывать результаты моделирования в среде *ExtendSim*;
- проводить анализ чувствительности модели в среде *ExtendSim*;

- оценивать эффективность исследуемой системы на основе анализа результатов ее моделирования;

владеть

- технологией разработки и исследования имитационной модели системы средствами *ExtendSim* с использованием базового инструментария среды.

1. Введение в среду имитационного моделирования *ExtendSim*

1.1. Общая характеристика среды *ExtendSim*

ExtendSim — универсальная среда имитационного моделирования, разработанная компанией *Imagine That* (Сан-Хосе, Калифорния). Среда *ExtendSim* поддерживает разные подходы к проектированию имитационных моделей систем и процессов, в частности, следующие:

- методы моделирования непрерывных динамических систем;
- методы дискретно-событийного моделирования;
- методы агентного моделирования;
- гибридный подход (комбинация различных методов моделирования в одной модели).

ExtendSim — среда визуального моделирования, в которой модель представляет собой совокупность взаимосвязанных блоков. Каждый блок имеет условное графическое обозначение, блоки связаны между собой линиями-соединителями. Блоки включены в библиотеки. Всего в *ExtendSim* семь специализированных библиотек для моделирования различных типов систем.

Процесс разработки модели заключается в выборе блоков из библиотеки, размещении блоков в модельном окне, настройке блоков и связывании блоков с помощью линий-соединителей. С каждым блоком связано диалоговое окно, в котором задаются параметры работы блока (например, закон распределения интервалов между поступлением заявок, время обслуживания заявки, дисциплина обслуживания и т.п.). В *ExtendSim* включен также внутренний язык программирования *ModL*, позволяющий создавать новые блоки, которые затем можно изменять при конструировании моделей наряду со стандартными блоками.

ExtendSim позволяет создавать наглядные, интуитивно-понятные имитационные модели процессов и систем разных типов: непрерывных, дискретно-событийных, основанных на агентах, линейных, нелинейных и смешанной природы.

1.2. Описание объектов и основных приемов работы в среде ExtendSim

К основным объектам среды относятся блоки, входные и выходные коннекторы, соединители и диалоговые окна для настройки работы блоков. Рассмотрим на простом примере приемы работы и последовательность разработки в среде *ExtendSim* модели простейшей системы.

Пример 1. Моделируется процесс заполнения бассейна в течение 36 месяцев. Бассейн заполняется ежемесячно двумя входными потоками: случайный поток, описывающий дождевую воду, и постоянный поток, объем воды, в котором задан константой и зависит от месяца года. Модель бассейна описывает изменение водного уровня бассейна за наблюдаемый период. В начале моделирования в бассейне нет воды. Изменение уровня воды происходит раз в месяц.

Конечный вид модели приведен на рис. 1.

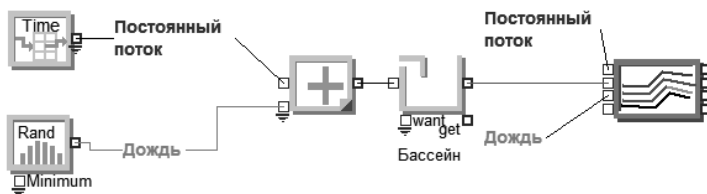


Рис. 1. Интерфейс модели «Бассейн»

В модели бассейна используется пять блоков. Информация входит в блок, обрабатывается и/или изменяется, и потом пересылается к следующему блоку через линию-соединитель (рис. 2).



Рис. 2. Части модели «Бассейн»

Блоки. Каждый блок в *ExtendSim* представляет часть моделируемого процесса или системы. Блоки хранятся в архивах, называемых библиотеками. В библиотеке для каждого входящего в нее блока определены функционал, значок, диалоговое окно блока. У блоков есть названия, например, «*Math*» — «Математика» или «*Queue*» — «Очередь», отражающие выполняемую блоком функцию. Пользователь может также задать собственное имя блоку. При включении блока в модель, сам блок не копируется. Вместо этого, включается и сохраняется в модели справочная информация о блоке. Любые данные, которые вводятся в диалоговом окне блока, также хранятся в пределах модели. Есть много преимуществ в использовании в модели справочной информации о блоках, вместо фактических блоков. Если изменяется определение блока в библиотеке, все модели, которые используют этот блок, автоматически обновляются. Кроме того, определения блока много «вешат», поэтому хранение только справочной информации экономит вычислительные ресурсы, память, уменьшает время моделирования.

Коннекторы. У большинства блоков в *ExtendSim* есть коннекторы ввода и вывода (маленькие квадраты, приложенные к блоку, см. рис. 2). Потоки информации поступают в блок через входные коннекторы и выходят из блока через выходные коннекторы. Блок может иметь много входов и/или выходов.

