

ДИСЦИПЛИНА	Программные средства имитационного моделирования систем (полное наименование дисциплины без сокращений)
ИНСТИТУТ	ИТ
КАФЕДРА	Прикладной математики полное наименование кафедры)
ВИД УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА	Практики (в соответствии с пп.1-11)
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ	Есипов Иван Владимирович (фамилия, имя, отчество)
СЕМЕСТР	7, 2024-2025 (указать семестр обучения, учебный год)



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное

Учреждение высшего образования

МИРЭА – Российский технологический университет

Институт Информационных Технологий

Кафедра Прикладной математики

Практическая работа №2

Тема практической работы

«Модель производственного цеха»

Москва 2025

МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦЕХА

В этой работе мы разберем, как создавать модели дискретных событий с использованием **Библиотеки моделирования процессов (Process Modeling Library)** и **Библиотеки производственных систем (Material Handling Library)** AnyLogic. Наша цель — создать модель дискретных событий, которая будет имитировать производственные и отгрузочные процессы небольшого производственного цеха. Дискретно-событийное моделирование — это мощный подход, который позволяет анализировать и оптимизировать сложные системы, рассматривая их как последовательность отдельных событий во времени. Этот метод идеально подходит для моделирования производственных линий, логистических цепочек, систем обслуживания клиентов и многого другого. Сырье, доставляемое на приемный док, помещается на хранение до тех пор, пока не начнется обработка на станке с числовым программным управлением (ЧПУ). Создавая такую модель, мы сможем выявить узкие места, оценить эффективность использования ресурсов и протестировать различные сценарии управления без вмешательства в реальную работу цеха.

Краткое содержание работы

В ходе этого практического занятия мы последовательно пройдем через пять ключевых этапов, каждый из которых будет добавлять новый уровень детализации и реализма в нашу модель:

- **Этап 1.** Создание простой модели для имитации прибытия поддонов в цех и их хранения на отгрузочном доке. Это основа, на которой мы построим всю остальную логику.
- **Этап 2.** Расширение модели путем добавления вилочных погрузчиков для размещения поддонов на складе, а затем их перемещения в производственную зону. На этом этапе мы вводим концепцию подвижных ресурсов и конкуренции за них.
- **Этап 3.** Добавление 3D-анимации. Визуализация процессов помогает лучше понять динамику модели, проверить ее корректность и

наглядно представить результаты.

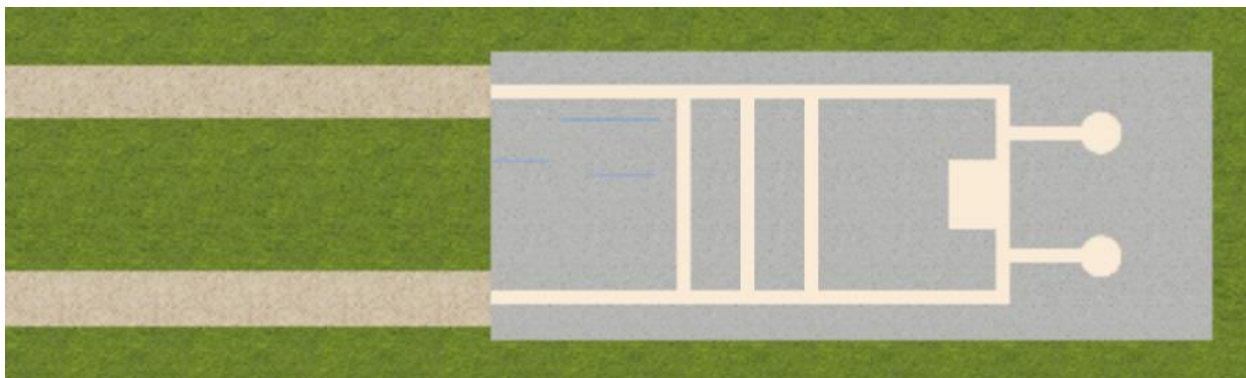
- **Этап 4.** Добавление грузовиков, которые доставляют поддоны в цех. Это усложняет модель, добавляя еще один независимый процесс и связывая генерацию сырья с прибытием транспорта.

- **Этап 5.** Моделирование станков с ЧПУ, на которых обрабатывается сырье. Мы завершим модель, добавив стационарные ресурсы, моделирующие ключевой производственный процесс, и проанализируем полный цикл от доставки до обработки.

Этап 1. Создание простой модели

Мы начнем с создания простой модели, которая будет имитировать прибытие поддонов в цех, их хранение на отгрузочном доке и их прибытие в зону вилочных погрузчиков. Этот начальный этап позволит нам заложить фундамент: определить физическое пространство цеха и базовую последовательность операций, через которые проходят материалы. Это важный шаг, так как он позволяет проверить основную концепцию перед добавлением более сложных деталей.


Мы будем использовать следующую планировку:







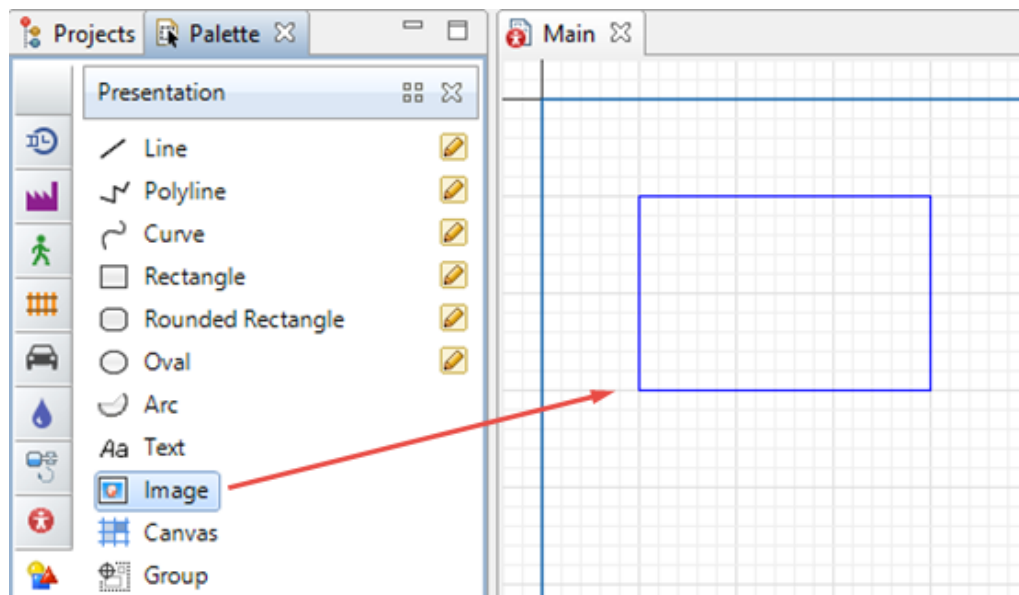
Щелкните правой кнопкой мыши по изображению выше, выберите **Сохранить изображение как** и укажите место для сохранения файла изображения. Наличие графической планировки значительно упрощает процесс моделирования, так как она служит визуальным ориентиром для размещения всех элементов модели — от путей и узлов до расположения оборудования.

1. Создайте новую модель. В мастере **Новая модель (New Model)**


установите **Имя модели (Model name)** на *Job Shop*, а **Единицы модельного времени (Model time units)** на **минуты (minutes)**. Выбор правильных единиц времени с самого начала крайне важен для корректной интерпретации результатов симуляции.

