

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УЛЬЯНОВСКИЙ ИНСТИТУТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ
ИМЕНИ ГЛАВНОГО МАРШАЛА АВИАЦИИ Б. П. БУГАЕВА»**

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ANYLOGIC

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Рекомендовано

редакционно-издательским советом института

Ульяновск 2024

Рецензенты:

Гладких А.А. – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры
Радиотехники, телекоммуникаций и защиты информации

Ульяновского государственного технического университета;

Федотов Л.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры

Управления качеством авиатранспортных систем и
общепрофессиональных дисциплин

Ульяновского института гражданской авиации
имени Главного маршала авиации Б. П. Бугаева.

Имитационное моделирование в AnyLogic: учебное пособие / сост. К. А.
Толстов. – Ульяновск : УИ ГА, 2024. – 116 с.

Содержит основные понятия имитационного моделирования, описание системы имитационного моделирования и практические вопросы разработки моделей.

Разработано в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом и рабочими программами учебных дисциплин «Моделирование транспортных процессов», «Имитационное моделирование технологических процессов аэропорта», «Применение имитационного моделирования для решения задач эксплуатации воздушного транспорта».

Предназначено для курсантов и студентов, магистрантов и аспирантов всех форм обучения направления подготовки «Эксплуатация аэропортов и обеспечение полетов воздушных судов», может быть использовано преподавателями, аспирантами, магистрантами и курсантами других направлений подготовки и специальностей.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ.....	6
Контрольные вопросы.....	9
2. ОСНОВЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	9
2.1. Общие понятия имитационного моделирования.....	9
2.2. Основные этапы моделирования.....	13
Контрольные вопросы.....	14
3. ПРОГРАММА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC.....	15
3.1. Установка программы AnyLogic.....	15
3.2. Интерфейс среды разработки AnyLogic.....	20
3.3. Библиотеки программы AnyLogic.....	23
3.4. Перемещение и изменение размеров панелей.....	32
Контрольные вопросы.....	34
4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГИСТРАЦИИ ПАССАЖИРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИБЛИОТЕКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ.....	34
4.1. Постановка задачи.....	31
4.2. Создание модели.....	38
4.3. Создание анимации.....	39
4.4. Добавление статистики модели.....	57
Контрольные вопросы.....	69
5. МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕШЕХОДНОЙ БИБЛИОТЕКИ.....	42
Выполнить самостоятельно.....	83
6. РАБОТА С ГИС КАРТАМИ В ANYLOGIC	83
6.1. Постановка задачи.....	83

6.2. Этапы построения модели в AnyLogic.....	84
6.3. Создание модели.....	84
6.3.1. Определение исходных данных	85
6.3.2. Формирование заказа. Поведение агента Airport	99
6.3.3 Обработка заказа. Поведение агента Manufacturing.....	102
6.3.4. Запуск и оптимизация модели.....	108
Контрольные вопросы.....	53
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	113
Рекомендуемая литература.....	113
Библиографический список.....	115

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в различных сферах деятельности широкое применение находят вопросы моделирования и, как один из основных компонентов математического моделирования – имитационное моделирование.

В данном учебном пособии изложены основы имитационного моделирования с использованием программы AnyLogic на примере построения моделей.

Первая глава содержит основные понятия математического моделирования.

Во второй главе рассмотрены вопросы имитационного моделирования.

В третьей главе рассматриваются программа имитационного моделирования AnyLogic.

Четвертая глава содержит постановку задачи и порядок построения модели процесса регистрации пассажиров аэропорта с использованием библиотеки моделирования процессов.

Пятая глава посвящена вопросам построения модели обслуживания пассажиров аэропорта с использованием пешеходной библиотеки.

В шестой главе рассматриваются вопросы работы с ГИС картами в AnyLogic на примере построения модели процесса поставки запчастей в аэропорты.

Таким образом, данное пособие позволяет сформировать ясное представление об имитационном моделировании и его роли в оптимизации работы аэропортов.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

Моделирование – это процесс замещения изучаемого объекта другими с целью получения информации о важнейших свойствах объекта оригинала с помощью объекта модели. *Моделирование* может быть определено как представление объекта моделью для получения информации об этом объекте путем проведения эксперимента с его моделью.

В основе моделирования лежит *теория подобия*, которая утверждает, что абсолютное подобие может иметь место лишь при замене одного объекта другим, точно таким же. При моделировании абсолютное подобие используется достаточно редко. Обычно стремятся к тому, чтобы модель в соответствии с поставленной целью отображала исследуемую сторону объекта.

По характеру той стороны объекта, которая подвергается моделированию, уместно различать моделирование структуры объекта и моделирование поведения. Это различие сугубо относительно для химии или физики, но оно приобретает четкий смысл в кибернетике. Например, при «кибернетическом» моделировании обычно абстрагируются от структуры, рассматривая ее как «черный ящик», модель которого строится в терминах соотношения между состояниями его «входов» и «выходов». Входы соответствуют внешним воздействиям на изучаемую систему, выходы – ее реакциям на них, т. е. поведению.

Процесс моделирования можно представить следующим образом (рис. 1.1)

Моделирование является одним из способов решения практических задач. Зачастую решение проблемы нельзя найти путем проведения натуральных экспериментов: строить новые объекты, разрушать или вносить изменения в уже имеющуюся инфраструктуру может быть слишком дорого, опасно или просто невозможно. В таких случаях строится *модель* реальной системы, то

есть осуществляется ее описание на языке моделирования. Данный процесс подразумевает переход на определенный уровень абстракции: опускаются несущественные детали и учитываются только существенные свойства. Система в реальном мире всегда сложнее своей модели.

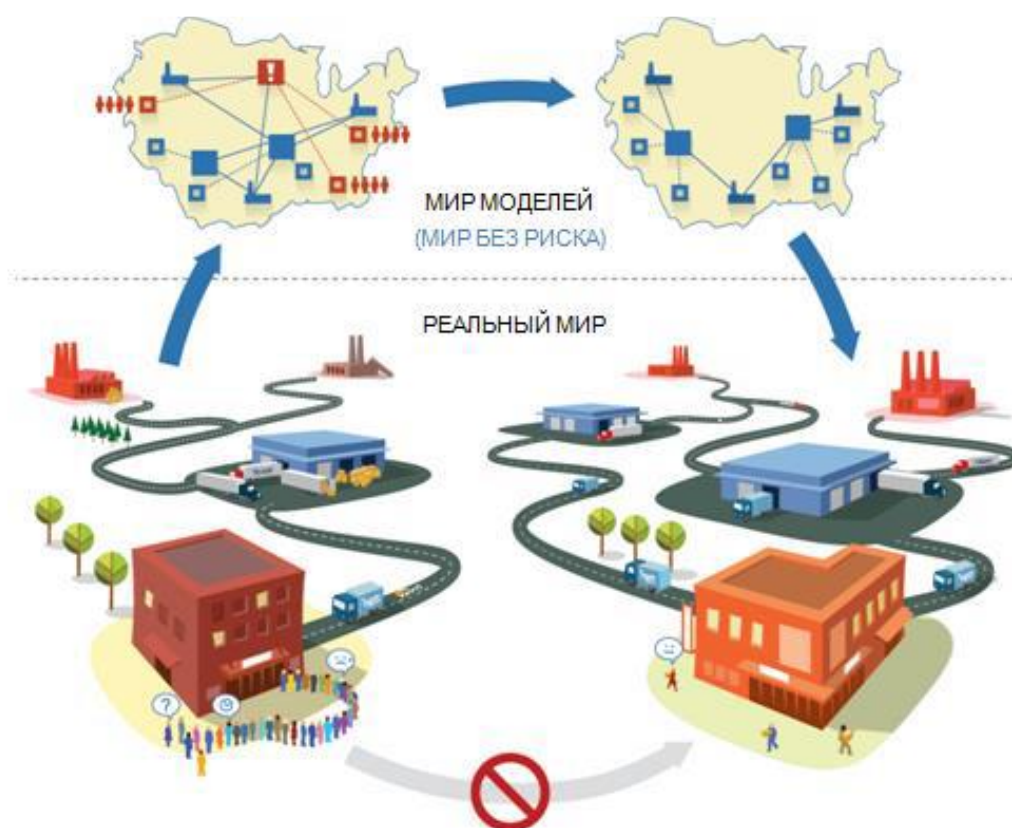


Рисунок 1.1. Обобщенная схема процесса моделирования

Целью математического моделирования является анализ реальных процессов (в природе или технике) математическими методами. В свою очередь, это требует формализации процесса, подлежащего исследованию. Модель может представлять собой математическое выражение, содержащее переменные, поведение которых аналогично поведению реальной системы. Модель может включать элементы случайности, учитывающие вероятности возможных действий двух или большего числа «игроков», как, например, в теории игр; либо она может представлять реальные переменные параметры взаимосвязанных частей действующей системы.

Математические модели делятся на имитационные и аналитические.

Для **аналитического моделирования** характерно, что процессы функционирования системы записываются в виде некоторых функциональных соотношений (алгебраических, дифференциальных, интегральных уравнений). Аналитическая модель может быть исследована следующими методами:

1. аналитическим, когда стремятся получить в общем виде явные зависимости для характеристик систем;
2. численным, когда не удается найти решение уравнений в общем виде и их решают для конкретных начальных данных;
3. качественным, когда при отсутствии решения находят некоторые его свойства.

Аналитические модели удается получить только для сравнительно простых систем. Для сложных систем часто возникают проблемы. Для применения аналитического метода идут на существенное упрощение первоначальной модели. Однако исследование на упрощенной модели помогает получить лишь ориентировочные результаты. Аналитические модели математически верно отражают связь между входными и выходными переменными и параметрами, но их структура не отражает внутреннюю структуру объекта.

При аналитическом моделировании его результаты представляются в виде аналитических выражений.

Нахождение математических выражений при аналитическом моделировании оказывается исключительно ценным для выявления общих теоретических закономерностей различных систем и устройств. Однако его сложность резко возрастает по мере усложнения воздействий на модель и увеличения порядка и числа состояний, описывающих моделируемый объект.

Разновидностью математического моделирования является имитационное моделирование, которое будет рассмотрено далее.

Под **моделью** понимается физический или абстрактный объект, свойства которого в определенном смысле сходны со свойствами исследуемого объекта. Модель отражает существенные свойства объекта. Выбор суще-

ственных или не существенных свойств объекта определяется целями моделирования.

Требования к модели определяются решаемой задачей и имеющимися средствами. Существует ряд общих требований к моделям:

- адекватность – степень соответствия реальному объекту;
- полнота – предоставление получателю всей необходимой информации об объекте;
- гибкость – возможность воспроизведения различных ситуаций во всем диапазоне изменения условий и параметров;
- трудоемкость разработки должна быть приемлемой для имеющегося времени и программных средств.

Моделирование предполагает 2 основных этапа:

1. разработка модели;
2. исследование модели и получение выводов.

При этом на каждом из этапов решаются разные задачи и используются отличающиеся по сути методы и средства.

Контрольные вопросы

1. В чем разница понятий модель и моделирование?
2. Перечислите общие требования к моделям.
3. Методы исследования аналитических моделей.
4. Общие требования к моделям.
5. Возможно ли абсолютное подобие при моделировании?

2. ОСНОВЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

2.1. Общие понятия имитационного моделирования

При **имитационном моделировании** реализующий модель алгоритм воспроизводит процесс функционирования системы во времени. Имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени.

Имитационное моделирование применяется в различных сферах деятельности:

- проектирование и анализ производственных систем;
- проектирование и анализ транспортных систем, например, аэропортов;
- определение политики в системах управления запасами;
- определение требований к оборудованию и программному обеспечению различных компьютерных систем и др.

Имитационное моделирование – один из наиболее распространенных методов исследования операций и теории управления.

Основным преимуществом имитационных моделей по сравнению с аналитическими является возможность решения более сложных задач. Имитационные модели позволяют легко учитывать наличие дискретных или непрерывных элементов, нелинейные характеристики, случайные воздействия и др. Поэтому этот метод широко применяется на этапе проектирования сложных систем. Основным средством реализации имитационного моделирования служит ЭВМ, позволяющая осуществлять цифровое моделирование систем и процессов.

Для успешного построения модели необходимо правильно выбрать соответствующий уровень абстракции (рис. 2.1)

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

Модели, расположенные в верхней части рисунка, более абстрактны и чаще всего оперируют обобщенными понятиями, такими как совокупность

потребителей или статистика уровня занятости, а не отдельными объектами. Так как взаимодействие между объектами происходит на высоком уровне, такие модели помогают понять взаимосвязи в системе без необходимости моделировать промежуточные шаги, например, изучить перспективы развития авиационных систем.



Рисунок 2.1. Распределение областей применения моделей по уровням абстракции

Другие модели имеют средний уровень абстракции. Например, при моделировании процесса обслуживания пассажиров в аэропорт необходимо учитывать реальные размеры помещения, чтобы узнать, как долго пассажир будет идти от пункта входного контроля до посадки в самолет. При этом, предположив, что помещение не переполнено, можно исключить из рассмотрения физическое взаимодействие между людьми.

При разработке модели бизнес-процесса или работы центра обработки звонков, моделируется последовательность и длительность операций, а не место, в котором они происходят. В модели грузоперевозок учитывается ско-

рость самолета, грузовика или поезда, но в модели цепочки поставок на более высоком уровне учитывается время доставки заказа.

От правильности выбора уровня абстракции зависит успешность проекта моделирования. После решения о том, что включать в модель, а что оставить за пределами уровня абстракции, выбирается метод моделирования.

В процессе разработки модели возможно придется пересматривать выбранный уровень абстракции.

В современном имитационном моделировании используются три подхода: дискретно-событийное моделирование, агентное моделирование и системная динамика (рис. 2.2).

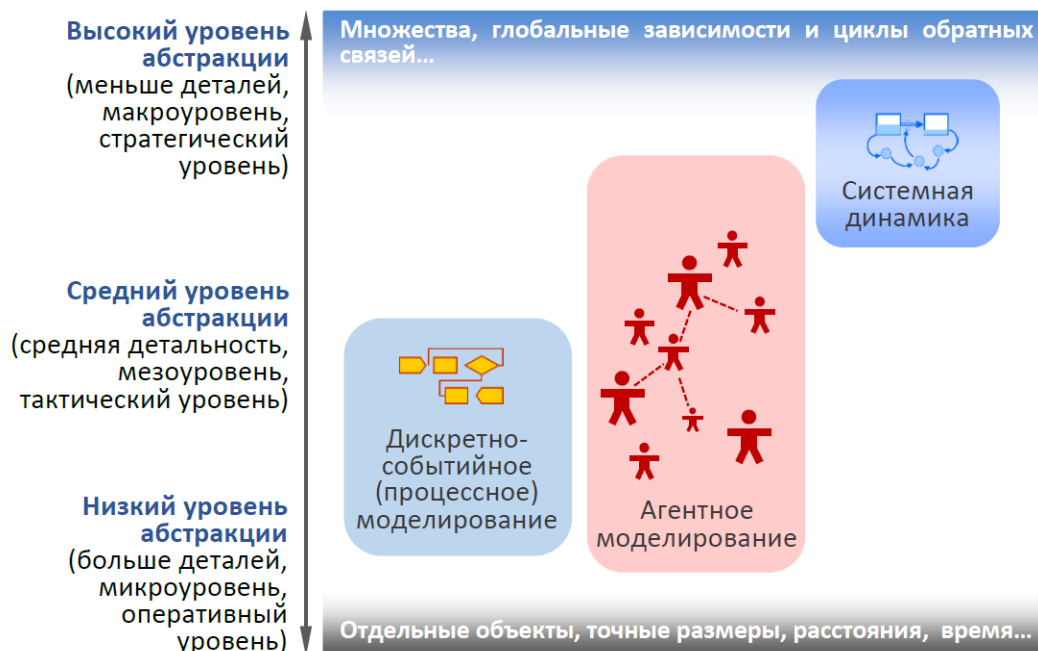


Рисунок 2.2. Современные методы имитационного моделирования

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

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

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

2.2. Основные этапы моделирования

Технология моделирования предполагает выполнение следующих действий:

1. определение цели моделирования;
2. разработка концептуальной модели;
3. формализация модели;
4. программная реализация модели;
5. планирование модельных экспериментов;
6. реализация плана эксперимента;
7. анализ и интерпретация результатов моделирования.

Содержание первых двух этапов практически не зависит от математического метода, положенного в основу моделирования (и даже наоборот – их результат определяет выбор метода). А вот реализация остальных пяти этапов существенно различается для аналитического и имитационного моделирования.

При **имитационном моделировании** используемая модель воспроизводит алгоритм функционирования исследуемой системы во времени при различных сочетаниях значений параметров системы и внешней среды. Примером простейшей аналитической модели может служить уравнение прямолинейного равномерного движения. При исследовании такого процесса с помощью имитационной модели должно быть реализовано наблюдение за изменением пройденного пути с течением времени.

Очевидно, в одних случаях более предпочтительным является аналитическое моделирование, в других – имитационное (или сочетание того и другого). Чтобы выбор был удачным, необходимо ответить на два вопроса:

1. С какой целью проводится моделирование?
2. К какому классу может быть отнесено моделируемое явление?

Ответы на оба эти вопроса могут быть получены в ходе выполнения двух первых этапов моделирования.

Имитационные модели не только по свойствам, но и по структуре соответствуют моделируемому объекту. При этом имеется однозначное и явное соответствие между процессами, получаемыми на модели, и процессами, протекающими на объекте. Недостатком имитационного моделирования является большое время решения задачи для получения хорошей точности.

Результаты имитационного моделирования работы стохастической системы являются реализациями случайных величин или процессов. Поэтому для нахождения характеристик системы требуется многократное повторение и последующая обработка данных.

Чаще всего в этом случае применяется разновидность имитационного моделирования – **статистическое моделирование** (или метод Монте-Карло), т.е. воспроизведение в моделях случайных факторов, событий, величин, процессов, полей. По результатам статистического моделирования определяют оценки вероятностных критериев качества, общих и частных, характеризующих функционирование и эффективность управляемой системы. Статистическое моделирование широко применяется для решения научных и прикладных задач в различных областях науки и техники. Методы статистического моделирования широко применяются при исследовании сложных динамических систем, оценке их функционирования и эффективности.

Заключительный этап статистического моделирования основан на математической обработке полученных результатов.

Контрольные вопросы

1. Определение имитационной модели.
2. В чем разница аналитических и имитационных моделей?
3. Основные преимущества имитационных моделей.

4. Области применения имитационных моделей по уровням абстракции.
5. Современные методы имитационного моделирования.
6. Основные этапы моделирования.
7. Как выбрать – имитационная или аналитическая модель?

3. ПРОГРАММА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC

3.1. Установка программы AnyLogic

Отечественный инструмент имитационного моделирования AnyLogic разработан на основе современных концепций в области информационных технологий и результатов исследований в теории гибридных систем и объектно-ориентированного моделирования. Построенная на их основе инструментальная система AnyLogic не ограничивает пользователя одной единственной парадигмой моделирования, что является характерным для существующих на рынке инструментов моделирования. В AnyLogic разработчик может гибко использовать различные уровни абстрагирования и различные стили и концепции и комбинировать их при создании модели.

Бесплатная версия для самостоятельного обучения AnyLogic Personal Learning Edition (PLE) устанавливается без активации. Загрузите AnyLogicPLE с сайта www.anylogic.ru и установите программу.

Запустите AnyLogic. Перед вами откроется начальная страница (рис. 3.1):

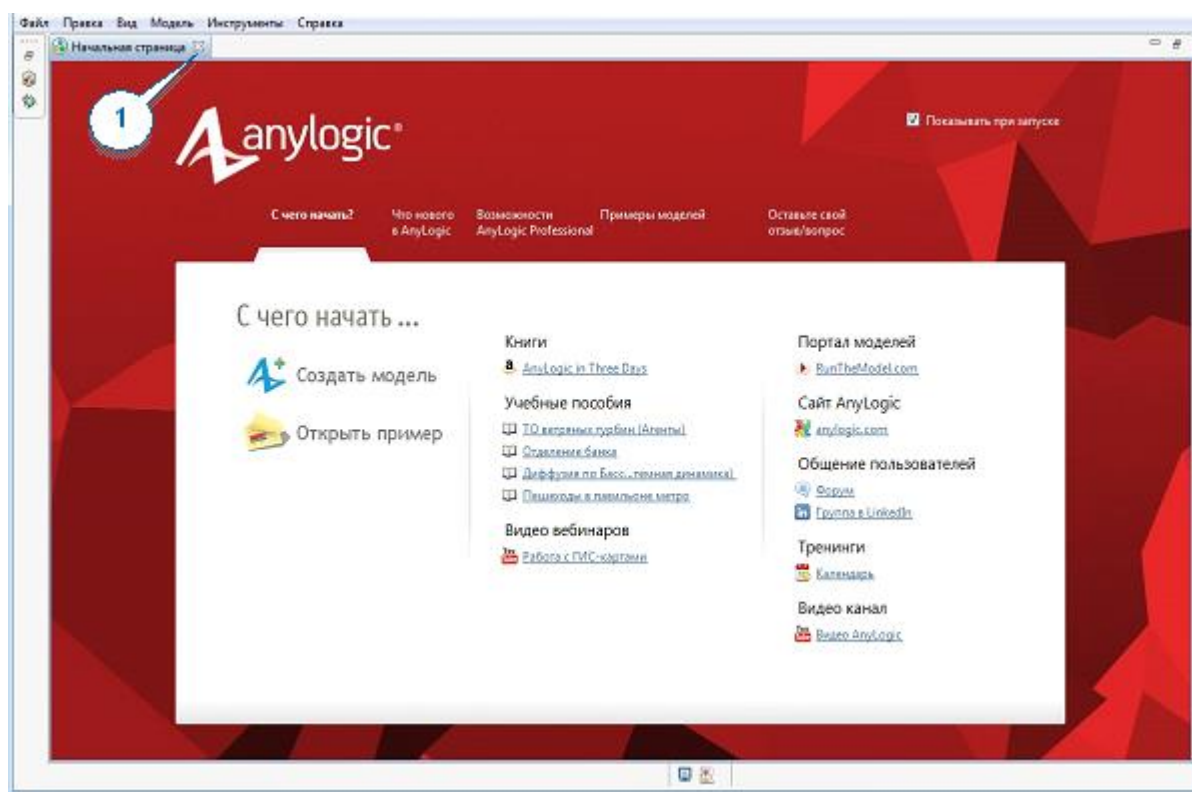




Рисунок 3.1. Начальная страница AnyLogic

Чтобы закрыть начальную страницу:

1. Щелкните мышью по кнопке  **Начальная страница**  в панели заголовка начальной страницы.

Чтобы открыть начальную страницу:

1. Выберите **Справка > Начальная страница** из главного меню.

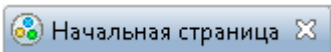
По умолчанию начальная страница отображается при каждом запуске AnyLogic. Если она каким-то образом мешает вам работать, вы можете отключить ее отображение через настройки AnyLogic:

Чтобы включить/отключить отображение начальной страницы при запуске AnyLogic:

1. Выберите **Инструменты > Настройки...** из главного меню.

2. При этом откроется диалоговое окно **Настройки AnyLogic**. На странице **Основные** установите/сбросьте флажок **Отображать начальную страницу при запуске**.

3.2. Интерфейс среды разработки AnyLogic

Закройте начальную страницу, щелкнув мышью по кнопке  в панели заголовка начальной страницы.

В окне приложения вы увидите рабочее пространство среды разработки имитационных моделей AnyLogic (рисунок 3.2):

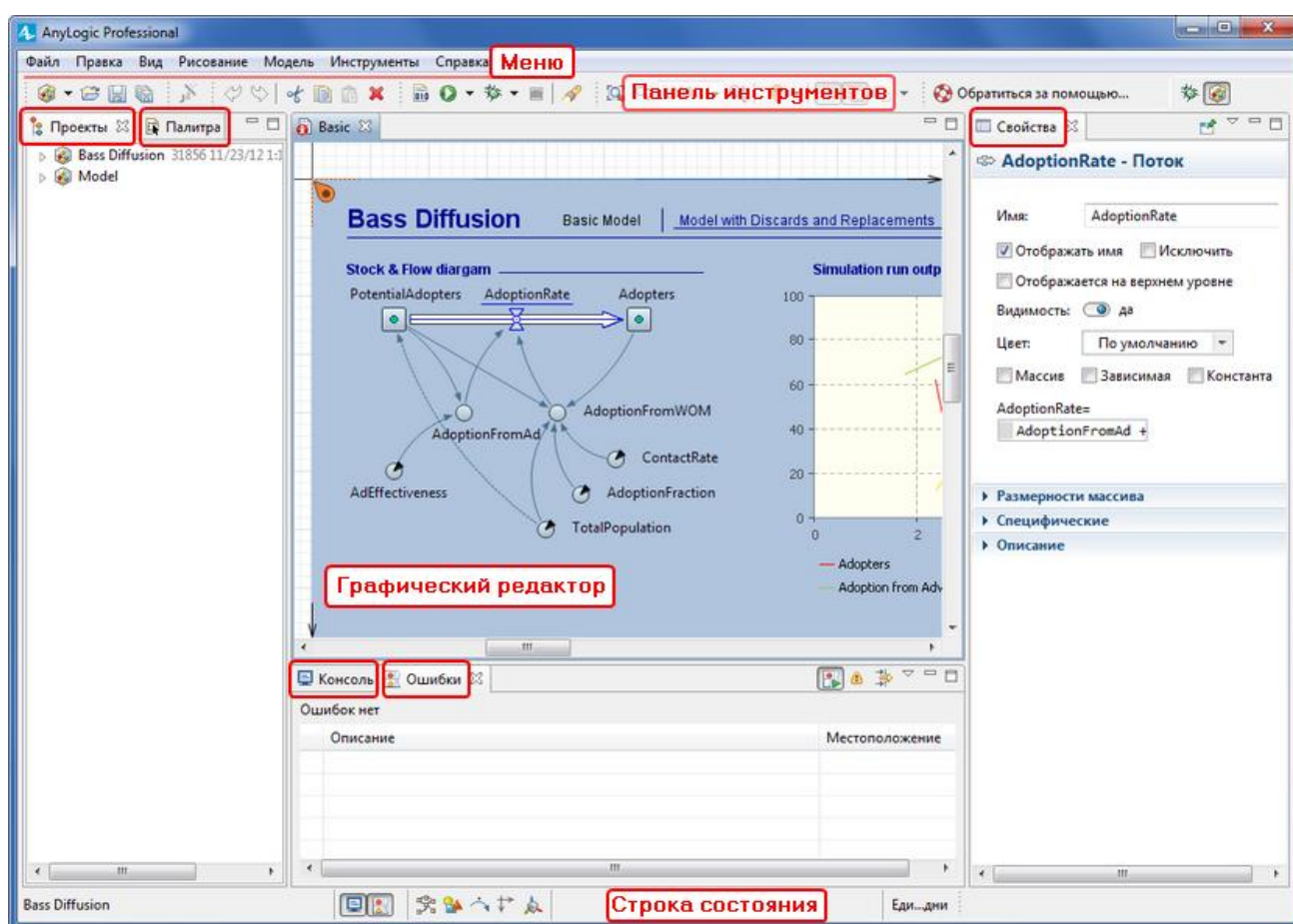


Рисунок 3.2. Интерфейс среды AnyLogic

В верхней части окна вы можете увидеть типичные для приложения меню и панель инструментов.

В рабочем пространстве окна AnyLogic по умолчанию отображаются следующие основные компоненты:

Графический редактор – место для визуального редактирования диаграммы типа агентов (или эксперимента).

Панель **Проекты** – Обеспечивает легкую навигацию по моделям, открытым в текущий момент времени. Каждая модель представлена в панели в виде иерархического дерева.

Панель **Палитра** – содержит список всех элементов, которые могут быть добавлены на диаграмму агента (эксперимента). Элементы логически разбиты по категориям на несколько закладок (палитр). Здесь же отображаются и палитры библиотек AnyLogic.

Панель **Свойства** – Используется для просмотра и изменения свойств выбранного в данный момент элемента (или элементов) модели.

Панель **Ошибки** – Отображает обнаруженные на этапе компиляции и построения модели ошибки.

Вы можете как закрыть любую из открытых панелей, так и открыть другие (**Консоль, Поиск**).

Панель Проекты

Панель **Проекты** обеспечивает легкую навигацию по элементам моделей, открытых в текущий момент времени. Поскольку модель организована иерархически, то она отображается в виде дерева: сама модель образует верхний уровень дерева; эксперименты, типы агентов и Java классы образуют следующий уровень; элементы, входящие в состав агентов, вложены в соответствующую под ветвь дерева типа агентов и т.д.

Панель **Проекты** по умолчанию прикреплена к левой части рабочей области AnyLogic (рис. 3.3).

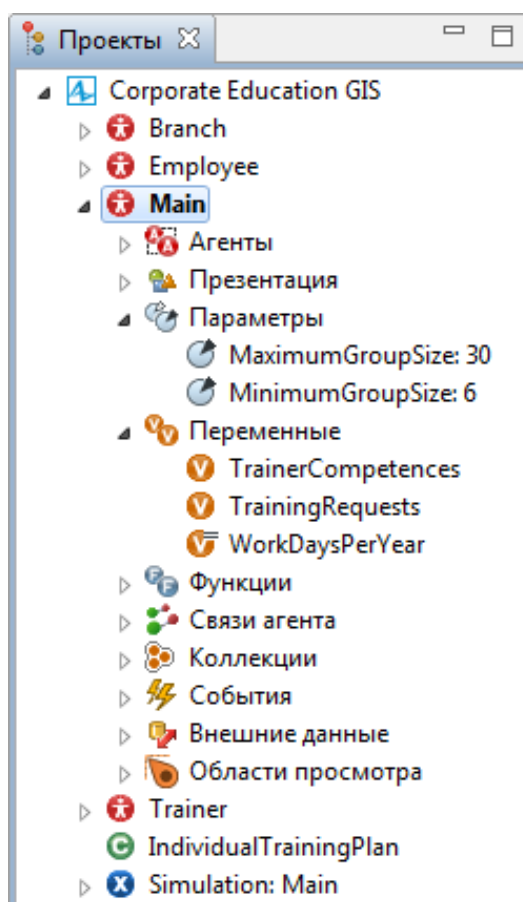


Рисунок 3.3. Панель Проекты



Чтобы открыть/закрыть панель Проекты:

1. Выберите **Вид** >  **Проекты** из главного меню.

Полужирным шрифтом в дереве выделяется тот элемент, редактор которого (графический или Java) активен в текущий момент.

При открытии или создании новой модели в дерево будет автоматически добавляться дерево элементов этой модели. По умолчанию модель содержит только один тип агента и один простой эксперимент. По мере развития модели добавляются новые элементы и растет дерево ее элементов.

Если вы внесете в модель какие-то изменения и не сохраните их, то такая модель будет сразу же выделена в дереве – к имени модели с несохраненными изменениями добавляется звездочка (*).

Вы можете разворачивать и сворачивать ветви дерева элементов модели с помощью кнопок  и , отображаемых слева от названия ветви дерева элементов.

Чтобы свернуть все открытые ветки дерева моделей в панели Проекты:

1. Щелкните правой кнопкой мыши по любому элементу дерева и выберите **Свернуть все** из контекстного меню.

Вы можете заметить, что один элемент дерева проектов (это может быть тип агента, эксперимент, Java класс, Java интерфейс или библиотека) может быть выделен жирным цветом. Это означает, что в данный момент открыт редактор именно этого элемента (чаще всего это графический редактор типа агента или эксперимента). Это может быть полезно в таких ситуациях, когда, например, в вашем рабочем пространстве открыто сразу несколько моделей, в каждой из которых есть агент Main, и вы не знаете, диаграмма какого именно типа агента Main открыта в данный момент времени в графическом редакторе (рис. 3.4):

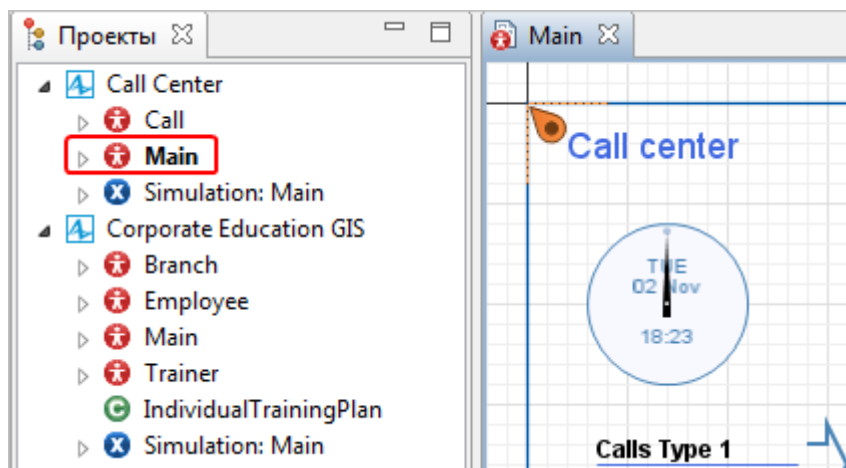



Рисунок 3.4. Работа с элементами дерева модели

AnyLogic поддерживает набор стандартных операций (копирование, удаление и т.д.) по работе с элементами дерева, отображаемого в панели **Проекты**. Вы можете копировать, перемещать и удалять любые элементы дерева элементов модели, легко управляя, таким образом, вашей рабочей моделью. При копировании и удалении элементов их следует предварительно выбрать.


Чтобы выбрать элемент:

1. Щелкните мышью по элементу. Свойства выбранного элемента будут отображены в панели **Свойства** (если она открыта).


Чтобы удалить элемент:

1. Нажмите на кнопку панели инструментов  **Удалить**, или Выберите **Правка > Удалить** из главного меню, или Щелкните правой кнопкой мыши по элементу и выберите **Удалить** из контекстного меню, или нажмите **Del**.

Чтобы скопировать элемент:


1. Нажмите на кнопку панели инструментов  **Копировать**, или Выберите **Правка > Копировать** из главного меню, или Щелкните правой кнопкой мыши по элементу и выберите **Копировать** из контекстного меню, или Нажмите **Ctrl+C** (Mac OS: **Cmd+C**).

Чтобы вырезать элемент:

1. Нажмите на кнопку панели инструментов  **Вырезать**, или Выберите **Правка > Вырезать** из главного меню, или Щелкните правой кнопкой мыши по элементу и выберите **Вырезать** из контекстного меню, или Нажмите **Ctrl+X** (Mac OS: **Cmd+X**).

Чтобы вставить элемент:

1. Выберите родительский элемент, в который вы хотите поместить этот элемент. Например, вы можете вставить тип агента в модель.

2. Выберите **Правка >  Вставить** из главного меню, или Щелкните правой кнопкой мыши по родительскому элементу и выберите **Вставить** из контекстного меню, или Нажмите **Ctrl+V** (Mac OS: **Cmd+V**).

Панель Палитра

Панель **Палитра** содержит элементы, которые могут быть добавлены на диаграмму агента или эксперимента.

Чтобы показать / спрятать панель Палитра:

1. Выберите **Вид** >  **Палитра** из главного меню.

По умолчанию она прикреплена к левому краю окна приложения (рис. 3.5).

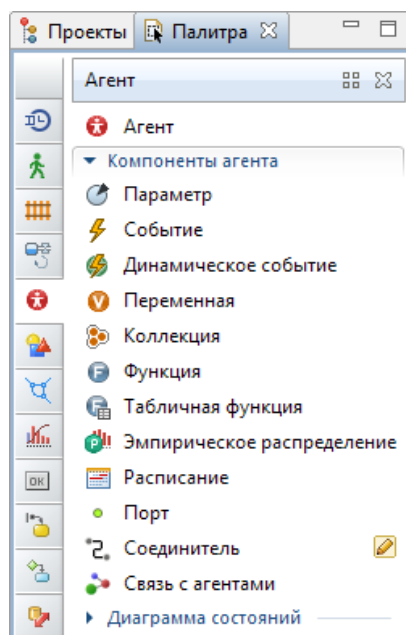




Рисунок 3.5. Панель Палитра

Панель **Палитра** по умолчанию находится в той же области, где и панель **Проекты**. Если видна панель **Проекты** или другая панель (например, **Поиск**), то щелкните вкладку **Палитра**, чтобы открыть ее.

В панели **Палитра** вы можете найти любой графический элемент AnyLogic и добавить его на диаграмму типа агента или эксперимента.


Чтобы добавить элемент на диаграмму типа агента или эксперимента:


1. Перетащите элемент из панели **Палитра** в графический редактор.


Некоторые элементы (отмеченные в **Палитре** значком ) также поддерживают режим рисования – дополнительный способ, которым можно добавить эти элементы на диаграмму агента, кроме как просто перетащить (пожалуйста, обращайтесь к секции  **Добавление элементов палитры на диаграмму за дополнительной информацией**).


3.3. Библиотеки программы AnyLogic


Панель **Палитра** состоит из нескольких палитр, каждая из которых содержит элементы, относящиеся к определенной задаче:


 **Библиотека моделирования процессов** – Блоки Библиотеки моделирования процессов и элементы разметки пространства, относящиеся к этой библиотеке.


 **Библиотека производственных систем** – Блоки Библиотеки производственных систем и элементы разметки пространства, относящиеся к этой библиотеке.


 **Пешеходная библиотека** – Блоки Пешеходной библиотеки и элементы разметки пространства, относящиеся к этой библиотеке.


 **Железнодорожная библиотека** – Блоки Железнодорожной библиотеки и элементы разметки пространства, относящиеся к этой библиотеке.


 **Библиотека дорожного движения** – Блоки Библиотеки дорожного движения и элементы разметки пространства, относящиеся к этой библиотеке.


 **Библиотека моделирования потоков** – Блоки Библиотеки моделирования потоков и элементы разметки пространства, относящиеся к этой библиотеке.


 **Системная динамика** – Палитра **Системная динамика** содержит элементы, часто используемые в системной динамике: элементы диаграммы потоков и накопителей, а также параметр, соединитель и табличную функцию.


 **Агент** – Палитра **Агент** содержит основные элементы, с помощью которых вы можете задать динамику модели, ее структуру и данные.


 **Презентация** – Палитра **Презентация** содержит элементы, используемые для рисования презентаций моделей: примитивные фигуры, с помощью которых вы можете рисовать сложные презентации.


 **Разметка пространства** – Палитра содержит элементы для создания пространства моделей, к примеру, для определения местоположений агентов, создания дорог, железнодорожных путей и т.д.


 **Статистика** – Палитра **Статистика** содержит элементы, используемые для сбора, анализа и отображения результатов моделирования.

 **Элементы управления** – Палитра **Элементы управления** содержит элементы управления, с помощью которых вы можете сделать анимацию ваших моделей интерактивными.

 **Диаграмма состояний** – Палитра **Диаграмма состояний** содержит блоки *диаграмм состояний* – диаграмм, позволяющих графически задавать поведение объекта.

 **Внешние данные** – Палитра **Внешние данные** содержит инструменты для работы с внешними данными - базами данных и текстовыми файлами.

 **Картинки** – Палитра **Картинки** содержит набор картинок наиболее часто моделируемых объектов: человек, медсестра, врач, грузовик, фура, погрузчик, склад, завод и т. д.

 **3D Объекты** – Палитра **3D Объекты** содержит набор трехмерных изображений наиболее часто моделируемых объектов: человек, медсестра, врач, самолет, грузовик, фура, погрузчик, поддон и т. д.

Панель **Палитра** также может отображать палитры сторонних библиотек AnyLogic, подключенных пользователем.

