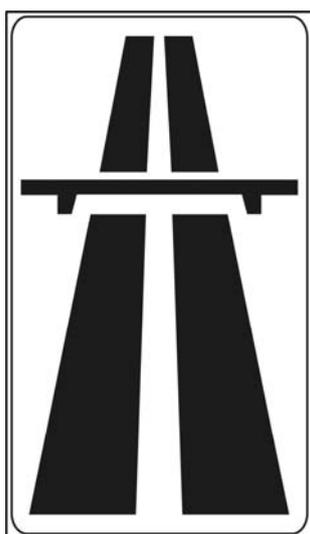


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Автомобильные дороги»

ОРГАНИЗАЦИЯ, ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫМИ ДОРОГАМИ И ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности
1-70 80 01 «Строительство зданий и сооружений»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2020

УДК 167
ББК 72.5
О86

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Автомобильные дороги» «22» сентября 2020 г.,
протокол № 2

Составитель канд. техн. наук, доц. В. В. Кутузов

Рецензент канд. техн. наук, доц. Д. В. Михальков

В методических рекомендациях к лабораторным работам по дисциплине «Организация, обеспечение безопасности и управления автомобильными дорогами и транспортной инфраструктурой» рассматривается применение методов имитационного моделирования для оценки и моделирования транспортных и пешеходных потоков.

Учебно-методическое издание

ОРГАНИЗАЦИЯ, ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫМИ ДОРОГАМИ И ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ

Ответственный за выпуск	В. В. Кутузов
Корректор	Е. А. Галковская
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 21 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2020

Содержание

Введение.....	4
1 Практическая работа № 1. Основы моделирования дорожного движения	5
2 Практическая работа № 2. Моделирование транспортных потоков на простейшем перекрестке	6
3 Практическая работа № 3. Моделирование транспортных потоков.....	7
4 Практическая работа № 4. Моделирование пешеходных потоков	8
5 Практическая работа № 5. Моделирование транспортных потоков сложных объектов	9
Список литературы	10
Приложение А. Библиотеки AnyLogic.....	11

Введение

Учебный план подготовки магистрантов по специальности 1-70 80 01 «Строительство зданий и сооружений» (профилизация «Строительство автомобильных дорог») предусматривает изучение дисциплины «Организация, обеспечение безопасности и управления автомобильными дорогами и транспортной инфраструктурой».

Целью учебной дисциплины является изучение вопросов системы безопасной и эффективной организации дорожного движения, управления автомобильными дорогами и транспортной инфраструктурой.

Задачи учебной дисциплины:

- основы организации дорожного движения;
- основы обеспечения безопасности на автомобильных дорогах;
- методы управления автомобильными дорогами и транспортной инфраструктурой;
- классификация и правила учета дорожно-транспортных происшествий;
- выявление и анализ причин дорожно-транспортных происшествий;
- характеристики транспортных и пешеходных потоков;
- функционирование системы «водитель – автомобиль – дорога – среда».

Лабораторные работы являются обязательной составной частью учебного процесса при изучении дисциплины и позволяют закрепить на практике полученные теоретические знания.

При выполнении лабораторных работ по каждой из темы подготавливается отчет, состоящий из титульного листа, содержания, описания задания, имитационной схемы, описания её работы, описания используемых компонентов, скриншотов результатов моделирования, заключения.

Лабораторные работы защищаются по мере их выполнения. После защиты всех работ магистрант получает допуск к сдаче зачёта.

1 Практическая работа № 1. Основы моделирования дорожного движения

Цель работы: изучить основы моделирования дорожного движения.

Моделирование – это процесс изучения реального объекта путем построения и исследования его модели, которая отображает только те элементы реального мира, которые исследуются, т. е. что необходимо включать в модель, определяется целями моделирования.

Ключевой момент в моделировании – это использование в исследовании модели объекта, а не самого объекта. При построении модели главное – помнить цель моделирования и, уже основываясь на этом, учитывать в модели только те свойства реального объекта (системы), которые важны с позиции целей моделирования. Если результаты экспериментов над моделью подтверждаются результатами экспериментов над реальным объектом, то такая модель адекватная. Адекватность модели определяется целями моделирования и принятыми критериями.