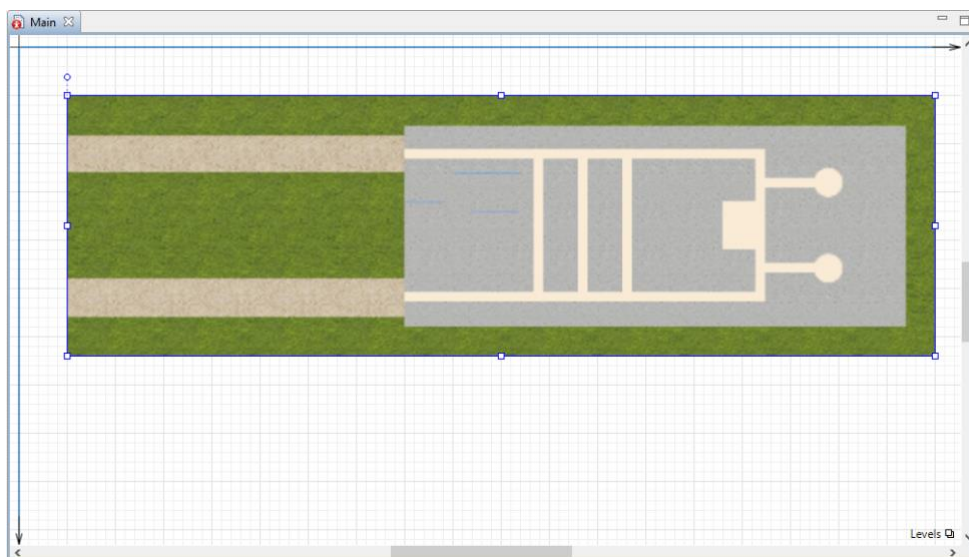
2. Откройте палитру  **Презентация (Presentation)**. Эта палитра предоставляет инструменты для создания 2D и 3D визуализации вашей модели. Палитра содержит несколько фигур, которые можно использовать для рисования анимации модели, включая прямоугольник, линию, овал, ломанную и кривую.



3. На палитре  **Презентация (Presentation)** выберите фигуру  **Изображение (Image)**, а затем перетащите ее на диаграмму  *Main*. В AnyLogic Main является корневым агентом модели, который содержит все остальные элементы. Вы можете использовать фигуру  **Изображение (Image)** для добавления изображений в нескольких графических форматах — включая PNG, JPEG, GIF и BMP — в вашу презентацию.

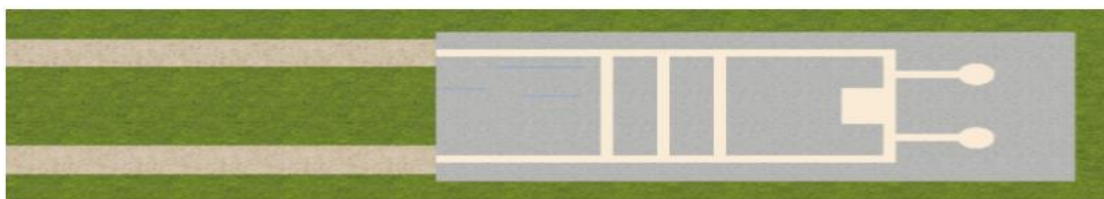



4. Вы увидите диалоговое окно, предлагающее выбрать файл изображения, который будет отображать фигура.

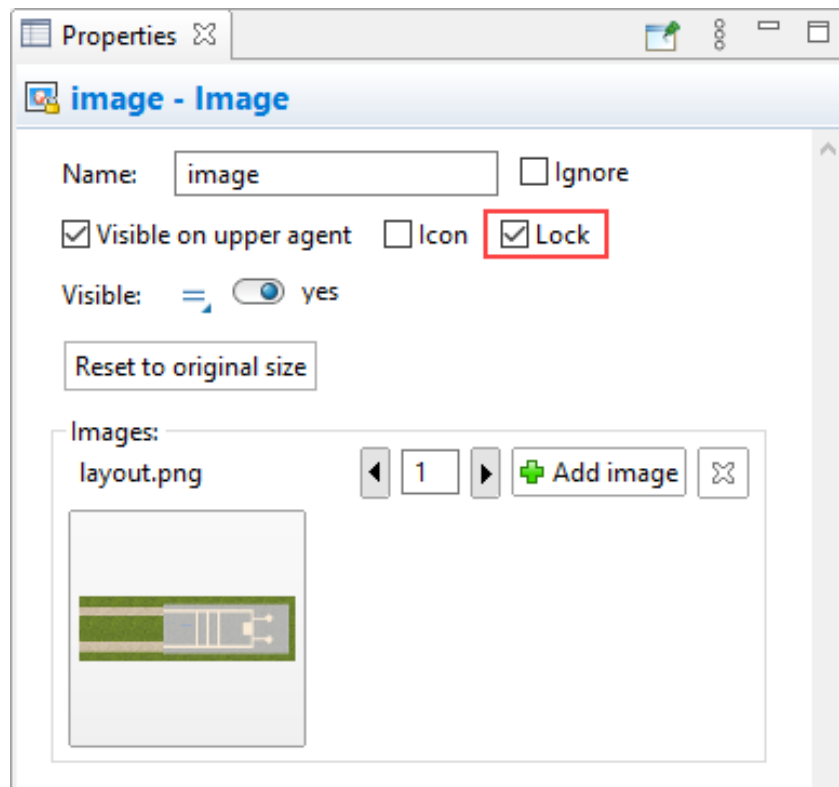
5. Перейдите к местоположению файла изображения, который вы сохранили ранее. После выбора изображения *layout.png* наша диаграмма типа агента  *Main* должна выглядеть как на следующем изображении:



AnyLogic добавляет изображение в его исходном размере на диаграмму  *Main*, но вы также можете изменить ширину или длину изображения. Если вы исказили пропорции изображения, как на рисунке ниже, вы можете вернуться к исходному размеру изображения, открыв панель  **Свойства (Properties)** и нажав **Восстановить исходный размер (Reset to original size)**.



6. Выберите изображение в графическом редакторе. В панели  **Свойства (Properties)** установите флажок **Заблокировать (Lock)**, чтобы заблокировать.




Блокировка фигур

Вы можете заблокировать фигуру, чтобы она не реагировала на щелчок мыши, и вы не могли выбрать ее в графическом редакторе. Это будет очень полезно, когда вы будете рисовать фигуры поверх планировок, представляющих такие объекты, как заводы или больницы. Заблокировав фоновое изображение, вы избежите его случайного смещения при добавлении других элементов модели поверх него.

Если вам нужно разблокировать фигуру, щелкните правой кнопкой мыши в графическом редакторе и выберите **Снять блокировку со всех фигур (Unlock All Shapes)** из меню.

Элементы пространственной разметки

Наш следующий шаг — использовать палитру  **Пространственная разметка (Space Markup)** для размещения фигур пространственной разметки поверх планировки цеха. Эти элементы определяют физическую среду модели и правила перемещения в ней. Мы будем использовать пути и узлы для создания сети, по которой будут двигаться наши агенты.