Чтобы выбрать определенную палитру:

1. Наведите указатель мыши на вертикальную навигационную панель слева от панели **Палитра** и щелкните мышью по иконке нужной вам палитры (рис. 3.6).

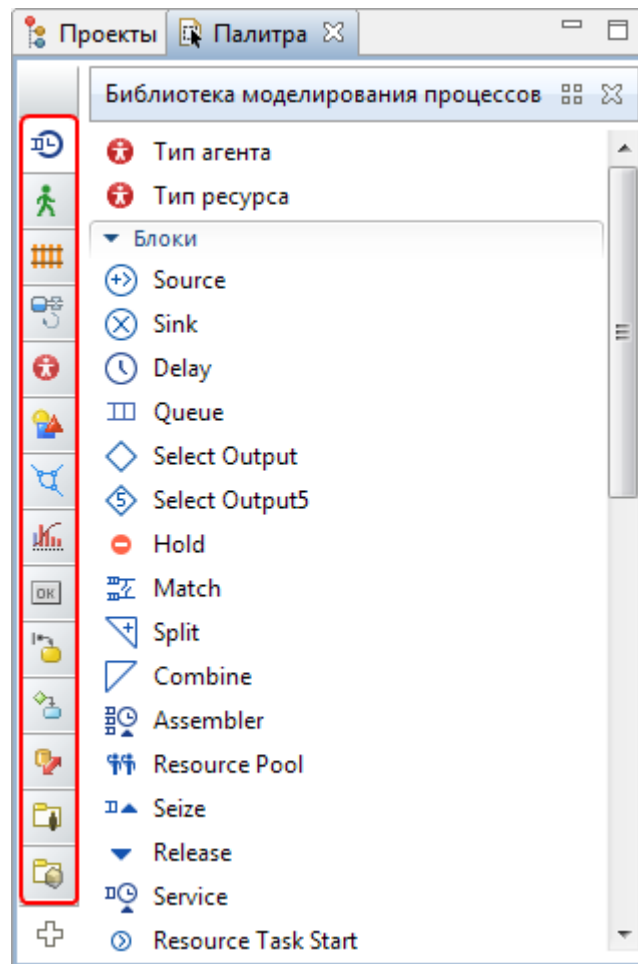


Рисунок 3.6. Перечень палитр

2. Вы можете подождать, пока появится всплывающее окно с названиями палитр (рис. 3.7):

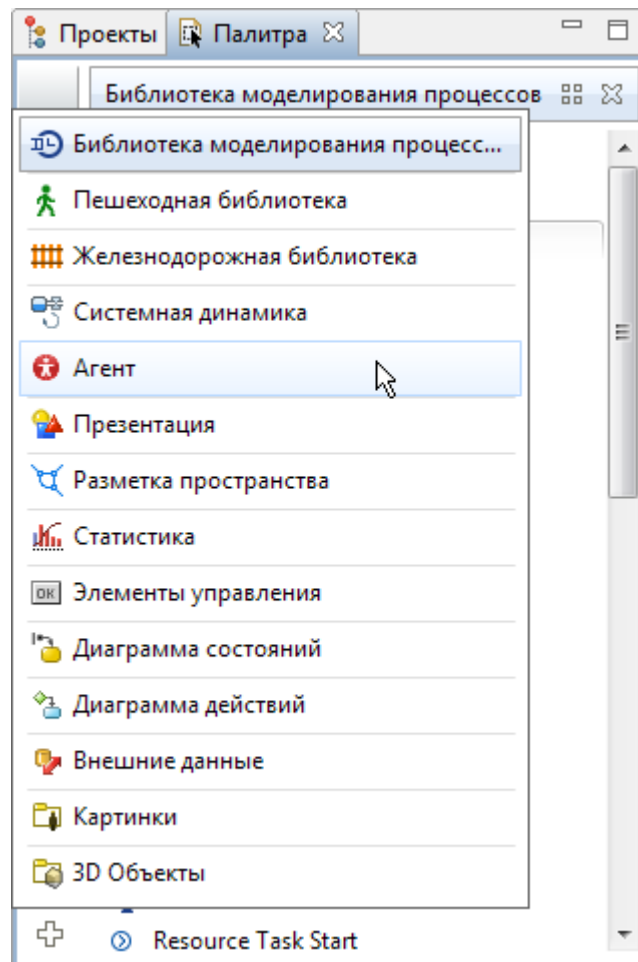



Рисунок 3.7. Окно с названиями палитр

3. Выберите требуемую палитру и щелкните по ее имени в списке.

При необходимости вы можете закрывать редко используемые вами в работе палитры (в том числе и палитры библиотек). Впоследствии вы можете вновь открыть ранее закрытую палитру.

Чтобы открыть/закрыть палитру:

1. Щелкните мышью по кнопке , расположенной внизу панели **Палитра** (рис. 3.8)

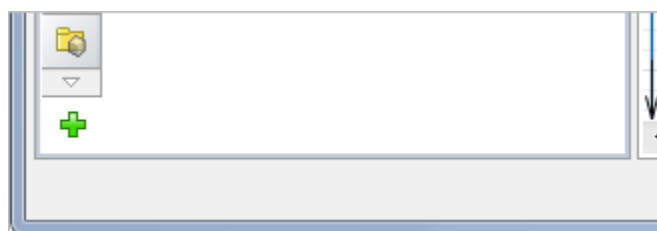



Рисунок 3.8. Добавление палитры

2. Будет отображен список всех доступных палитр, которые могут быть отображены в панели **Палитра**.

3. Выберите интересующую вас палитру, щелкнув мышью по одноименному элементу списка.

4. Палитра будет либо открыта в панели и автоматически выбрана, либо закрыта и не будет отображаться в списке палитр, если она была выбрана до этого.

Чтобы добавить/удалить библиотеку

1. Щелкните мышью по кнопке , расположенной внизу панели **Палитра**.

2. Под списком всех доступных палитр выберите опцию **Управление библиотеками**.

3. Откроется окно **Библиотеки**. Щелкните по библиотеке в списке, чтобы выделить ее, и затем щелкните кнопку **Удалить** справа от списка, чтобы удалить библиотеку из панели **Палитра**.

4. Щелкните кнопку **Добавить**, чтобы выбрать файл библиотеки, которую вы хотите открыть в панели **Палитра**.

5. Нажмите кнопку **ОК**, чтобы сохранить изменения. Чтобы закрыть окно без изменений, щелкните **Отменить**.

6. Библиотека будет открыта в панели и автоматически выбрана.

Панель Свойства

Панель **Свойства** используется для просмотра и изменения свойств выбранного в данный момент элемента (или элементов) модели. Когда вы выбираете какой-нибудь элемент – например, в панели **Проекты** или в графическом редакторе – панель **Свойства** отображает свойства выбранного элемента (рис. 3.9).

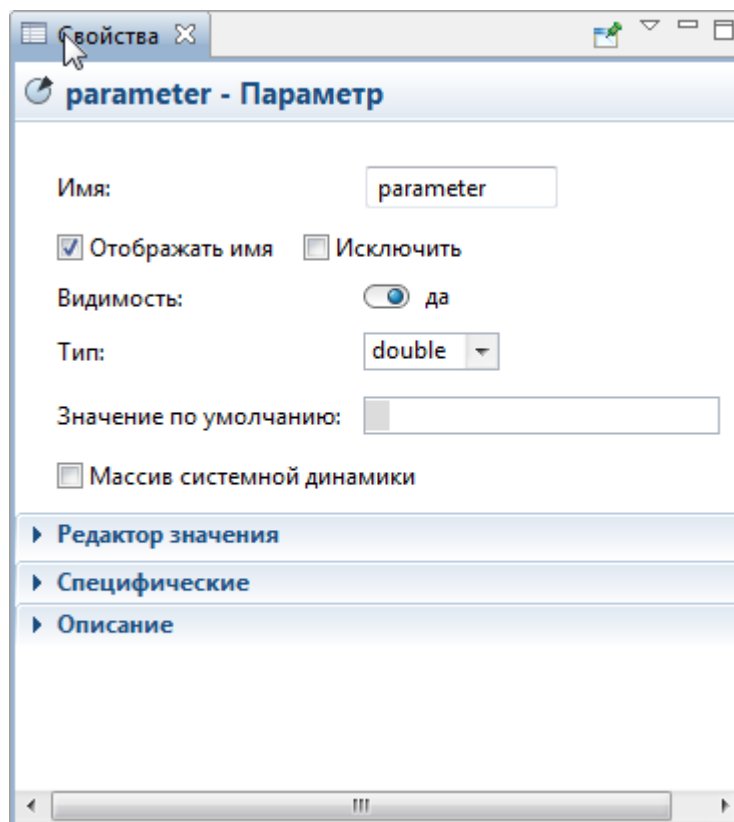


Рисунок 3.9. Панель Свойства

Панель **Свойства** содержит несколько секций. Каждая секция содержит элементы управления, такие как поля ввода, флажки, переключатели, кнопки и т.д., с помощью которых вы можете просматривать и изменять свойства элементов модели. Число секций и их внешний вид зависит от типа выбранного элемента.

Чтобы открыть/закрыть панель Свойства:

1. Выберите **Вид** >  **Свойства** из главного меню.

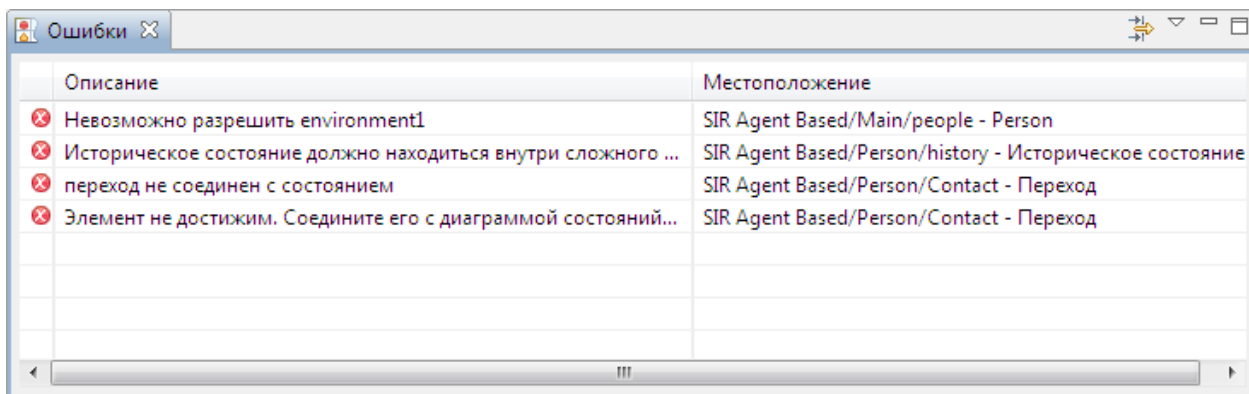
Чтобы показать определенную секцию панели Свойства:

1. Щелкните мышью по соответствующему заголовку секции панели **Свойства**.

Панель Ошибки

На этапе компиляции модели AnyLogic производит проверку синтаксиса диаграмм, типов и параметров. Все обнаруженные на этапе компиляции и построения модели ошибки отображаются в панели **Ошибки**. Для каждой

ошибки показывается ее описание и местоположение - —мя элемента модели, при задании которого эта ошибка была допущена (рис. 3.10).



Описание	Местоположение
Невозможно разрешить environment1	SIR Agent Based/Main/people - Person
Историческое состояние должно находиться внутри сложного ...	SIR Agent Based/Person/history - Историческое состояние
переход не соединен с состоянием	SIR Agent Based/Person/Contact - Переход
Элемент не достижим. Соедините его с диаграммой состояний...	SIR Agent Based/Person/Contact - Переход

Рисунок 3.10. Панель Ошибки

Чтобы открыть/закрыть панель Ошибки:

1. Выберите **Вид** >  **Ошибки** из главного меню.

Первый столбец таблицы ошибок отображает значок типа ошибки. Во втором столбце приведено краткое описание ошибки. В третьем - —е местоположение - —мя элемента модели, в котором она была обнаружена.



Если информация в строке таблицы не помещается целиком в отведенное ей место, то вы можете навести мышь на ту строку, которую вы хотите прочитать, и через мгновение вы увидите всплывающее окно подсказки, в котором будет показана вся строка.

Вы можете более детально изучить обнаруженную ошибку.

Чтобы показать ошибку:

1. Сделайте двойной щелчок мышью по ошибке в панели **Ошибки**. В зависимости от того, где была совершена ошибка, будет открыт тот или другой редактор или панель. Если, например, это графическая ошибка, то будет открыт графический редактор, отображающий диаграмму соответствующего агента, в котором будут выделены фигуры, которые были неправильно нарисованы.


В панель **Ошибки** выводится информация о проблемах двух типов: ошибках и предупреждениях:

-  *Ошибка* – критическая проблема, делающая модель неработоспособной.
-  *Предупреждение* - –общение о некритичной неточности в реализации, которая потенциально может привести к некорректной работе модели или информирует о ее неидеальной реализации, например, об использовании устаревшей функции. Наличие предупреждений не влияет на работоспособность модели.

Вы можете легко отличить ошибки от предупреждений по значку, отображаемому в самом левом столбце соответствующей строки панели **Ошибки**.


По умолчанию информация о предупреждениях скрыта, чтобы не отвлекаться на некритические сообщения и сконцентрироваться на тех ошибках, которые необходимо исправить. Вы можете в любой момент как показать, так и снова скрыть информацию о предупреждениях.

Чтобы показать информацию о предупреждениях:

1. Щелкните мышью по кнопке **Показать предупреждения**  в панели **Ошибки**. Когда кнопка отображается нажатой, предупреждения отображаются в панели ошибок.

Кроме того, вы можете произвести фильтрацию отображаемых в панели **Ошибки** ошибок, чтобы сконцентрироваться на ошибках какого-то определенного элемента модели.

Чтобы показать только те ошибки, которые относятся к выделенному в текущий момент элементу:

1. Щелкните мышью по кнопке **Фильтр по выделению**  в панели **Ошибки**.


Открытие и закрытие панелей

Команды управления видимостью панелей находятся в меню **Вид**. Помеченные галочкой пункты меню означают, что соответствующие панели открыты и отображаются в текущий момент времени.

Чтобы открыть панель:

1. Выберите соответствующий пункт из меню **Вид**. Вы увидите, что значок пункта меню будет отображен на синем фоне, что означает, что в данный момент соответствующая панель открыта и отображается в рабочем пространстве программы.

Чтобы закрыть панель:


1. Щелкните мышью по кнопке **Заккрыть**  справа от имени панели в строке заголовка соответствующей панели или Щелкните правой кнопкой мыши по заголовку панели и выберите **Заккрыть** из контекстного меню.

2. Или же вы можете выбрать соответствующий пункт из меню **Вид**. Вы увидите, что значок этого пункта перестанет отображаться на синем фоне, что означает, что в данный момент соответствующая панель закрыта и не отображается в рабочем пространстве программы.


Свертывание и развертывание панелей

Вы можете свертывать и развертывать панели - —ак же, как вы привыкли это делать в других программах.


Чтобы свернуть панель:


Щелкните мышью по кнопке **Свернуть**  в верхнем правом углу панели или Щелкните правой кнопкой мыши в панели заголовка панели и выберите **Свернуть** из контекстного меню.

Чтобы развернуть панель:

Щелкните мышью по кнопке **Развернуть**  в верхнем правом углу панели или Щелкните правой кнопкой мыши в панели заголовка панели и выберите **Развернуть** из контекстного меню.

Чтобы восстановить предыдущее расположение панели:

1. Щелкните мышью по кнопке **Восстановить**  в верхнем правом углу панели или Щелкните правой кнопкой мыши в панели заголовка панели и выберите **Восстановить** из контекстного меню.

2. Если панель в текущий момент времени свернута, то соответствующая кнопка **Восстановить**  будет прикреплена к той границе рабочей области AnyLogic, к которой была прикреплена панель до ее свертывания.

3.4. Перемещение и изменение размеров панелей

Перемещение панелей

Вы можете перемещать панели в пределах окна AnyLogic.

Чтобы переместить панель:

1. Перетащите панель за ее заголовок и расположите ее в новом месте внутри рабочей области AnyLogic.

2. Обратите внимание, что во время перетаскивания будут отображаться курсоры различного вида. Это так называемые курсоры перетаскивания, визуально подсказывающие, куда будет прикреплена панель относительно панели или редактора, над которым в текущий момент находится курсор, если отпустить кнопку мыши. Также будет отображаться и прямоугольная рамка, показывающая место потенциального расположения панели.

3. Отпустите кнопку мыши, чтобы завершить процесс перемещения панели и оценить результат совершенного действия.

Изменение размеров панелей

Чтобы изменить размер панели:

1. Перетащите границу панели, которую вы хотите переместить, с помощью мыши. Щелкните правой кнопкой мыши по заголовку панели и выберите из контекстного меню пункт, который соответствует той границе, которую вы хотите переместить, например, чтобы переместить левую границу панели выберите **Размер > Слева**.

2. Соответствующая граница панели будет выделена синим. Теперь вы можете изменять размер панели, перетаскивая нужную вам границу этой панели.

Группировка панелей

Если какие-то панели редко используются одновременно, они могут быть сгруппированы вместе. В этом случае они будут отображаться как страницы одного окна и будут занимать меньше места в рабочем пространстве. Переключаться между такими панелями можно будет щелкая мышью по заголовкам закладок этих панелей (рис. 3.11).

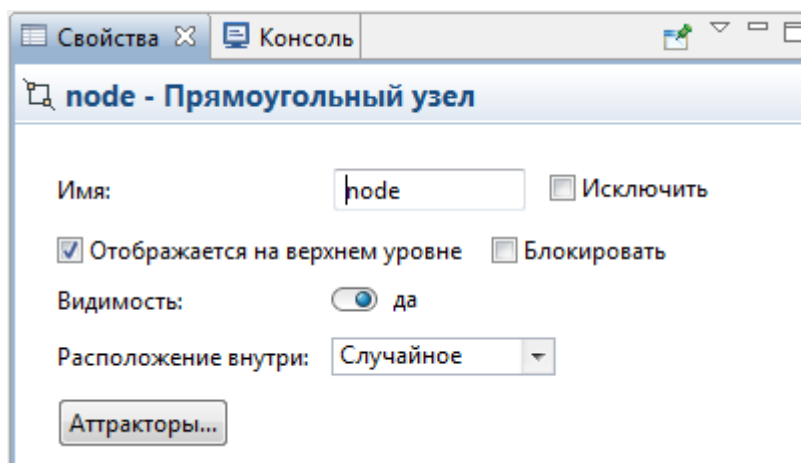



Рисунок 3.11. Панели Свойства и Консоль сгруппированы вместе

Чтобы сгруппировать панели:

1. Щелкните правой кнопкой мыши по строке заголовка панели и выберите **Переместить > Группа вкладок** из контекстного меню.
2. Перетащите панель поверх другой панели. При этом отобразится курсор прикрепления «группировка» . Если при этом отпустить кнопку мыши, то эти панели будут сгруппированы вместе и примут вид блокнота с закладками.

Чтобы разгруппировать панели:

1. Щелкните правой кнопкой мыши по строке заголовка панели и выберите **Переместить > Вид** из контекстного меню.
2. Переместите мышью (при этом будет отображаться прямоугольная рамка, показывающая место потенциального расположения панели) в то место, где вы хотите расположить панель. Обратите внимание, что во время перетаскивания будут отображаться курсоры различного вида. Это так называемые курсоры перетаскивания,

визуально подсказывающие, куда будет прикреплена панель относительно панели или редактора, над которым в текущий момент находится курсор, если отпустить кнопку мыши.

3. Щелкните мышью, чтобы завершить процесс и оценить результат совершенного действия.

Контрольные вопросы

1. Назначение и возможности программы AnyLogic.
2. Библиотеки программы AnyLogic.
3. Библиотека моделирования процессов.
4. Пешеходная библиотека.
5. Ограничения программы AnyLogicPLE.

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕГИСТРАЦИИ ПАССАЖИРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИБЛИОТЕКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ

4.1. Постановка задачи.

Общая формулировка:

Исследовать процесс обслуживания пассажиров в аэропорту.

Построить модель процесса регистрации пассажиров в аэропорту.

На основе анализа составлена схема обслуживания пассажиропотока на внутренних рейсах (рис. 4.1):



Рисунок 4.1. Схема обслуживания пассажиропотока на внутренних рейсах

Аэровокзальный комплекс – пример системы массового обслуживания (СМО).

Основные элементы:

- входящие потоки требований; - обслуживающие приборы.

Каждый из потоков проходит определенную последовательность технологических операций обслуживания. Рассмотрим обслуживание вылетающих пассажиров.

Основные фазы обслуживания:

- предварительный досмотр при входе в здание аэровокзала; - предполетный досмотр пассажиров и багажа;
- регистрация пассажиров и оформление багажа. На международных рейсах дополнительно: - паспортно-пограничный контроль; - санитарный и др.
- досмотр;
- ожидание посадки; - посадка.

Багаж:

- взвешивание;
- доставка к месту комплектации;
- комплектация в багажные тележки (контейнеры) и т.д.

Приборы обслуживания:

- стойки регистрации с весами;
- технические средства досмотра;
- транспортеры и тележки для перемещения багажа и т.д.

Необходимо задать:

- входящий поток требований и среднюю интенсивность их поступления;
- механизм обслуживания (когда обслуживание допустимо, сколько требований могут обслуживаться одновременно, длительность обслуживания);
- дисциплину обслуживания (способ, по которому для обслуживания выбирается одно требование из всех ожидающих).

Первый шаг – сбор фактических данных, характеризующих процессы прибытия и обслуживания пассажиров.

Методы исследования:

- устный опрос пассажиров;
- подсчет числа пассажиров и багажа;
- замеры интервалов времени обслуживания.

Проведенный статистический анализ позволит получить вероятностные распределения параметров входящего потока и обслуживающей системы.

Что можно получить?

1. *Время нахождения вылетающего пассажира в аэропорту* – интервал времени между входом пассажира в здание аэровокзала и вылетом рейса (минимальное, максимальное, среднее). Считая продолжительности пребывания пассажиров в аэропорту взаимно-независимыми случайными величинами можно определить их закон распределения. На основе анализа постро-

енной гистограммы распределения времени пребывания пассажиров в аэропорту можно говорить о принадлежности рассматриваемой случайной величины тому или иному закону распределения.

2. *Время прибытия пассажиров на регистрацию.* На основе анализа наблюдений определяется распределение времени прибытия пассажиров в зону регистрации.
3. *Время регистрации.*
4. *Число мест багажа и т.д.*


Параметры модели обслуживания:

1. Продолжительность досмотра пассажиров и багажа при входе в здание аэровокзала (0.3 мин.).
2. Продолжительность регистрации и оформления багажа (1.5 мин.).
3. Продолжительность предполетного досмотра пассажиров и багажа (0.5 мин.).

4.2. Создание модели

В создаваемой модели рассматривается только часть обслуживания пассажиропотока в аэропорту – непосредственно регистрация пассажиров на рейс.

Создание новой модели

1. Щелкните мышью по кнопке панели инструментов **Создать** . Появится диалоговое окно **Новая модель** (рис. 4.2).

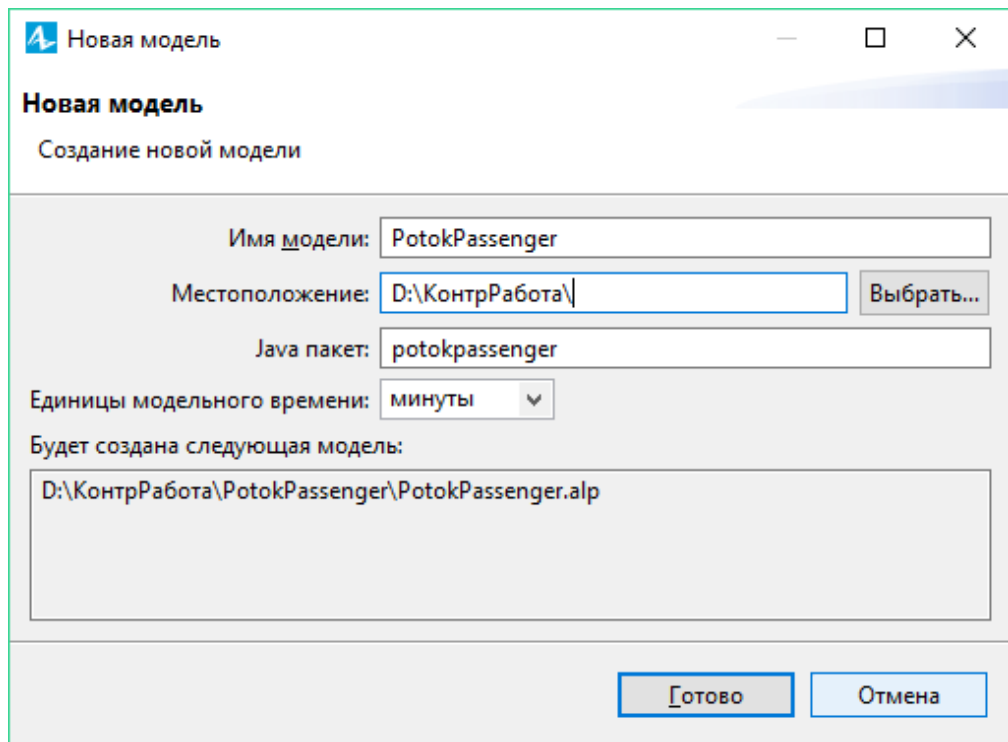


Рисунок 4.2. Диалоговое окно **Новая модель**

2. В поле **Имя модели** введите PotokPassenger.

3. Выберите каталог, в котором будут сохранены файлы модели. Если Вы хотите сменить предложенный по умолчанию каталог на другой, то можете ввести путь к нему в поле **Местоположение** или выбрать этот каталог с помощью диалога навигации по файловой системе, открывающегося при нажатии кнопки **Выбрать**.

4. Выберите минуты в качестве **Единиц модельного времени**.

5. Щелкните мышью по кнопке **Готово**, чтобы завершить процесс.

Вы создали новую модель. В ней уже имеется один тип агента Main и эксперимент Simulation. Агенты – это главные строительные блоки модели AnyLogic. В нашем случае агент Main служит местом, где задается логика модели случая – диаграмма процесса регистрации пассажиров.

В центре рабочей области находится графический редактор диаграммы типа агента Main (рис. 4.2а).

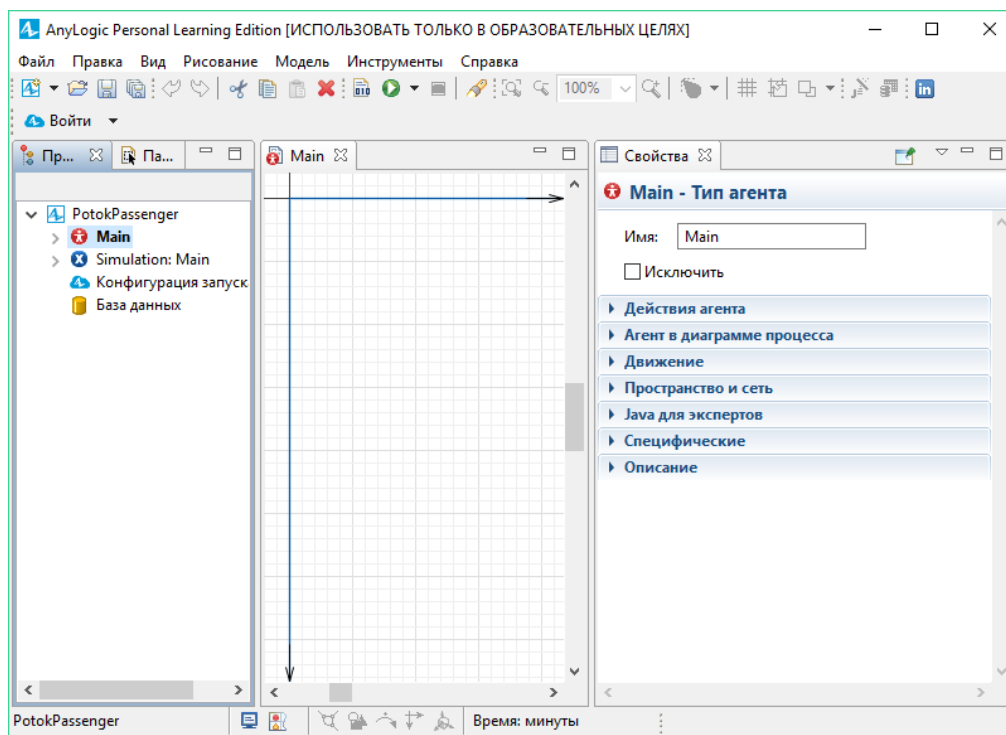


Рисунок 4.2а

В левой части рабочей области находятся панели **Проекты** и **Палитра**. Панель **Проекты** обеспечивает легкую навигацию по элементам моделей, открытых в текущий момент времени. Поскольку модель организована иерархически, то она отображается в виде дерева. Панель **Палитра** содержит разделенные по палитрам элементы, которые могут быть добавлены на диаграмму типа агента или эксперимента.

В правой рабочей области будет отображаться панель **Свойства**. Она используется для просмотра и изменения свойств выбранного в данный момент элемента (или элементов) модели. Когда вы выделяете какой-либо элемент, например, в панели **Проекты** или графическом редакторе, панель **Свойства** показывает свойства выбранного элемента.

Создание диаграммы процесса

Задайте динамику процесса, создав диаграмму из блоков **Библиотеки моделирования процессов**.

Диаграмма процесса в AnyLogic создается путем добавления объектов библиотеки из палитры на диаграмму агента, соединения их портов и изме-

нения значений свойств блоков в соответствии с требованиями вашей модели.

Каждый блок задает определенную операцию, которая будет производиться над проходящими по диаграмме процесса агентами.

1. По умолчанию при создании новой модели в панели **Палитра** открывается **Библиотека моделирования процессов** (рис. 4.3). Вы можете открывать палитры щелчком по соответствующей иконке на вертикальной панели слева от палитры (рис. 4.3).

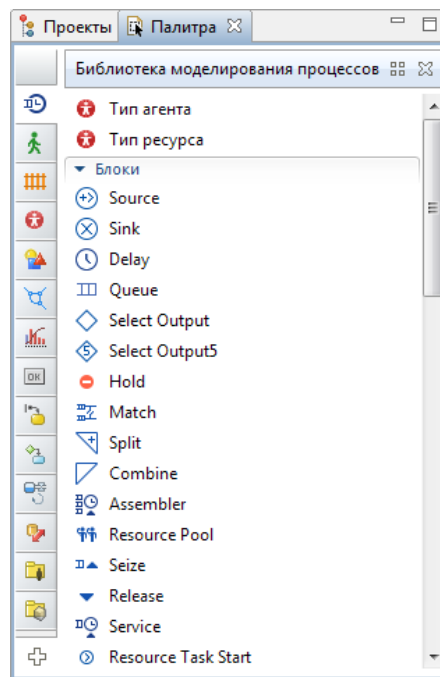


Рисунок 4.3.

2. Добавьте блоки **Библиотеки моделирования процессов** на диаграмму и соедините их, как показано на рис. 4.4. Чтобы добавить объект на диаграмму, перетащите требуемый элемент из палитры в графический редактор.

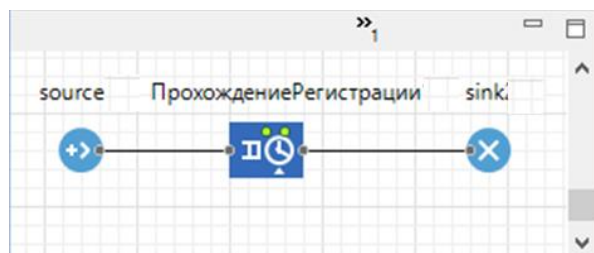


Рисунок 4.4. Диаграмма процесса

3. Когда Вы перетаскиваете блоки и располагаете их рядом друг с другом, то можете видеть, как появляются соединительные линии между блоками. Будьте внимательны, эти линии должны соединять только порты, находящиеся с правой или левой стороны иконок.

Данная схема моделирует простейшую систему, состоящую из источника агентов, задержки (и очереди перед задержкой) и финального уничтожения агентов.

Назначение объектов диаграммы:

⊕ Объект **Source** генерирует агентов определенного типа и используется в качестве начальной точки диаграммы процесса, формализующей поток агентов. В нашем примере агентами будут пассажиры, а объект Source будет моделировать их приход на регистрацию.

Ⓜ Объект **Service** захватывает для агента заданное количество ресурсов, задерживает его, а затем освобождает захваченные им ресурсы.

⊗ Объект **Sink** уничтожает поступивших агентов. Он используется в качестве конечной точки потока агентов (и диаграммы процесса соответственно).

За детальным описанием объектов **Библиотеки моделирования процессов**, пожалуйста, обращайтесь к Справочному руководству по Библиотеке моделирования процессов (пункт меню **Справка программы**).

Настройка блоков диаграммы

1. Чтобы изменить свойства элемента, выделите элемент в графическом редакторе или в панели **Проекты**, щелкнув по нему мышью. Свойства элемента откроются в панели **Свойства**.

2. Выделите блок *source* (рис. 4.5). В панели **Свойства** укажите, как часто должны прибывать пассажиры. Введите 0.3 и выберите в минуту в поле **Интенсивность прибытия**.

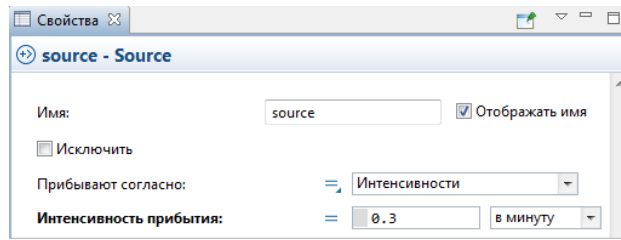


Рисунок 4.5. Свойства блока **source**

3. Перейдите в панель **Свойства** блока *service*. Измените имя на *ПрохождениеРегистрации*.

Измените параметры объекта следующим образом (рис. 4.6):

- ко всем стойкам регистрации будет вести одна общая очередь. Задайте максимальное количество человек в поле **Вместимость очереди**: 20;
- полагаем, что время обслуживания имеет треугольное распределение с минимальным значением равным 2.5, средним – 6, и максимальным – 11 мин. Введите в поле **Время задержки**: triangular (2.5, 11, 6).

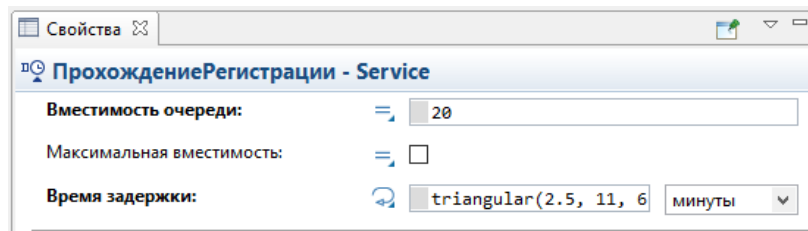


Рисунок 4.6. Свойства блока **service**

Добавление ресурсов для сервиса

1. Откройте **Библиотеку моделирования процессов** в панели **Палитра** и перетащите блок *ResourcePool* на диаграмму агента Main. Объект ResourcePool задает ресурсы определенного типа (в нашей модели это будет персонал, проводящий регистрацию).

2. Поместите его, например, под блоком *service* и перейдите в панель **Свойства**.

3. Назовите объект **Персонал** (рис. 4.7).

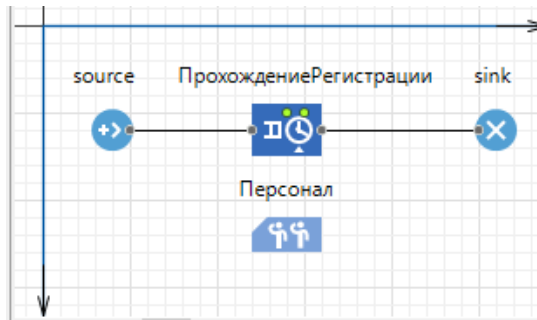


Рисунок 4.7.

4. Задайте количество персонала в поле **Количество ресурсов**: 4 (рис. 4.8).

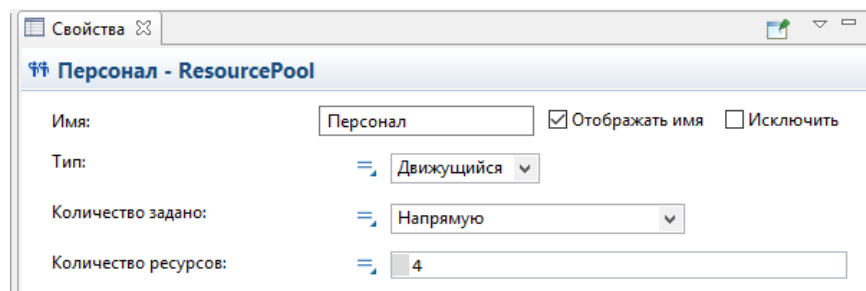


Рисунок 4.8. Свойства блока **ResourcePool**

5. Блок *ResourcePool* указывается в объектах, использующих ресурсы, в нашем случае это блок *ПрохождениеРегистрации*. Поэтому необходимо изменить свойства блока *ПрохождениеРегистрации* диаграммы процесса.

6. Выделите блок *ПрохождениеРегистрации* и перейдите в панель **Свойства**. Выберите опцию Ресурсы одного типа в параметре Захватить ресурсы. Затем укажите блок *Персонал* в параметре Персонал – ResourcePool (рис. 4.9). Его можно выбрать из выпадающего списка подходящих объектов, щелкнув стрелку «вниз», или выбрать фигуру из графического редактора, предварительно щелкнув кнопку справа от параметра (в таком случае все неподходящие объекты в графическом редакторе будут обесцвечены).

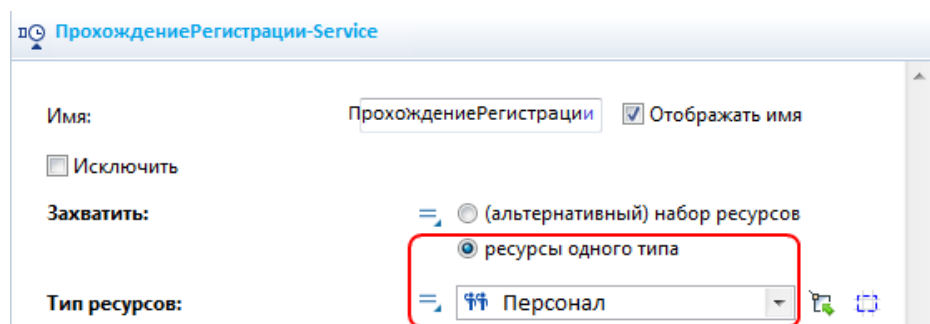


Рисунок 4.9. Свойства блока **service**

4.3. Создание анимации

Добавление фигур разметки пространства заключается в рисовании области для ожидания и мест обслуживания пассажиров персоналом.

Создание фигуры разметки для электронной очереди

1. Нарисуйте место ожидания, используя прямоугольный узел. Вначале откройте палитру **Разметка пространства** панели **Палитра**.

2. Двойным щелчком выделите элемент **Прямоугольный узел** палитры **Разметка пространства**, чтобы перейти в режим рисования.

3. Щелкните мышью в графическом редакторе, чтобы задать вершину верхнего левого угла, затем тащите прямоугольник, не отпуская кнопки мыши. Отпустите, когда прямоугольный узел примет нужную форму. Вы можете отредактировать фигуру и после того, как ее рисование завершено.

4. Назовите эту область *ожиданиеРегистрации* (рис. 4.10).