Имитационное моделирование подразделяют на несколько видов компьютерного имитационного моделирования (агентное, дискретно-событийное, системная динамика). Модели транспортных потоков наиболее часто классифицируют по уровню детализации транспортного потока. Выделяют четыре основных уровня детализации транспортной модели: макроскопическая, мезоскопическая, микроскопическая и субмикроскопическая.

Для практических целей организации дорожного движения часто используют компьютерное имитационное моделирование, реализуемое программными продуктами AnyLogic, Aimsun, Arena, eM-Plant, PTV VISSIM, GPSS, NS-2, Transyt и др., например: Arena позволяет создавать дискретно-событийные модели. AnyLogic поддерживает три метода моделирования: системная динамика; дискретно-событийное моделирование; агентное моделирование. AnyLogic позволяет разработать анимацию и интерактивный графический интерфейс модели. Использование имитационных моделей имеет ряд преимуществ по сравнению с проведением экспериментов в реальной системе и использованием других методов, к ним относятся: невысокая стоимость, универсальность применения, неограниченное количество повторений, возможность ускорения и замедления времени, высокая точность, визуальное представление процесса, возможность решения задач, сложных процессов и систем при организации дорожного движения.

Задание

Ознакомиться с системами моделирования дорожного движения.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое моделирование?
- 2 Что такое имитационное моделирование?

3 Назовите основные программные продукты для имитационного моделирования.

4 Расскажите про принцип работы программы для имитационного моделирования AnyLogic.

2 Практическая работа № 2. Моделирование транспортных потоков на простейшем перекрестке

Цель работы: выполнить моделирование транспортных потоков на простейшем перекрестке.

Моделирование транспортных потоков на простейшем перекрестке будет выполняться в среде имитационного моделирования AnyLogic.

Для выполнения работы необходимо запустить AnyLogic и на главном экране выбрать учебное пособие по библиотеке дорожного движения, содержащей подробную пошаговую информацию по моделированию транспортных потоков. Требуется выполнить с 1 по 3 фазу по учебному пособию [1].

Библиотека дорожного движения AnyLogic позволяет детально планировать, проектировать и моделировать транспортные потоки с учетом индивидуального поведения каждого водителя.

Алгоритмы библиотеки настроены в соответствии с правилами дорожного движения – учет ограничения скорости, «уступи дорогу» и др. В то же время, в моделях дорожного движения каждое транспортное средство представляется в виде агента, который имеет индивидуальные физические параметры и поведенческие шаблоны. Кроме того, у пользователя есть возможность создавать в модели двухмерную и трехмерную анимацию транспортных средств и окружающих объектов. Всё это вместе делает модели дорожного движения наглядными и гибкими.

Библиотека дорожного движения – это инструмент планирования и организации транспортных потоков. В моделях дорожного движения имитируется перемещение машин по улицам и автомагистралям, включая такие элементы, как перекрестки, пешеходные переходы, круговое движение, автостоянки и остановки общественного транспорта. Возможности библиотеки позволят решить следующие задачи:

- планирование дорог и автомагистралей;
- оценка загруженности и пропускной способности дорог;
- оптимизация фаз светофоров;
- интеграция общественных зданий в дорожную сеть.

Задание

Выполнить моделирование транспортных потоков на простейшем перекрестке.

Порядок выполнения практической работы

- 1 Выполнить с 1 по 3 фазу из учебного пособия по библиотеке дорожного движения.
- 2 Произвести моделирование транспортных потоков.

Контрольные вопросы

- 1 Как создается новая модель в AnyLogic и добавляются в неё спутниковые снимки?
- 2 Расскажите последовательность подготовки имитационной модели в AnyLogic.
- 3 Как происходит моделирование в AnyLogic?
- 4 Назовите основные компоненты библиотеки дорожного движения в AnyLogic.

3 Практическая работа № 3. Моделирование транспортных потоков

Цель работы: провести моделирование транспортных потоков.

В соответствии с учебным пособием [1] по библиотеке дорожного движения из AnyLogic провести моделирование с 4 по 6 фазу.

Задание

Провести моделирование транспортных потоков.