Создание сети




Пути (Paths) и узлы (nodes) — это элементы пространственной разметки, которые определяют местоположение агентов:

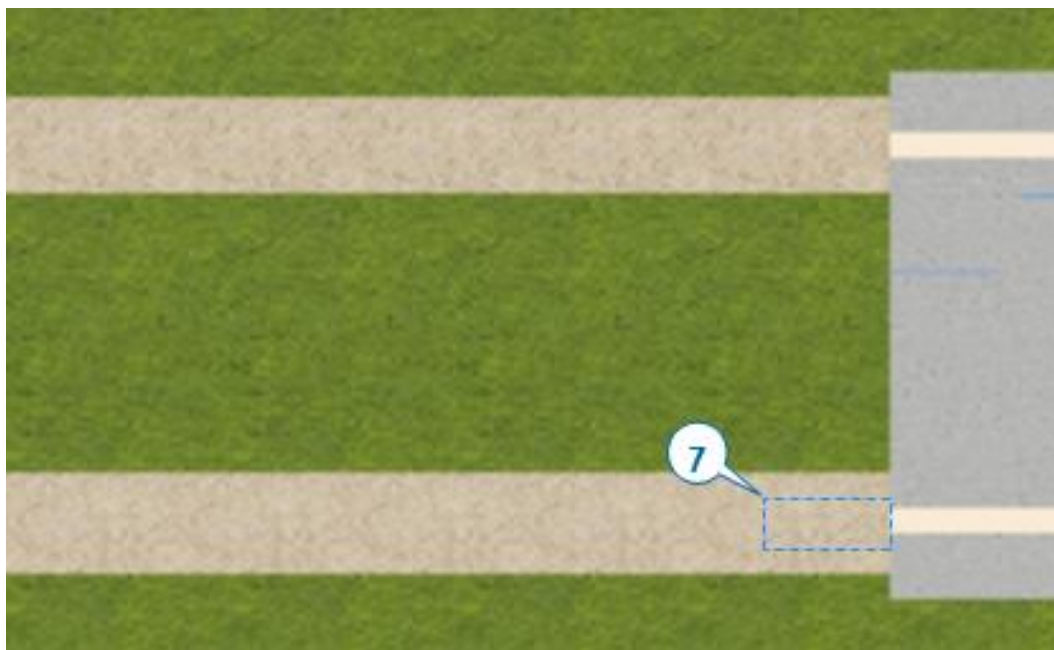
- **Узел (Node)** — это место, где агенты могут находиться или выполнять операцию. Это может быть конкретная точка, например место ожидания, или целая область, например, рабочая зона или парковка.
- **Путь (Path)** — это маршрут, который агенты могут использовать для перемещения между узлами. Он определяет возможные траектории движения.

Вместе узлы и пути составляют **сеть (network)**, которую агенты могут использовать для перемещения по кратчайшим путям между начальным и конечным узлами. AnyLogic автоматически рассчитывает кратчайший маршрут на основе созданной сети, что избавляет от необходимости вручную прописывать траекторию для каждого перемещения. Обычно вы создаете сеть, когда процессы вашей модели происходят в определенном физическом пространстве и в ней есть движущиеся агенты и ресурсы. Предполагается, что сегменты сети имеют неограниченную пропускную способность, и агенты не мешают друг другу.


Теперь, когда вы немного знаете о сетях и их компонентах, мы готовы создать сеть, которая будет определять пути движения для поддонов нашей модели. Первый шаг — использовать прямоугольные узлы для определения конкретных областей на планировке цеха.

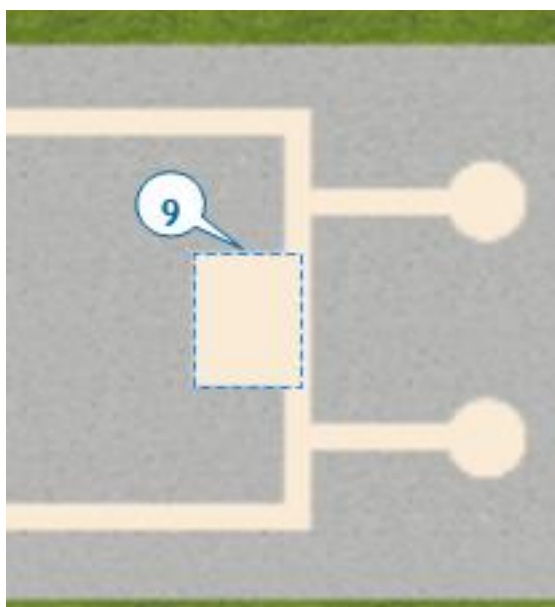
Нарисуйте прямоугольный узел над входом в цех, как показано на рисунке ниже, чтобы представить приемный док для поддонов нашей модели.



7. Откройте палитру  **Пространственная разметка (Space Markup)** и перетащите элемент  **Прямоугольный узел (Rectangular Node)** на диаграмму  *Main*. Измените размер узла. Узел должен выглядеть как на рисунке ниже.

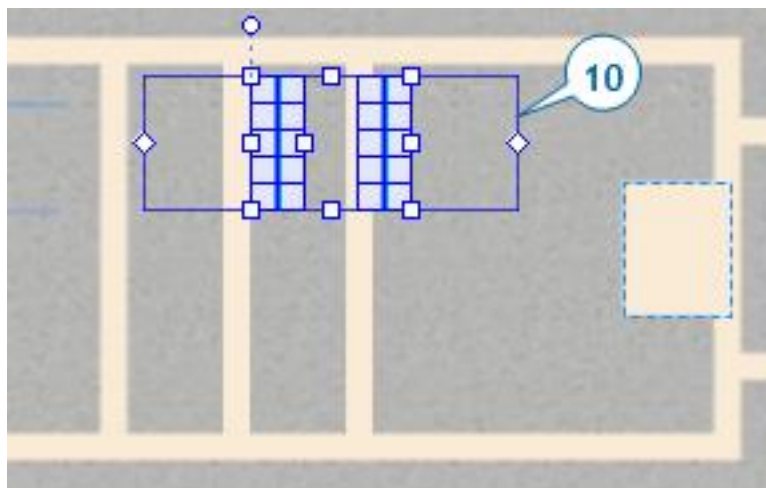


8. Назовите созданный узел *receivingDock*.


9. Нарисуйте узел, чтобы определить место, где будут парковаться погрузчики, когда они простаивают и больше не нужны агентам для выполнения задачи. Используйте еще один  **Прямоугольный узел (Rectangular Node)**, чтобы нарисовать парковочную зону, как показано на рисунке ниже, а затем назовите этот узел *forkliftParking*.



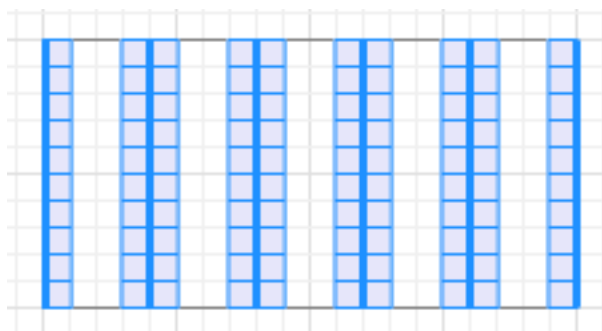
10. Определите складское хранилище вашей модели, перетащив элемент  **Склад (Storage)** из раздела **Обработка материалов (Material Handling)** палитры  **Пространственная разметка (Space Markup)** на планировку и разместив его, как показано ниже.