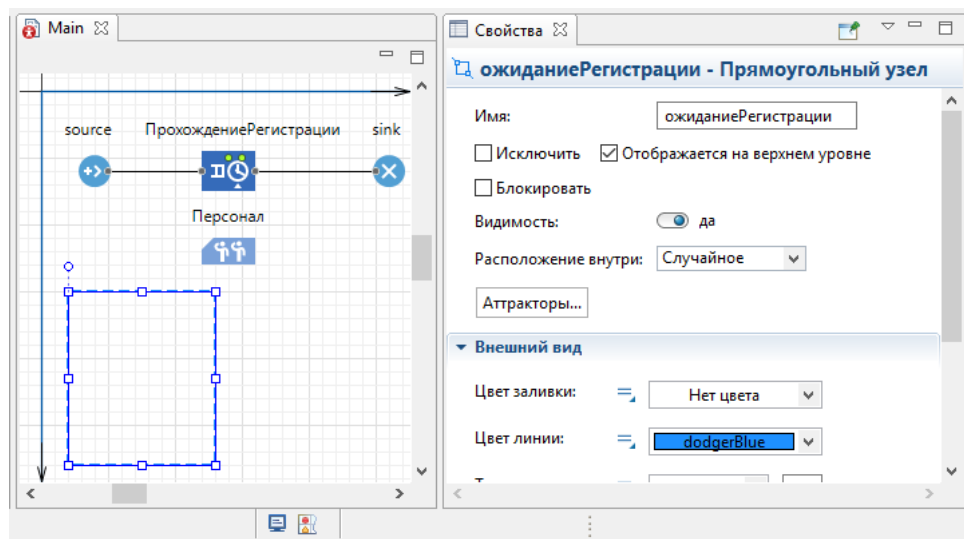


Рисунок 4.10. Область *ожиданиеРегистрации*

5. Выделите щелчком блок *ПрохождениеРегистрации* в диаграмме процесса и перейдите в его свойства.

6. Выберите только что нарисованный нами узел *ожиданиеРегистрации* в параметре **Место агентов (queue)** (рисунок 4.11).

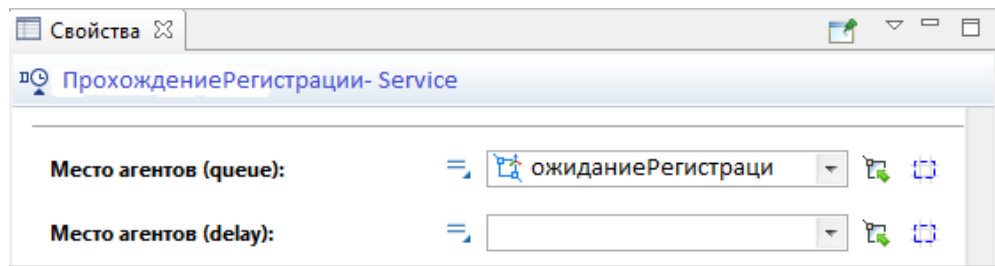



Рисунок 4.11. Добавление области ожидание регистрации в блок **service**

Создание фигуры разметки места обслуживания пассажиров

Пассажирам требуется место, на котором они могли бы находиться во время регистрации. Нарисуйте такую область, используя Прямоугольный узел:

1. Откройте палитру **Разметка пространства** панели **Палитра**.
2. Двойным щелчком выделите элемент Прямоугольный узел  палитры **Разметка пространства**, чтобы перейти в режим рисования.
3. Щелкните мышью в графическом редакторе, чтобы задать вершину верхнего левого угла, затем тащите прямоугольник, не отпуская кнопки мыши. Отпустите, когда прямоугольный узел имеет нужную форму. Вы можете редактировать фигуру и после того, как ее рисование завершено.
4. Назовите эту область *местоРегистрации* (рис. 4.12).

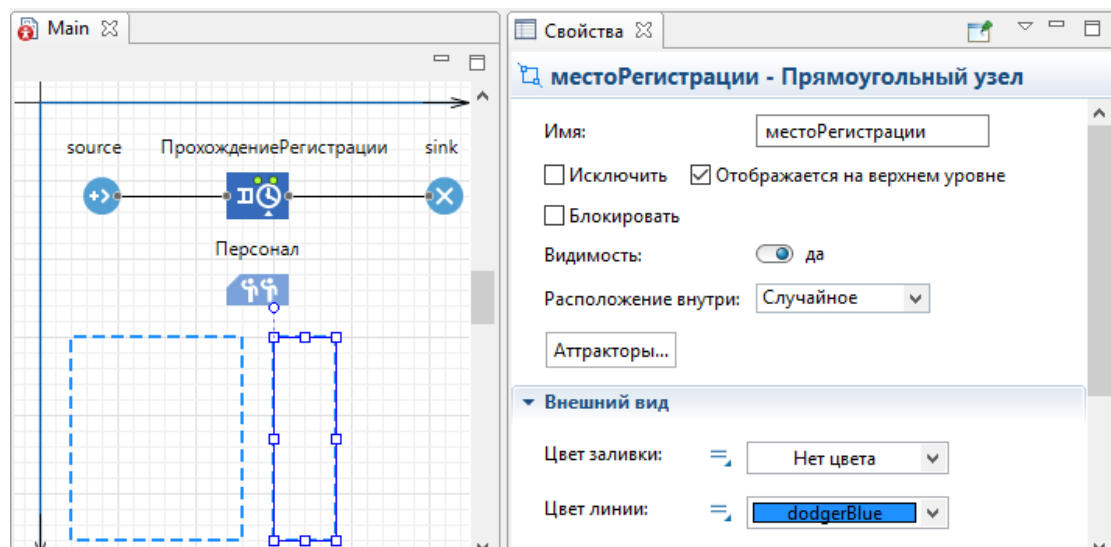


Рисунок 4.12. Создание области местоРегистрации

5. Для задания местоположения пассажиров, которые будут проходить регистрацию, используются аттракторы. Выделите узел *местоРегистрации* в графическом редакторе и щелкните кнопку **Аттракторы** в свойствах узла. В открывшемся окне **Аттракторы** в режиме создания **Количество аттракторов** укажите число 4, затем щелкните кнопку ОК. Вы увидите, что четыре аттрактора появились в узле *местоРегистрации* на равном расстоянии друг от друга (рис. 4.13).

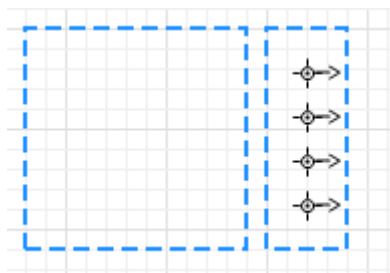


Рисунок 4.13. Добавление аттракторов в область *местоРегистрации*

7. Далее необходимо сослаться на эту фигуру в диаграмме процесса. Щелкните блок *ПрохождениеРегистрации* и перейдите в панель **Свойства** этого блока.

8. Выберите нарисованный узел *местоРегистрации* в параметре Место агентов (delay) (рис. 4.14).

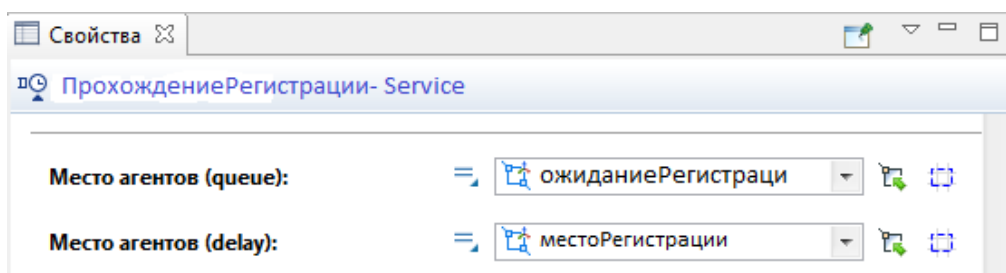


Рисунок 4.14. Добавление элемента *местоРегистрации* в блок *ПрохождениеРегистрации*

Задание фигуры разметки для персонала, осуществляющего регистрацию

Персоналу также требуется место, где они могли бы находиться во время регистрации пассажиров. Для этого используется Прямоугольный узел:

1. Откройте палитру **Разметка пространства** панели **Палитра**.
2. Двойным щелчком выделите элемент **Прямоугольный узел** палитры **Разметка пространства**, чтобы перейти в режим рисования.
3. Щелкните мышью в графическом редакторе, чтобы задать вершину верхнего левого угла. Затем перетащите прямоугольник, не отпуская кнопки мыши. Отпустите, когда прямоугольный узел станет нужной формы. Вы можете редактировать фигуру и после того, как ее рисование завершено.
4. Назовите эту область *регистрация* (рис. 4.15).

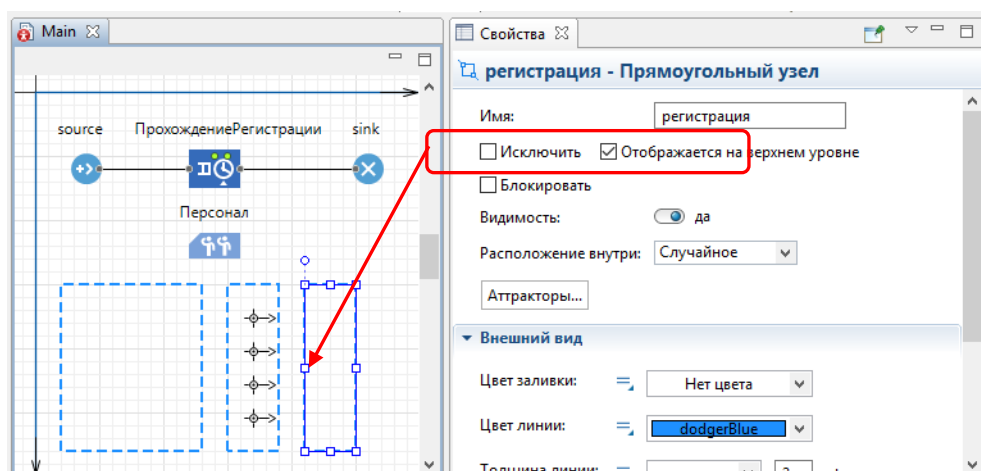


Рисунок 4.15. Задание места персонала для регистрации

5. Для задания местоположения персонала так же используются аттракторы. Выделите узел *регистрация* в графическом редакторе и щелкните кнопку **Аттракторы...** в свойствах узла. В открывшемся окне **Аттракторы** в режиме создания **Количество аттракторов** укажите число 4, затем щелкните кнопку **ОК**.
6. Вы увидите, что четыре аттрактора появились в узле *регистрация* на равном расстоянии друг от друга, но они направлены не в ту сторону. Выделите все аттракторы, нажав клавишу [Shift] и щелкнув по ним мышью, и затем выберите +180.0 в параметре **Ориентация** секции свойств **Местоположение** и размер (рис. 4.16).

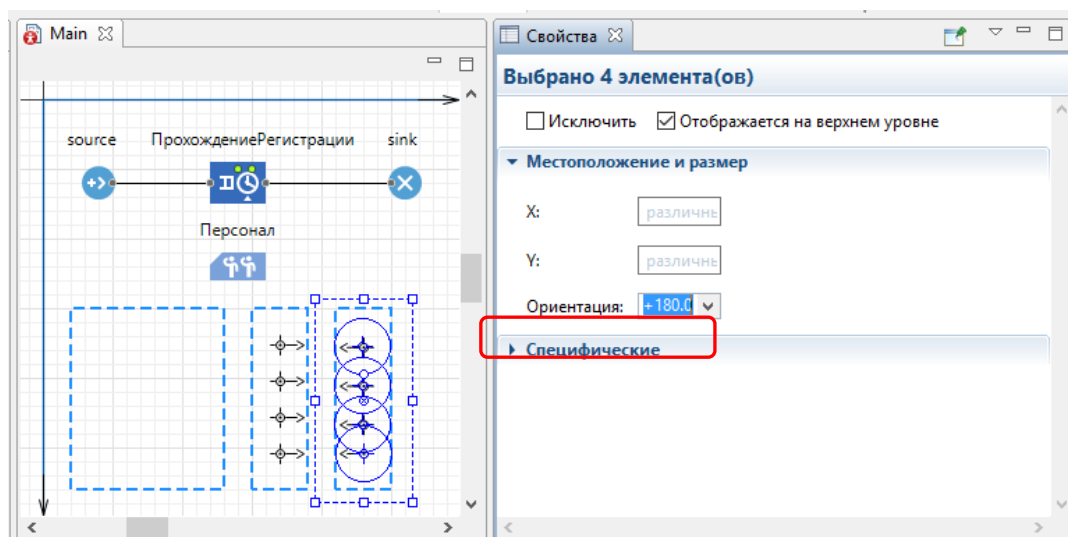


Рисунок 4.16. Задание места положения персонала с помощью аттракторов

7. Щелкните объект *Персонал* в диаграмме процесса и перейдите в его свойства.
8. Выберите нарисованный узел *регистрация* в параметре Базовое местоположение (узлы) (рис. 4.17).

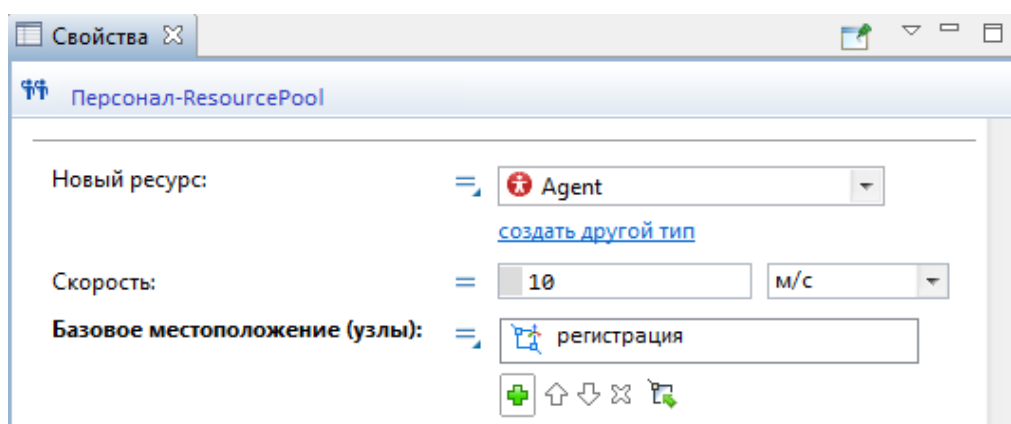


Рисунок 4.17. Задание положения персонала в блоке **Персонал**

9. Запустите модель и наблюдайте, как обслуживаются пассажиры.

Добавление 3D-анимации

Для создания 3D-анимации необходимо добавить на диаграмму типа агента **3D Окно**. Оно используется для задания на диаграмме агента области, в которой во время запуска модели будет отображаться трехмерная анимация модели.

1. Перетащите элемент 3D Окно  из секции **3D** палитры **Презентация** в графический редактор.

2. Вы увидите в графическом редакторе закрашенную серым область (рис. 4.18). Поместите ее туда, где вы хотите видеть 3D-анимацию во время запуска модели.

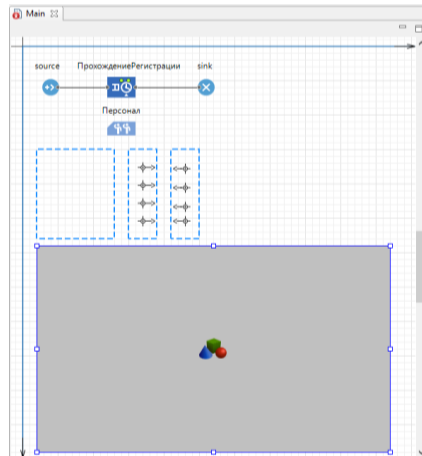


Рисунок 4.18. Примерное положение 3D-окна на диаграмме процесса

3. Запустите модель и опробуйте навигацию по сцене трехмерной анимации.

Примечания:

1. Модель останавливается из-за скопления пассажиров, которые не могут попасть на регистрацию, т. к. временные интервалы были заданы произвольно. Для устранения этого необходимо добавить блок *sink1* и соединить его с блоком *ПрохождениеРегистрации* (рис. 4.19).

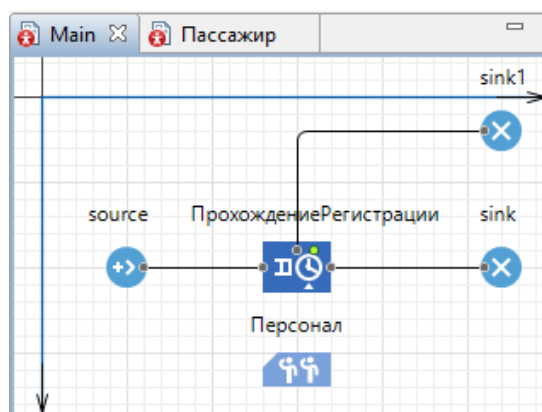


Рисунок 4.19. Изменение диаграммы процесса

2. Выделите блок *ПрохождениеРегистрации*, перейдите в панель *Свойства* и в пункте *Специфические* поставьте галочку у надписи *Разрешить вытеснение* (рис. 4.20).

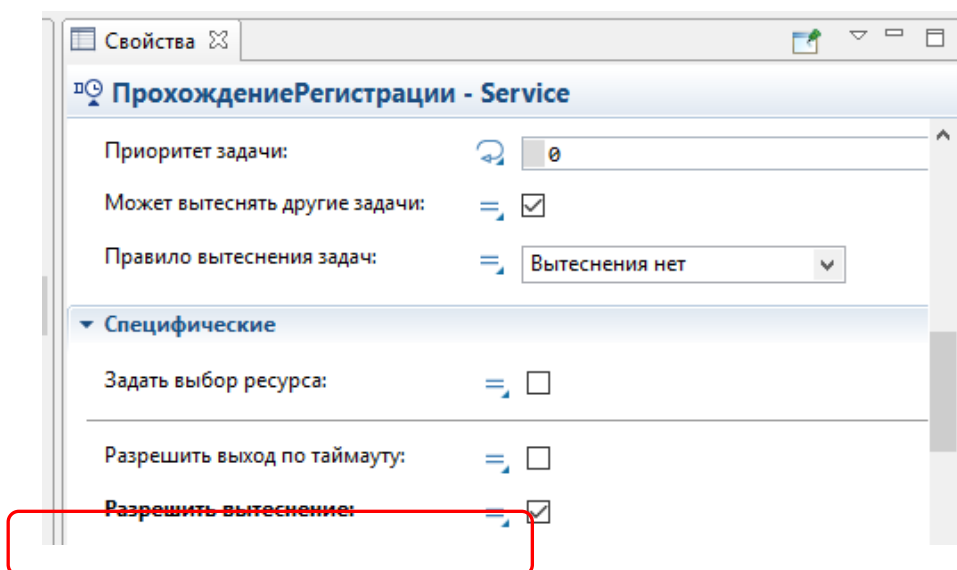


Рисунок 4.20.

3. Запустите модель и убедитесь, что модель останавливается только из-за ограничений на количество создаваемых агентов.

Вы создали простейшую трехмерную анимацию и готовы к тому, чтобы запустить модель и посмотреть на результат проделанной работы.

1. Щелкните кнопку панели инструментов **Показать область...** и выберите [window3D] (рис. 4.21).

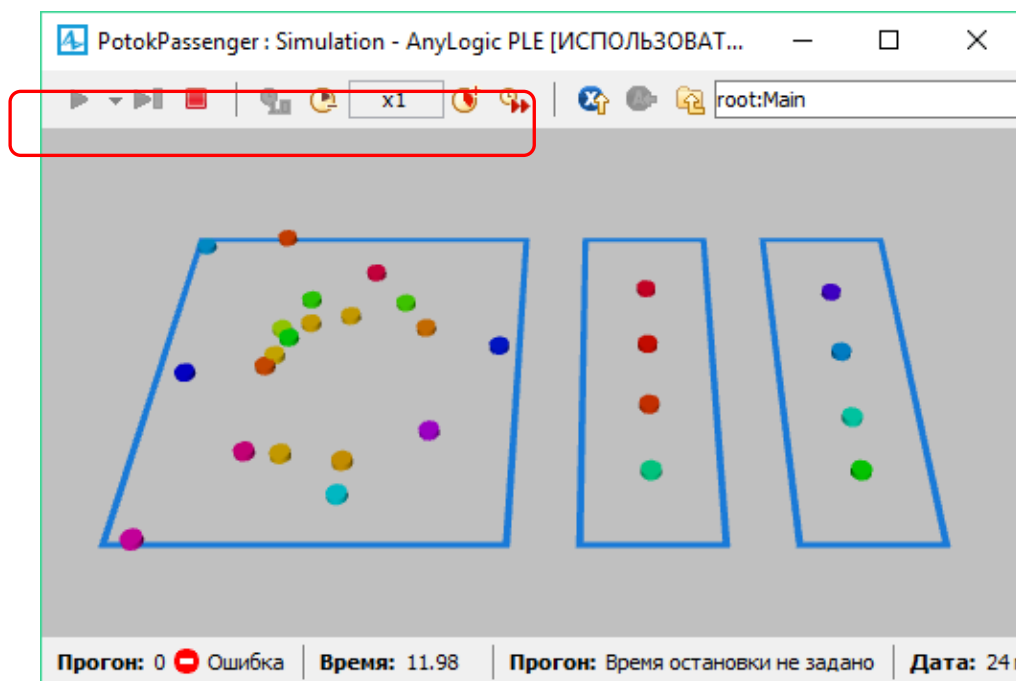


Рисунок 4.21. Результат запуска модели


2. Попробуйте «подвигаться» по трехмерной сцене с помощью описанных ниже команд навигации:

Переместить сцену	<ol style="list-style-type: none">1. Нажмите левую кнопку мыши в области 3D-окна и держите ее нажатой.2. Передвиньте мышь в направлении перемещения
Повернуть сцену	<ol style="list-style-type: none">1. Нажмите клавишу [Alt] и держите ее нажатой.2. Нажмите левую кнопку мыши в области 3D-окна и держите ее нажатой.3. Передвиньте мышь в направлении вращения
Приблизить / отдалить сцену	<ol style="list-style-type: none">1. Покрутите колесо мыши от/на себя в области 3D-окна

Добавление 3D объектов

По умолчанию пассажиры обозначались цветными точками и отображались цветными цилиндрами в 3D-анимации. Для задания нестандартного типа пассажира и выбора для него подходящей фигуры анимации необходимо создать новый тип агента.

Создайте новый тип агента

1. Откройте **Библиотеку моделирования процессов** в панели **Палитра**.
2. Перетащите элемент Тип агента  в графический редактор (рис. 4.22).

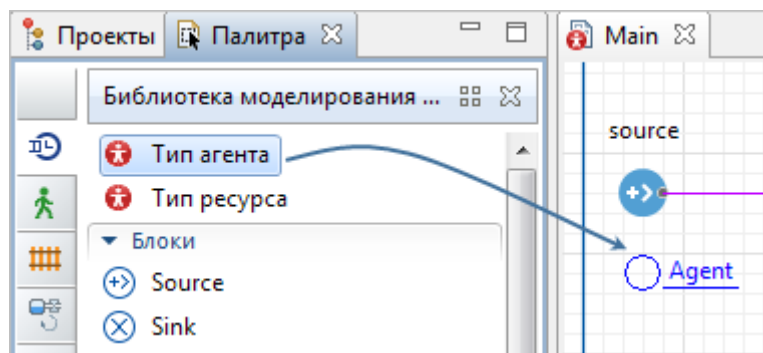


Рисунок 4.22. Добавление нового агента

3. Откроется диалоговое окно **Мастера создания агентов** на шаге Создание нового типа агента (рис. 4.23). Введите *Пассажир* в поле Имя нового типа, оставьте опцию **Создать** новый тип агента «с нуля» выбранной. Нажмите кнопку **Далее**.

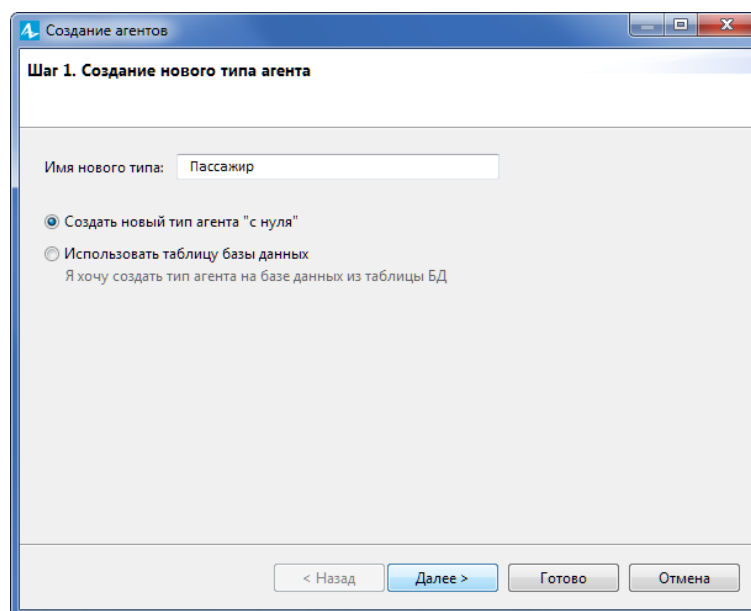


Рисунок 4.23

4. Выберите опцию 3D для типа анимации и фигуру анимации **Человек** из списка 3D-фигур (рис. 4.24).

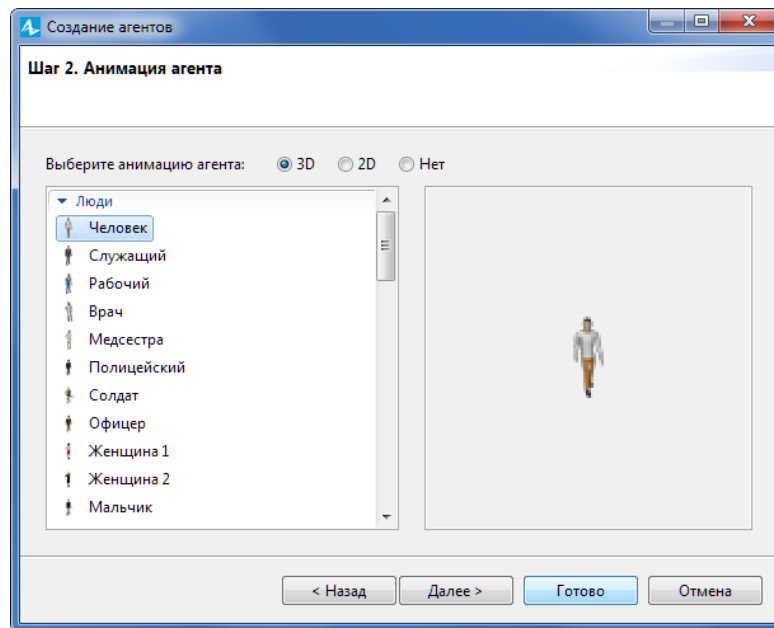


Рисунок 4.24

5. Щелкните по кнопке Готово. Диаграмма нового агента *Пассажир* откроется автоматически. Вы можете найти 3D-фигуру *Человек* в начале координат.

Настройка использования нового типа агентов в блок-схеме

1. На диаграмме Main, выделите блок *source* в графическом редакторе.
2. Выберите тип агента *Пассажир* в выпадающем списке параметра Новый агент (рис. 4.25).

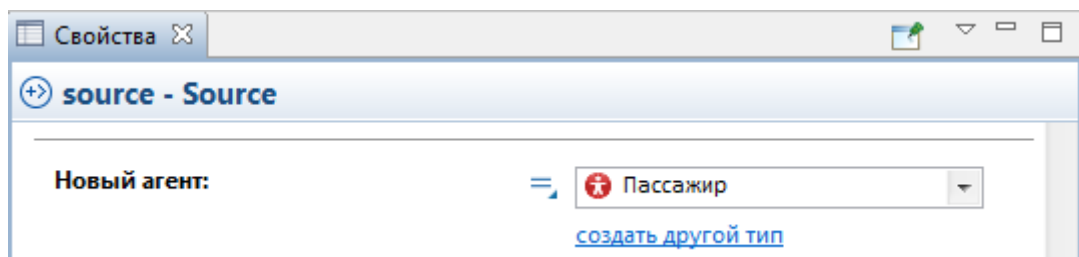


Рисунок 4.25. Добавление агента **Пассажир** в блок **source**

3. Запустите модель, чтобы увидеть анимацию пассажиров (рис. 4.26). Вместо обслуживающего персонала пока видны только цветные цилиндры.

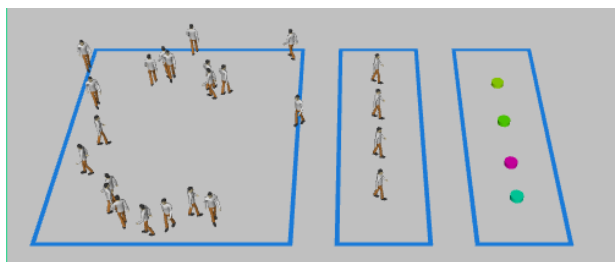



Рисунок 4.26. Пример прогона модели с подключенной фигурой пассажира

4. Аналогично добавьте 3D-фигуры обслуживающего персонала в модель.

Создание нового типа ресурсов

1. Откройте **Библиотеку моделирования процессов** в панели **Палитра**.
2. Перетащите элемент **Тип ресурса**  в графический редактор (рис. 4.27).

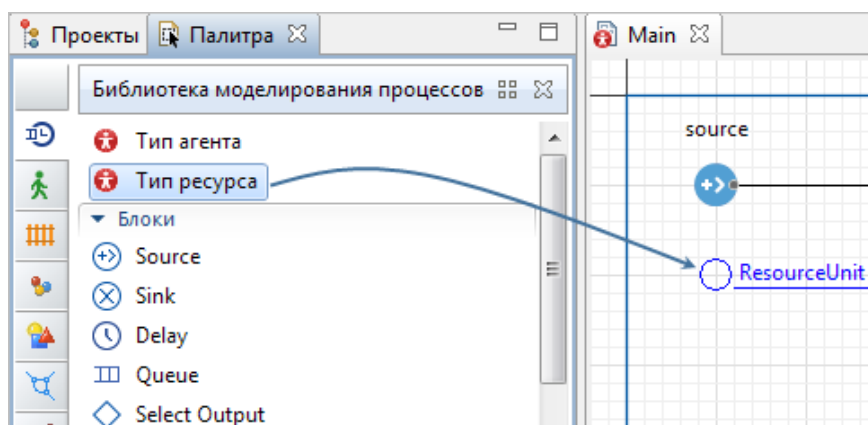


Рисунок 4.27. Добавление элемента **Тип ресурса**

3. Откроется диалоговое окно **Мастера создания агентов** на шаге **Создание нового типа агента**. Введите *Регистратор* в поле **Имя нового типа**, оставьте опцию **Создать** новый тип агента «с нуля» выбранной (рис. 4.28). Нажмите кнопку **Далее**.

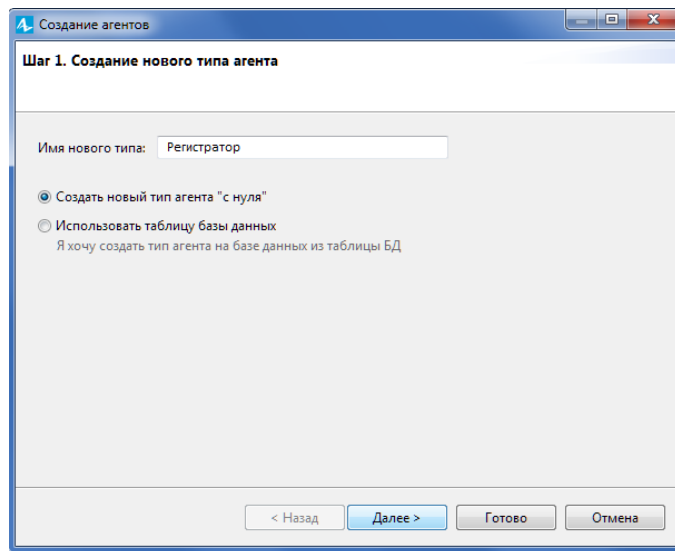


Рисунок 4.28. Окно мастера создания агентов

4. Выберите опцию 3D для типа анимации и фигуру анимации *Служащий* из списка 3D фигур (рис. 4.29).

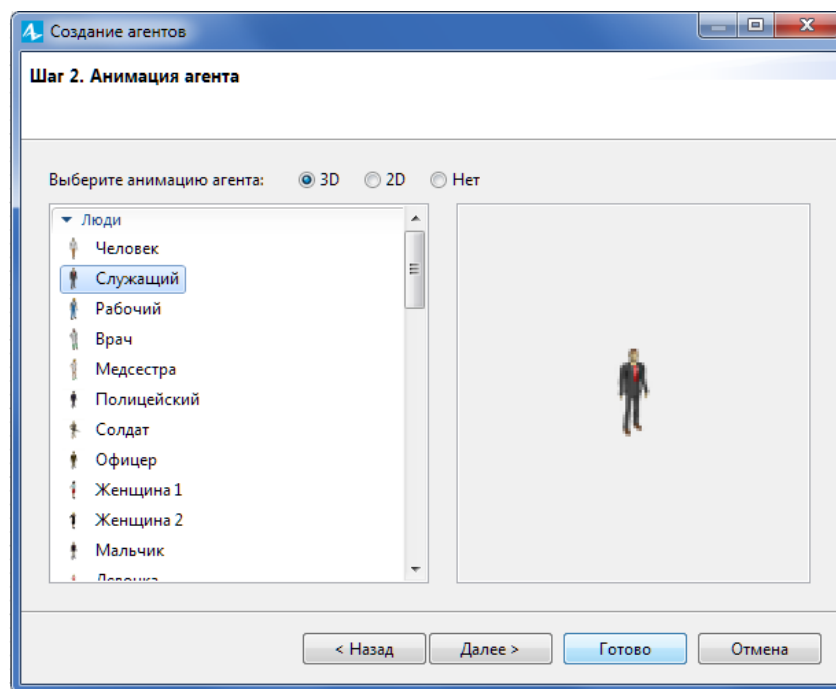


Рисунок 4.29. Выбор фигуры анимации персонала

5. Щелкните по кнопке Готово. Новая диаграмма Регистратор автоматически откроется. Вы можете найти 3D-фигуру *Служащий* в начале координат. Переключитесь обратно на диаграмму Main.

Настройка использования нового типа ресурсов в блок-схеме

1. На диаграмме Main, выделите блок *Персонал* в графическом редакторе.
2. Выберите тип ресурсов *Регистратор* в выпадающем списке параметра Новый ресурс (рис. 4.30).

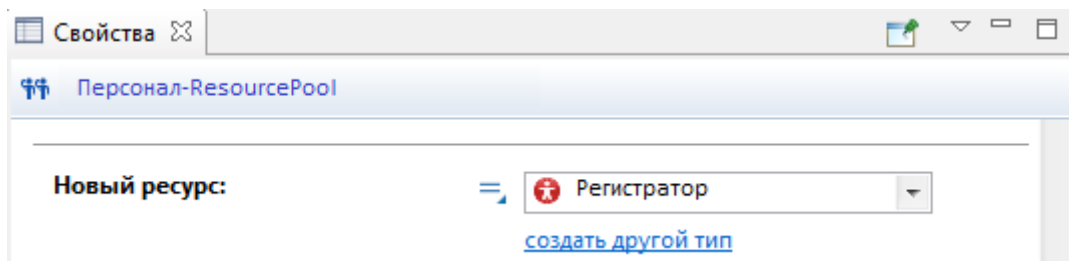


Рисунок 4.30. Добавление типа ресурсов в блок персонал

3. Запустите модель, чтобы увидеть созданную анимацию.

Добавление столов для регистрации

1. Откройте **3D-Объекты** в панели **Палитра**.
2. Перетащите четыре 3D-фигуры Стол из секции палитры **Офис** в графический редактор и поместите их в узел *регистрация*.
3. Расположите столы на аттракторах, т. к. аттракторы обозначают место, где стоит персонал (рис. 4.31).

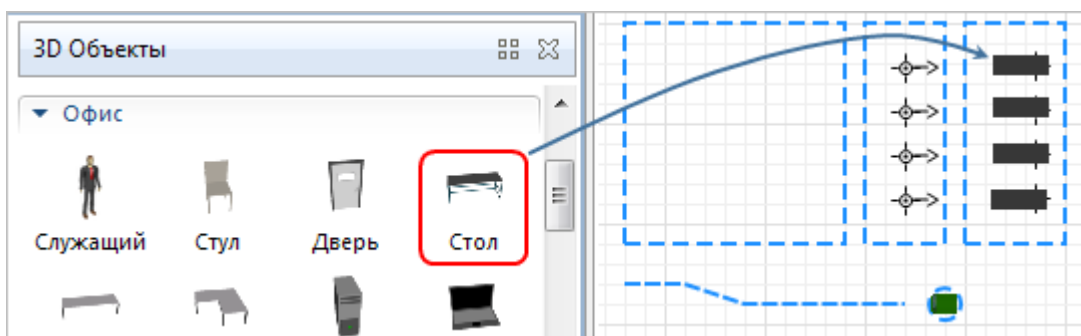


Рисунок 4.31. Добавление столов для регистрации

4. Вы заметите, что они стоят не той стороной к персоналу. Выделите все столы, нажав клавишу **[Shift]** и щелкнув по ним мышью, и перейдите в их свойства.
5. В секции **Расположение** измените параметр **Поворот Z: -90.0°**.
6. При необходимости, выровняйте расположение всех восьми аттракторов и столов (рис. 4.32).

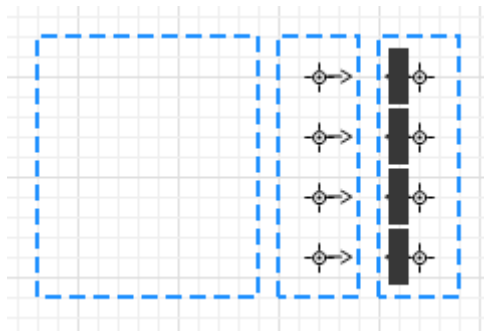


Рисунок 4.32

7. Запустите модель и просмотрите в 3D-анимации, как пассажиры идут на регистрацию (рис. 4.33).

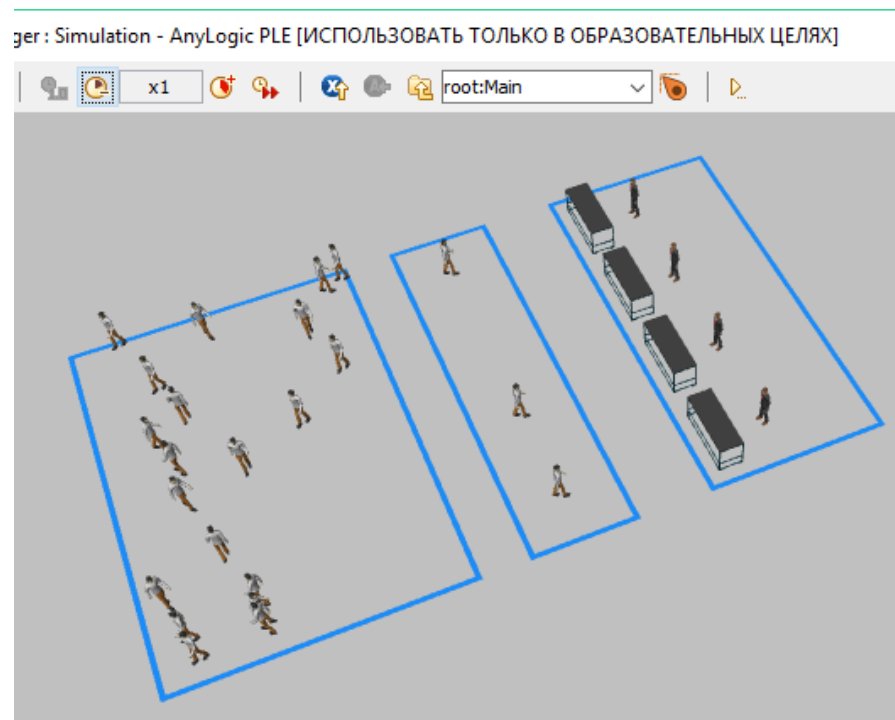


Рисунок 4.33. Результат прогона модели с подключенной 3d анимацией

4.4. Добавление статистики модели

AnyLogic предоставляет пользователю удобные средства для сбора статистики по работе блоков диаграммы процесса. Объекты **Библиотеки моделирования процессов** самостоятельно производят сбор основной статистики. Все, что вам нужно сделать – включить сбор статистики для объекта.