Диалоговые окна. Настройка работы блока выполняется с помощью диалогового окна, связанного с каждым блоком. Диалоговые окна используются для ввода значений и параметров настройки модели перед моделированием и вывода результатов моделирования. Чтобы открыть диалог блока, дважды щелкните значок блока или щелкните правой кнопкой мыши по значку и выберите из выпа-

дающего меню пункт *Open Dialog*. На рис. 3 приведено диалоговое окно, соответствующее блоку *Holding Tank* (Бассейн). Вверху диалогового окна выводится глобальный номер блока, его название и библиотека, в которой находится блок.

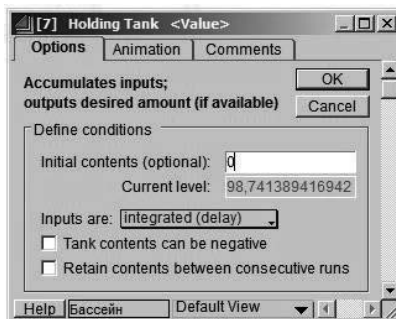


Рис. 3. Диалоговое окно блока *Holding Tank*

Глобальные номера блока — уникальные идентификаторы, назначаемые последовательно в соответствии с порядком добавления пользователем блока в модель. Внизу каждого диалогового окна кнопка *Help* (Помощь). В разделе «Помощь» представлена вся информация о блоке: назначение и использование блока, коннекторов, описание каждого элемента диалогового окна и т.п. Около кнопки *Help* расположено текстовое поле, в которое можно ввести метку (имя) блока, до 31 символа. В диалоговом окне также отображаются результаты (выходные характеристики) моделирования, причем можно наблюдать изменение характеристик в процессе моделирования, если оставить диалоговое окно открытым.

Соединители блоков. Соединители — линии, связывающие коннекторы ввода и вывода информации. В *ExtendSim* функции большинства соединителей predeterminedены для каждого блока. Например, блок *Math*, в зависимости от заданных пользователем настроек, складывает (либо вычитает, делит, умножает, логарифмирует, ...) значения, поданные на вход. Всего в блоке *Math* доступно 38 математических и логических операций.

У блока также могут быть переменные входные или выходные соединители, позволяющие увеличить число входов (выходов) блока, обозначаемые черной стрелкой. У блока *Math*, например, есть переменный входной соединитель, переключив вниз черную стрелку, можно увеличить число входов блока.

Типы соединений. Есть два типа соединений в *ExtendSim*: подключения линии и именные подключения. Подключения линии соединяют выход одного блока с входом другого; именные подключения используют текстовые метки как выходы и входы, заставляя данные «прыгнуть» с выхода к входу, не используя линии подключения.

Линии соединения могут быть нарисованы, используя три различных стиля: прямо, правый угол и мультисегмент (рис. 4). Стиль по умолчанию — правый угол.

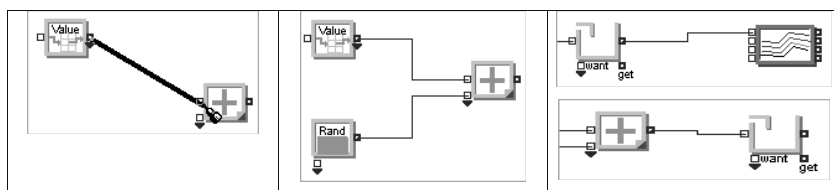


Рис. 4. Типы соединений блоков

Для создания модели бассейна необходимо выполнить следующую последовательность действий.

- открыть новый модельный рабочий лист;
- установить параметры моделирования;
- построить модель, используя блоки из библиотек;
- выбрать и задать параметры настройки блоков.

Открытие нового модельного рабочего листа. Для открытия нового модельного рабочего листа выберите пункт меню *File* → *New Model*. В результате будет создан пустой модельный рабочий лист под названием *Model-1*.

Установка параметров моделирования. Для задания параметров моделирования выберите пункт меню *Run* → *Simulation Setup*. В результате откроется

диалоговое окно (рис. 5), в котором устанавливаются параметры моделирования и анимации, а, именно: время моделирования, начальные значения для генераторов случайных чисел, режим взаимодействия между моделированием и анимацией и т.д. В диалоговом окне есть вкладки *Setup*, *Continuous*, *Random Numbers*, *3D Animation*, *Comments*. Самые общие параметры моделирования, которые необходимо задать (и часто единственные): *End time* (время окончания моделирования) и *Global time units* (глобальные единицы времени), расположенные на вкладке *Setup*. В большинстве случаев требуется, чтобы моделирование началось в нулевой момент времени (по умолчанию).