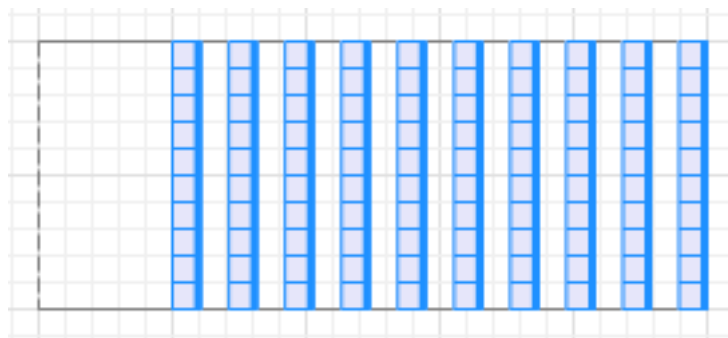
Склад (Storage)

 Склад (Storage) графически определяет склад, состоящий из стеллажей для поддонов. Каждый стеллаж состоит из ячеек. Одна ячейка может вместить одного агента (единицу материала). Один элемент склада может содержать несколько стеллажей. Он поддерживает следующие альтернативные режимы размещения стеллажей:

Гибридное (Back-to-back) - стеллажи организованы парами, спина к спине. Таким образом, каждый проход обеспечивает доступ к двум стеллажам. Эта конфигурация является наиболее распространенной, так как она максимизирует плотность хранения.



По отдельности (Stand-alone) - все стеллажи обращены в одном направлении, и каждый проход может обеспечить доступ к одному стеллажу.



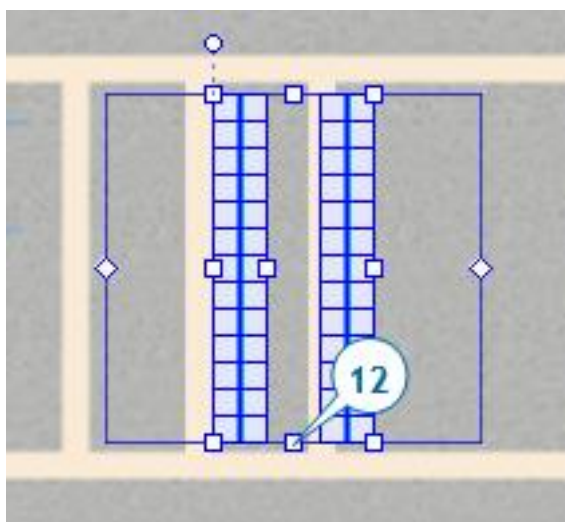
Мы будем использовать конфигурацию хранения «гибридное» (которая является стандартной).

11. В области  **Свойства (Properties)** склада укажите следующее:

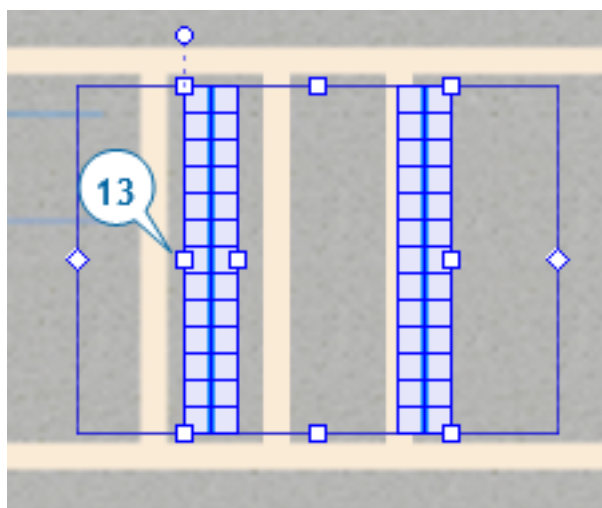
- Установите свойство **Количество секций (Number of bays is)** на **вычисляется на основании размеров склада (calculated based on dimensions)**. Это позволит AnyLogic автоматически определять количество ячеек по горизонтали в зависимости от физического размера элемента на диаграмме.

- Установите свойство **Количество полок (Number of shelves): 2**. Это определит количество уровней хранения по вертикали.

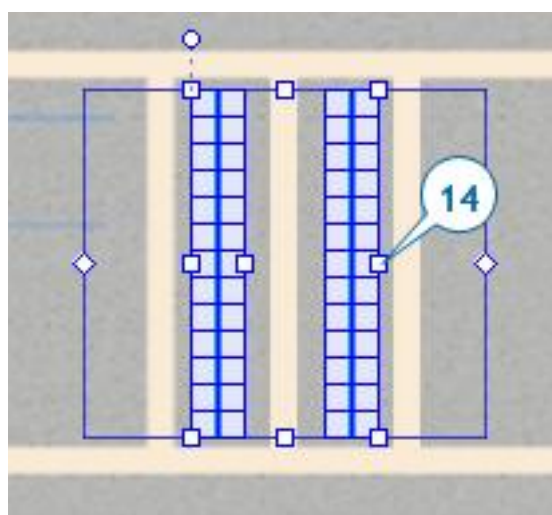
12. Измените размер склада, как показано на рисунке ниже. С ранее установленными настройками склад должен иметь 13 секций.



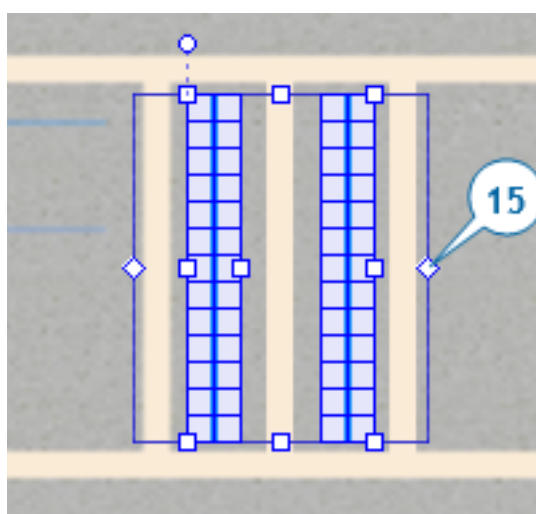
13. Расположите левый стеллаж, как показано ниже, перетаскив отмеченный маркер влево.



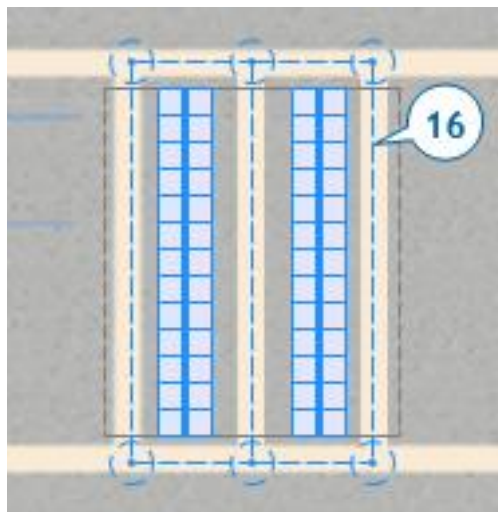
14. Аналогично, перетаскив маркер с правой стороны правого стеллажа, разместите его между двумя проходами на нашей планировке.



15. Уменьшите зону доступа, перетаскив самый правый маркер, как показано ниже.