Просмотр статистики осуществляется с помощью диаграмм.

Сбор статистики использования ресурсов

Добавление диаграммы для отображения средней занятости

регистраторов

1. Откройте палитру **Статистика**. Палитра содержит элементы сбора данных и статистики, а также диаграммы для визуализации данных и результатов моделирования. Перетащите элемент **Столбиковая диаграмма** из палитры **Статистика** на диаграмму (рис. 4.34).

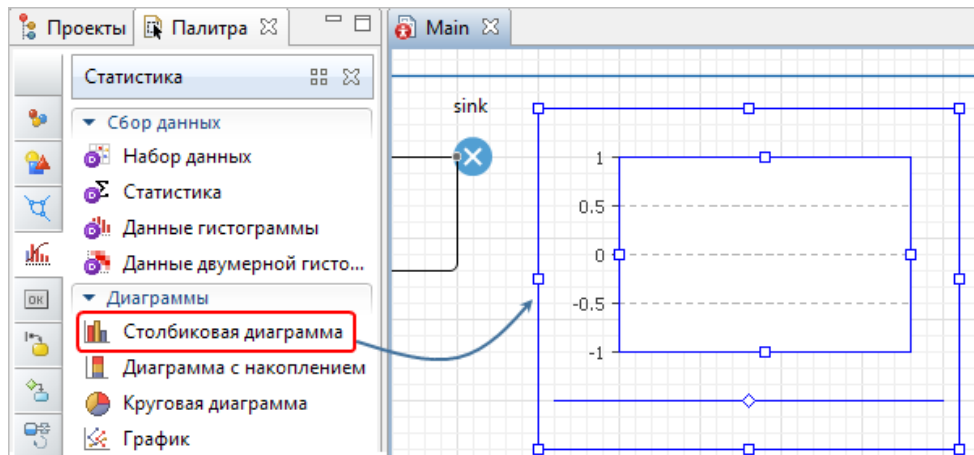



Рисунок 4.34. Добавление столбиковой диаграммы

2. Перейдите в секцию **Данные** свойств столбиковой диаграммы. Щелкните кнопку **Добавить элемент данных** , чтобы задать данные для отображения в диаграмме.

3. Измените Заголовок на *Количество стоек*.

4. Введите *ПрохождениеРегистрации.utilization()* в поле **Значение** (рис. 4.35). Здесь *ПрохождениеРегистрации* – это имя нашего объекта. У него есть встроенный набор данных *utilization()*, занимающийся сбором статистики использования объекта. Возвращает средний коэффициент загрузки блока.

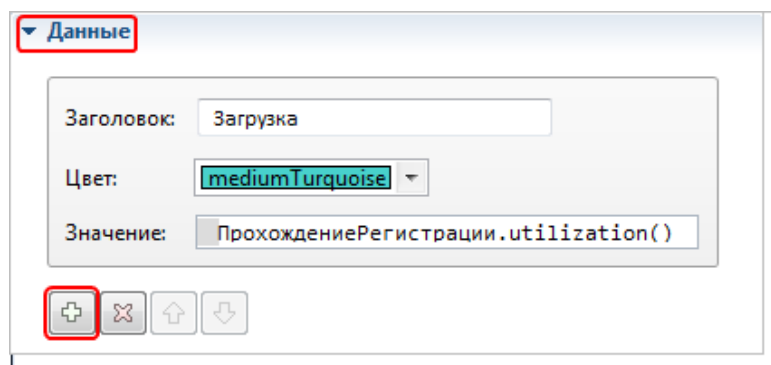


Рисунок 4.35

5. Перейдите в секцию **Легенда** панели **Свойства**. Измените расположение легенды относительно диаграммы (по вашему усмотрению) (рис. 4.36).

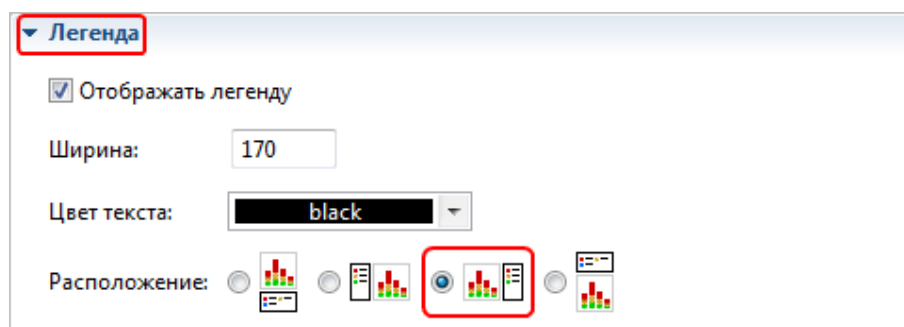


Рисунок 4.36

6. Измените ее размер.

Добавление диаграммы для отображения количества пассажиров в очереди

1. Аналогичным образом добавьте еще одну столбиковую диаграмму.
2. Перейдите в секцию **Внешний вид** панели **Свойства** и выберите последнюю опцию параметра **Направление столбцов**, чтобы столбцы столбиковой диаграммы смотрели влево. Измените положение легенды в секции **Легенда** (как показано на рис. 4.37).

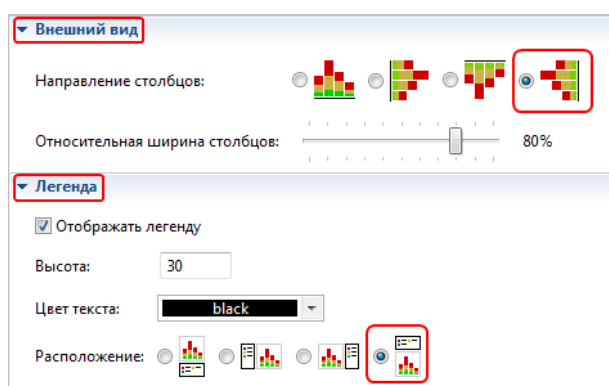


Рисунок 4.37

3. Добавьте элемент данных, который будет отображаться на диаграмме, в секции **Данные**. Задайте **Заголовок** *Очередь* и задайте **Значение** *ПрохождениеРегистрации.queueSize()* (рис. 4.38). Здесь *queueSize* – имя объекта типа «статистика» *StatisticsContinuous*, производящего сбор статистики размера очереди объекта *ПрохождениеРегистрации*.

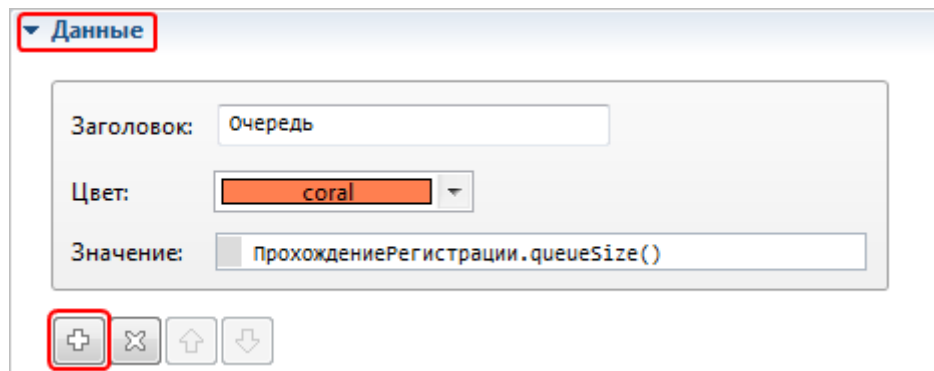


Рисунок 4.38

4. Запустите модель и наблюдайте за занятостью персонала и длиной очереди с помощью только что созданных диаграмм (рис. 4.39).

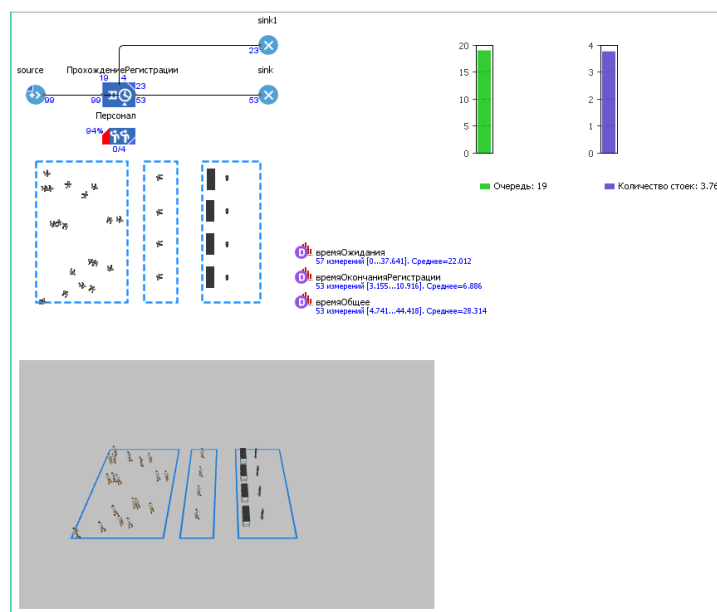


Рисунок 4.39. Результат работы модели с подключенными столбиковыми диаграммами

Сбор статистики по времени обслуживания

Важно знать, сколько времени пассажир проводит на регистрации и сколько времени теряет в ожидании своей очереди. Собрать статистику можно с помощью специальных объектов сбора данных, а отобразить распределение времени обслуживания пассажиров с помощью гистограмм. Для этого нужно использовать ранее созданный тип агента *Пассажир*. Вначале необходимо добавить четыре параметра в модель.

Добавление параметров

1. Переключитесь в панель **Проекты**. Дважды щелкните по типу агента *Пассажир*, чтобы открыть его диаграмму. Необходимо создать параметры на диаграмме агента *Пассажир* для сбора статистики пассажиров по времени их обслуживания.

2. Откройте палитру **Основная** в панели **Палитра**.

3. Перетащите два элемента Параметр  на диаграмму *Пассажир*.

4. Назовите параметры началоОбслуживания, началоОжиданияВочереди, началоРегистрации, времяРегистрации, оставьте тип double, заданный по умолчанию (рис. 4.40).

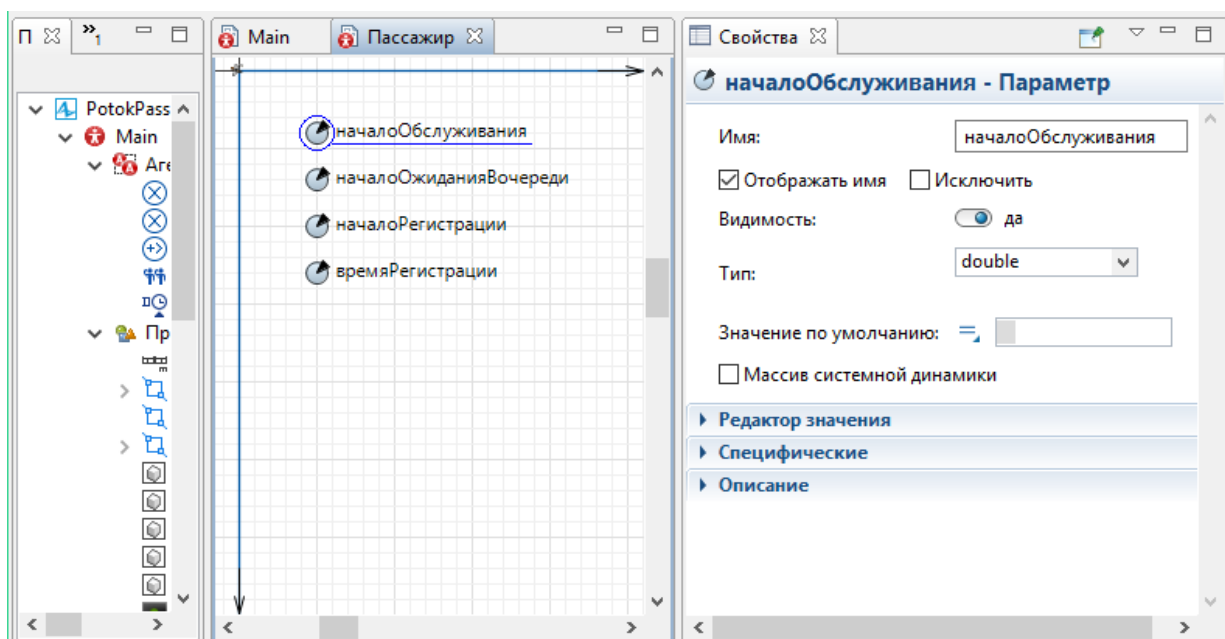


Рисунок 4.40. Добавление параметров на диаграмму **Пассажир**

5. Продолжите разрабатывать модель на диаграмме **Main**.

Добавьте элементы сбора статистики по времени ожидания пассажиров в очереди, времени непосредственно регистрации и времени пребывания пассажиров в системе. Эти элементы будут запоминать соответствующие значения для каждого пассажира и предоставят пользователю стандартную статистическую информацию: среднее, минимальное, максимальное из измеренных значений, среднеквадратичное отклонение, доверительный интервал для среднего и т. д.).

Добавление элементов сбора данных

1. Чтобы добавить объект сбора данных гистограммы на диаграмму, перетащите элемент Данные гистограммы с палитры **Статистика** на диаграмму агента Main (рис. 4.41).

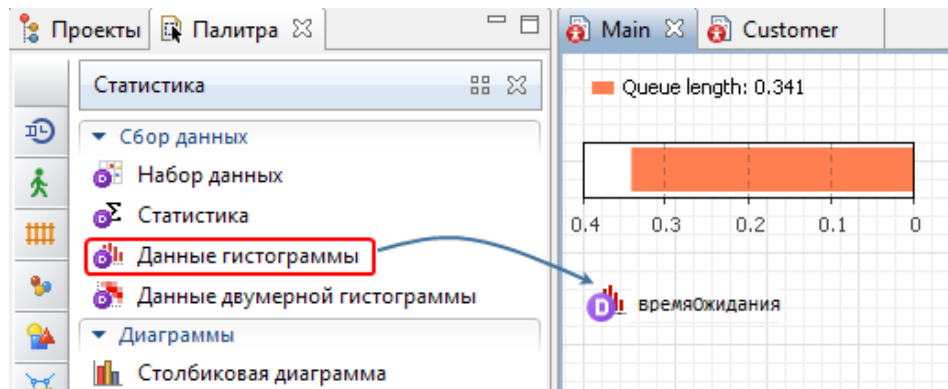


Рисунок 4.41. Добавление элемента **Данные гистограммы**

2. Задайте свойства элемента (рис. 4.42):

- измените Имя на *времяОжидания*;
- сделайте Количество интервалов равным 60;
- задайте Начальный размер интервала: 1.

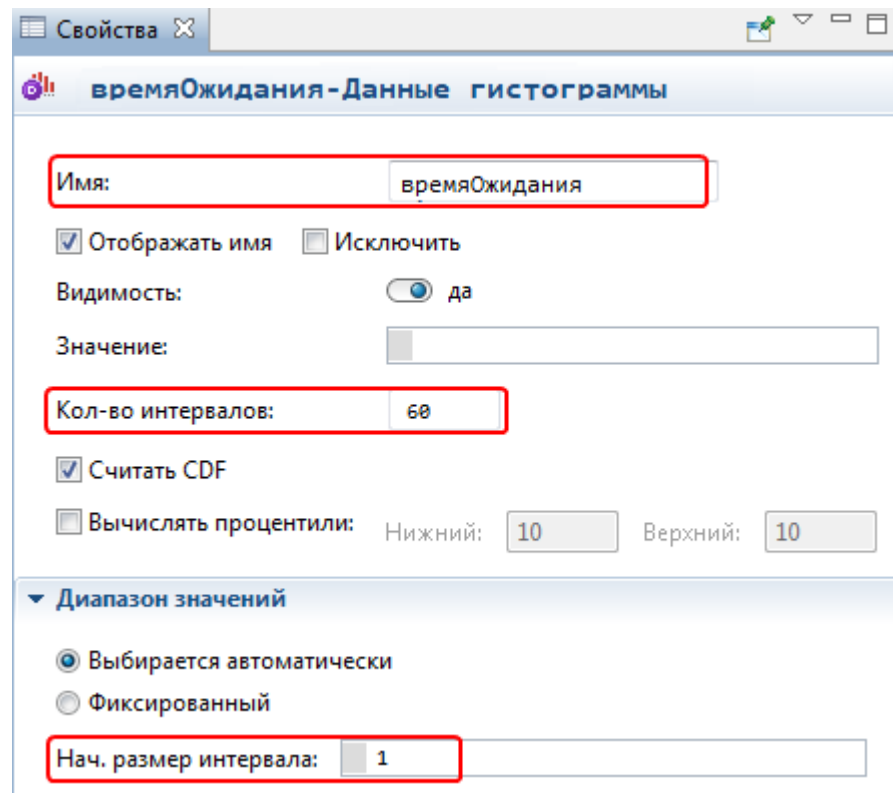


Рисунок 4.42

3. Создайте элемент сбора данных гистограммы. Нажав кнопку [Ctrl] (Mac OS: [Cmd]) перетащите только что созданный объект данных гистограммы, чтобы создать его копию. Измените Имя этого элемента на *времяОкончанияРегистрации* (рис. 4.43).

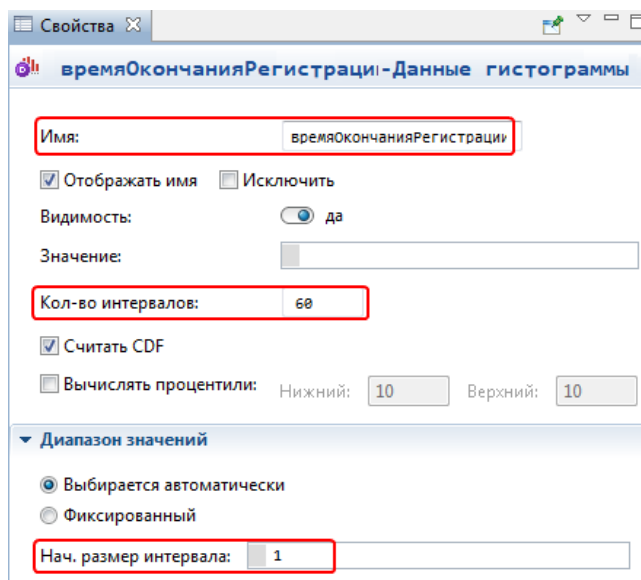


Рисунок 4.43

4. Создайте элемент сбора данных гистограммы. Нажав кнопку [Ctrl] (Mac OS: [Cmd]) перетащите только что созданный объект данных гистограммы, чтобы создать его копию. Измените Имя элемента на *времяОбщее* (рис. 4.44).

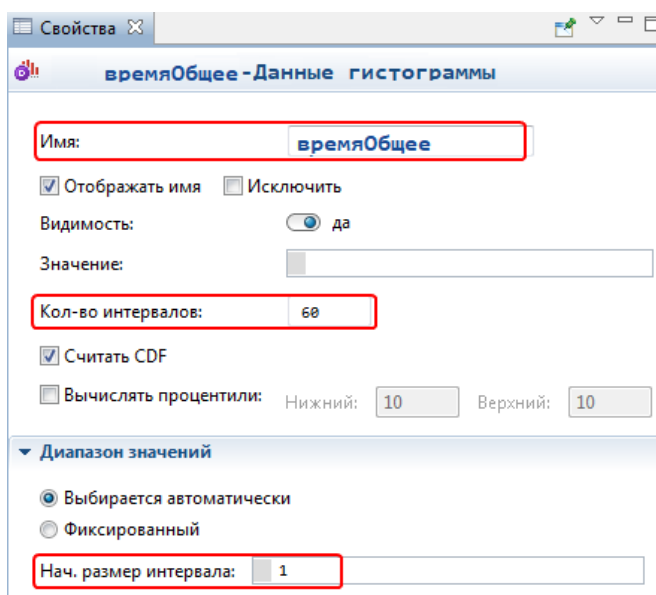


Рисунок 4.44

Изменение свойства блоков диаграммы процесса

1. Измените свойства объекта *source*:

– убедитесь, что тип агента *Пассажир* указан в поле *Новый агент*. Этот объект должен продолжать создавать агентов типа *Пассажир*;

– введите `agent.началоОбслуживания = time();` в поле действия *При выходе* в секции *Действия* (рис. 4.45). Этот код будет сохранять время создания агента-пассажира в переменной *началоОбслуживания* типа агента *Пассажир*. Функция `time()` возвращает текущее значение модельного времени.

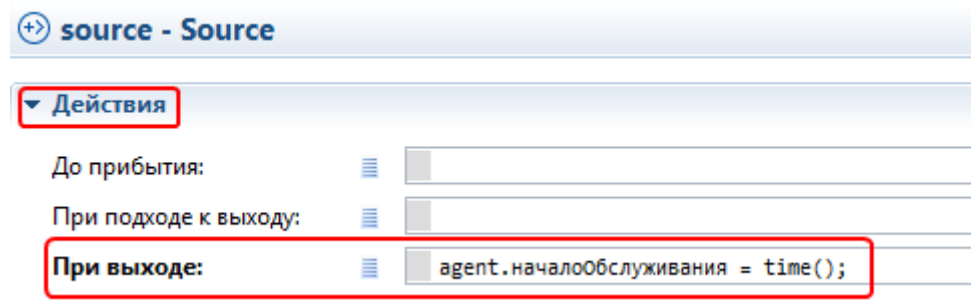


Рисунок 4.45

2. Измените свойства объекта *прохождениеРегистрации* (рис. 4.46):

– введите `agent.началоОжиданияВочереди = time ();` в поле действия *При входе* в секции *Действия*. Этот код запоминает время начала ожидания пассажиром его очереди на обслуживание в переменной *началоОжиданияВочереди* типа агента *Пассажир*;

– Введите `времяОжидания.add(time()-agent.началоОжиданияВочереди); agent.началоРегистрации = time();` в поле действия *При начале задержки*. Этот код добавляет время, в течение которого пассажир ожидал обслуживания, в объект сбора данных *началоОжиданияВочереди* и устанавливает переменной *началоРегистрации* время начала регистрации пассажира;

– введите `времяОкончанияРегистрации.add(time () – agent.начало Регистрации);` в поле *При выходе*. Этот код устанавливает время окончания регистрации переменной *времяОкончанияРегистрации*.

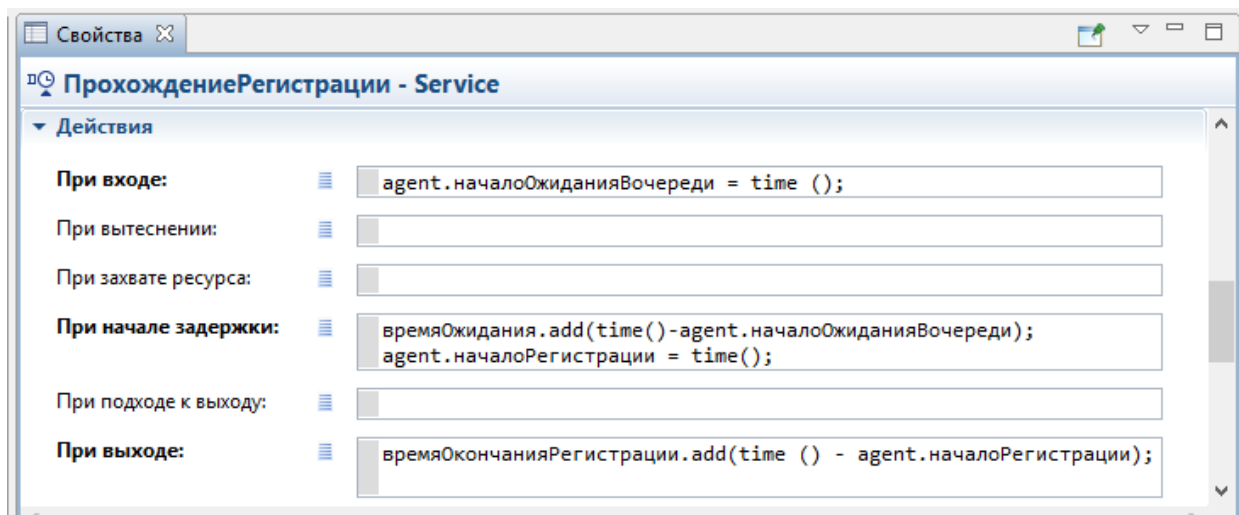


Рисунок 4.46

3. Измените свойства объекта *sink* (рис. 4.47). Введите *времяОбщее.add(time() – agent.началоОбслуживания);* в поле действия При входе в секции Действия. Этот код добавляет полное время пребывания пассажира в объект сбора данных гистограммы *времяОбщее*.

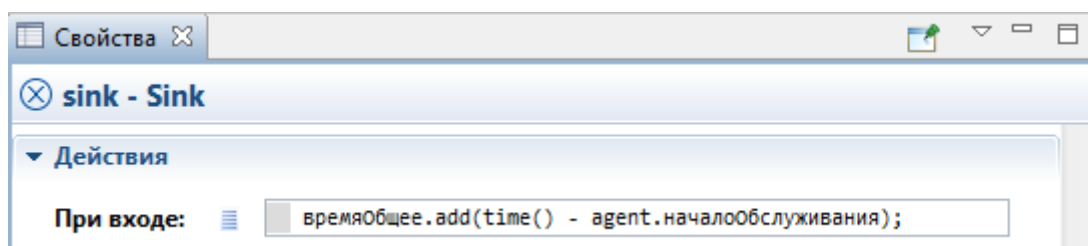


Рисунок 4.47

4. Запустите модель и просмотрите статистику с помощью окон **инспекта**. Их можно открыть, щелкнув мышью по значку объекта сбора данных. Здесь Вы увидите стандартные для статистического анализа данные, приведенные для значений, собранных в данном объекте сбора статистики (рис. 4.48).

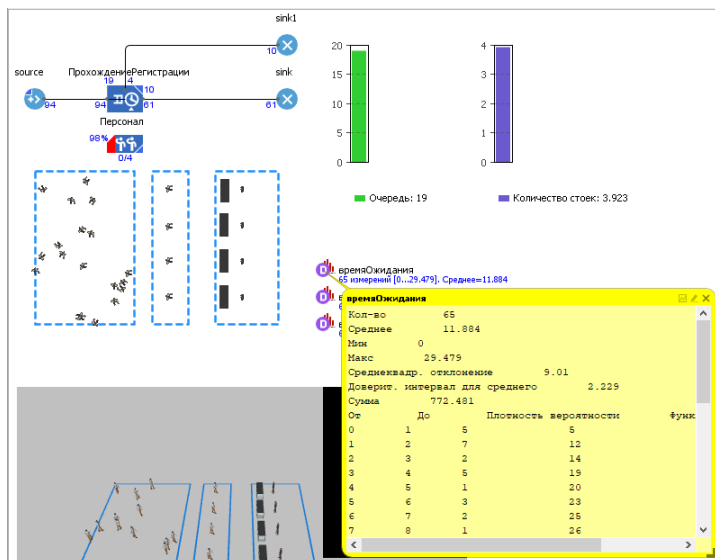


Рисунок 4.48. Просмотр статистики с помощью окон инспекта

Добавление трех гистограмм для отображения распределений времени ожидания пассажира, времени регистрации и общего времени пребывания пассажира в системе

1. Перетащите элемент Гистограмма из палитры Статистика в то место графического редактора, куда Вы хотите ее поместить (рис. 4.49). Измените размер при необходимости.

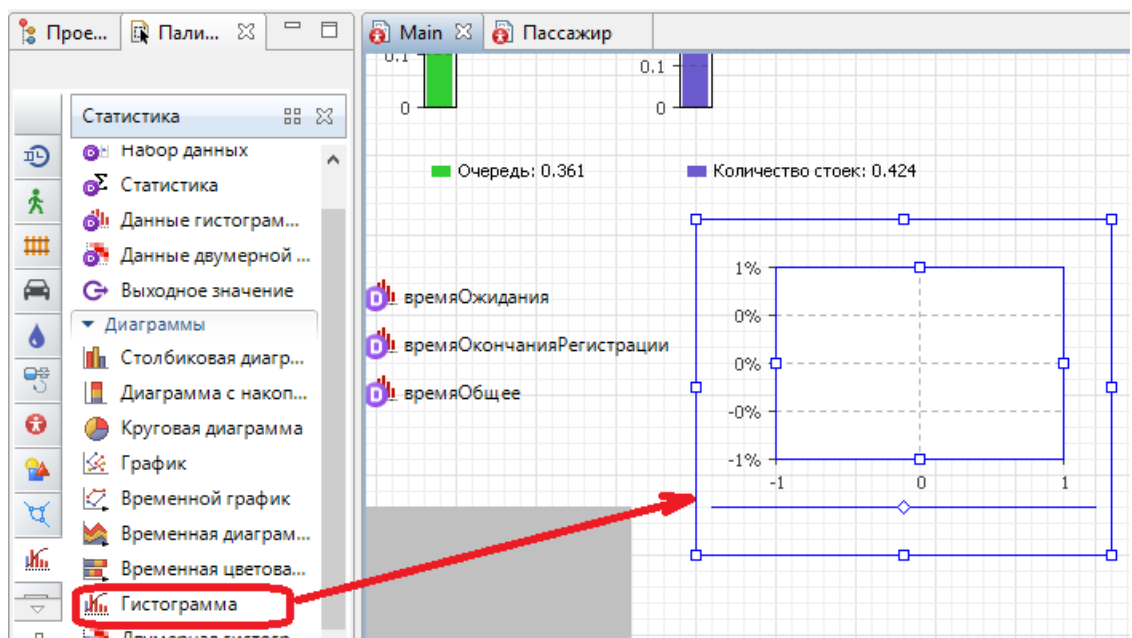



Рисунок 4.49. Добавление гистограммы на диаграмму процесса

2. Укажите, какой элемент сбора данных хранит данные, которые Вы хотите отображать на гистограмме: в секции Данные свойств гистограммы

щелкните мышью по кнопке **Добавить данные**  и измените Заголовок отображаемых данных на *Время в очереди*. Введите в поле Данные имя соответствующего элемента: *времяОжидания* (рис. 4.50).

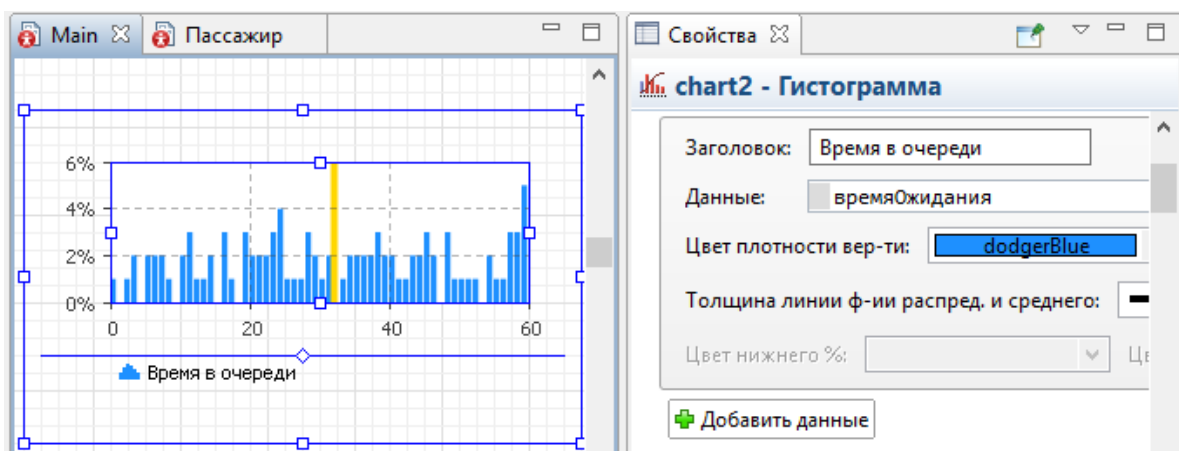


Рисунок 4.50

3. Добавьте вторую гистограмму и расположите ее под предыдущей. Измените Заголовок отображаемых данных на *Время регистрации*. В поле Данные введите имя элемента, хранящего данные, которые будут отображаться на гистограмме *времяОкончанияРегистрации* (рис. 4.51).

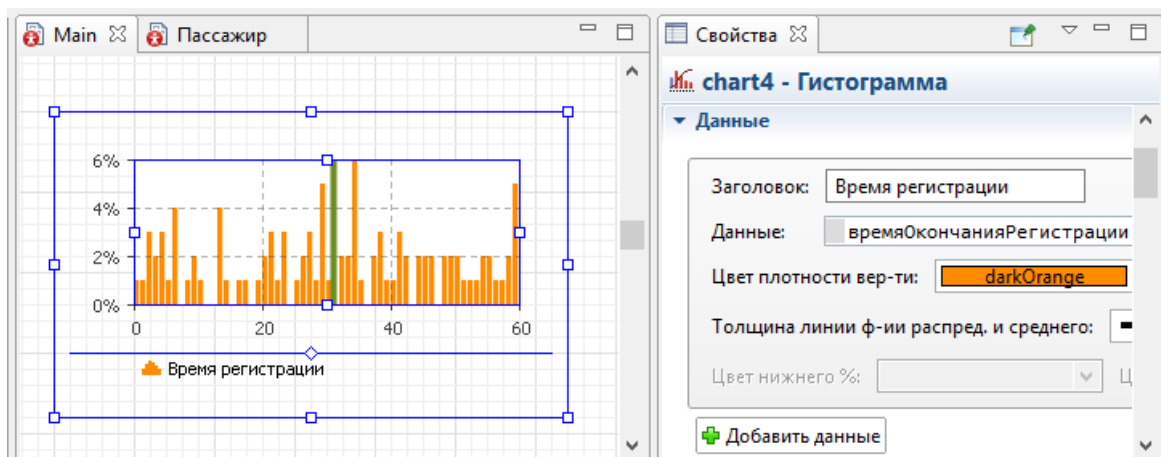


Рисунок 4.51

4. Добавьте третью гистограмму и расположите ее под ранее добавленными. Измените Заголовок отображаемых данных на *Общее время обслуживания*. В поле Данные введите имя элемента, хранящего данные, которые будут отображаться на гистограмме: *времяОбщее* (рис. 4.52).

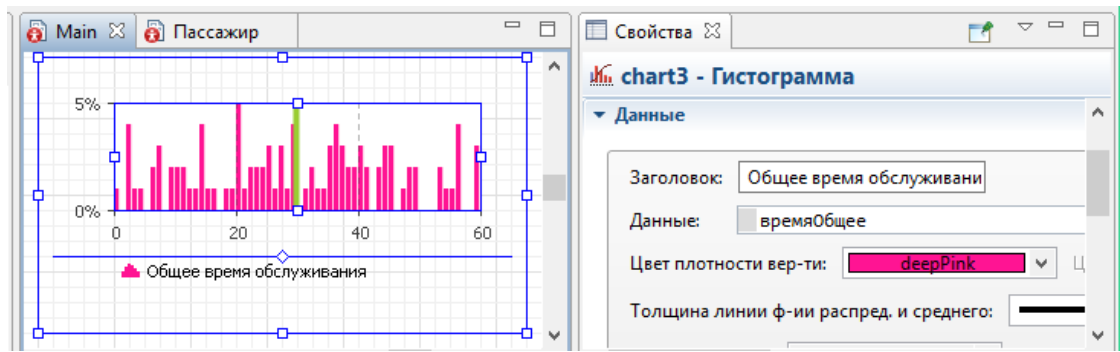


Рисунок 4.52

Примечание. Для отображения среднего значения в каждой гистограмме поставьте галочку *Отображать среднее*. Толщину линии поставьте 4 (рис. 4.53).

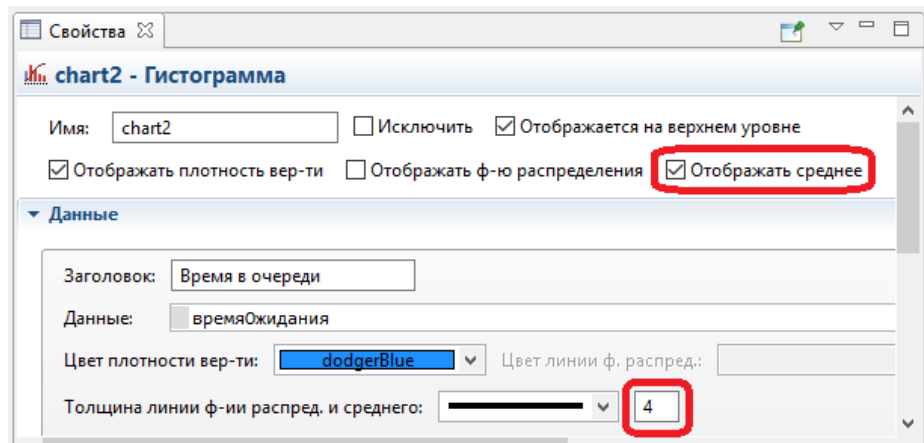


Рисунок 4.53

5. Запустите модель. Понаблюдайте за тем, какой вид примет распределение времени ожидания и пребывания пассажира в системе (рис. 4.54).

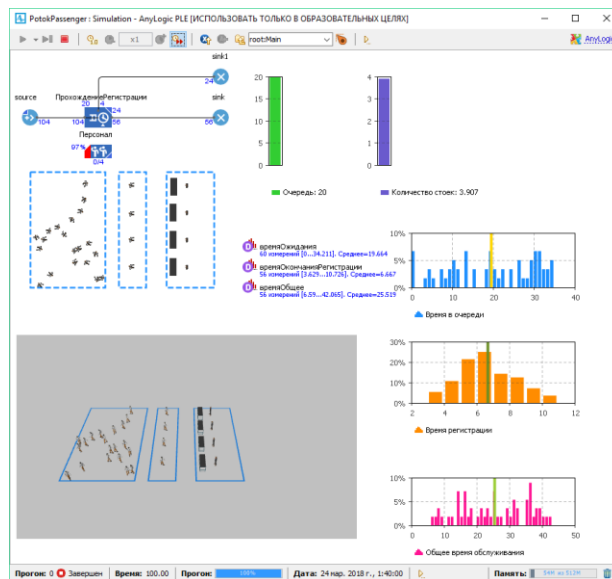


Рисунок 4.54. Результат работы модели

6. Проведите эксперименты, изменяя количество стоек регистрации, интенсивность прибытия пассажиров.

Контрольные вопросы

1. Определение понятия «имитационная модель».
2. Основные этапы имитационного моделирования.
3. Типы моделирования, поддерживаемые программой AnyLogic.
4. Какой тип моделирования использовался при построении модели?
5. Назовите структурные элементы созданной модели и их назначение.
6. Какие результаты получены при моделировании?
7. Назовите цель проведенного исследования.

5. МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПАССАЖИРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕШЕХОДНОЙ БИБЛИОТЕКИ

Рассмотрим процесс создания модели пассажиропотока в аэропорту.

Создадим модель. Для этого необходимо последовательно выбрать пункты меню **Файл** → **Создать** → **Модель** (рис. 5.1):

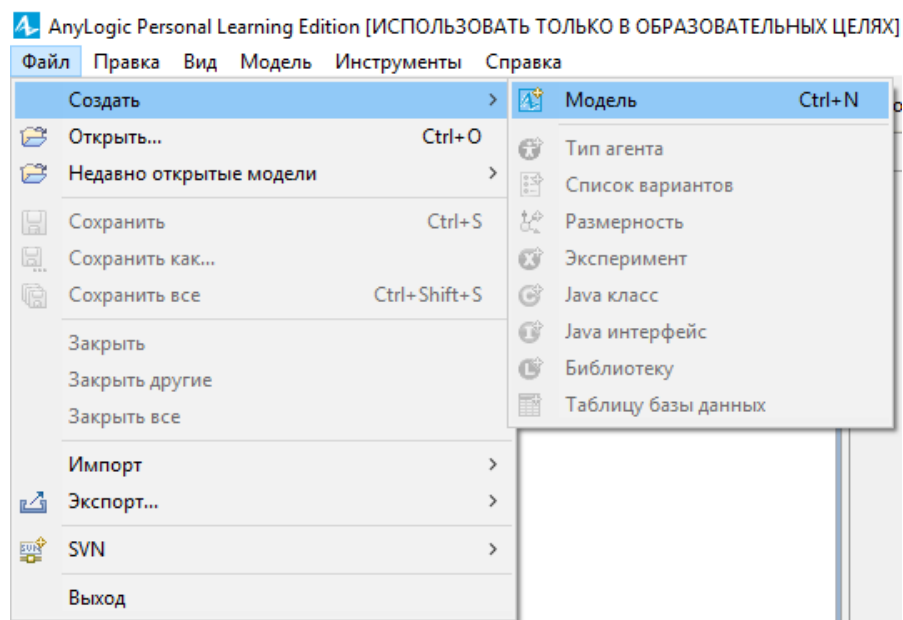


Рисунок 5.1. Последовательность создания новой модели

По окончании описанных действий откроется диалоговое окно, в котором необходимо ввести имя создаваемой модели и ее местоположение (рис.5.2):

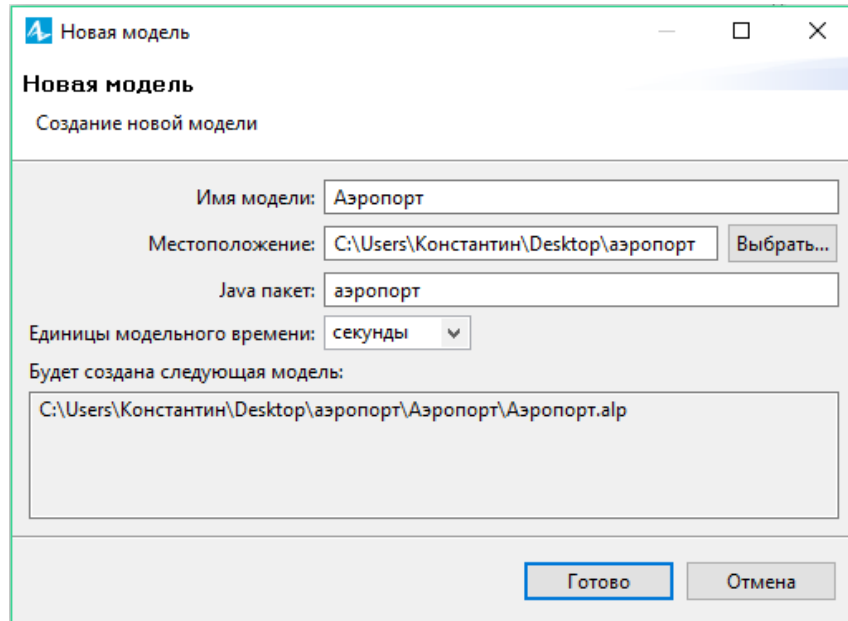


Рисунок 5.2. Окно создания новой модели

После нажатия кнопки **Готово** создается проект модели (рис. 5.3):

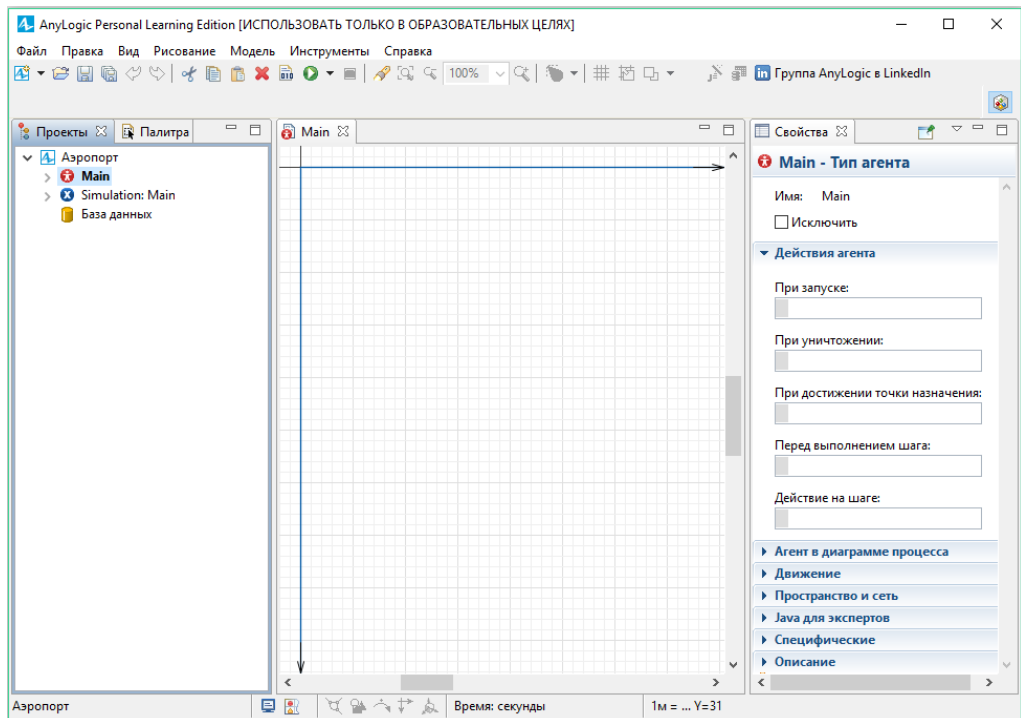


Рисунок 5.3. Проект создаваемой модели Аэропорт

В качестве подложки необходимо поместить план здания аэропорта (рисунок создается заранее в формате png).

На вкладке **Палитра** выбираем библиотеку **Презентация** → **Изображение** и, удерживая левую кнопку мыши, перетаскиваем элемент **Изображение** в окно графического редактора в начало координат (рис. 5.4):

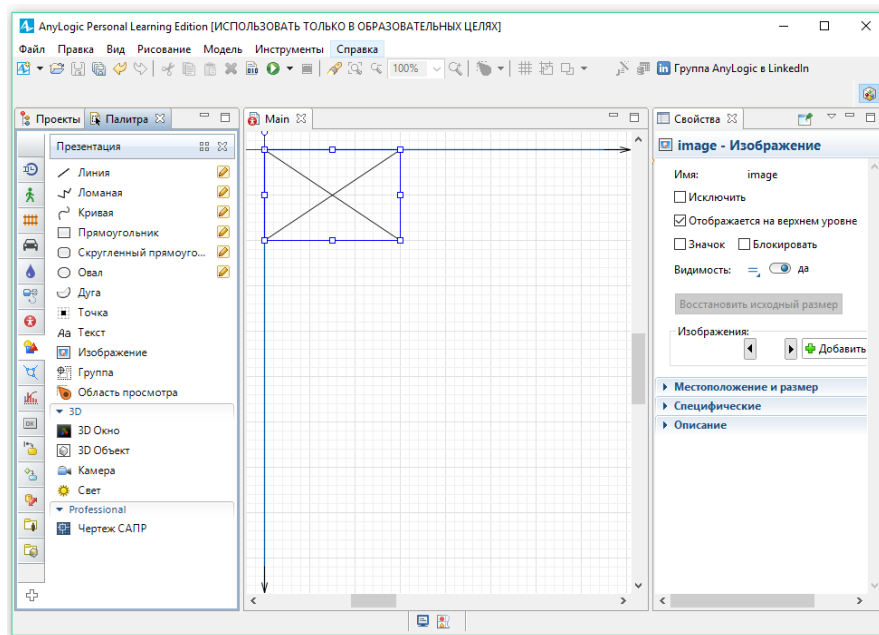


Рисунок 5.4. Вставка пустого изображения

Нажимаем кнопку **Добавить** (рис. 5.5):

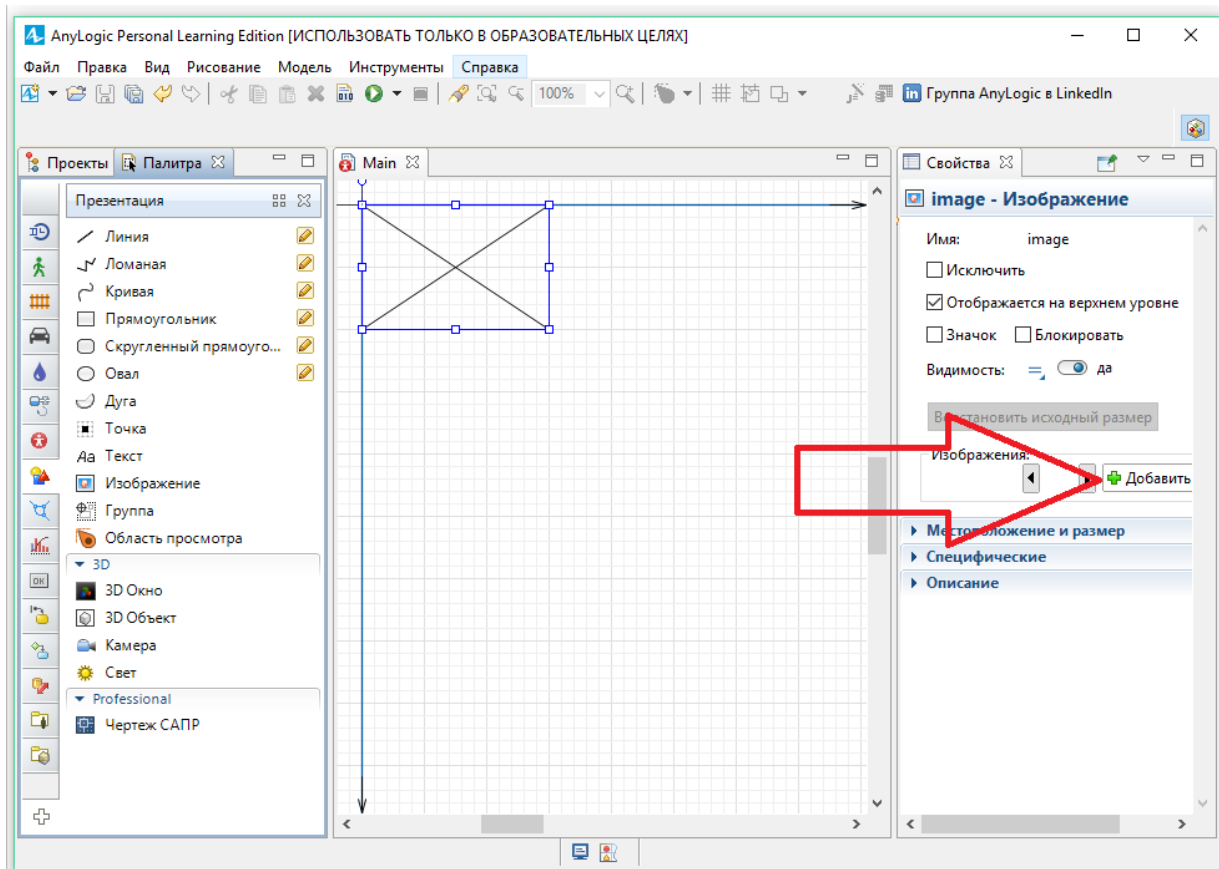


Рисунок 5.5. Вставка изображения

После нажатия кнопки открывается окно, выбираем заготовленный рисунок, который предлагается создать самостоятельно (рис.5.6, 5.7):

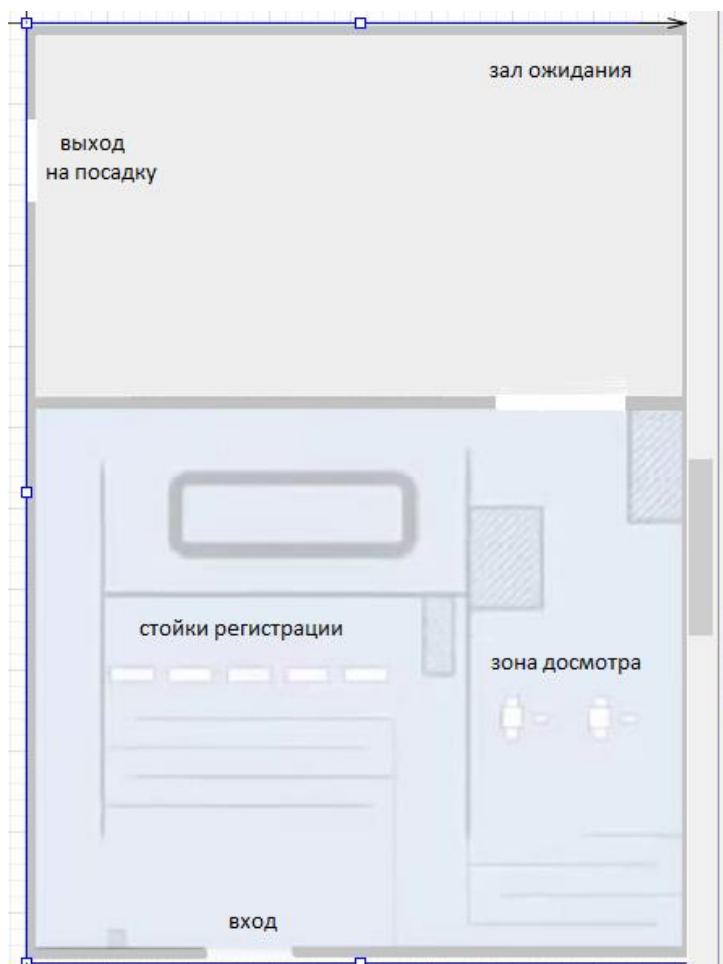


Рисунок 5.6. План здания аэропорта

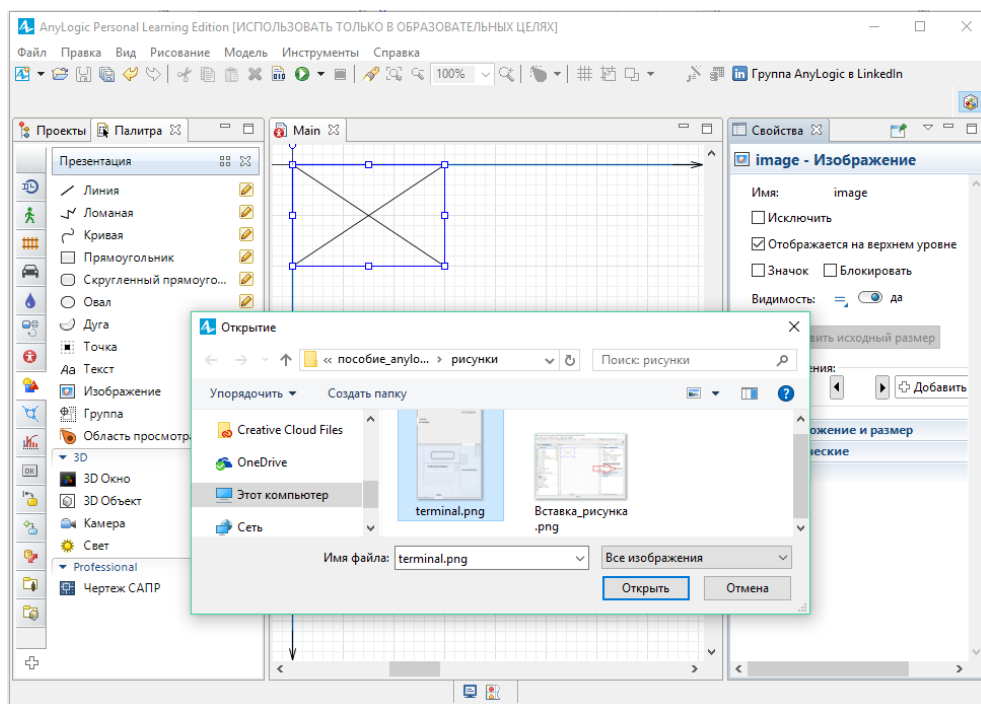


Рисунок 5.7. Вставка заготовленного плана здания аэропорта

На рисунке 5.8 изображена схема прохода пассажиров на посадку после вставки плана аэропорта

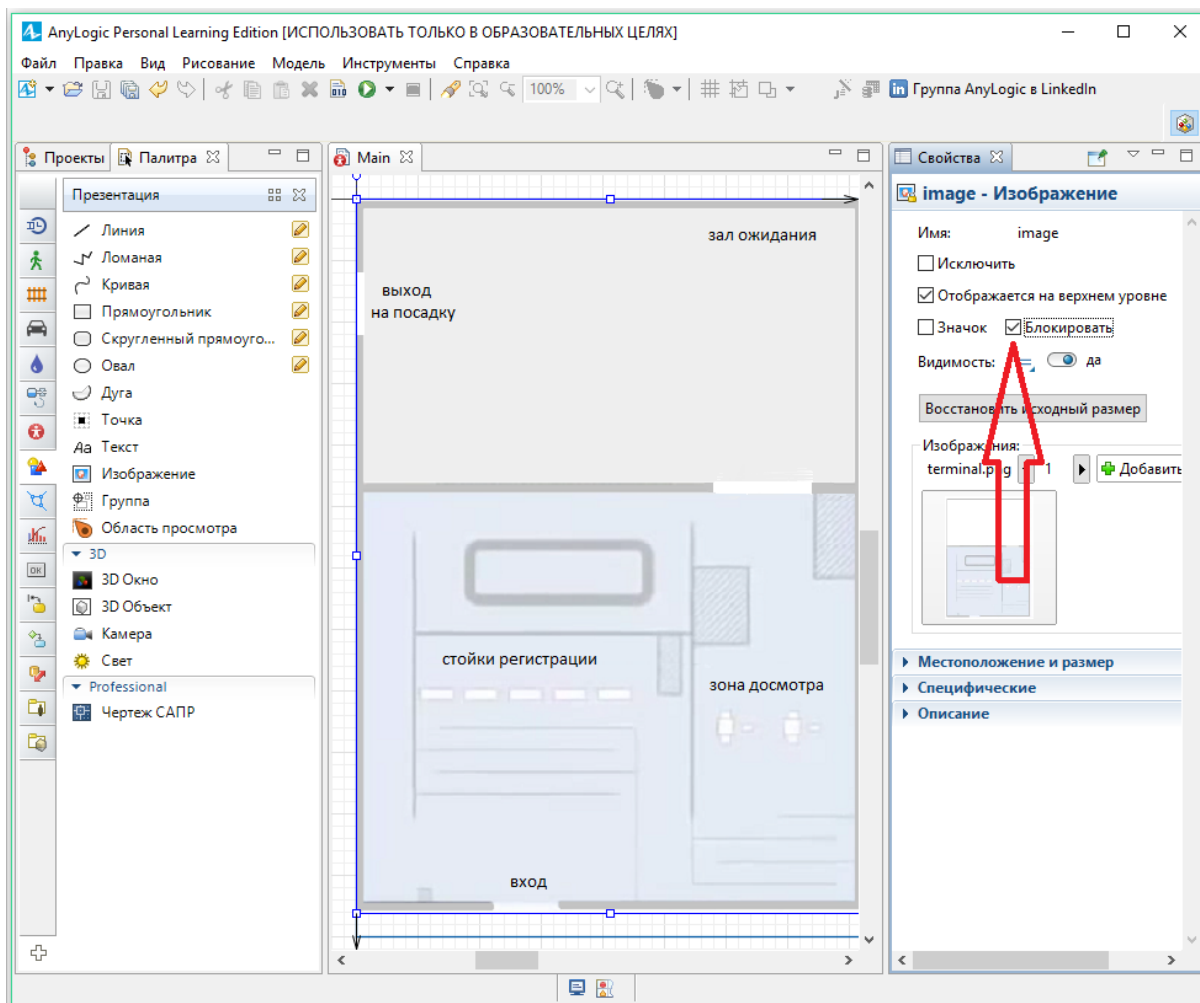


Рисунок 5.8. Схема прохода пассажиров на посадку

С целью исключения случайной корректировки и перемещения вставленного рисунка необходимо его заблокировать (рис. 5.8).

Следующим шагом является разметка пространства. С этой целью используем пешеходную библиотеку. Выбираем элемент **Стена** (рис. 5.9) и осуществляем обрисовку стен, перегородок:

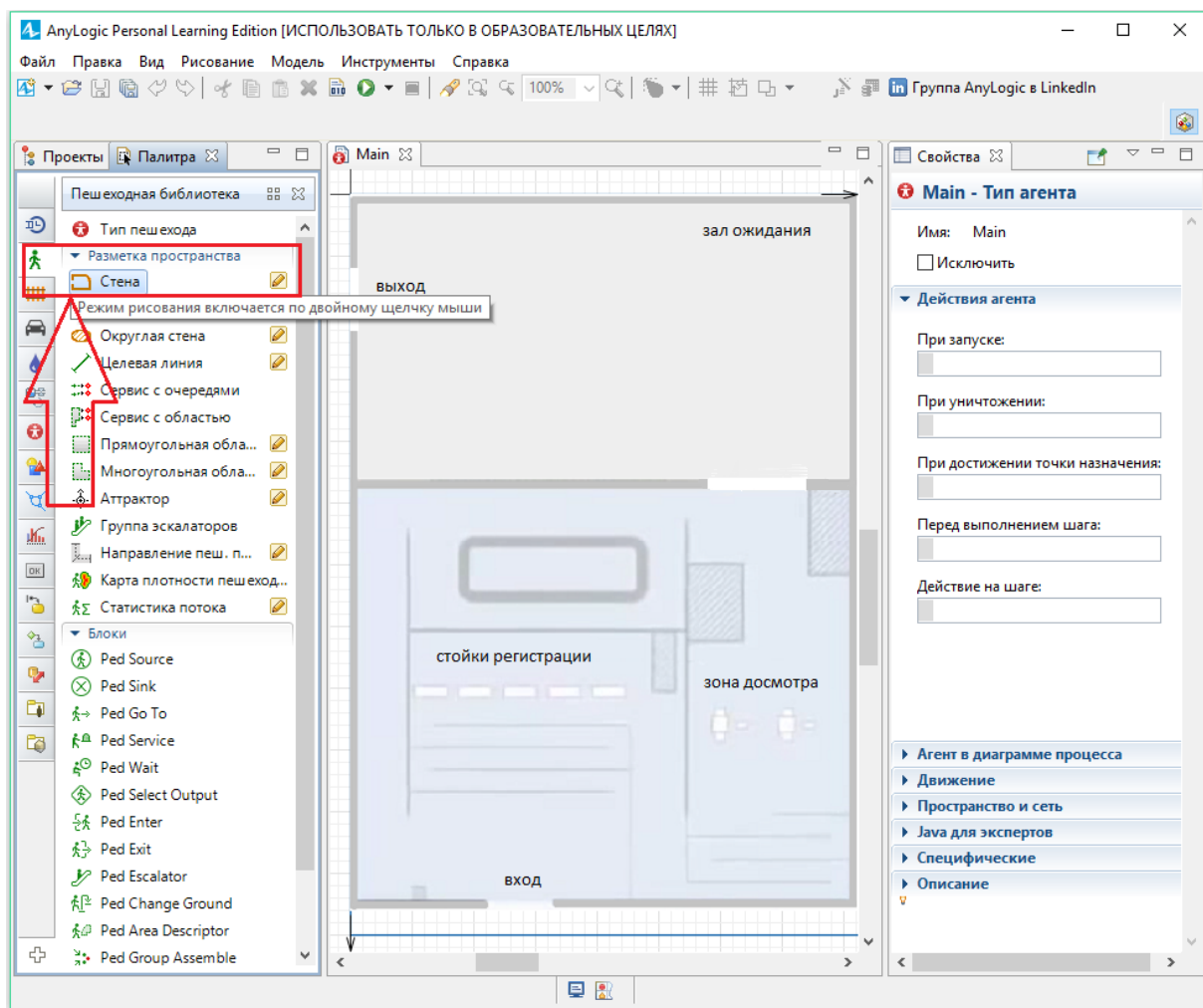


Рисунок 5.9. Выбор инструмента рисования **Стена**

По окончании обрисовки следует обозначить места появления пассажиров (вход) и выход на посадку (выход) с использованием инструмента **Целевая линия** (рис. 5.10). Вид проекта после разметки пространства и нанесения целевых линий представлен на рисунке 5.10. На этом же рисунке показано местоположение кнопок скрытия разметки и фигур пространства (находятся в нижней части экрана).

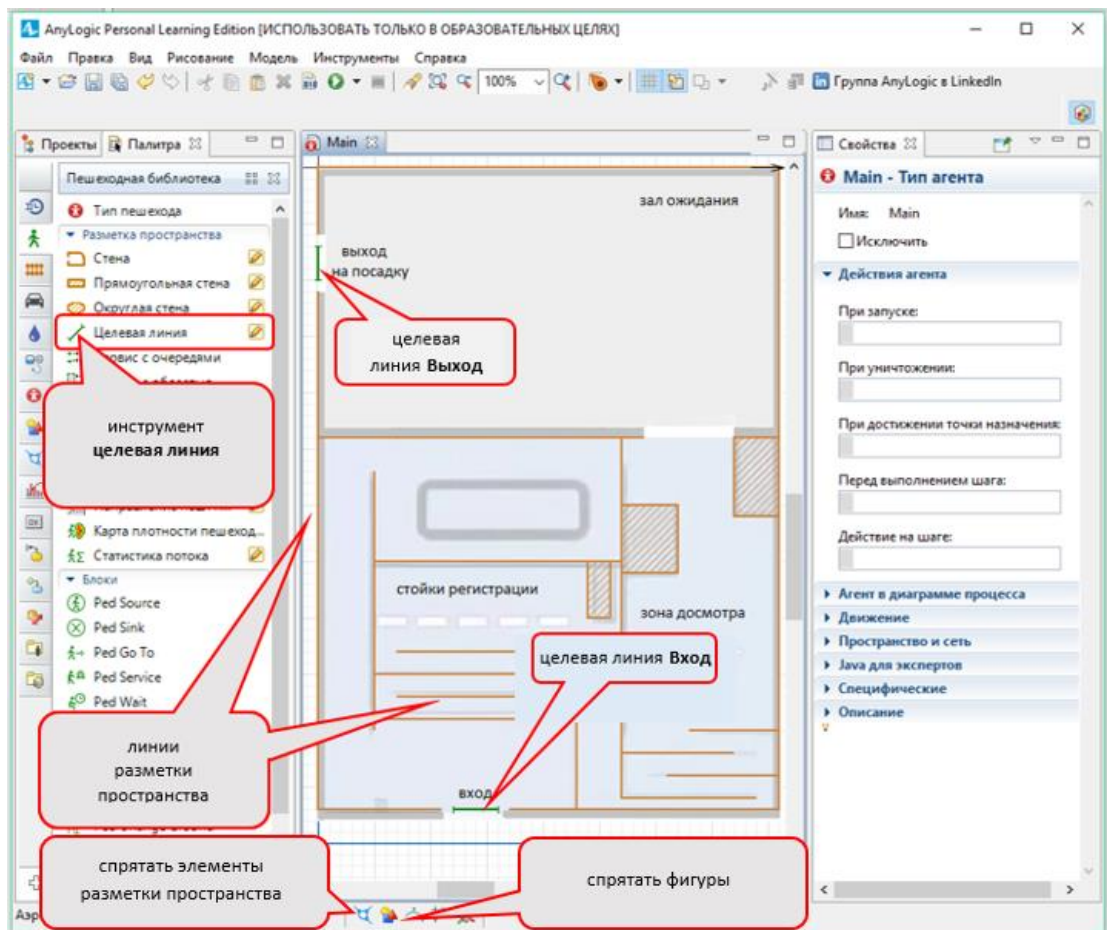


Рисунок 5.10. Вид проекта после разметки пространства и установки целевых линий

На следующем шаге начнем создавать процесс движения пассажиров, используя пешеходную библиотеку.

Создадим источник появления пассажиров. В панели **Палитра** последовательно выбираем **Пешеходную библиотеку**, блоки **pedSource** и, удерживая левую клавишу мыши, перетаскиваем элемент **pedSource** в окно графического редактора, присваиваем источнику имя **появлениеПассажиров** и связываем его с целевой линией **Вход** для указания места появления пассажиров (рис. 5.11). На панели свойства установить интенсивность появления пассажиров 100 человек в час.

Замечание. После ввода имени рекомендуется проверить его на совпадения и соответствия правилам назначения имен, для этого нажать клавиши **Пробел+Enter** и действовать согласно указаниям всплывающего диалога.

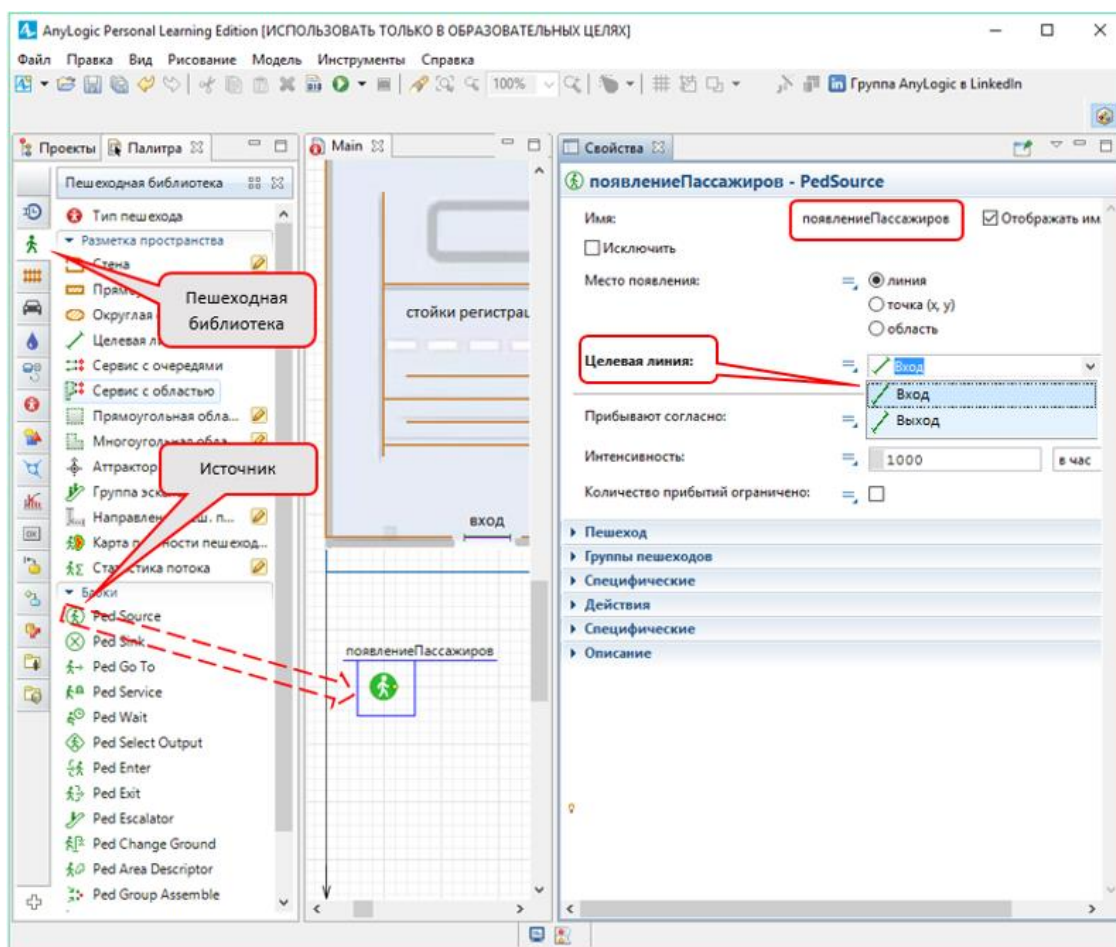



Рисунок 5.11. Создание источника появления пассажиров

На следующем шаге необходимо указать направление движения пассажиров с использованием элемента пешеходной библиотеки **Ped Go To**, назвать элемент **идтиКВыходу** и связать его с целевой линией **Выход**. Для завершения процесса необходимо удалить заявки (пассажиры) из системы, используя элемент **Sink**.

Вид созданной модели прохождения пассажиров показан на рисунке 5.12. Следует обратить внимание, что в модели указаны только места появления пассажиров и посадки в самолет, поэтому в данном случае пассажиры будут идти по кратчайшему пути.

Для просмотра работы модели необходимо нажать кнопку  на панели инструментов. В открывшемся окне нажать кнопку **Запустить**.

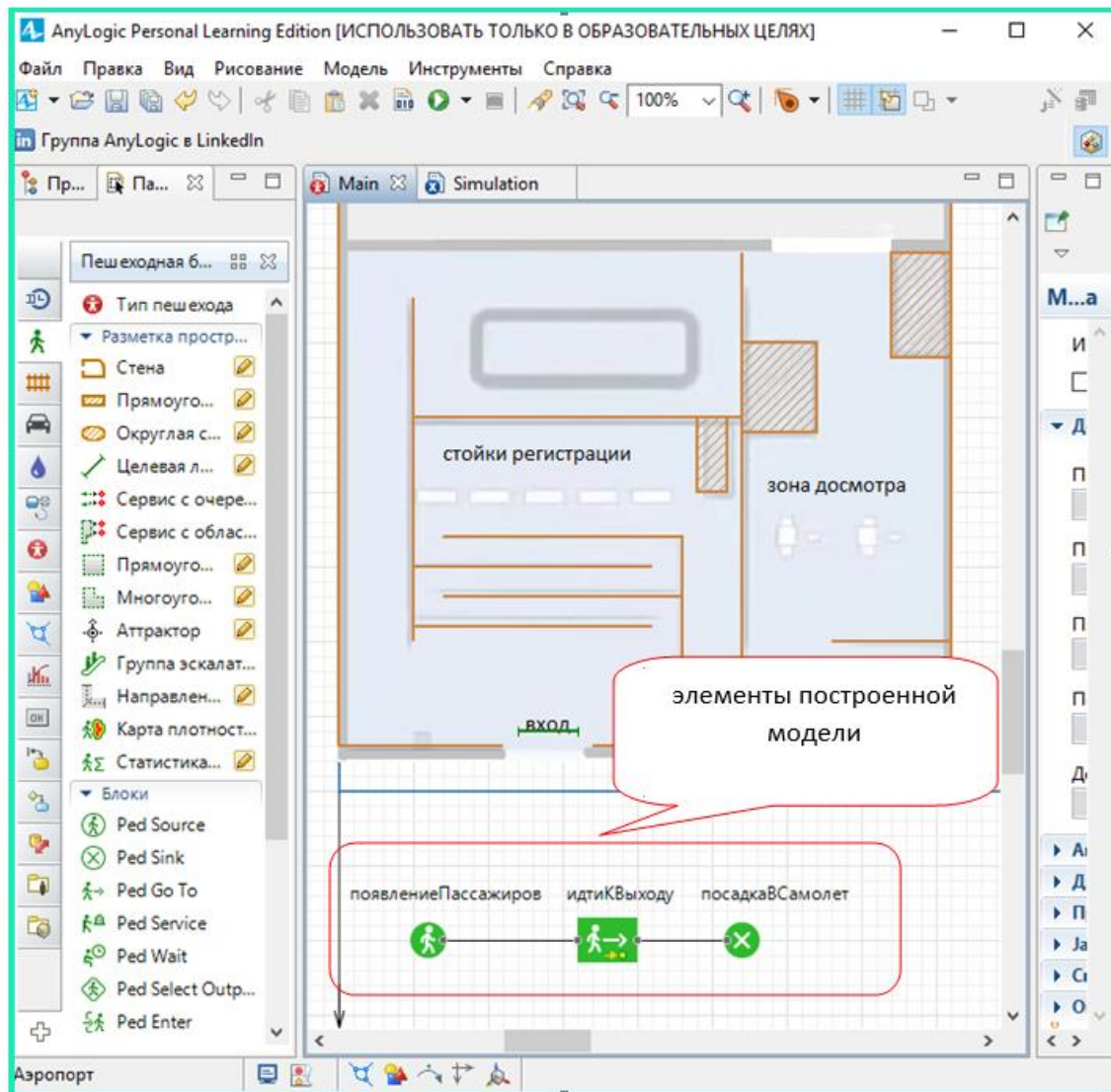


Рисунок 5.12. Простая модель прохождения пассажиров.

Процесс выполнения модели показан на рисунке 5.13. Цветные точки – пассажиры. В зависимости от конфигурации выбранного рисунка, разметки стен маршрут может быть различным, даже вне рисунка, но в данном случае с точки зрения пассажиров он будет кратчайшим. В нашем случае пассажиры идут, минуя стойки регистрации и зону досмотра.

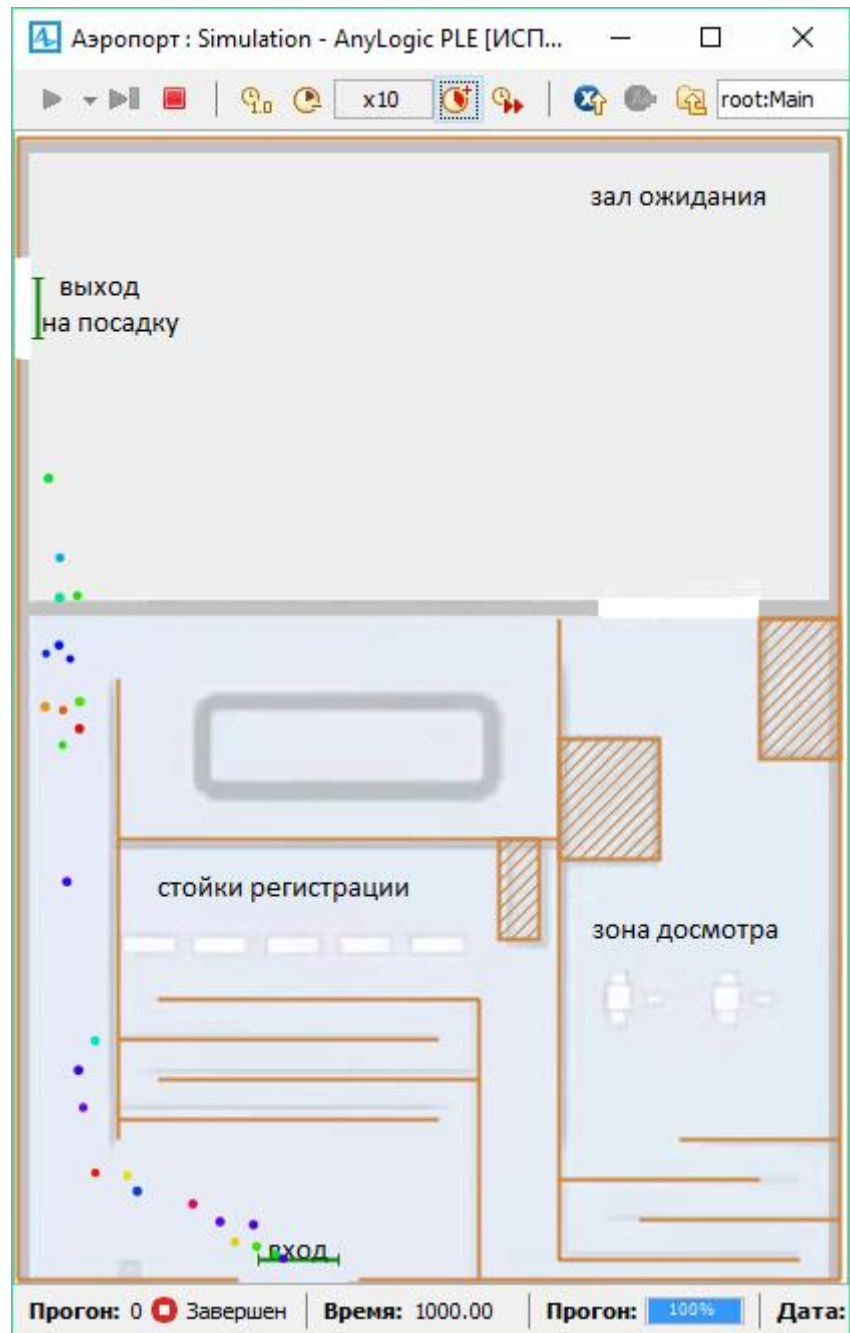


Рисунок 5.13. Ход выполнения созданной модели.