Порядок выполнения практической работы

- 1 Выполнить с 4 по 6 фазу из учебного пособия по библиотеке дорожного движения.
- 2 Произвести моделирование транспортных потоков.

Контрольные вопросы

- 1 Назовите основные блоки диаграммы процесса, необходимые для построения простейшей модели в AnyLogic.
- 2 Расскажите последовательность добавления светофоров в имитационной модели перекрестка в AnyLogic.
- 3 Назовите основные элементы AnyLogic, необходимые для моделирования транспортных потоков.

4 Практическая работа № 4. Моделирование пешеходных потоков

Цель работы: ознакомление с методикой моделирования пешеходных потоков.

В соответствии с учебным пособием [1] по библиотеке пешеходных потоков из AnyLogic провести моделирование с 1 по 4 шаг.

Пешеходная библиотека является высокоуровневой библиотекой для моделирования движения пешеходов в физическом пространстве. Она позволяет моделировать здания, в которых движутся пешеходы (подземные переходы станции метро, стадионы, музеи), улицы, парки отдыха и т. д. В моделях, созданных с помощью «Пешеходной библиотеки», пешеходы движутся в непрерывном пространстве, реагируя на различные виды препятствий в виде стен и других пешеходов.

Пешеходная библиотека AnyLogic позволяет собирать статистику работы моделируемой системы и наглядно визуализировать моделируемый процесс с помощью анимации. В ней можно отслеживать плотность пешеходов в различных областях модели для того, чтобы убедиться в том, что система сможет справиться с потенциальным ростом нагрузки, вычислить время пребывания пешеходов в каких-то определенных участках модели, выявить возможные проблемы, которые могут возникнуть при перепланировке интерьера здания, и т. д.

Задание

Провести моделирование пешеходных потоков.

Порядок выполнения практической работы

1 Выполнить с 1 по 4 шаг из учебного пособия по пешеходной библиотеке дорожного движения.

2 Произвести моделирование пешеходных потоков.

Контрольные вопросы

1 Назовите основные элементы пешеходной библиотеки в AnyLogic.

2 Расскажите отличия моделирования пешеходных от транспортных потоков.

3 Назовите основные элементы AnyLogic, необходимые для моделирования пешеходных потоков.

5 Практическая работа № 5. Моделирование транспортных потоков сложных объектов

Цель работы: ознакомиться с технологией моделирования транспортных потоков сложных объектов.

Сложным объектом для моделирования транспортных и пешеходных потоков могут выступать:

- улица города с большим количеством перекрестков и пешеходных переходов;
- крупная дорожная развязка;
- район города;
- городская дорожная сеть;
- республиканская дорожная сеть.

При моделировании сложных объектов необходимо детально учитывать дорожные условия, особенности фактических транспортных и пешеходных потоков, временные особенности трафика и множество иных факторов.

Задание

Произвести моделирование сложного транспортного объекта.

Порядок выполнения практической работы

- 1 Получить у преподавателя данные по улице, району, городу.
- 2 Получить спутниковые данные исследуемого объекта из Яндекс. Карт или Гугл. Карт.
- 3 Построить в AnyLogic имитационную модель.
- 4 Произвести моделирование.

Контрольные вопросы

- 1 Как происходит моделирование транспортных потоков сложных объектов в AnyLogic?
- 2 Как происходит исследование времени работы фаз светофора?
- 3 Назовите основные элементы AnyLogic, необходимые для транспортного моделирования сложных объектов?

Список литературы

- 1 Справочные руководства и учебные пособия по библиотекам AnyLogic. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://help.anylogic.ru/>. – Дата доступа: 11.10.2020.
- 2 **Боев, В. Д.** Моделирование в AnyLogic: пособие для практических занятий. – Санкт-Петербург: ВАС, 2016. – 412 с.
- 3 **Лимановская, О. В.** Имитационное моделирование в AnyLogic 7. Ч. 1: учебное пособие – в 2 ч. / О. В. Лимановская. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 152 с.
- 4 **СТБ 1300-2014.** Технические средства организации дорожного движения. Правила применения. – Минск: Госстандарт, 2019 – 154 с.
- 5 **СТБ 1231-2012.** Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Общие технические условия. – Минск: Госстандарт, 2018 – 68 с.
- 6 **СТБ 1140-2013.** Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические условия. – Минск: Госстандарт, 2018 – 136 с.
- 7 **Беженцев, А. А.** Безопасность дорожного движения: учебное пособие / А. А. Беженцев – Москва: Вузовский учебник, НИЦ ИНФРА-М, 2016. – 272 с.
- 8 **Врубель, Ю. А.** Опасности в дорожном движении: монография / Ю. А. Врубель, Д. В. Капский. – Москва: Новое знание, 2013. – 244 с.