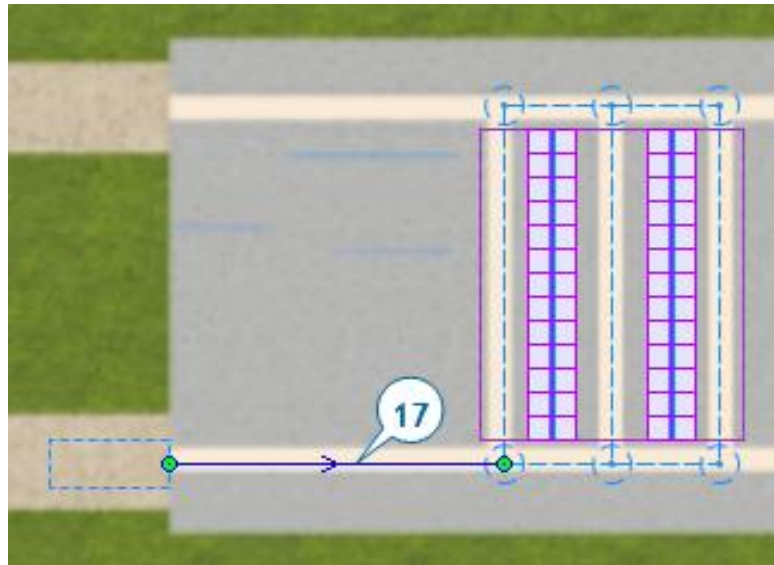
16. Теперь, когда мы закончили настройку склада, пришло время создать сеть, которая будет определять пути, позволяющие вилочным погрузчикам достигать каждой ячейки склада. Нажмите кнопку **Создать складскую сеть (Create storage network)** в свойствах склада. Подтвердите действие в диалоговом окне, и вы увидите созданную сеть узлов и путей. Эта сеть будет использоваться вилочными погрузчиками для доставки и извлечения товаров на/со склада. Эта автоматическая генерация значительно экономит время, создавая все необходимые пути доступа к ячейкам.



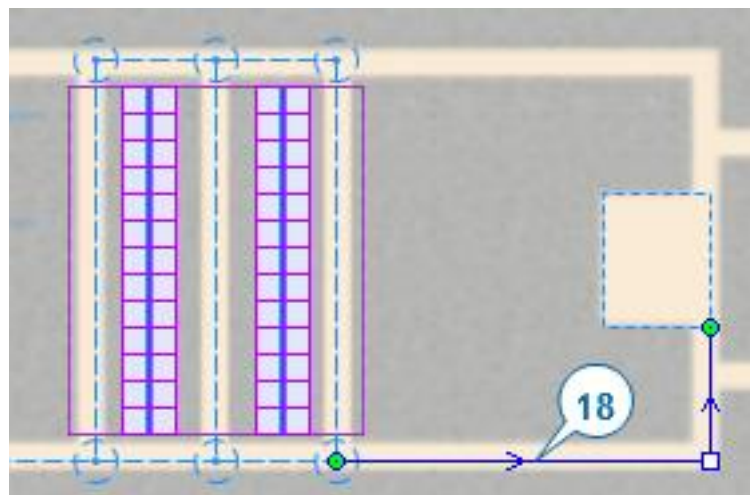
Теперь давайте продолжим рисовать сеть, добавив пути, которые соединят оба узла и склад. Сначала нарисуйте путь, соединяющий склад с узлом у входа, *receivingDock*.

17. Выполните следующие действия, чтобы нарисовать путь движения, который будет направлять наши погрузчики:

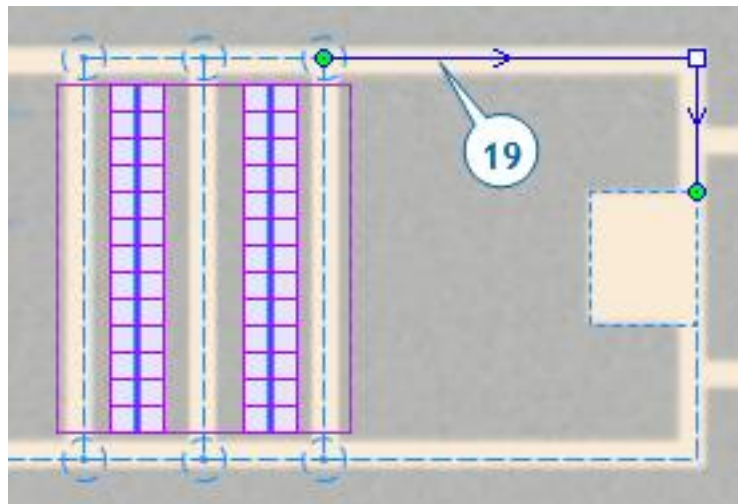
- На палитре  **Пространственная разметка (Space Markup)** дважды щелкните элемент  **Путь (Path)**, чтобы активировать режим рисования.
- Нарисуйте путь, как показано на рисунке ниже, щелкнув по границе *receivingDock*, а затем щелкнув в центре нижнего левого точечного узла сети, которую вы создали для склада.



18. Нарисуйте еще один путь движения, как показано на рисунке ниже, щелкнув в центре нижнего правого точечного узла, затем щелкнув на диаграмме, чтобы добавить точку поворота пути, и, наконец, щелкнув по границе узла *forkliftParking*.



19. Аналогично нарисуйте еще один путь движения, как показано на рисунке ниже.




Убедитесь, что элементы сети соединены правильно. Если вы успешно соединили узлы с путями, точки соединения пути будут подсвечиваться голубым цветом каждый раз, когда вы выбираете путь. Это визуальное подтверждение того, что сеть является единым целым, и агенты смогут строить маршруты между этими точками.

По умолчанию пути в AnyLogic двунаправленные. Однако вы можете ограничить движение по выбранному пути одним направлением, сняв флажок **Двунаправленный (Bidirectional)**, а затем определив направление движения. Это полезно для моделирования односторонних коридоров или конвейерных лент. Вы можете просмотреть направление данного пути, выбрав путь, а затем посмотрев на стрелку направления, которая отображается в графическом редакторе.

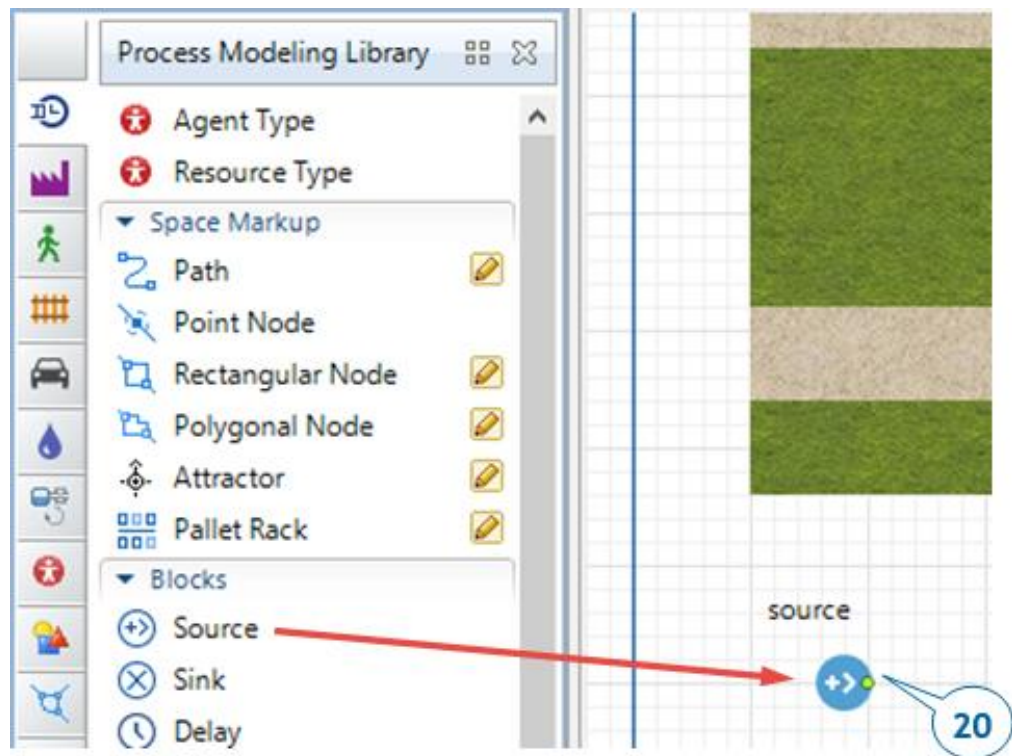
Мы разметили пространство нашей модели, нарисовав важные места и пути поверх нашей планировки, и теперь мы будем использовать **Библиотеку моделирования процессов (Process Modeling Library)** AnyLogic для моделирования процессов.