На данном этапе создана простейшая модель и продемонстрировано ее выполнение. Нашей целью является исследование процесса регистрации пассажиров и прохождения досмотра, поэтому приступим к следующему этапу построения модели – зададим порядок прохождения пассажиров.

В первую очередь пассажиры должны пройти регистрацию.

Установим стойки регистрации. По плану предусмотрено 5 стоек регистрации. Для установки стоек необходимо последовательно выбрать **Палитра** → **3D Объекты** → **Офис** → **Стол** и перетащить элемент **Стол** в окно графического редактора.

Замечание. Данный элемент носит чисто декоративный характер и используется только при анимации модели.

Укажем пассажирам место регистрации, используя элемент **Сервис с очередями**, в панели свойства устанавливаем количество сервисов равным 5, количество очередей – 1. Переключатель **Видимость** поставить в положение **Нет** с тем, чтобы элемент сервиса не затруднял обзор при анимации модели.

Остальное оставляем по умолчанию. Точечные сервисы расставить напротив стоек регистрации, линию очереди направить по маршруту движения пассажиров к стойкам регистрации (рис. 5.14).

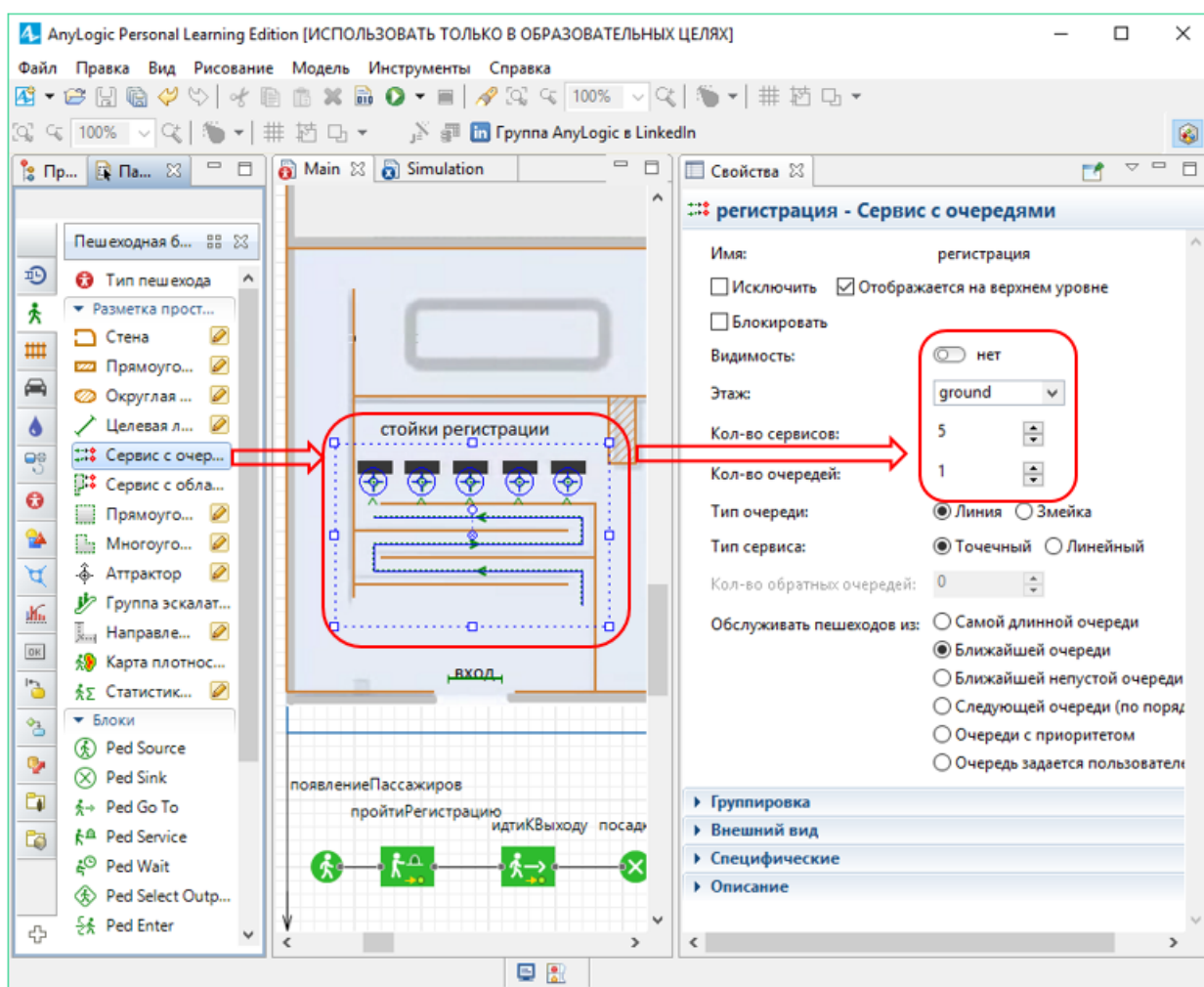


Рисунок 5.14. Добавление элемента **Сервис с очередями**

Далее необходимо связать пассажиров с сервисом. С этой целью в проект модели добавим элемент пешеходной библиотеки **Ped Service**, назовем его **пройтиРегистрацию**, в панели **Свойства** свяжем его с сервисом **регистрация** (рис. 5.15).

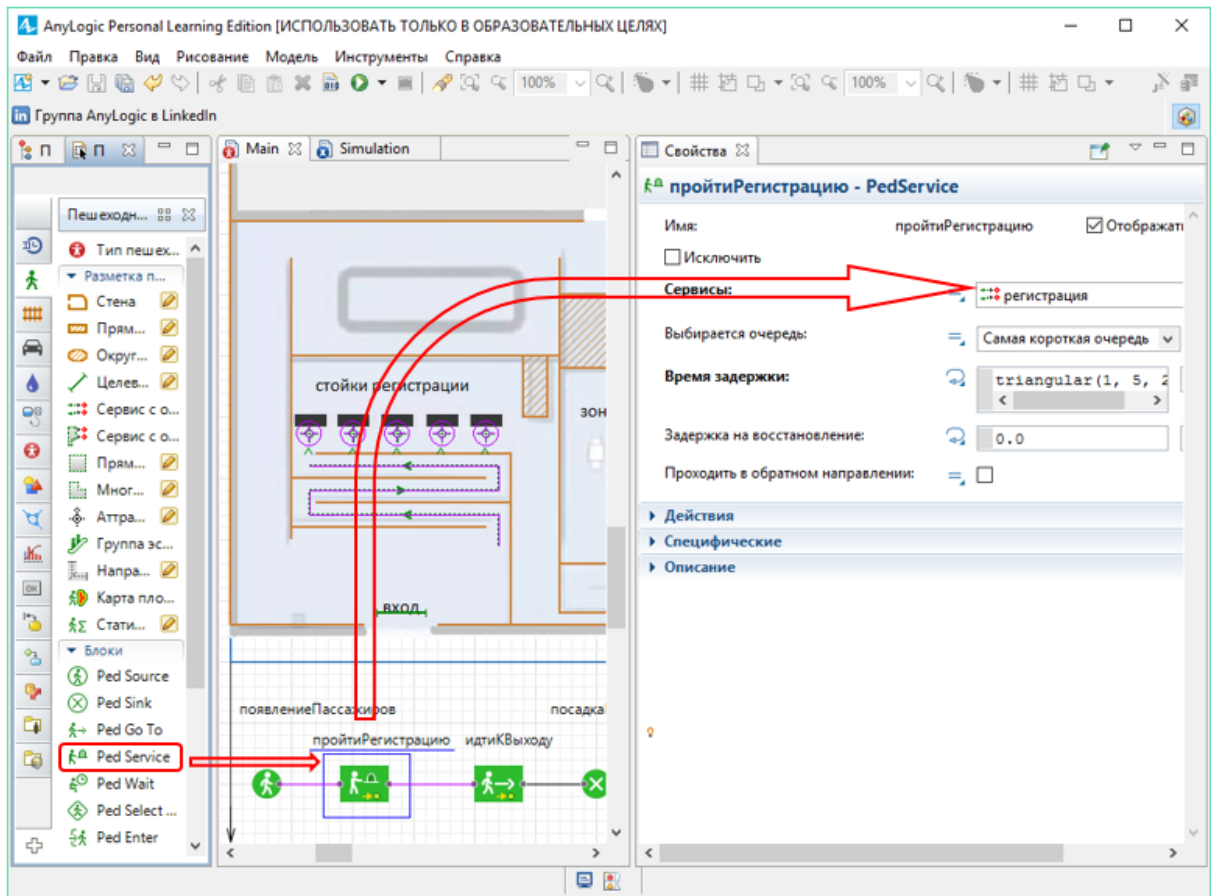


Рисунок 5.15. Добавление элемента **Ped Service**

Для выбора времени задержки, используя кнопку выбора распределения вероятностей, установим распределение типа Triangular, установив минимальное время 1 минута, максимальное – 5 минут, наиболее вероятное – 2.5 минуты (рис. 5.16).

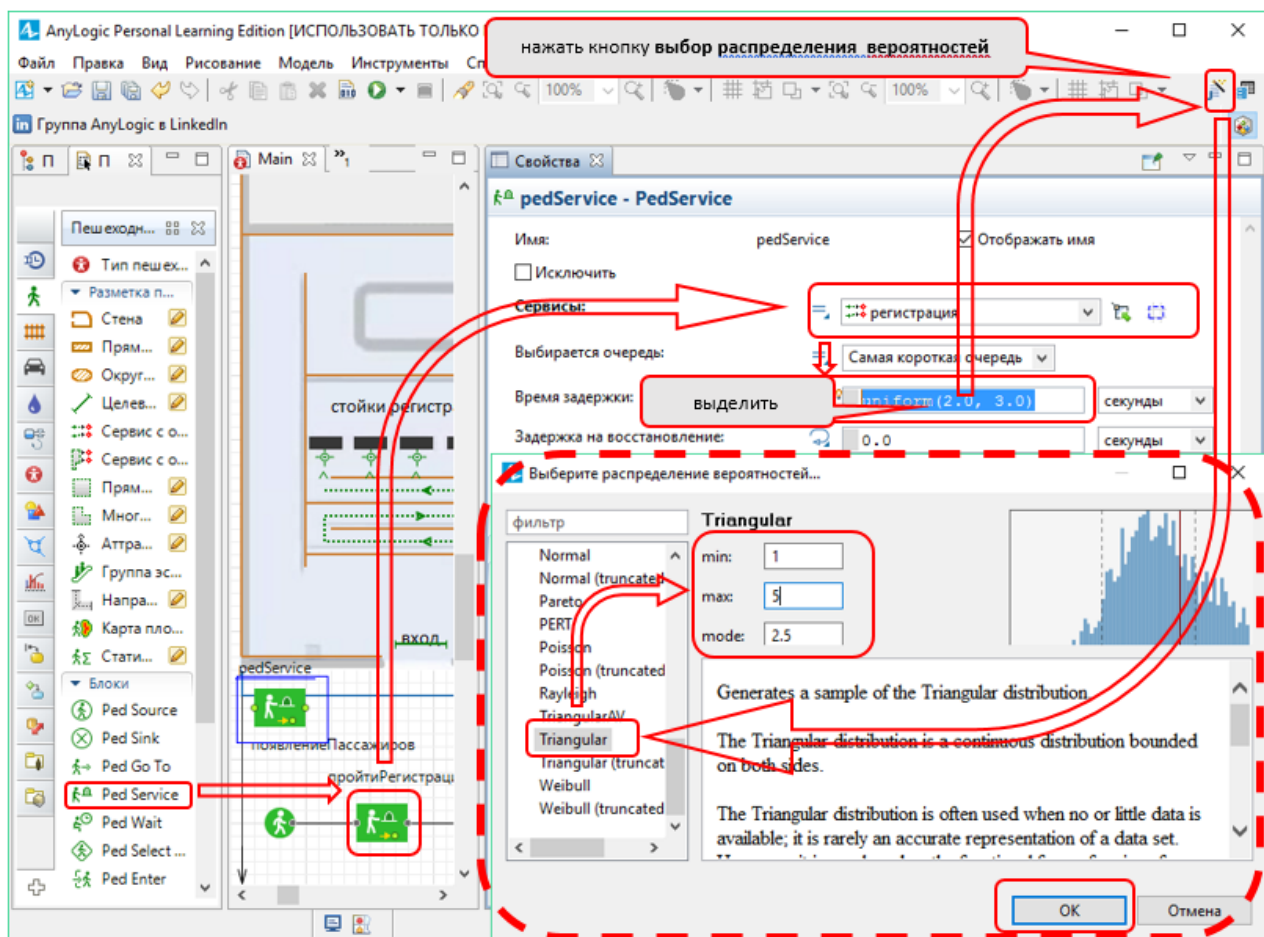


Рисунок 5.16. Установка времени задержки регистрации пассажиров

По окончании оборудования зоны регистрации необходимо оборудовать зону досмотра пассажиров аналогично действиям, описанным выше (рис. 5.17).

Используя вкладку **Палитра 3D** объекты установить на плане движения пассажиров металлоискатели и рентгено-сканер.

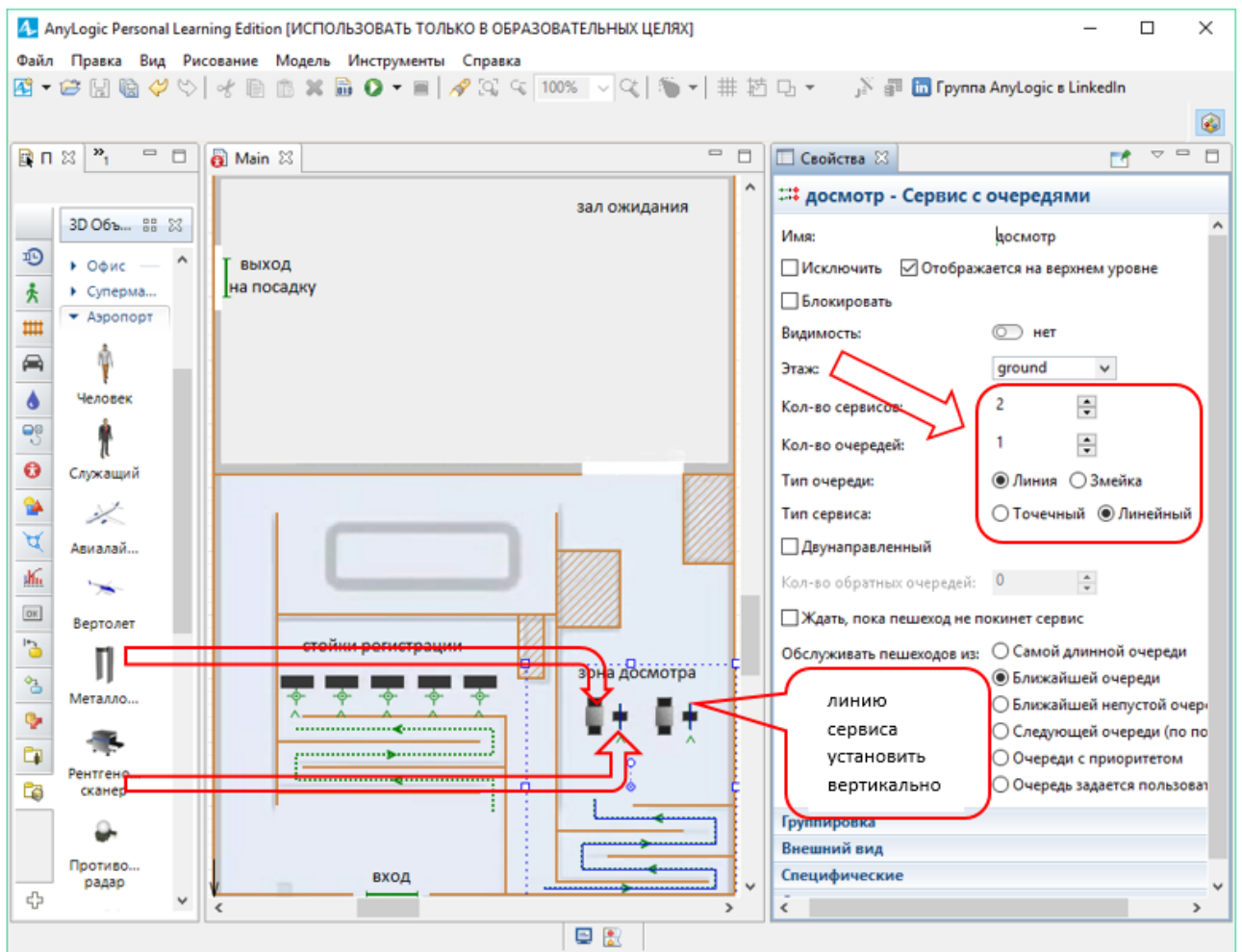


Рисунок 5.17. Установка приборов досмотра

Самостоятельно:

1. Добавить карту плотности.
2. Создать 3D анимацию.

6. РАБОТА С ГИС КАРТАМИ В ANYLOGIC.

1. Постановка задачи

Построить модель процесса поставки запчастей в аэропорты. Оптимизировать процесса поставки

Имеется семь аэропортов (Пулково, Шереметьево, Домодедово, Внуково, аэропорт г. Ярославля, аэродром Смоленск-Северный, аэропорт г. Во-

логда), которым два раза в неделю требуются запасные части для технического обслуживания и ремонта самолетов. Предприятие в Нижнем Новгороде осуществляет производство и доставку необходимых компонентов.

Заявки от аэропортов приходят на предприятие в форме заказа. После чего на погрузку фуры требуется от двух до трех часов. Столько же времени требуется и на разгрузку фуры в аэропорту. После получения запчастей аэропорт оповещает об этом предприятие сообщением “Доставлено!”, далее фура отправляется обратно на предприятие.

Задача: смоделировать процесс доставки запасных частей для оценки оптимального количества транспортных средств, учитывая, что всего на предприятии имеется пять грузовиков.

6.2. Этапы для построения модели в AnyLogic

Для решения необходимо выполнить следующие действия:

1. Задать местоположение и маршруты до заданных пунктов.
2. Описать процесс оформления заказа запчастей, полагая, что каждый аэропорт отправляет запрос одинаковой формы.
3. Описать логику обработки заявки предприятием, где необходимо учесть: получение заявки, время на погрузку фуры, отправку до клиента, разгрузку фуры, оповещение о доставке и возврат грузовика на предприятие.
4. Провести оптимизацию, с целью установления необходимого количества грузовиков для предприятия, чтобы загруженность при доставке запчастей составляла не более 85%.

6.3. Создание модели

Выполните команду **Файл/Создать/Модель** на панели инструментов.

1. В поле **Имя модели** диалогового окна **Новая модель** введите Dostavka.

Выберите каталог, в котором будут сохранены файлы модели.

Щёлкните кнопку **Готово** (рис. 6.1).

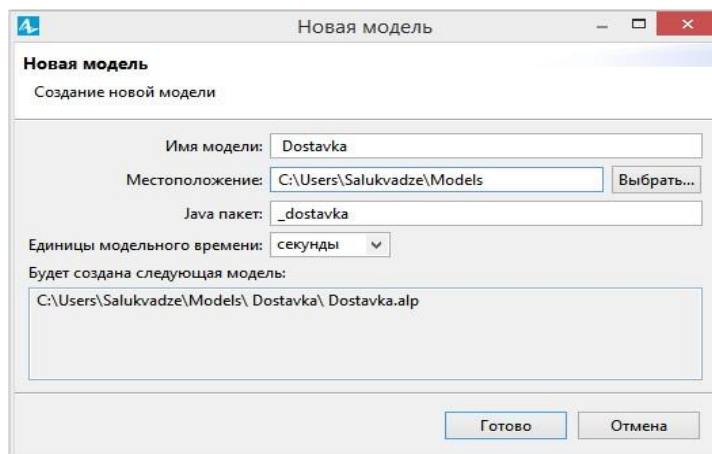


Рис. 6.1. Создание новой модели.

После нажатия на кнопку **Готово**, открывается окно редактирования агента **Main**, в котором и начинается моделирование заданного процесса.

6.3.1. Определение исходных данных

Исходными данными являются координаты аэропортов, координаты предприятия, производящего и доставляющего запасные части для аэропортов, и пути сообщения между ними, по которым и осуществляется доставка. Так как речь в задаче идет о реально существующих объектах, удобно использовать компонент **ГИС Карта** из палитры **Разметка пространства**. По умолчанию карта и масштаб будут выбраны, как на рис. 6.2 (необходимо подключение к сети Интернет):



Рис. 6.2. Отображение компонента ГИС Карта по умолчанию.

Рассмотрите свойства компонента **ГИС Карта**. На вкладке **Тайлы** можно выбрать поставщика карты, что изменит внешний вид объекта; на вкладке **Маршруты** задаются параметры маршрутов (по аналогии с автомобильными навигаторами): можно выбрать источник маршрутов (с сервера OSM или из файла PBF), сервер с которого маршруты загружаются, критерий выбора маршрута (быстрейший, кратчайший), сеть дорог (автомобильная, железнодорожная, велосипедная, пешеходная). Уставьте свойства объекта **ГИС Карта** согласно рисунку 6.3.

map - ГИС Карта

Имя: Отображается на верхнем уровне

Блокировать

Видимость: да

Тайлы

Отображать тайлы

Поставщик тайлов:

Маршруты

Маршруты: Загружаются с сервера OSM
 Считываются из файла PBF
 Строятся по прямой

Сервер маршрутов:

Выбирается маршрут:

Сеть дорог:

Если маршрут не найден: Строить маршрут по прямой
 Отображать сообщение об ошибке

Рис. 6.3. Свойства компонента ГИС Карта.

Теперь необходимо перейти в режим редактирования карты для выбора конкретной области отображения (в контексте данной задачи – европейской части Российской Федерации). Для перехода в режим редактирования выполните двойной щелчок левой клавишей мыши. Изменение масштаба карты осуществляется колесиком мыши, перемещение по карте – с зажатой левой клавишей мыши.

Выбрав область отображения карты, перейдите к ее разметке, для этого в режиме редактирования воспользуйтесь встроенной функцией поиска: в строку поиска введите названия искомого объекта и нажмите Enter. Ниже отобразится область с результатами поиска, выделите нужный вариант правой клавишей мыши и выберите **Преобразовать в ГИС точки\регионы**, на карте появится метка выбранного объекта. На рисунке 6.4 показан процесс поиска, а на рисунке 6.5 показана карта с метками всех объектов из текста задачи.

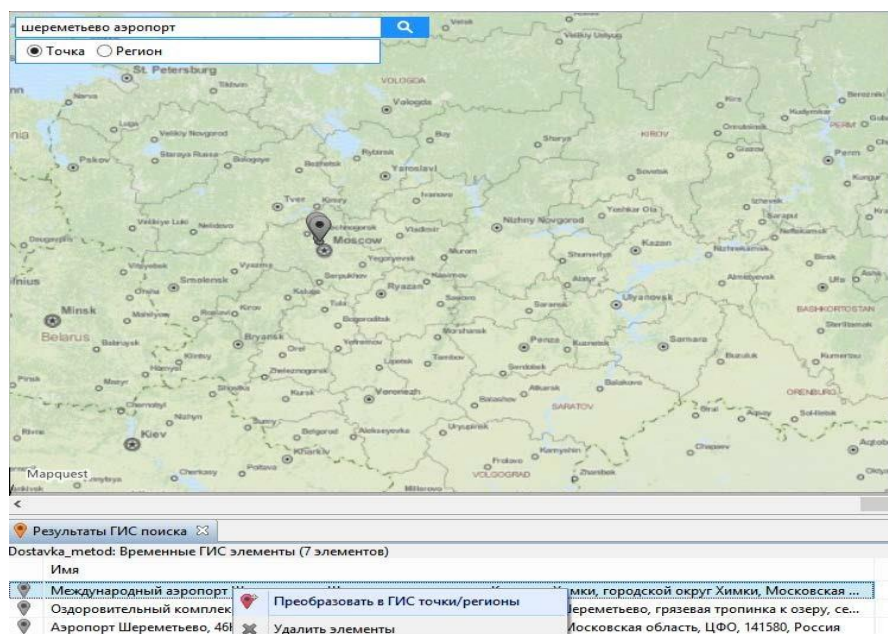


Рис. 6.4. Процесс поиска по названию объекта.

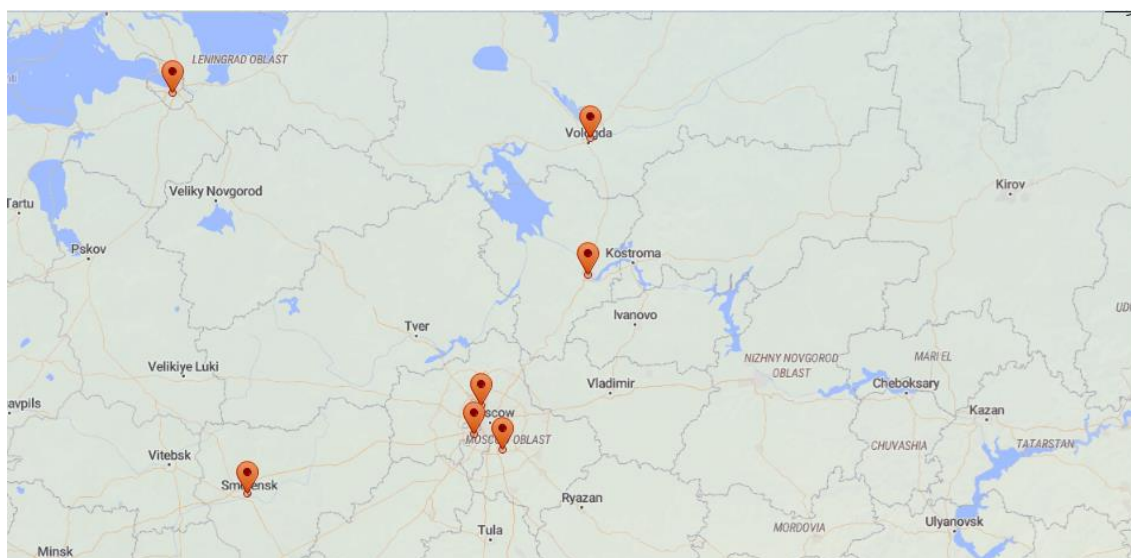


Рис. 6.5. Карта с метками всех объектов из текста задачи.

Для удобства размещения **Агентов** в отмеченных точках, объедините их в коллекцию. Для этого выделите все метки аэропортов щелкните правой клавишей мыши на любой из меток и выберите пункт **Создать коллекцию**. В свойствах коллекции задайте имя **airportLocation**. Как понятно из названия в этой коллекции будут храниться координаты аэропортов.

В эти координаты необходимо поместить аэропорты. Для этого создайте популяцию агентов, которые и будут моделями аэропортов. Из палитры **Агент** перетащите в область редактирования компонент **Агент**. Открывается окно создания агентов. На рисунках 6.6-6.10 показан процесс создания новой популяции агентов:

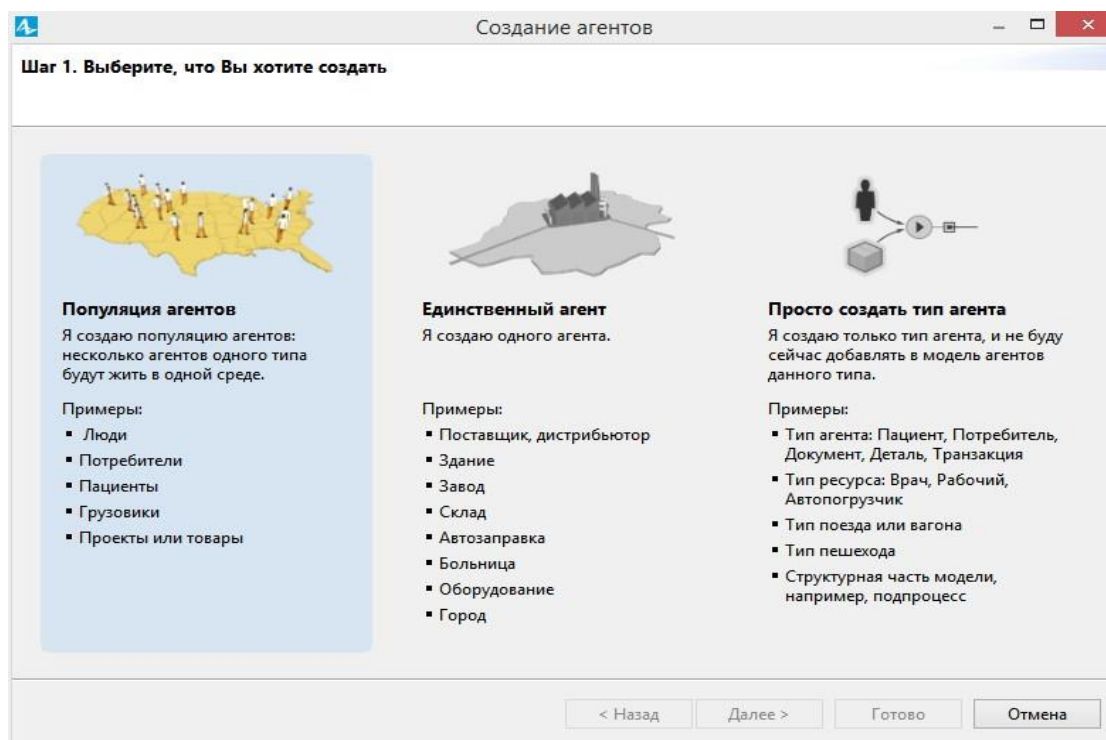


Рис. 6.6. Создание популяции агентов.

После каждого этапа выбираем пункт **Далее**.

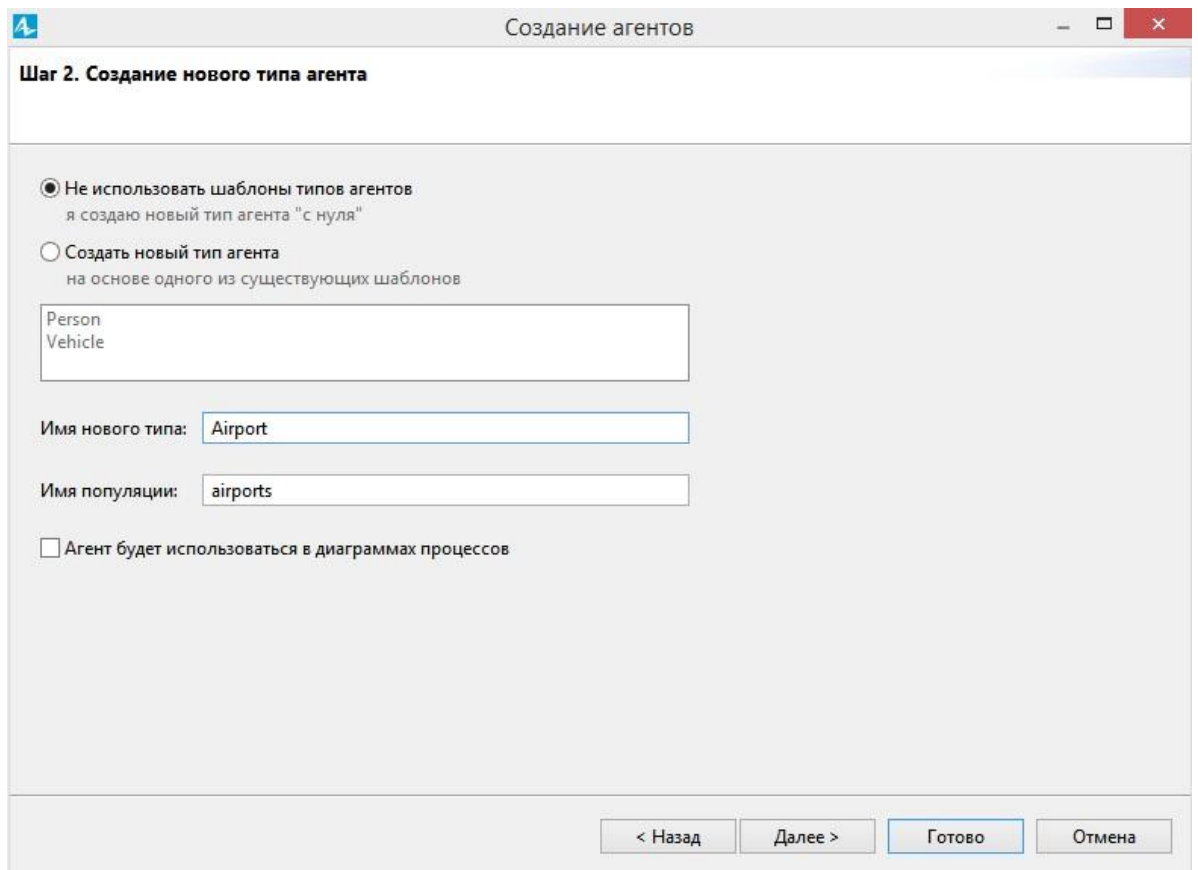


Рис. 6.7. Задание имени новой популяции агентов.

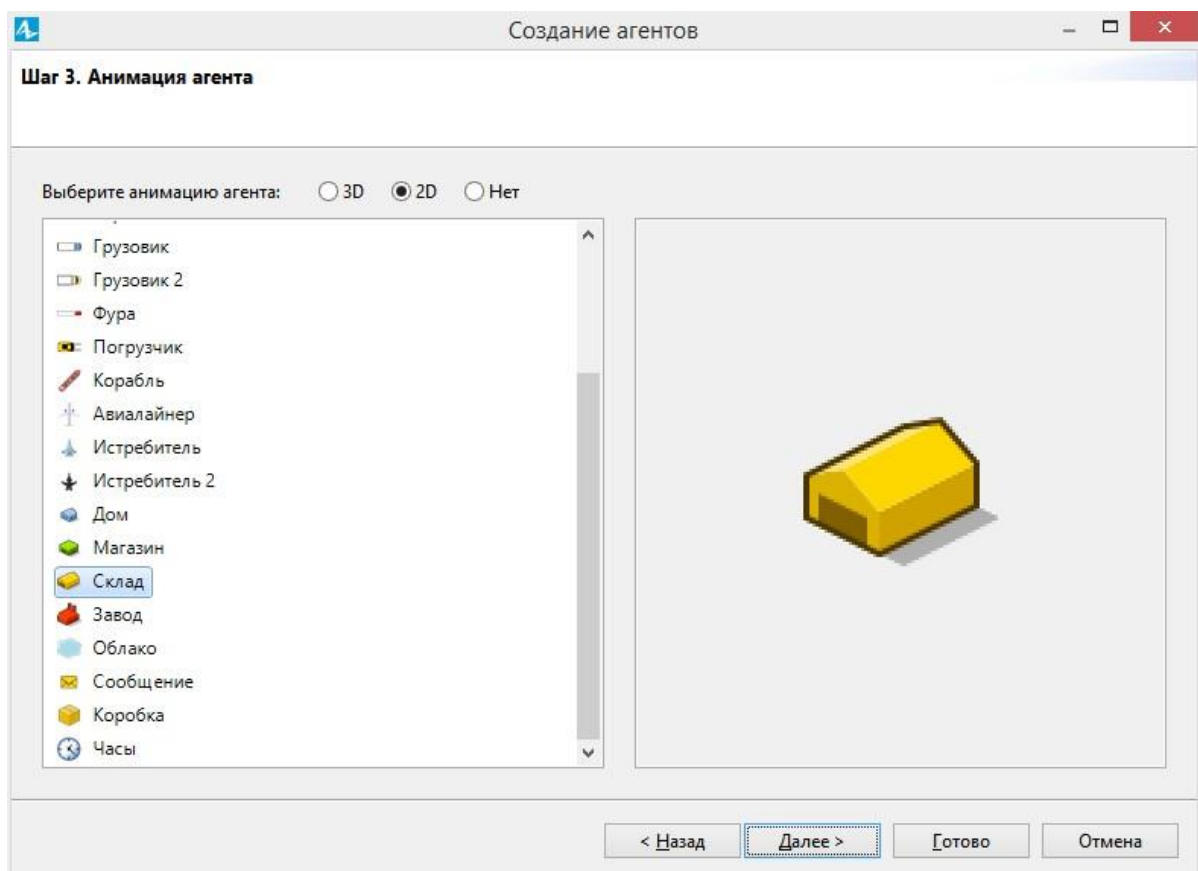


Рис. 6.8. Выбор анимации для агента.