Приложение А (справочное)

Библиотеки AnyLogic

Библиотека дорожного движения позволяет моделировать и визуализировать движение потоков машин. Библиотека поддерживает детализированное, но в то же время высокоэффективное моделирование движения машин на физическом уровне. С ее помощью вы можете промоделировать как движение машин на автомагистрали, так и уличный трафик машин, транспортировку на производстве, парковки и любые другие системы с машинами, дорогами и дорожными полосами.

Библиотека дорожного движения совместима с другими библиотеками AnyLogic - Библиотекой моделирования процессов, Пешеходной библиотекой и Железнодорожной библиотекой. Вы можете легко совмещать модели движения автомобилей с моделями грузовиков, кранов, кораблей, поездов, пассажиропотоков, производственных и бизнес-процессов и т. д.

Библиотека дорожного движения включает в себя семь блоков, с помощью которых можно задать сценарии движения потоков машин (таблица А.1).

Таблица А.1 – Основные элементы библиотеки дорожного движения

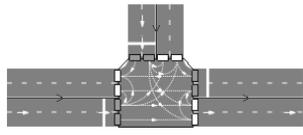
Графическое обозначение и название	Описание
1	2
 Car Source	Создает автомобили и пытается поместить их в указанное место дорожной сети. Автомобиль можно поместить на указанную дорогу или парковку (это задается параметром Появляется).
 Car Dispose	Удаляет машины из модели. Есть два способа удаления автомобилей: 1) автомобиль может выехать за пределы дорожной сети по незамкнутому пути или после достижения указанной стоп-линии, в этом случае блок CarDispose нужно будет поместить после последнего блока CarMoveTo ; 2) автомобиль можно удалить из модели, когда он находится на парковке или автобусной остановке. В этом случае нет необходимости удалять автомобиль сразу после того, как он заедет на парковку или остановку. Удалять автомобили нужно именно с помощью блока CarDispose , а не блоков Sink или Exit .
 Car Move To	Блок, который управляет движением автомобиля. Автомобиль может ехать, только когда он находится в блоке CarMoveTo . Автомобиль пытается рассчитать путь от своего текущего места до указанного места назначения, когда поступает в блок CarMoveTo . В качестве цели движения могут выступать: дорога, парковка, автобусная остановка или стоп-линия. Указанное место назначения должно находиться в той же дорожной сети, что и автомобиль. Если от текущего местоположения автомобиля к указанному месту нет пути, автомобиль покидает блок через порт outWayNotFound .