Библиотека моделирования процессов (Process Modeling Library)


Блоки в  **Библиотеке моделирования процессов (Process Modeling Library)** позволяют использовать комбинации агентов, ресурсов и процессов для создания процессно-ориентированных моделей реальных систем. Вы уже узнали об агентах и ресурсах ранее в этом разделе, и мы будем развивать эту основу, определяя процессы как последовательности операций, которые

включают очереди, задержки и использование ресурсов. Этот подход, основанный на блок-схемах, является интуитивно понятным и позволяет быстро создавать даже сложные модели.

Процессы вашей модели определяются блок-схемами, графическими представлениями процессов, которые вы создаете из блоков Библиотеки моделирования процессов. В следующих шагах мы создадим блок-схему процесса.



20. Перетащите элемент  **Source** из палитры  **Библиотека моделирования процессов (Process Modeling Library)** на графическую диаграмму и назовите блок *sourcePallets*. Хотя блок  **Source** обычно выступает в качестве начальной точки процесса, наша модель будет использовать его для генерации поддонов. Этот блок является точкой входа для агентов (в нашем случае, поддонов) в нашу систему.

21. В панели  **Свойства (Properties)** блока *sourcePallets* выполните следующие действия, чтобы поддоны модели прибывали каждые пять минут и появлялись в узле *receivingDock*.

- В области **Прибывают согласно (Arrivals defined by)** щелкните **Времени между прибытиями (Interarrival time)**. Этот режим задает поток

агентов через промежутки времени между их появлениями.

- В поле **Время между прибытиями (Interarrival time)** введите 5, и выберите **минуты (minutes)** из списка справа, чтобы поддоны прибывали каждые пять минут.
- В области **Местоположение прибытия (Location of arrival)** щелкните **Узел сети / ГИС (Network / GIS node)** в списке. Это указывает, что агенты должны появляться в конкретной точке определенной нами сети.
- В области **Узел (Node)** выберите из списка *receivingDock*

Properties

sourcePallets - Source

Name: sourcePallets

☒ Show name ☐ Ignore

Arrivals defined by: Interarrival time

Interarrival time: 5 minutes

First arrival occurs: After timeout

Set agent parameters from DB: ☐

Multiple agents per arrival: ☐

Limited number of arrivals: ☐

Location of arrival: Network / GIS node

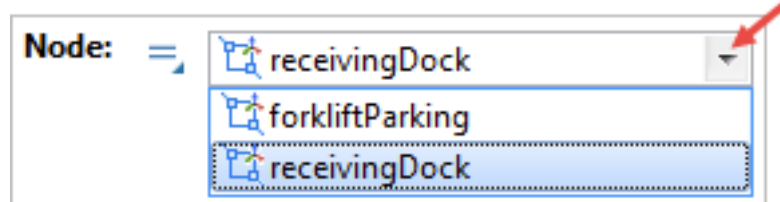
Node: receivingDock

Как ссылаться на элементы модели из параметров блока

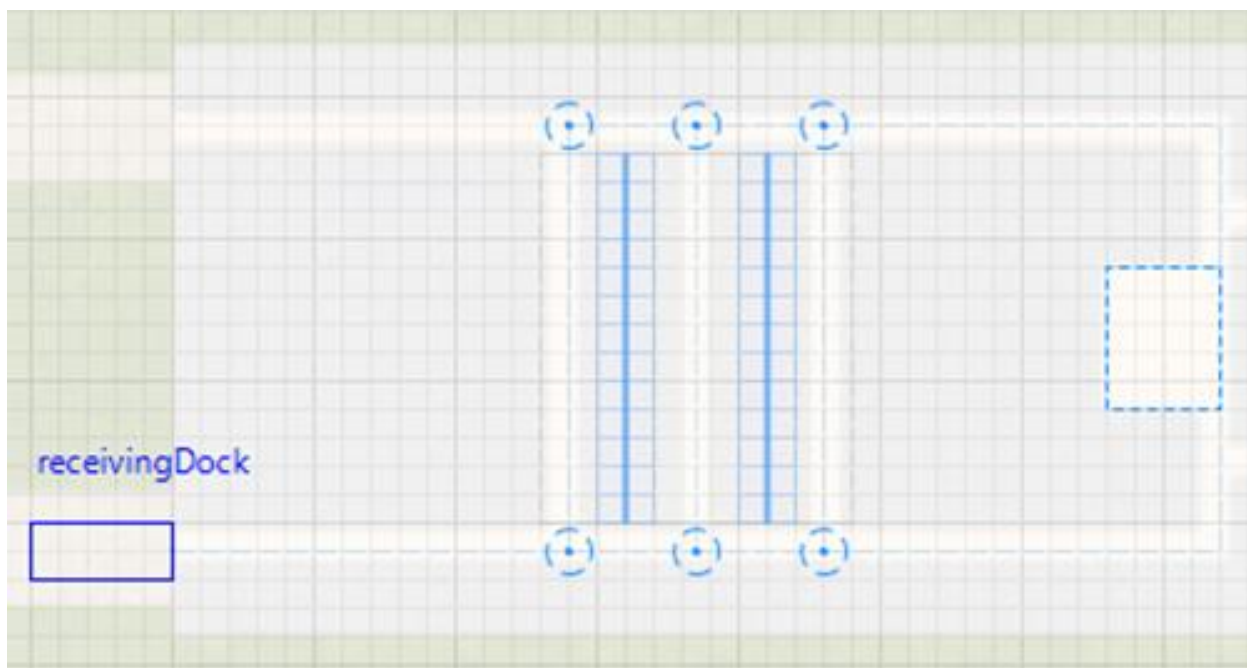
Параметры блока предлагают два способа выбора графического элемента:


- Вы можете выбрать графический элемент из списка доступных и допустимых элементов, который отображается рядом с параметром. Этот




метод удобен, когда у вас немного элементов и вы помните их имена.