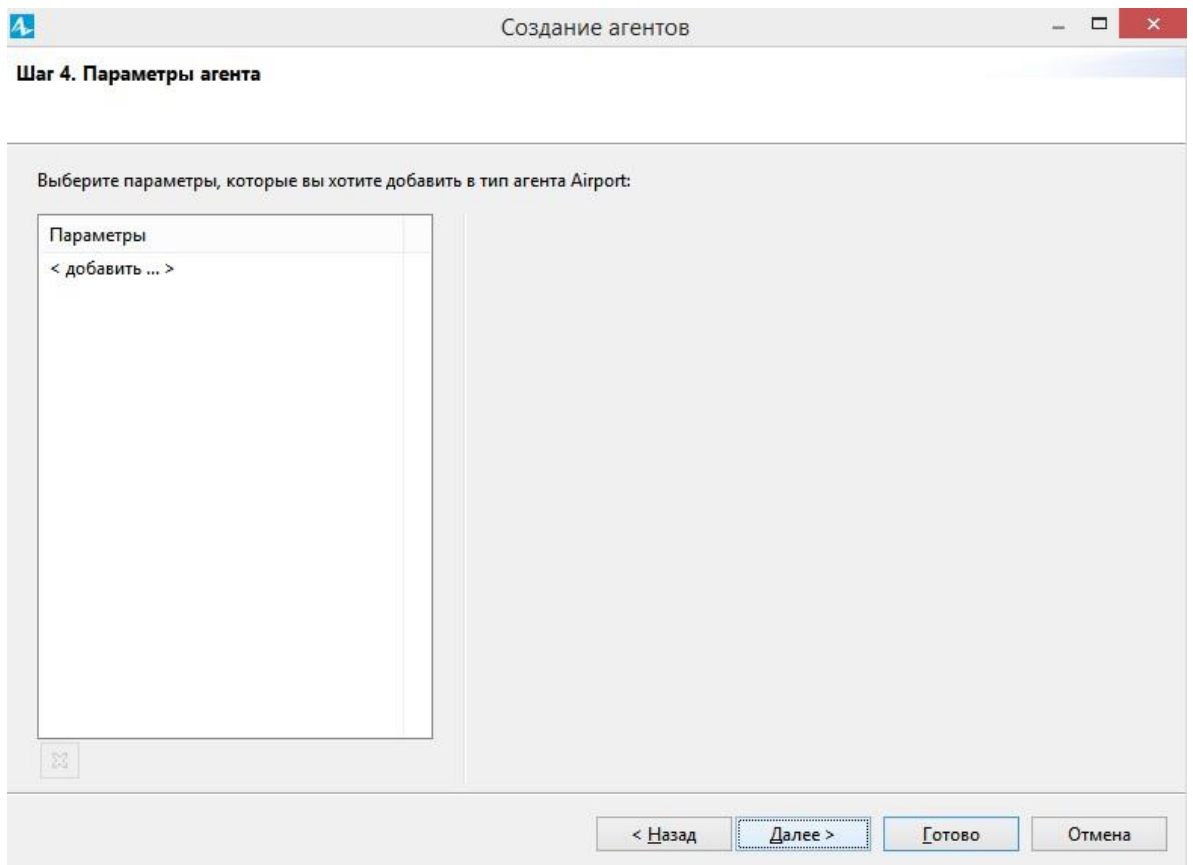


Рис. 6.9. Добавление параметров для агента (в данном случае остается пустым)

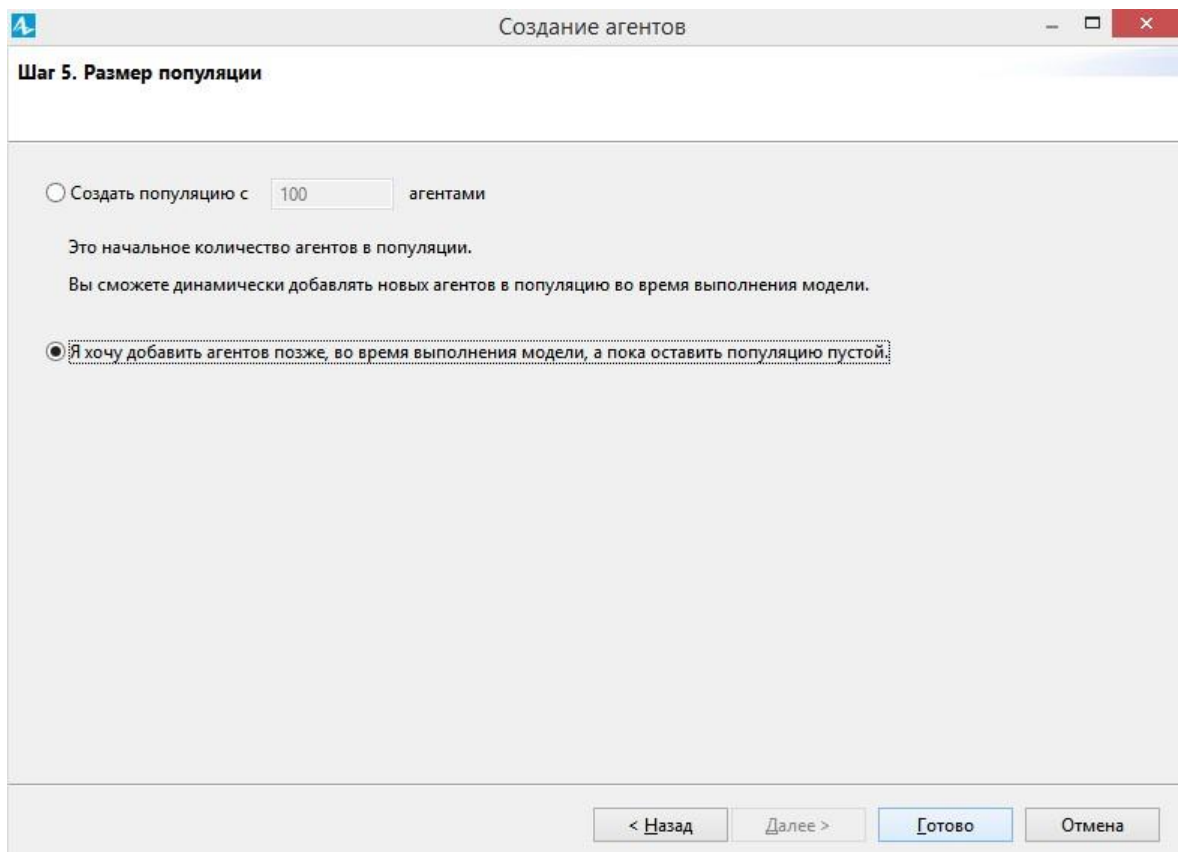


Рис. 6.10. Выбор количества популяции агентов.

После нажатие кнопки **Готово** на объекте **main** появится иконка созданного агента (выбранная на шаге 3, рис. 6.8).

Теперь необходимо связать созданную популяцию агента **Airport** с координатами аэропортов и с количеством аэропортов, то есть связать с коллекцией **airportLocation**. Чтоб это сделать перейдем в свойства популяции, щелкнув левой клавишей мыши популяцию **airports** на объекте **main**. В графу **Начальное количество агентов** введите следующее выражение: `airportLocation.size()`

Данная функция возвращает количество элементов в коллекции **airportLocation** (в данном случае 7). Для связи аэропортов с их координатами, в пункте **Начальное местоположение** выберите **Расположить агентов:** в узле и в графу **Узел** введите выражение: `airportLocation.get(index)`

Данная функция возвращает адреса (индексы) элементов в коллекции **airportLocation** (тех самых меток на карте). Свойства популяции **airports** представлены на рисунке 6.11:

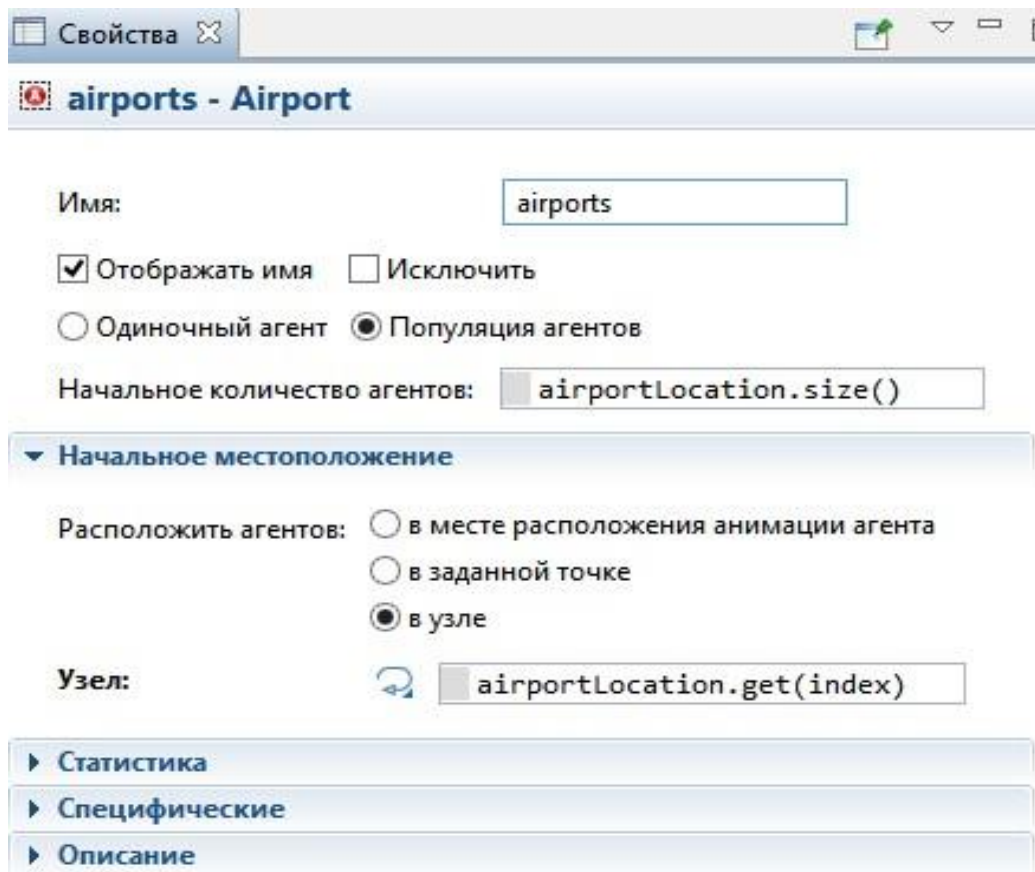


Рис. 6.11. Свойства популяции агента **Airport**

Запустите модель, нажав F5, чтобы проверить внесенные нами данные. Если все было сделано правильно, то на экране вы увидите следующее:

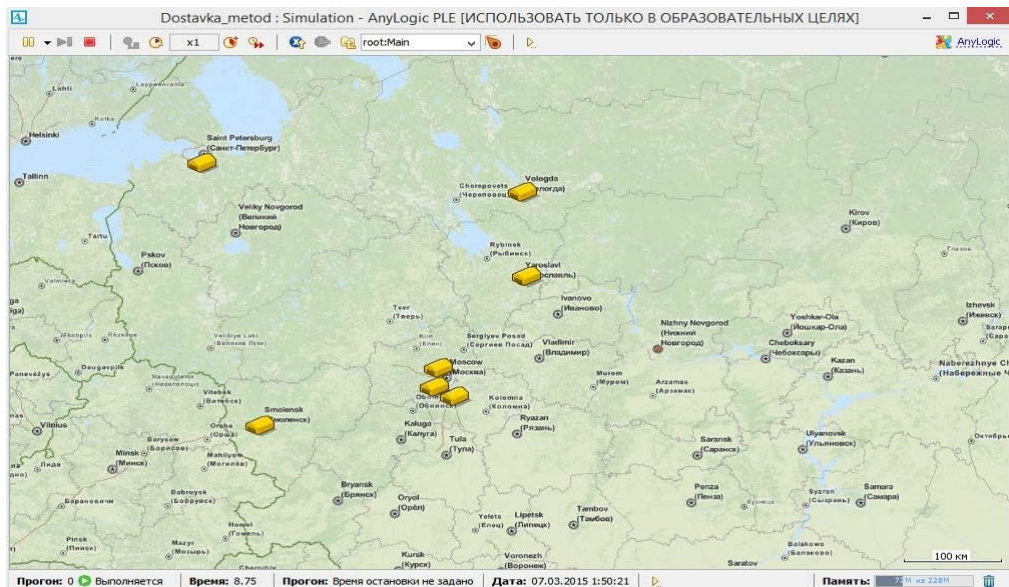


Рис. 6.12. Выполнение модели с отмеченными аэропортами.

Как видно из рисунка 6.12 агенты типа **Airport** находятся в координатах аэропортов и их ровно семь штук.

Теперь создайте тип агента с именем **Manufacturing** для размещения предприятия в Нижнем Новгороде. Создается агент аналогичным образом, как показано на рисунках 6.6-6.10, с небольшими отличиями:

1. Вместо **Популяции агентов** выбрать **Единственный агент**.
2. Создать новый тип агента.
3. Имя нового типа: **Manufacturing**.
4. Анимацию выбирать: 2D/Завод.
5. Поле параметров оставить пустым.

На объекте **main** появляется иконка нового агента (завод). Далее необходимо связать агент **manufacturing** с меткой на карте. Откройте свойства агента **manufacturing** и в пункте **Начальное местоположение** выберите **Расположить агентов: в узле** и в графе **Узел** вызовите выпадающий список, в котором выберите метку Нижнего Новгорода, как на рисунке ниже (рис. 6.13):

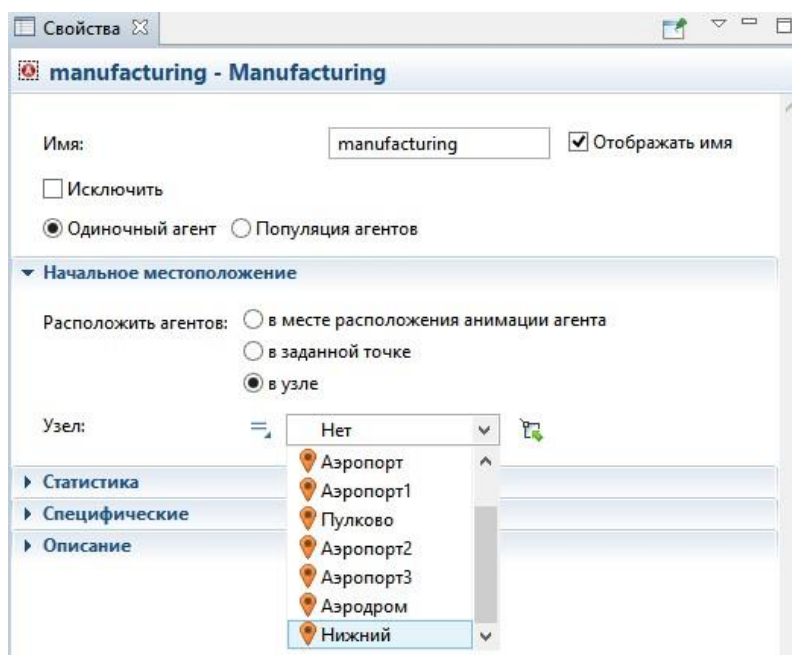


Рис. 6.13. Свойства агента manufacturing

Далее проверьте, что получается при исполнении модели (рис. 6.14):

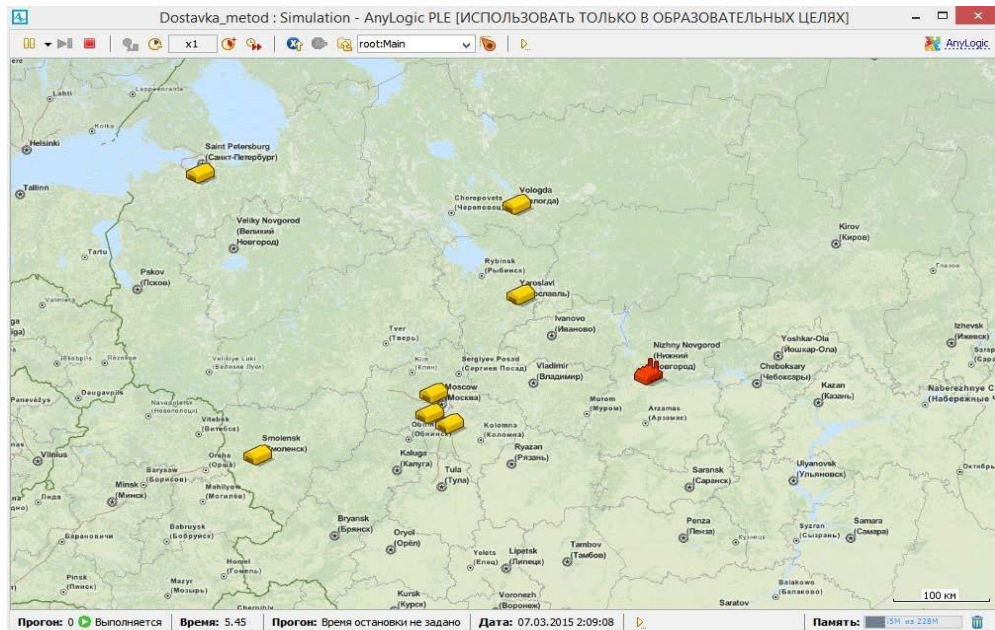


Рис. 6.14. Выполнение модели с отмеченным производством.

Из текста задачи известно, что доставка осуществляется грузовиками, чтобы внести их в модель, необходимо создать новую популяцию агентов. Делается это аналогично, как на рисунках 6.6-6.10, с некоторыми изменениями:

1. Создать новый тип агента;
2. Имя нового типа: **Truck**;
3. Выбрать анимацию: 2D/Грузовик;
4. Указать параметры согласно рисунку 6.15;

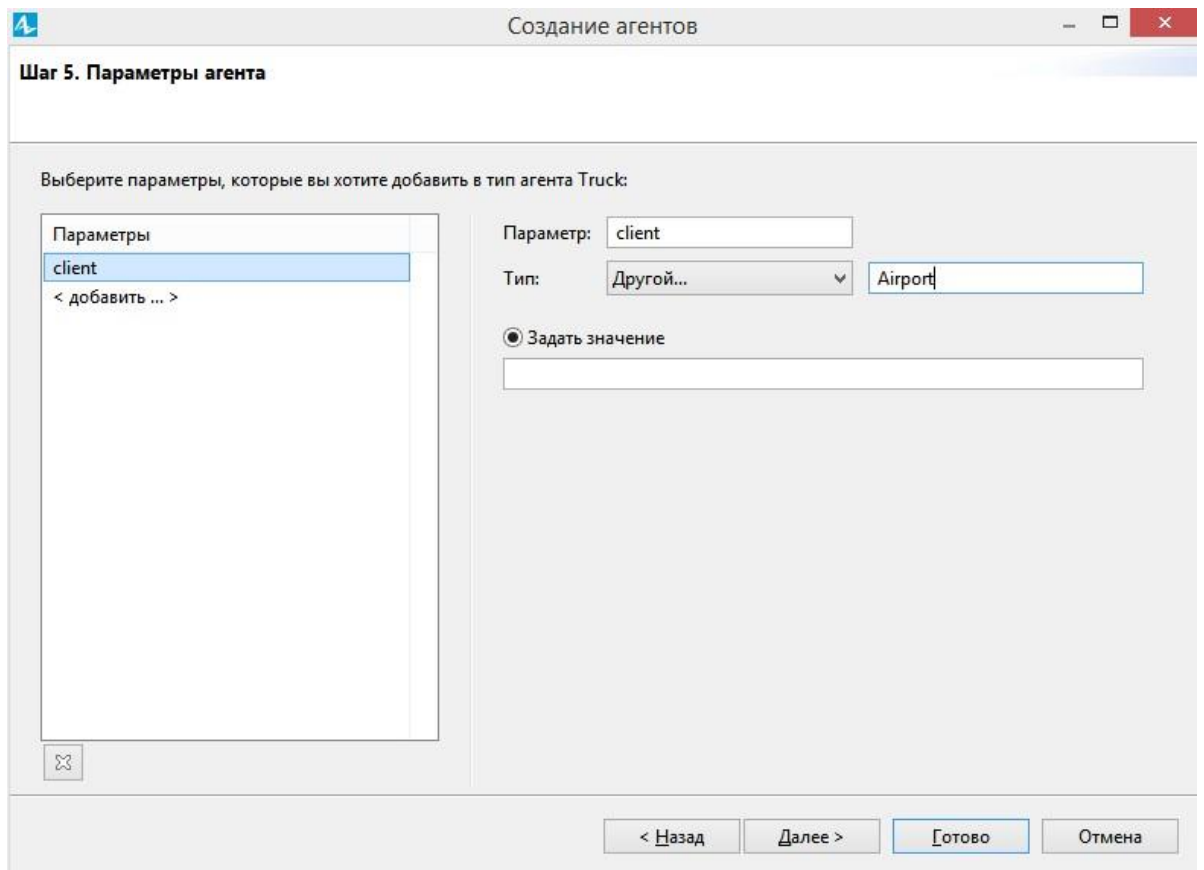


Рис. 6.15. Параметры типа агента **Truck**.

Для дальнейшей оптимизации, вынесите количество грузовиков как отдельный параметр. Для этого нужно вытащить из палитры **Агент** компонент **Параметр**. Установите следующие свойства:

Имя: **numberTrucks** Тип: **int** Значение по умолчанию: **5** Понятно, что все грузовики принадлежат производству (агент **manufacturing**), необходимо в свойствах популяции агента **trucks** указать начальное местоположение, как на рисунке 6.16:

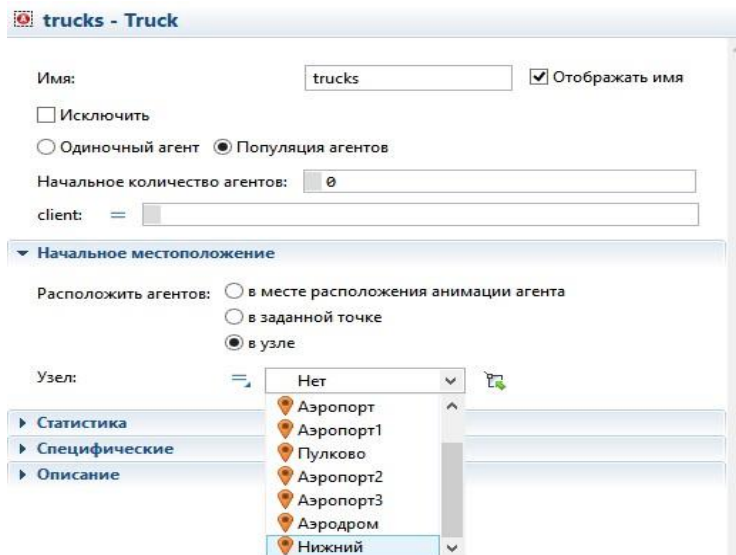


Рис. 6.16. Свойства популяции агента **trucks**.

Из условия задачи известно, что для получения запасных частей аэропорты должны сформировать заказ. Чтобы отразить это в модели создайте новый агент, как на рисунках 6.6-6.10, со следующими изменениями:

1. Вместо **Популяции агентов** выбрать **Просто создать тип агента**;
2. Имя нового типа: **Order**;
3. В пункте **Анимация** выбрать **Нет**;
4. Указать параметры согласно рисунку 6.17;

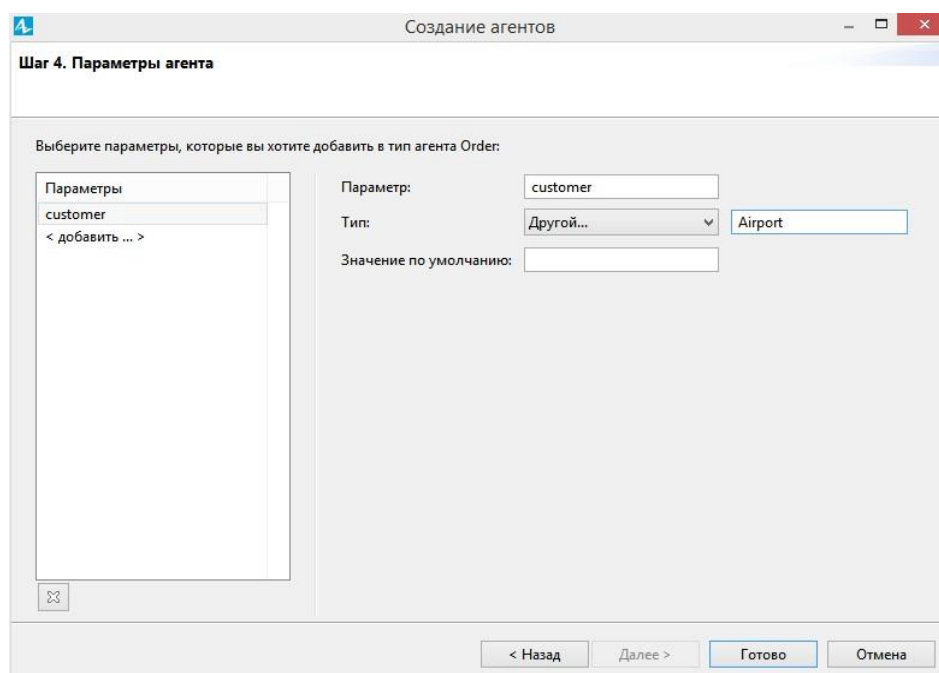


Рис. 6.17. Параметры типа агента Order.

Теперь необходимо показать, что грузовики являются ресурсом производства. Для этого из вкладки **Проекты** (или из объекта **main**) откройте тип агента **Manufacturing** и перенесите на него из палитры **Библиотека моделирования процессов** блок **Resource Pool**, который задает набор доступных ресурсов, в данном случае – грузовиков. Далее необходимо задать параметры блока **Resource Pool**, согласно рисунку 6.18:

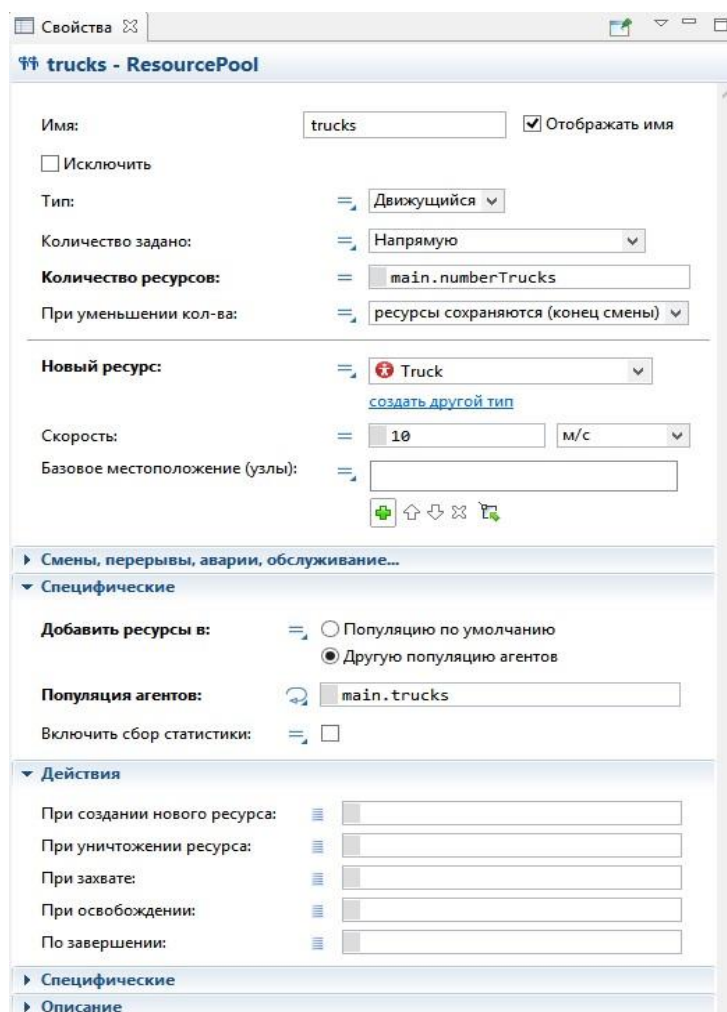


Рис. 6.18. Свойства блока Resource Pool

На рисунке 6.18 видно, что значение **Количество ресурсов** соответствует значению созданного ранее параметра **numberTrucks**, а так же необходимо отметить, что этот блок добавляет к новым ресурсам популяцию **trucks** (Популяция агентов: **main.trucks**).

Запустите модель для проверки внесенных изменений. Если все верно модель будет соответствовать приведенной на рисунке 6.19:

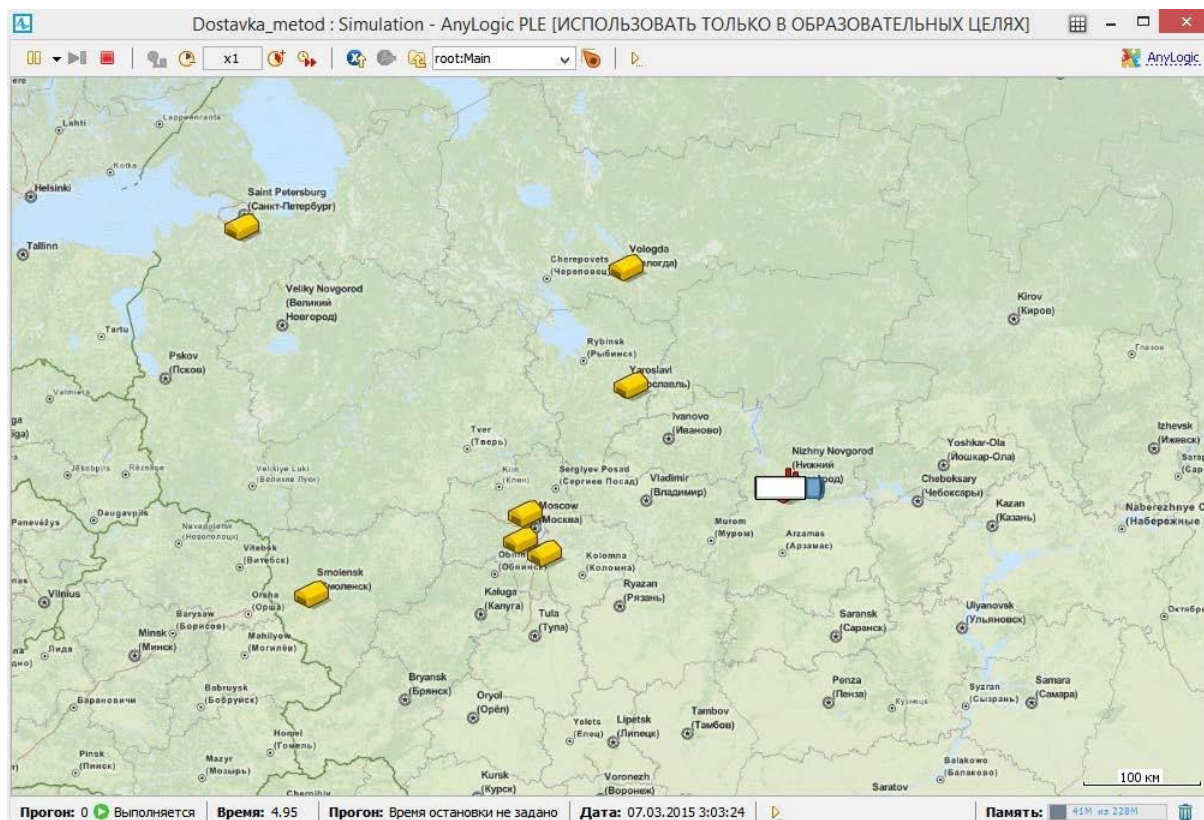


Рис. 6.19. Выполнение модели с грузовиками на предприятии

На этом ввод исходных данных можно считать окончанным. В качестве исходных данных описаны: аэропорты (их координаты), производство (координаты), грузовики (как ресурс производства), создана заявка для заказа запасных частей (как тип агента Order).

Далее перейдем к заданию логики работы аэропортов и производства.

6.3.2. Формирование заказа. Поведение агента Airport

Логику работы аэропортов, в данной задаче, можно рассматривать как последовательные переходы из состояния нормальной работы в состояние ожидания запасных частей и обратно. Чтобы смоделировать данный процесс необходимо воспользоваться палитрой **Диаграмма состояний**.

Перейдите в режим редактирования агента **Airport**. Далее нужно открыть палитру **Диаграмма состояний**. Любая диаграмма состояний должна начинаться с элемента **Начало диаграммы состояний** – он является точкой входа в диаграмму состояний (особенно это важно для многоуровневых диаграмм). Его нужно соединить с элементом **Состояние**, который будет отвечать за режим нормальной работы аэропортов (тот период времени, когда запасные части не нужны). Укажите имя **normalWork**, в свойства изменения вносить не нужно. Как было сказано выше работа аэропортов еще включает в себя режим ожидания запчастей, поэтому необходимо вынести еще один элемент **Состояние** в рабочую область. Назовите это состояние **waitingDetails**. К свойствам данного элемента вернемся позже.

Как сказано в тексте задачи, детали требуются аэропортам 2 раза в неделю – это значит, что переход из состояния нормальной работы в состояние ожидания запчастей происходит с заданной интенсивностью, чтобы отметить это в диаграмме состояний перетащите из палитры **Диаграмма состояний** объект **Переход**, в свойствах которого укажите следующие параметры:

Происходит: С заданной интенсивностью;

Интенсивность: 2 раза в неделю;

Как только аэропорт переходит в состояние ожидания запчастей, должен быть сформирован и отправлен на предприятие заказ. Чтобы отразить это в диаграмме состояний вернемся к свойствам элемента **waitingDetails**. В графе **Действие при входе** напишите следующее выражение:

```
Order order = new Order( this );  
send( order, main.manufacturing);
```

В первой строчке формируется новый заказ с параметром **this**, который указывает на аэропорт, с которого заказ поступает. Вторая строчка кода нужна для отправки – функция **send**, которая имеет два аргумента: что от-

править (созданный выше заказ) и кому отправить (на производство – агенту **manufacturing**).

Чтобы диаграмма состояний полностью отражала логику работы аэропорта, в контексте данной задачи, необходим еще один компонент **Переход** из состояния **waitingDetails** в состояние **normalWork**. Как известно из текста задачи, переход в нормальный режим работы осуществляется при получении сообщения “Доставлено!”. Для этого свойства компонента **Переход** должны соответствовать свойствам, указанным на рисунке 6.20:

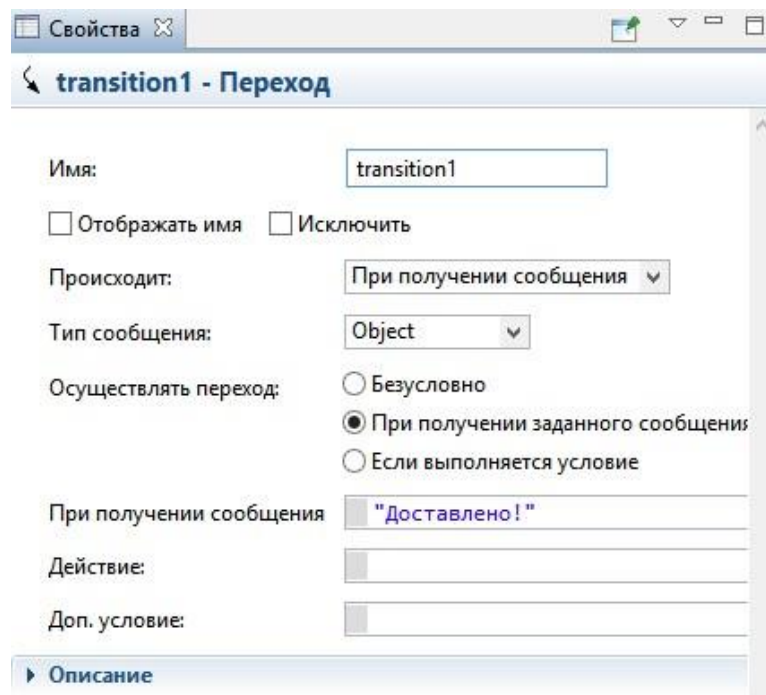


Рис. 6.20. Свойства элемента Переход

На рисунке 6.21 показана описанная выше диаграмма состояний.

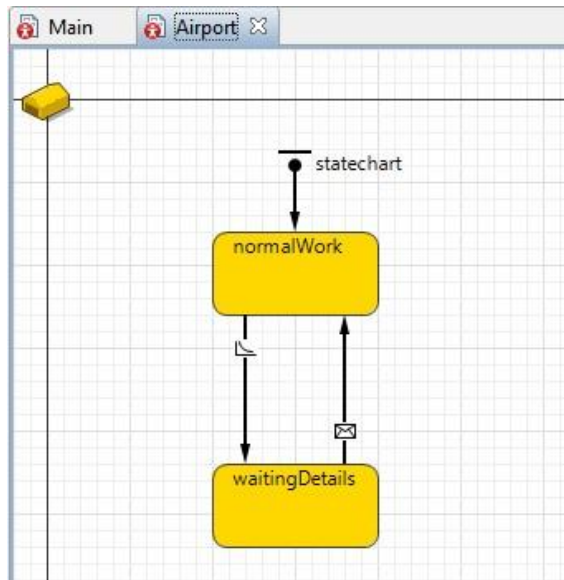


Рис. 6.21. Логика работы агента Airport

Теперь аэропорт может отправлять заказы на запасные части. Переходим к обработке и исполнению данного заказа.

3.3. Обработка заказа. Поведение агента Manufacturing

После получения заказа, на производстве выделяют ресурс (грузовик) для исполнения данного заказа. Его загружают заказанными запчастями, на что нужно от двух до трех часов, и отправляют в аэропорт. Там машину разгружают (в течение двух-трех часов), после чего посылается оповещение о доставке, и грузовик возвращается на производство, становясь свободным ресурсом.

Ниже, на рисунке 6.22, приведена модель данного процесса, далее каждый блок будет рассмотрен в отдельности.

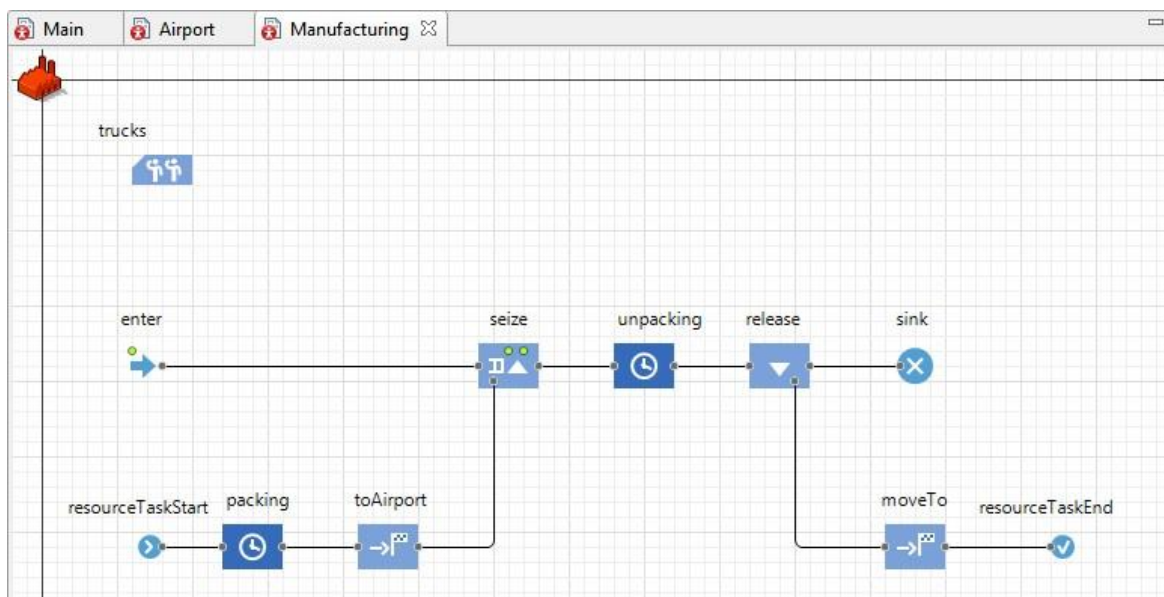


Рис. 6.22. Обработка и исполнение заказа на предприятии.

Чтобы реализовать показанный выше процесс, откройте редактирование агента **Manufacturing** и палитру **Библиотека моделирования процессов**. Вход в процесс осуществляется через блок **Enter**, в которые поступают заказы. Перетащите этот блок на рабочую область в свойствах задайте:

Тип агента: **Order**;

Далее полученный заказ поступает в очередь на ожидание ресурсов, для этого перетащите блок **Seize**, который и отвечает за захват ресурсов и соедините его с блоком **Enter**. Откройте свойства блока **Seize** и в пункте

Набор ресурсов кликните на изображение “+” – из всплывающего списка выберите **trucks** (грузовики).