Для модели бассейна устанавливаются следующие параметры:

- время окончания (*End time*): 36;
- начальное время (*Start time*): 0 (значение по умолчанию);
- количество прогонов модели (*Runs*): 1 (значение по умолчанию);
- глобальные единицы времени (*Global time units*): месяц.

Модель бассейна выполняется в течение 36 месяцев модельного времени, производя вычисления уровня воды каждый месяц. Настройки параметров моделирования сохраняются при повторном запуске модели, т.е. параметры настройки задаются только один раз.

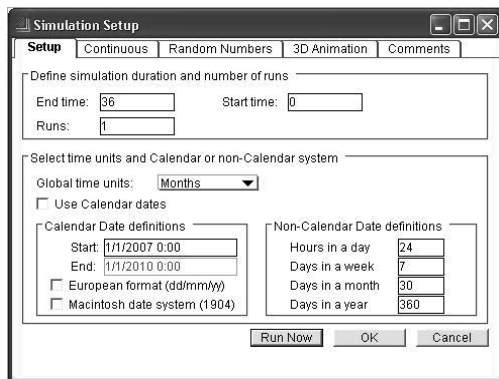


Рис. 5. Задание параметров моделирования

Выбор блоков модели. Блоки, используемые в модели бассейна, хранятся в библиотеках *Value* и *Plotter*. Для открытия библиотеки выберите пункт меню *Library* → *Open Library* и далее файл необходимой библиотеки (*Value.lix* или *Plotter.lix*). Открытые библиотеки перечислены в алфавитном порядке внизу в меню *Library*. Теперь, для получения доступа к блокам библиотеки, необходимо открыть окна библиотек *Library* → *Value.lix* → *Open Library Window* и *Library* → *Plotter.lix* → *Open Library Window*.

Есть два метода добавления нового блока к модели:

- выбор блока из его библиотеки в пределах меню *Library*;
- перетаскивание блока в модель с помощью мыши из окна библиотеки.

В модели бассейна используются следующие блоки: *Lookup Table*, *Random Number block*, *Math block*, *Holding Tank block*, *Plotter I/O block*. Для их добавления первым методом необходимо выбрать пункты меню:

- *Library* → *Value.lix* → *Math* → *Lookup Table*;
- *Library* → *Value.lix* → *Inputs* → *Random Number block*;
- *Library* → *Value.lix* → *Math* → *Math block*;
- *Library* → *Value.lix* → *Holding* → *Holding Tank block*;
- *Library* → *Plotter.lix* → *Plotter I/O block*.

В результате значки блоков появятся в верхнем углу в модельном окне. Для перемещения блоков в пределах модельного окна, выберите блок и перетащите его мышкой или с помощью клавиш перемещения курсора в желаемую позицию. Далее свяжите блоки (см. рис. 1) с помощью линий соединителей.

Для сохранения модели выберите *File* → *Save Model As* и назовите файл. В имени файла желательно использовать только буквы латинского алфавита и без пробелов.

Теперь, когда все блоки помещены и связаны в модели, необходимо задать настройки каждого блока.

Настройка блока *Lookup Table*



Блок описывает постоянный поток воды, поступающий в бассейн ежемесячно, и выводит объем воды, соответствующий текущему времени моделирования. Во вкладке *Table* диалогового окна блока задаются следующие настройки: *Lookup the: time*; *Output is: stepped* (значение по умолчанию); *Time units: months* (значение по умолчанию). Также необходимо ввести данные о ежемесячном притоке в таблицу (см. рис. 6). На вкладке *Options* задаются названия столбцов таблицы.

Настройка *time* означает, что блок сравнит текущее время моделирования со временем в таблице и выведет соответствующее значение. Настройка *stepped* означает, что будут использованы точные значения, которые введены в таблицу, а не интерполированные.

	Month	Rainfall (inches)
0	0	2.6
1	1	4.4
2	2	6.7
3	3	3.4
4	4	1.9
5	5	1.1
6	6	0.7
7	7	0.5
8	8	0.4
9	9	0.7
10	10	2.6
11	11	3.4

Link

Рис. 6. Данные по месяцам

Левый столбец таблицы теперь определяет месяц, правый столбец определяет объем воды в дюймах. Данные таблицы должны повторяться каждые 12 месяцев, для этого в поле *Repeat table every* введите значение *12 months*.

Настройка блока *Random Number block*



В модели бассейна блок используется для описания случайного потока дождевой воды. Случайный поток задан равномерным законом распределения в диапазоне от 0 до 1: в бассейн каждый месяц добавляется равномерно от 0 до 1 дюймов воды. В диалоговом окне блока введите следующие настройки: *Distribution: Uniform Real* (значение по