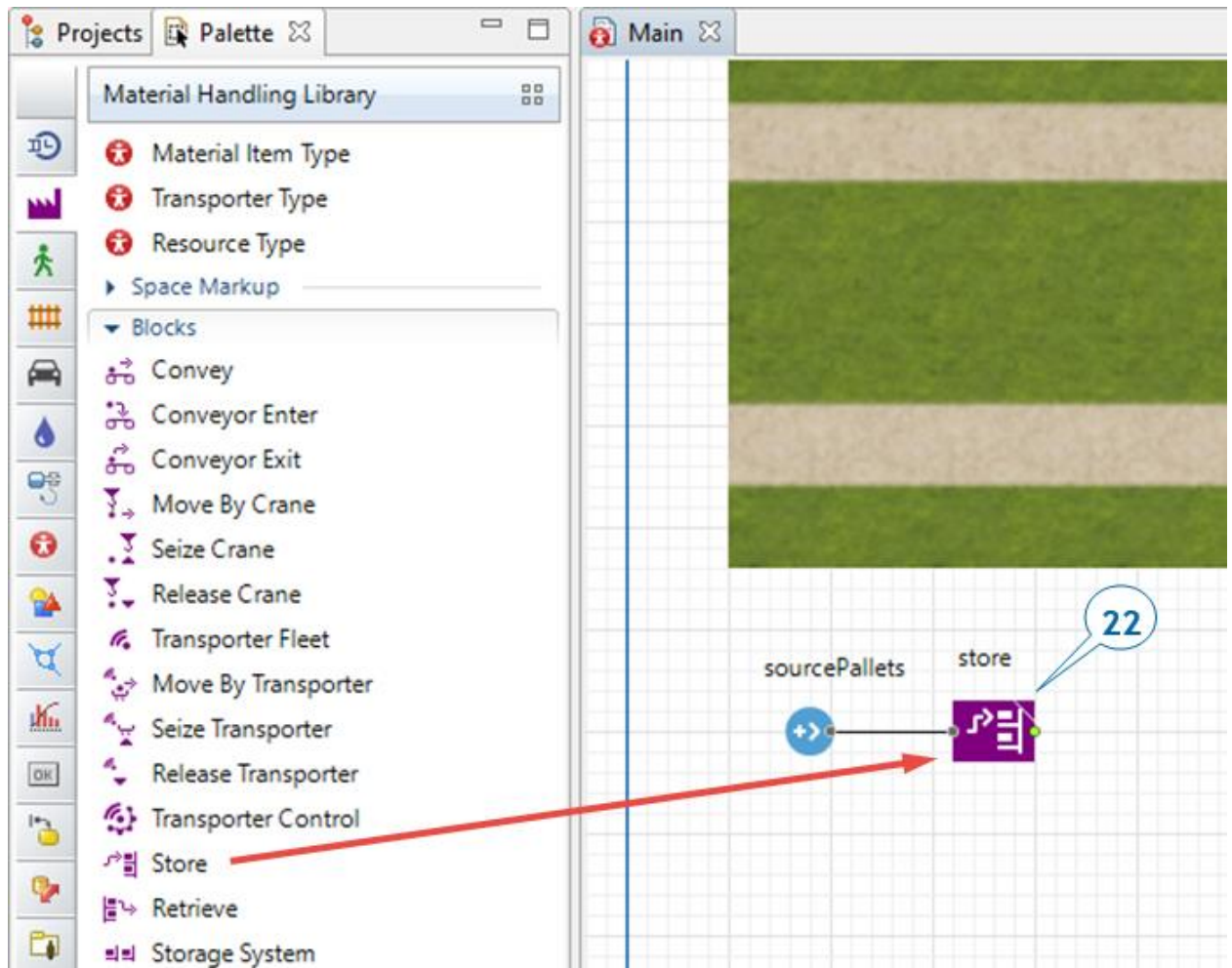
- Вы можете выбрать графический элемент, нажав кнопку выбора, которая отображается рядом со списком. Если вы нажмете кнопку выбора, это ограничит ваш выбор доступными и допустимыми элементами, которые вы можете выбрать, щелкнув в графическом редакторе. Этот метод предпочтительнее для сложных моделей с большим количеством элементов, так как позволяет избежать ошибок.





Продолжаем строить блок-схему. Теперь нам нужно добавить логику управления складом, поэтому пришло время использовать блоки  Библиотеки обработки материалов (Material Handling Library).

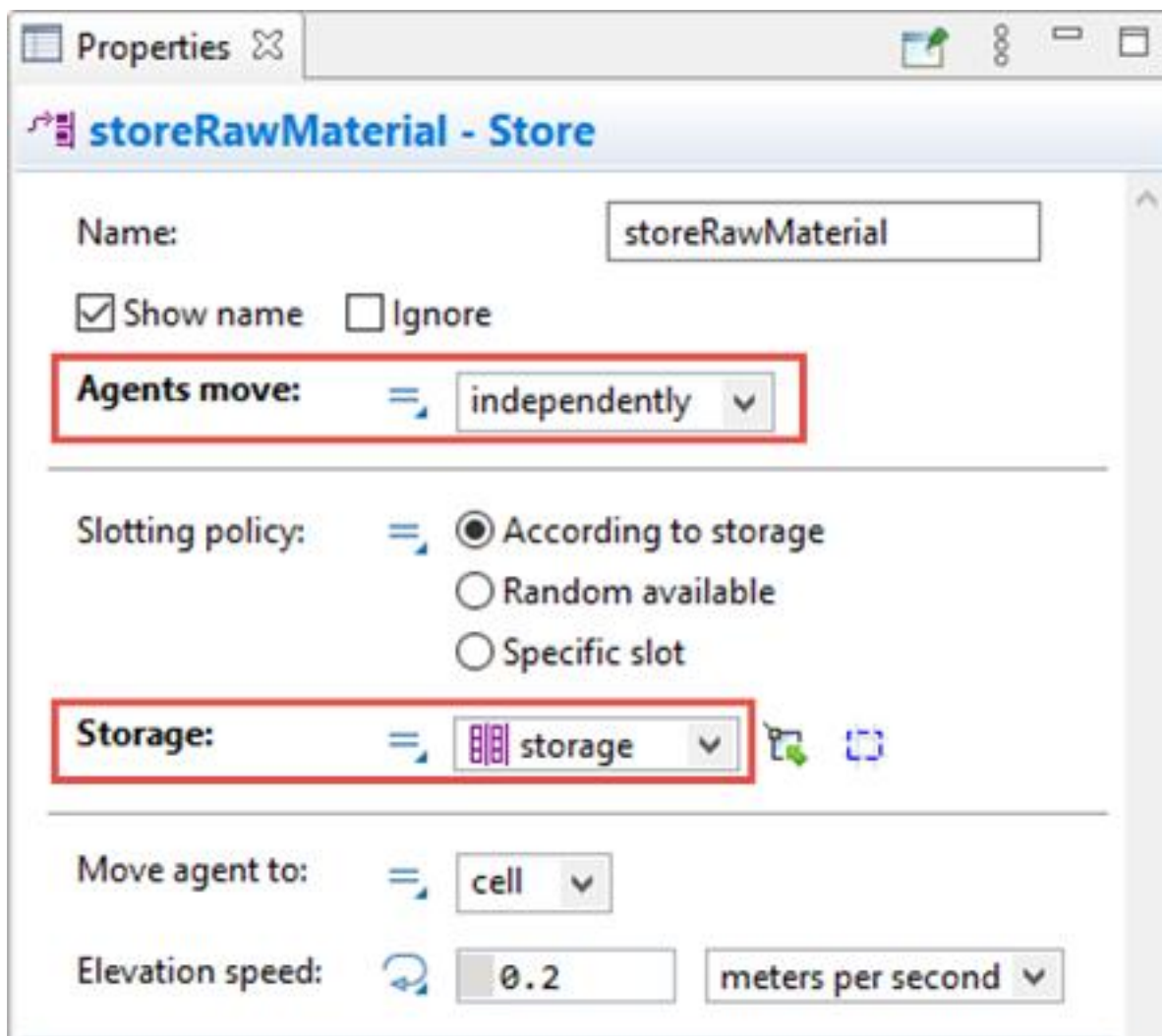
22. Переключитесь на палитру  Библиотека производственных систем (Material Handling Library) и перетащите блок  Store на диаграмму и поместите его рядом с блоком *sourcePallets*, чтобы они автоматически соединились, как показано на изображении ниже.  Store размещает поддоны в ячейках заданного склада. Он инкапсулирует логику поиска свободной



ячейки и перемещения агента в нее.