Окончание таблицы А.1

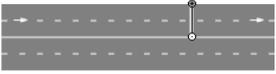
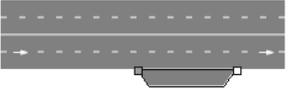
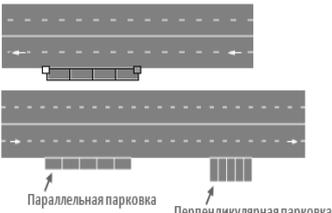
1	2
 <p>Car Enter</p>	<p>Принимает агента-машину и пытается поместить его в качестве автомобиля в указанное место дорожной сети. Автомобиль можно поместить на указанную дорогу или парковку (это задается параметром Появляется).</p> <p>Блок CarEnter используется вместе с блоком CarExit для моделирования части движения автомобиля на более высоком уровне абстракции, а не на детальном, физическом уровне.</p>
 <p>Car Exit</p>	<p>Извлекает поступающий в блок автомобиль из дорожной сети и передает его как агента далее в обычную диаграмму процесса, которая может быть составлена из блоков Библиотеки моделирования процессов и моделировать задержки (Delay), очереди (Queue), принятия решений (SelectOutput) и т. д.</p> <p>Обычно используется в связке с блоком CarEnter для моделирования каких-то процессов (например, движения машины на определенном участке) на более высоком уровне абстракции, а не на детальном, физическом уровне.</p>
 <p>Traffic Light</p>	<p>Моделирует светофор - оптическое устройство, предназначенное для регулирования движения на автомобильных, пешеходных перекрестках, а также других сложно контролируемых участках дорожного движения.</p>
 <p>Road Network Descriptor</p>	<p>Опциональный блок. С помощью блока RoadNetworkDescriptor разработчики получают доступ к управлению всеми транспортными средствами, находящимися в одной дорожной сети. Блок позволяет задавать действия, которые будут выполняться при добавлении автомобиля в дорожную сеть, въезде на дорогу, остановке автомобиля, смене полосы и т. д. Кроме того, с помощью этого блока вы можете включить отображение пробок на дорогах.</p>

Элементы разметки пространства дорожной библиотеки позволяют создавать дорожные сети в моделях AnyLogic (таблица А.2)

Таблица А.2 – Элементы разметки дорожной библиотеки

Графическое обозначение и название	Описание
1	2
 <p>Дорога</p>	<p>Элемент является графическим элементом разметки пространства, это непрерывная дорога (т. е. такая дорога, которая не содержит перекрестков).</p>
 <p>Перекресток</p>	<p>Элемент Стоп-линия является графическим элементом разметки пространства, задающим точку на дороге, у которой транспорт должен останавливаться, если это указано в блоке CarMoveTo (блок может направлять автомобили к стоп-линии).</p>

Окончание таблицы А.2

1	2
 <p data-bbox="256 398 418 427">Стоп-линия</p>	<p data-bbox="536 264 1431 465">Стоп-линия может добавлять следующие дорожные знаки в местах собственного расположения на дорогах: Ограничение скорости, Конец ограничения скорости и Уступить дорогу. Дорожные знаки повлияют на дорожное движение у стоп-линии, у которой они установлены. Описание дорожных знаков доступно ниже, в секции Дорожные знаки свойств элемента Стоп-линия.</p> <p data-bbox="536 465 1431 562">Стоп-линия может быть использована блоком TrafficLight для регулирования движения на сложно контролируемых участках дорожного движения.</p>
 <p data-bbox="188 719 486 748">Автобусная остановка</p>	<p data-bbox="536 600 1431 696">С помощью элемента разметки пространства Автобусная остановка вы можете нарисовать автобусную остановку на обочине дороги по направлению движения.</p> <p data-bbox="536 696 1431 869">Чтобы промоделировать движение автобусов к остановке, используйте блок Библиотеки дорожного движения CarMoveTo. Чтобы промоделировать пребывание автобуса на автобусной остановке в течение определенного времени, поместите после блока CarMoveTo блок Библиотеки Моделирования Процессов Delay.</p>
 <p data-bbox="268 1133 405 1162">Парковка</p>	<p data-bbox="536 902 1431 1070">С помощью элемента разметки пространства Парковка вы можете рисовать однорядные парковки, расположенные на обочинах дороги. Парковка может быть параллельная (машины паркуются в одну линию с другими припаркованными машинами), или перпендикулярная - это задается в свойстве Тип парковки.</p>

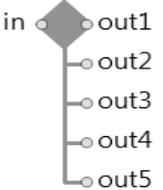
Библиотека моделирования процессов.

Библиотека моделирования процессов AnyLogic поддерживает дискретно-событийный, или, если быть более точным, «процессный» подход моделирования. С помощью объектов Библиотеки моделирования процессов (таблица А.3) вы можете моделировать системы реального мира, динамика которых представляется как последовательность операций (прибытие, задержка, захват ресурса, разделение, ...) над агентами, представляющими клиентов, документы, звонки, пакеты данных, транспортные средства и т. п. Эти агенты могут обладать определёнными атрибутами, влияющими на процесс их обработки (например, тип звонка, сложность работы) или накапливающими статистику (общее время ожидания, стоимость).