Перед тем, как ресурс будет захвачен, он должен быть подготовлен, что в нашем случае означает загрузку машины. Подготовка ресурсов и их отправка происходит в специальном подпроцессе для ресурсов, который начинается с блока **Resource Task Start**. Его необходимо перетащить из палитры **Библиотека моделирования процессов** и расположить ниже, как показано на рисунке 22. В свойствах данного блока необходимо указать:

1. Тип ресурса: **Truck**;
2. Начинать задачу: всем ресурсам;

На загрузку ресурса требуется время. Перетащите блок **Delay**, назовите его **packing** и соедините с блоком **Resource Task Start**. Свойства блока **Delay**, приведены на рисунке 6.23:

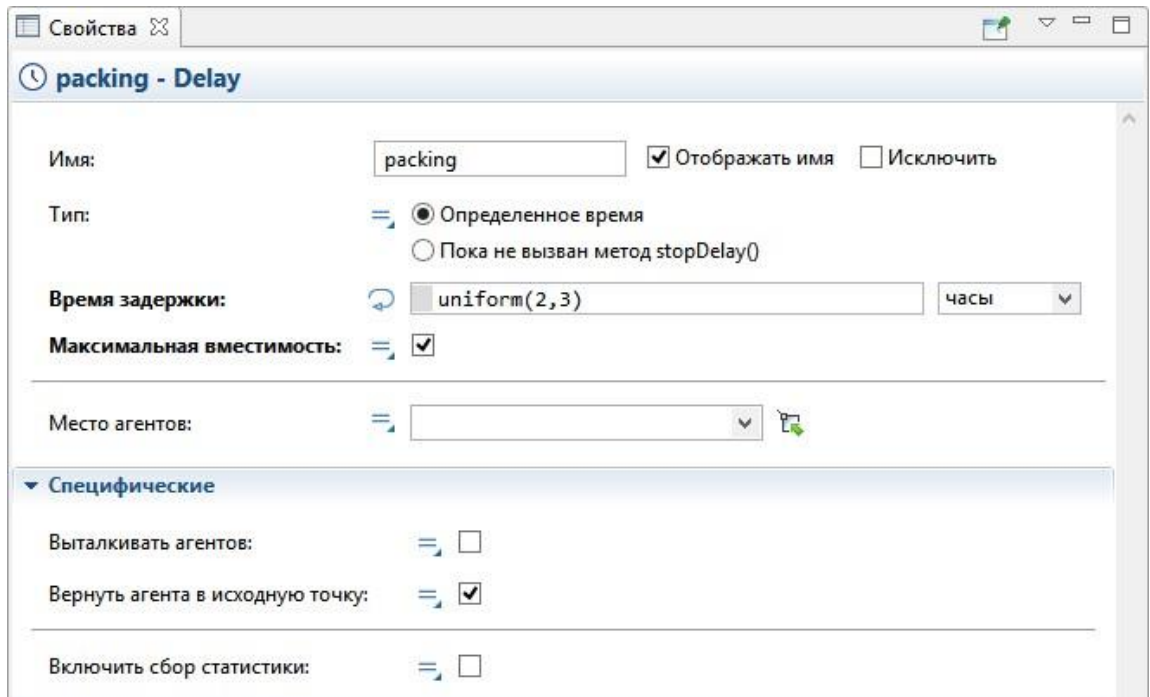


Рис. 6.23. Свойства блока Delay (packing)

Для времени задержки указан равномерный закон распределения между двумя и тремя часами: `uniform(2, 3)`.

После того, как ресурс загружен, его отправляют в аэропорт. Перетащите элемент **Move To**, переименуйте его в **toAirport** и соедините, как показано на рисунке 6.22. В свойствах необходимо указать пункт назначения, как показано на рисунке 6.24:

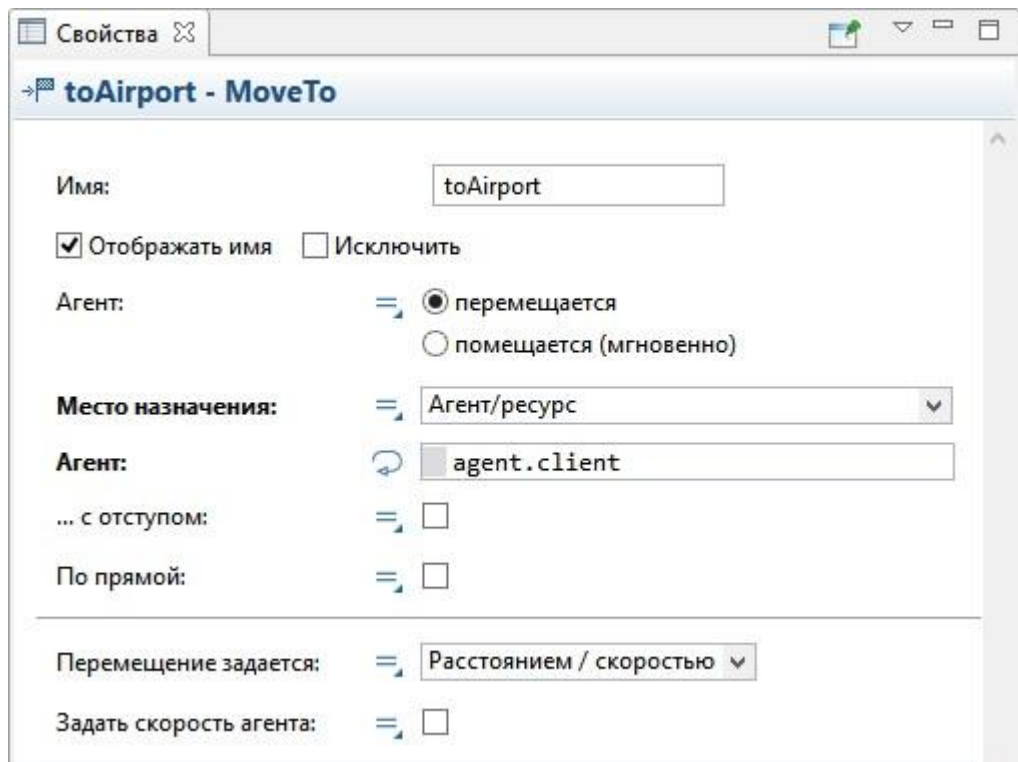


Рис. 6.24. Свойства блока Move To (toAirport)

Ресурс (грузовик) отправлен в блок **Seize**, теперь этому ресурсу должна быть передана информация внутри заказа, чтобы он знал, куда именно должен быть доставлен груз. Для этого перейдите в свойства объекта **Seize** и в пункте **Действия** в графу **При захвате ресурса** напишите следующее выражение:

```
((Truck)unit).client = agent.customer;
```

В данном выражении значению параметра **client**, который хранится внутри ресурса **Truck**, присвоено значение параметра **customer** агента **Order**.

Как только грузовик приехал в аэропорт, необходимо осуществить его разгрузку. Этот процесс моделируется аналогично процессу загрузки машины, а именно блоком **Delay**, который в данном случае будет называться **unpacking**. Свойства данного блока приведены на рисунке 6.25:

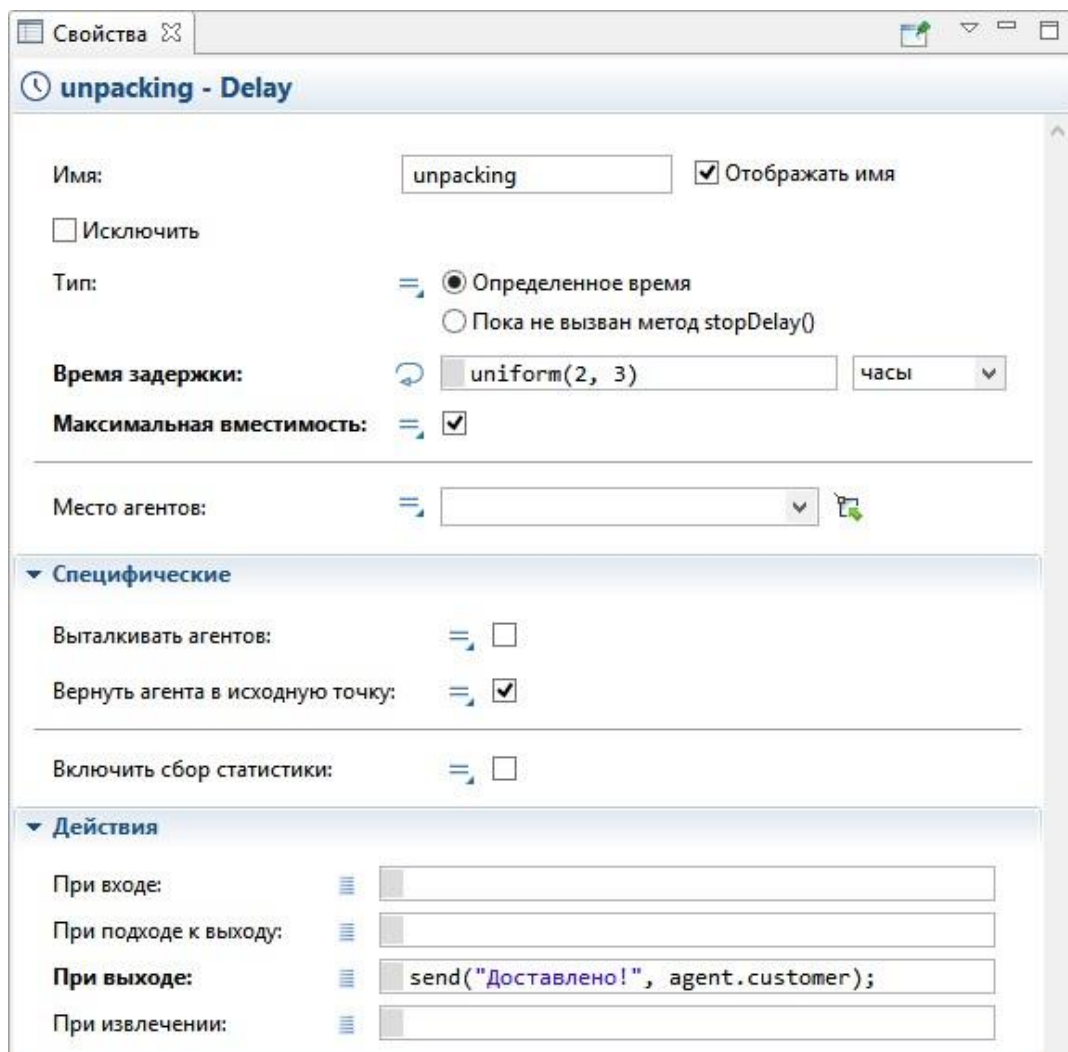


Рис. 6.25. Свойства блока Delay (unpacking)

При моделировании логики работы аэропорта было указано, что переход из состояния ожидания запчастей в состояние нормальной работы происходит при получении сообщения “Доставлено!”. Данное сообщение отправляется, как только закончена разгрузка, то есть происходит выход из блока **unpacking**. Для отправки использована встроенная функция **Send**, которая имеет два аргумента (что отправить, кому отправить).

После выполнения заказа ресурс становится свободным (блок **Release**, рис. 6.22), а агент (**Order**) отправляется в блок **Sink**, где будет удален. Так как ресурс освобожден, он должен быть отправлен на производство, для этого воспользуйтесь еще раз блоком **Move To**, в котором укажите место назначения агент **manufacturing**, который расположен на агенте **main** (см рис. 6.24).

Подпроцесс для ресурса должен быть закончен блоком **Resource Task End**, для того, чтобы ресурс вернулся в общий пул с ресурсами и был доступен для нового захвата.

На этом процесс обработки заказов готов, осталось только сделать так, чтобы все входящие заказы поступали на блок **Enter** обработки.

Все входящие сообщения обрабатываются в стандартном блоке **connections**, который по умолчанию существует внутри каждого агента. Откройте свойства блока **connections** агента **manufacturing** (рисунок 6.26):

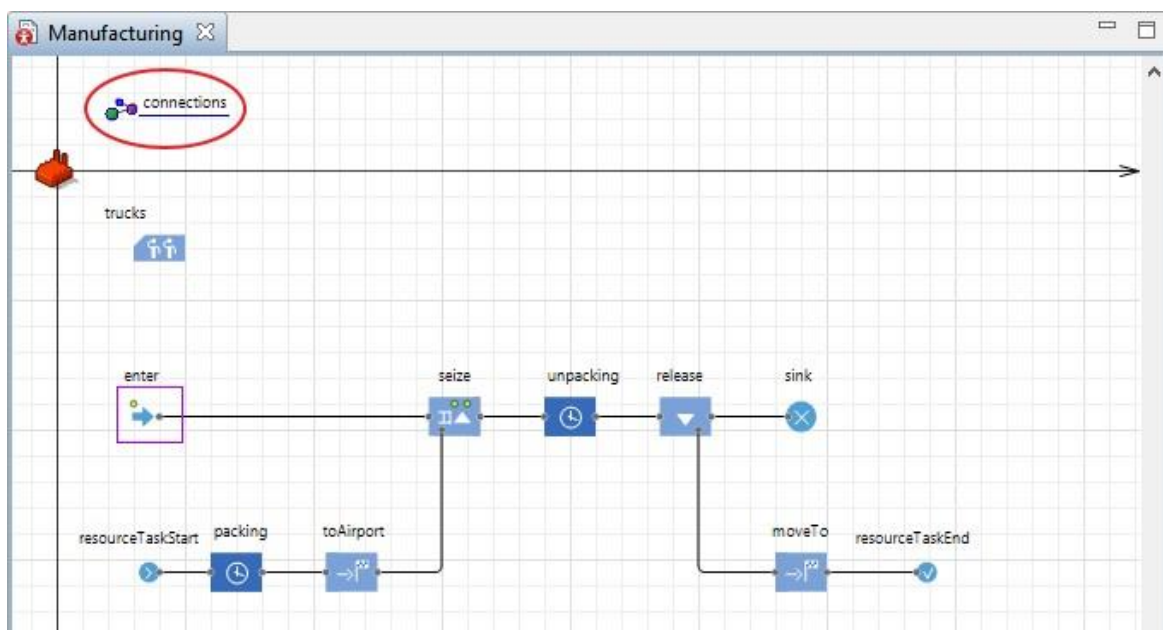


Рис. 6.26. Блок connections

В свойствах данного блока откройте пункт **Взаимодействие** и измените его поля согласно рисунку 6.27:

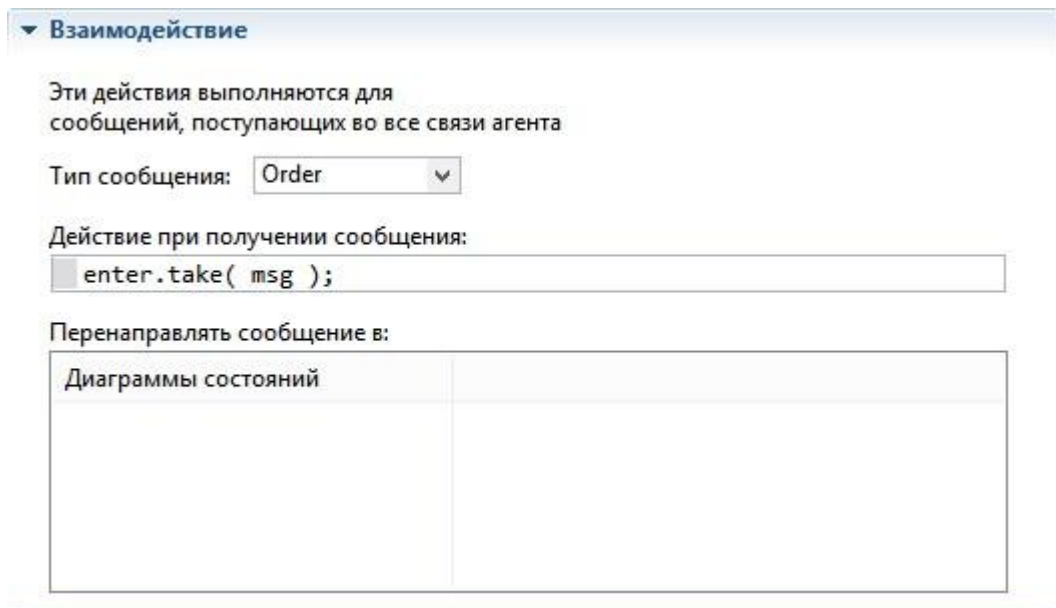


Рис. 627. Пункт Взаимодействие свойств connections

В поле **Действие при получении сообщения** введена команда, которая указывает, что блок **Enter** должен взять на обработку (функцией **take**) пришедшее сообщение (используя локальную переменную **msg**). Тип сообщения указывается согласно созданному ранее в агенте **manufacturing**.

Модель процесса доставки запасных частей на аэропорты готова и теперь можно перейти к запуску и оптимизации созданной модели.

3.4. Запуск и оптимизация модели

Перед тем, как запустить модель, необходимо изменить единицы модельного времени. Для этого откройте вкладку **Проекты**, выделите проект **Dostavka** и в пункте свойств **Единицы модельного времени** укажите **дни**. Запустить модель на исполнение, нажав F5. Результат исполнения модели указан на рисунке 6.28:

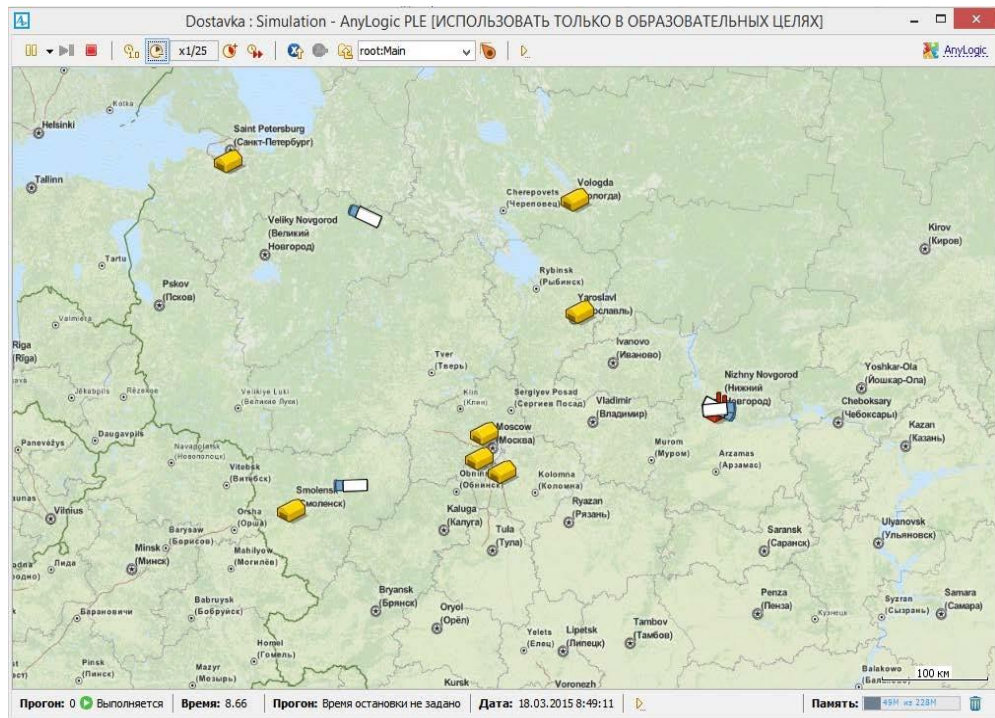


Рис. 6.28: Модель доставки запчастей в аэропорты

Если все было сделано правильно, то можно увидеть, как грузовики выезжают с предприятия, доезжают до аэропортов и возвращаются обратно. Изменяя масштаб карты, вы увидите, что грузовики движутся по реальным маршрутам, которые, как и сама карта, подгружаются из сети во время исполнения модели.

Чтобы оценить загруженность транспортного парка предприятия от-кроем агент **manufacturing** при запущенной модели. Для этого переместитесь по области отображения модели, нажав ЛКМ, как на рисунке 6.29.

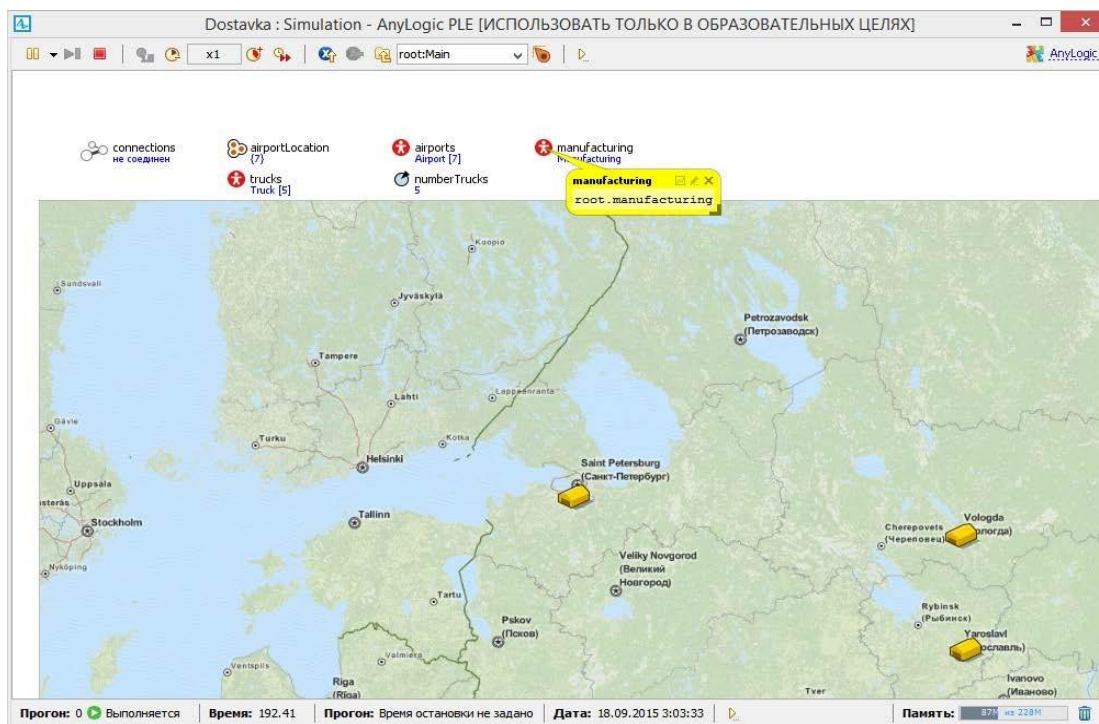


Рис. 6.29: Обращение к агенту manufacturing из запущенной модели
Открыв агент **manufacturing**, обратите внимание на блок **Resource Pool**.

По ходу обработки заказа фиксируется количество захваченных ресурсов, по которому можно оценить рациональность использования ресурсов. При использовании пяти грузовиков, средняя загруженность ресурсов составляет примерно 50 процентов, то есть только три из пяти грузовиков задействованы (рисунок 6.30).

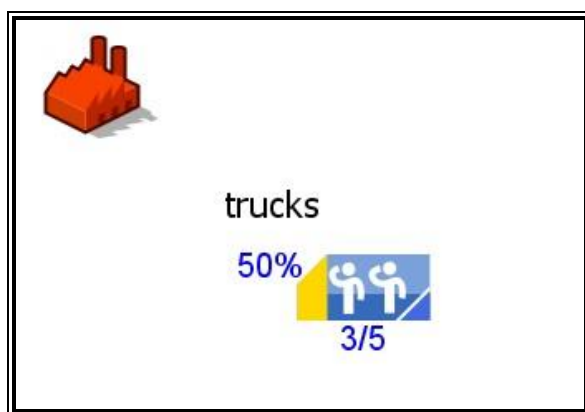


Рисунок 6.30. Использование ресурсов при доставке запчастей

По условию задачи, загруженность ресурсов при доставке должна быть не более 85%, следовательно, часть ресурсов простаивает и приносит убытки предприятию. Проведем оптимизацию.

Чтобы провести оптимизацию необходимо вызвать новый эксперимент.

Для этого на вкладке **Проекты**, вызовите контекстное меню ПКМ на **Simulation: Main**, далее Создать/Эксперимент:

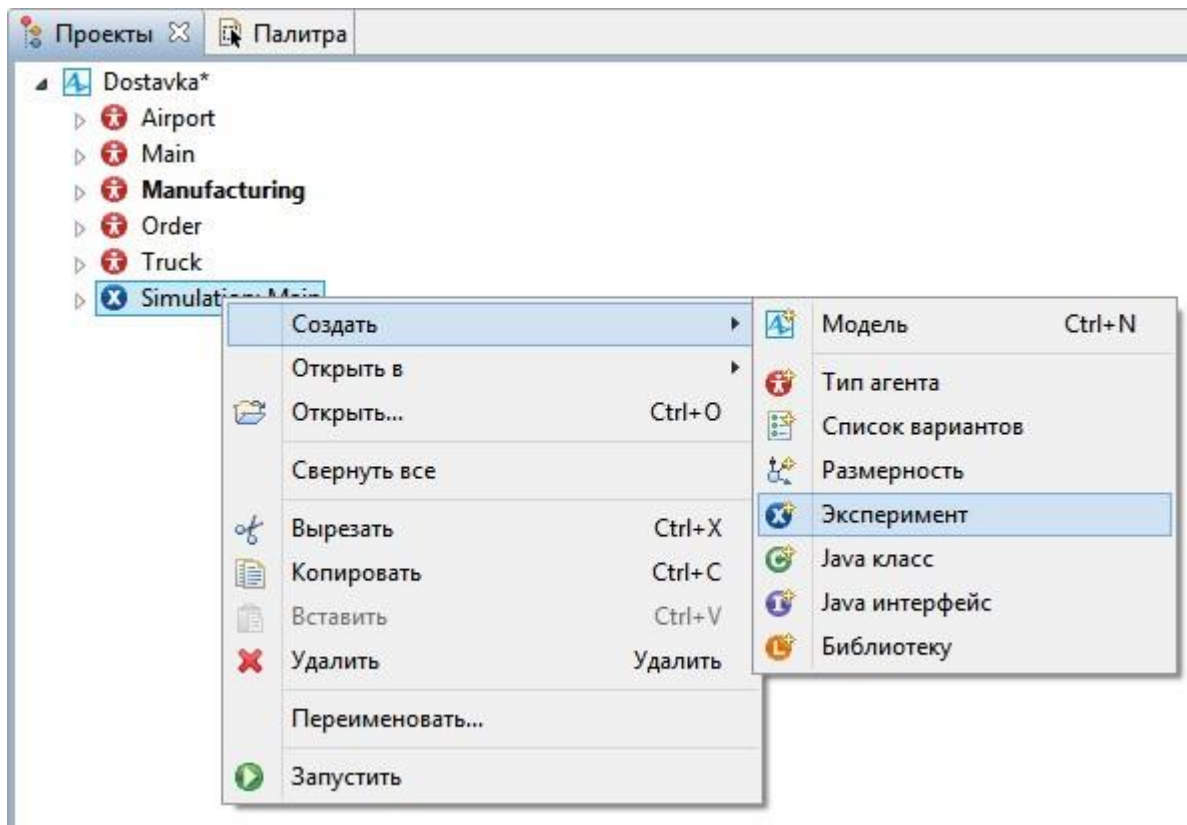


Рис. 6.31. Вызов эксперимента для оптимизации

Далее откроется окно с параметрами эксперимента. Здесь выберите **Тип эксперимента: Оптимизация** и нажмите **Готово**.

Перейдите в свойства эксперимента и измените их соответственно рисунку 6.32.

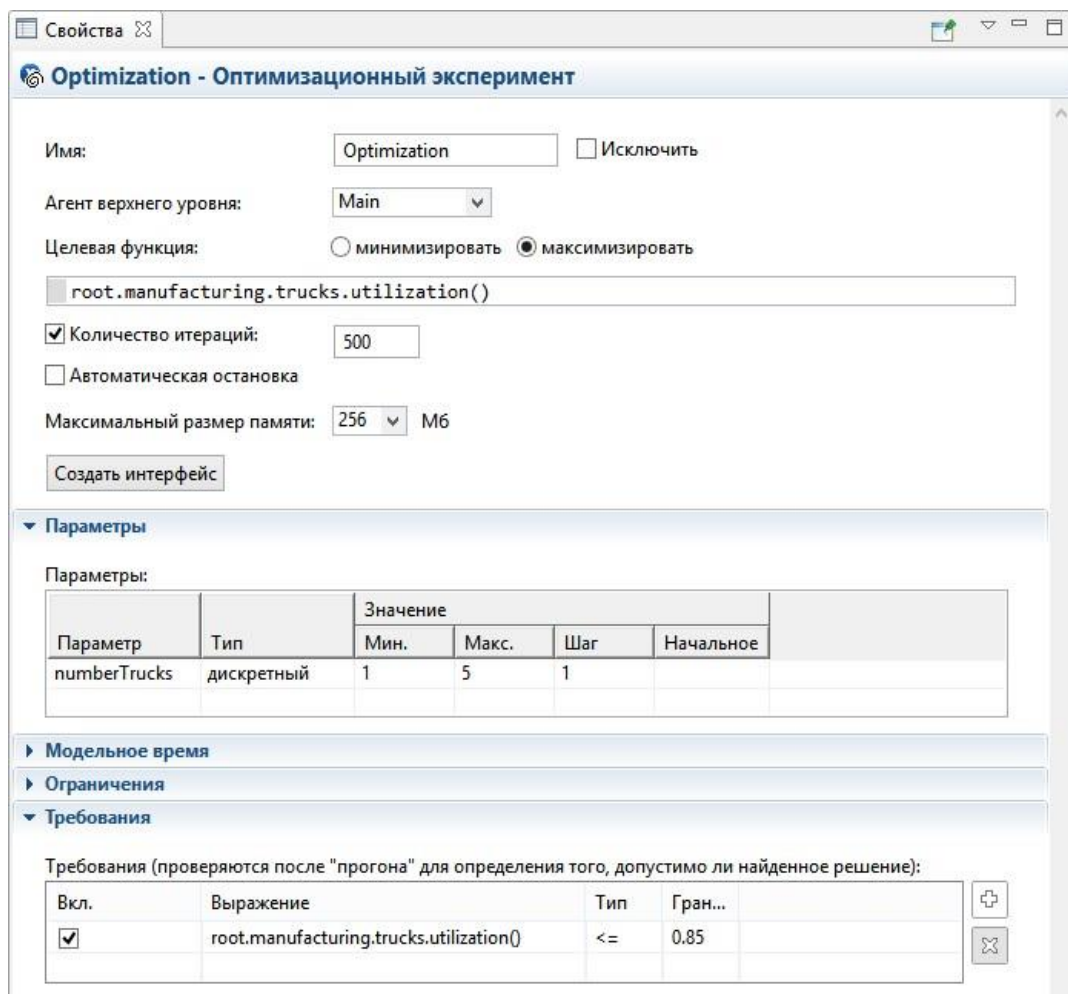


Рис. 6.32. Свойства оптимизационного эксперимента

В качестве изменяемого параметра выбран **numberTrucks** (количество грузовиков), которое меняется дискретно от 1 до 5. За целевую функцию принята средняя загрузка всех грузовиков, которая максимизирована с ограничением (не больше 85%) в пункте **Требования**. Строчка кода *root.manufacturing.trucks.utilization()* позволяет обратиться к параметру средней загрузки **utilization()** ресурса **trucks** агента **manufacturing**, находящегося на корневом агенте **root** (в данном случае **main**).

Запустите эксперимент по оптимизации, выбрав его из вкладки **Палитра**. На рисунке 6.33 приведен пример исполнения эксперимента.

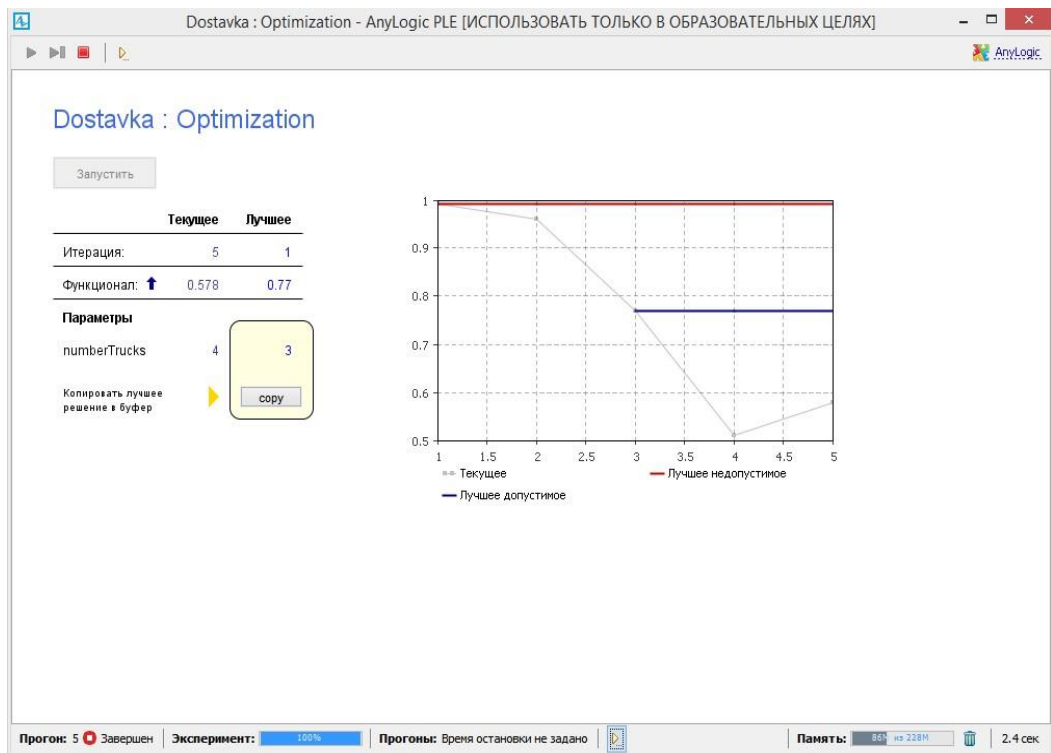


Рис. 6.33. Оптимизация процесса доставки запчастей

Как видно из рисунка 6.33, лучшее допустимое значение загруженности ресурсов находится на отметке 77% при использовании 3-х грузовиков. При использовании 4-х грузовиков целевая функция превышает заданное в свойствах эксперимента требование.

Теперь откройте свойства параметра **numberTrucks** и установите:

Значение по умолчанию: 3.

Запустите симуляцию модели и оцените среднюю загруженность ресурсов при данном количестве грузовиков, аналогично, как на рисунке 6.30.

Если все сделано согласно указаниям, среднее значение загруженности ресурсов на предприятии будет колебаться между 75-77%.

Контрольные вопросы

1. Исходные данные задачи доставки запчастей в аэропорты.
2. Порядок создания модели.
3. ГИС карты.
4. Диаграммы действий.

5. Диаграммы состояний.
6. Оптимизационный эксперимент.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вопросы моделирования транспортных процессов и систем приобретают все более важное значение в гражданской авиации. В настоящее время продолжается изучение методов имитационного моделирования с точки зрения построения более эффективных транспортных систем и технологических процессов аэропортов. Имитационное моделирование позволяет строить модели сложных систем, отличаются большой наглядностью и возможностью анимации, воспроизводят структуру процесса.

Рассмотренная программа имитационного моделирования AnyLogic в числе методов содержит метод агентного моделирования, являющийся достаточно новым и перспективным.

Дальнейшим развитием моделирования является применение методов искусственного интеллекта. Важным направлением развития является использование облачных технологий.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Александров, Д. В. Моделирование и анализ бизнес-процессов : учебник / Д. В. Александров. — Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2017. — 227 с. — ISBN 978-5-9908055-8-3. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/61086.html> (дата обращения: 10.10.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
2. Ефромеева, Е. В. Имитационное моделирование: основы практического применения в среде AnyLogic : учебное пособие / Е. В. Ефромеева, Н. М. Ефромеев. — Саратов : Вузовское образование, 2020. — 120 с. — ISBN

978-5-4487-0586-1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/86701.html> (дата обращения: 10.10.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей. - DOI: <https://doi.org/10.23682/86701>

Дополнительная

1. Салмина, Н. Ю. Имитационное моделирование : учебное пособие / Н. Ю. Салмина. — Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Эль Контент, 2015. — 118 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/70012.html> (дата обращения: 10.10.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

2 Краснов, С.И. Применение математического моделирования в сфере обеспечения авиационной безопасности: учебное пособие / С.И. Краснов, А.М. Лебедев, Н.В. Павлов. Ульяновск : УВАУ ГА(И), 2011. – 121 с.

3. Фомин, В. Г. Имитационное моделирование : учебное пособие / В. Г. Фомин. — Саратов : Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, ЭБС АСВ, 2015. — 87 с. — ISBN 918-5-7433-2861-1. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/76483.html> (дата обращения: 10.10.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей. - DOI: <https://doi.org/10.23682/76483>

4. Имитационное моделирование процессов и систем в авиации: методические указания по выполнению контрольной работы / составитель : К. А. Толстов. – Ульяновск : УИ ГА, 2018. – 39 с.

5. Моделирование транспортных процессов : учебное пособие / составитель К.А. Толстов. – Ульяновск : УИ ГА, 2023. – 74 с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев, К.К. Математическое моделирование систем связи : учебное пособие / К.К. Васильев, М.Н. Служивый. – Ульяновск : УЛГТУ, 2008. – 168 с.
2. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон; пер. с англ. под ред. Е. К. Масловского. – М. : Мир, 1978. – 418 с.
3. Данилов, А. М. Математическое и компьютерное моделирование сложных систем : учеб. пособие / А. М. Данилов, И. А. Гарькина, Э. Р. Домке. – Пенза : Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2011. – 296 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/23100>. – Загл. с экрана.
4. Anylogic за три дня. – Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/resources/books/free-simulation-book-and-modeling-tutorials/>. – Загл. с экрана.
5. Кумунжиев, К. В. Теория систем и системный анализ : учебное пособие / К. В. Кумунжиев. – Ульяновск : УЛГУ, 2003. – 240 с.
6. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей : учебник для втузов / Е. С. Вентцель. 8-е изд., перераб. и доп. – М. : Физматлит, 1999. – 576 с.
7. Звонарев, С.В. Основы математического моделирования: учебное пособие/ С. В. Звонарев. — Екатеринбург : Издательство Урал. университета, 2019. — 112 с.
8. Мезенцев, К.Н. Моделирование систем. В 2 ч. Ч. 1. Основы системотехники и исследования систем: курс лекций / К.Н. Мезенцев; под ред. д-ра техн. наук, проф. А.Б. Николаева. – М.: МАДИ, 2017. – 84 с.
9. Штерензон, В. А. Моделирование технологических процессов: конспект лекций / В. А. Штерензон. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2010. 66 с.

10. Петухов, О.А. Моделирование: системное, имитационное, аналитическое: учеб. пособие / О.А. Петухов, А.В. Морозов, Е.О. Петухова. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2008. – 288 с.

11. Акопов, А. С. Имитационное моделирование : учебник и практикум для академического бакалавриата / М. : Издательство Юрайт, 2014. — 389 с. — Серия : Бакалавр. Академический курс.

12. Аксенов, К. А. Моделирование и принятие решений в организационно-технических системах: учебное пособие. В 2 ч. Ч. 1 / К. А. Аксенов, Н. В. Гончарова. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 104 с.

13. Каталевский, Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учебное пособие; 2-е изд., перераб. и доп. / Д.Ю. Каталевский. — М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2015. — 496 с., ил.

14. Куприяшкин, А.Г. Основы моделирования систем [Текст]: учеб. пособие / А.Г. Куприяшкин; Норильский индустр. ин-т. – Норильск: НИИ, 2015. – 135 с.

15. Солнышкина, И.В. Теория систем массового обслуживания / И.В. Солнышкина. – Комсомольск -на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2015. – 76 с.