Таблица А.3 – Блоки библиотеки моделирования процессов

Графическое обозначение и название	Описание
1	2
 <p data-bbox="293 2040 379 2069">Delay</p>	<p data-bbox="529 1944 1431 2056">Задерживает агентов на заданный период времени. Время задержки вычисляется динамически, может быть случайным, зависеть от текущего агента или от каких-то других условий.</p>

Окончание таблицы А.3

1	2
 <p>SelectOutput</p>	<p>Объект направляет входящих агентов в один из двух выходных портов в зависимости от выполнения, заданного (детерминистического или заданного с помощью вероятностей) условия. Условие может зависеть как от агента, так и от каких-то внешних факторов. Поступивший агент покидает объект SelectOutput в тот же момент времени.</p>
 <p>SelectOutput5</p>	<p>Объект направляет входящих агентов в один из пяти выходных портов в зависимости от выполнения заданных (детерминистических или заданных с помощью вероятностей) условий. У объекта есть три режима работы: Условия, Вероятности и Номер выхода.</p>

Палитра Агент содержит элементы, с помощью которых можно создавать агентов и задавать их поведение. Секция «Диаграмма состояний» содержит элементы диаграммы состояний (таблица А.4).

Таблица А.4 – Элементы палитры Агент

Графическое обозначение и название	Описание
 <p>Агент</p>	<p>Под агентом в агентном моделировании понимается элемент модели, который может иметь поведение, память (историю), контакты и т.д. Агенты могут моделировать людей, компании, проекты, автомобили, города, животных, корабли, товары и т. д. Можно создавать внутри объекта переменные, диаграммы состояний, задавать события, потоковые диаграммы системной динамики, а также добавлять внутрь агента объекты библиотек AnyLogic.</p>
 <p>Параметр</p>	<p>Тип агента может иметь параметры. Параметры обычно используются для задания статических характеристик агента. Вы можете задать различные значения параметров для разных агентов одного и того же типа, что требуется в тех случаях, когда агенты имеют одинаковое поведение, но у них отличаются некоторые характеристики.</p>

Палитра «Презентация» содержит элементы, используемые для рисования презентаций моделей: примитивные фигуры, с помощью которых вы можете рисовать сложные презентации (таблица А.5).

Таблица А.5 – Элементы палитры Презентация

Графическое обозначение и название	Описание
 Изображение	Фигура изображение позволяет пользователям добавлять на презентацию изображения из файлов рисунков любого распространенного формата (.png, .jpg, .gif, .bmp и т. д.).
 3D окно	3D окно представляет собой элемент, задающий на диаграмме агента область, в которой во время запуска модели будет отображаться трехмерная анимация этого объекта. Если вы хотите, чтобы у вашего агента была трехмерная анимация, то этот элемент будет необходимо добавить на диаграмму этого агента.
 Камера	Камера используется для определения того, какой именно участок презентации будет отображаться в окне трехмерной анимации. Она как бы "снимает" то, что "показывает" окно трехмерной анимации (3D окно) (естественная аналогия - камера видеонаблюдения и дисплей на пульте оператора).

Палитра «Статистика» содержит элементы, используемые для сбора, анализа и отображения результатов моделирования (таблица А.6).

Таблица А.6 – Палитра Статистика

Графическое обозначение и название	Описание
 Данные гистограммы	Выполняет обычный статистический анализ добавляемых значений (вычисляет среднее значение, минимум, максимум, дисперсию, средний доверительный интервал, и т. д.). Производит построение функции плотности распределения вероятности и интегральной функции распределения на фиксированном или автоматически выбирающемся наборе интервалов. Вычисляет верхний и нижний процентиля (или рисковые значения с заданным процентом) с отклонением, равным ширине интервала.
 Гистограмма	Гистограмма отображает данные, собранные объектом Данные гистограммы (на одной гистограмме могут одновременно отображаться данные сразу нескольких таких объектов). Ось X всегда масштабируется таким образом, чтобы вместить все данные. Масштаб по оси Y также выбирается автоматически, таким образом, чтобы высота самого высокого столбца была равна высоте области диаграммы.