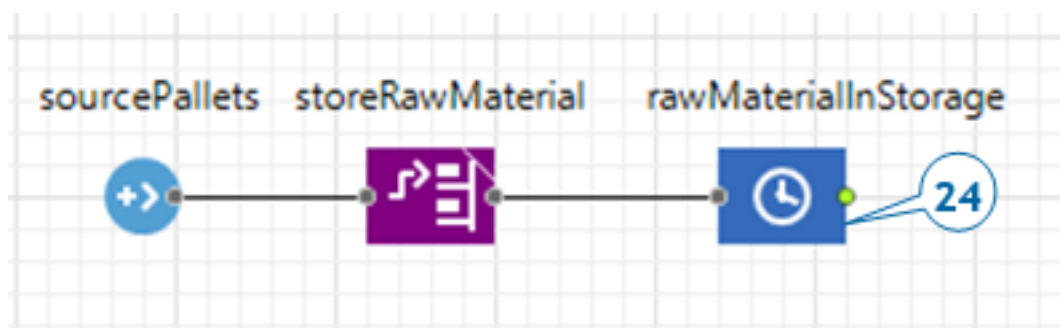


23. В блоке  **Store** в панели  **Свойства (Properties)** выполните следующие действия:

- В поле **Имя (Name)** введите *storeRawMaterial*.
- Установите, что **Агенты перемещаются (Agents move): самостоятельно (independently)**. Мы делаем это сейчас, чтобы запустить первый этап нашей модели без ошибок и увидеть промежуточные результаты. Этот режим означает, что агенты перемещаются мгновенно, без использования ресурсов. На следующем этапе мы добавим ресурсы (погрузчики), чтобы сделать модель более реалистичной.
- В списке **Склад (Storage)** щелкните **storage**.




24. Добавьте блок  **Delay** из  **Библиотеки моделирования процессов (Process Modeling Library)** для имитации ожидания поддонов на стеллаже, а затем назовите блок *rawMaterialInStorage*. Этот блок представляет собой период, в течение которого поддон с сырьем находится на складе перед тем, как потребуется для производства.

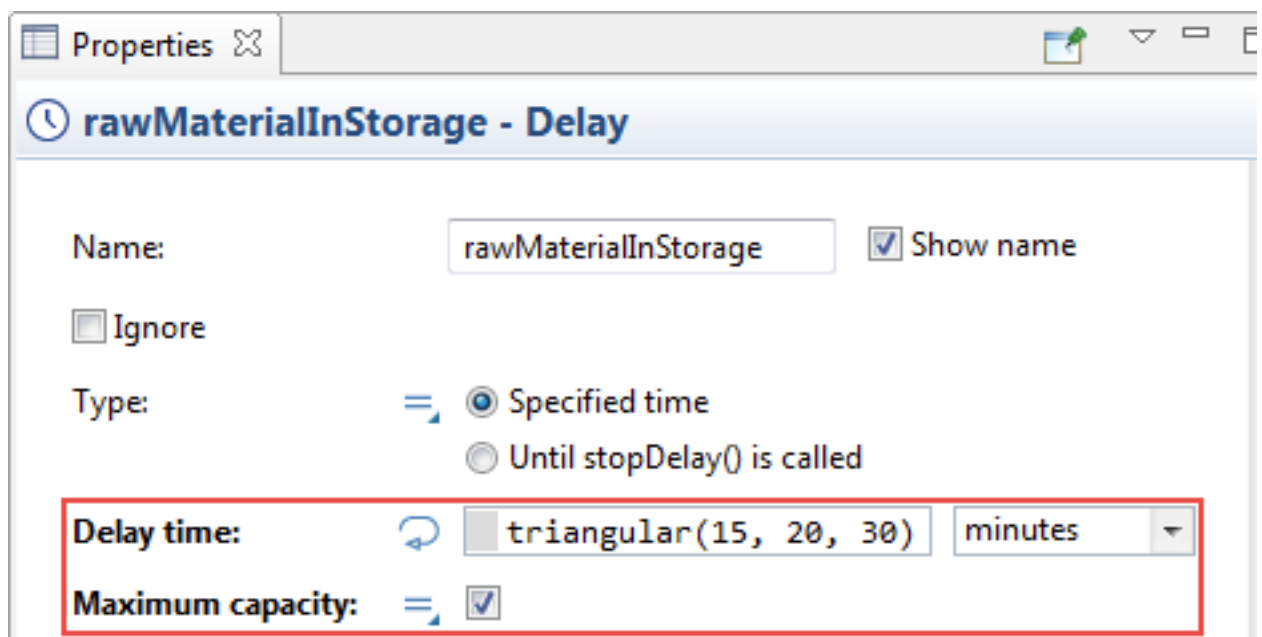





AnyLogic автоматически соединяет правый порт блока с левым портом следующего блока. У каждого блока библиотеки есть левый **входной порт (input port)** и правый **выходной порт (output port)**, но вы должны соединять

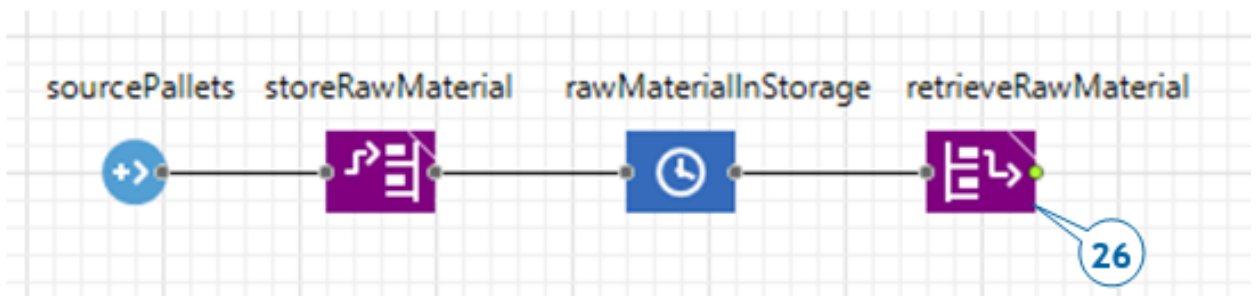
только входные порты с выходными портами. Это обеспечивает правильное направление потока агентов через процесс.

25. В блоке *rawMaterialInStorage* в панели  **Свойства (Properties)** выполните следующие действия:

- В поле **Время задержки (Delay time)** введите *triangular(15, 20, 30)* и выберите **минуты (minutes)** из списка. Мы используем треугольное распределение, чтобы задать стохастическое время хранения, где 15 — минимальное значение, 30 — максимальное, а 20 — наиболее вероятное.
- Установите флажок **Максимальная вместимость (Maximum capacity)**, чтобы разрешить нескольким агентам ожидать на складе. Значение вместимости по умолчанию — 1, и если вы его оставите, агенты застрянут в ожидании, пока их заберут со склада. Включив эту опцию, мы позволяем всем поддонам одновременно находиться на «виртуальном» складе этого блока.



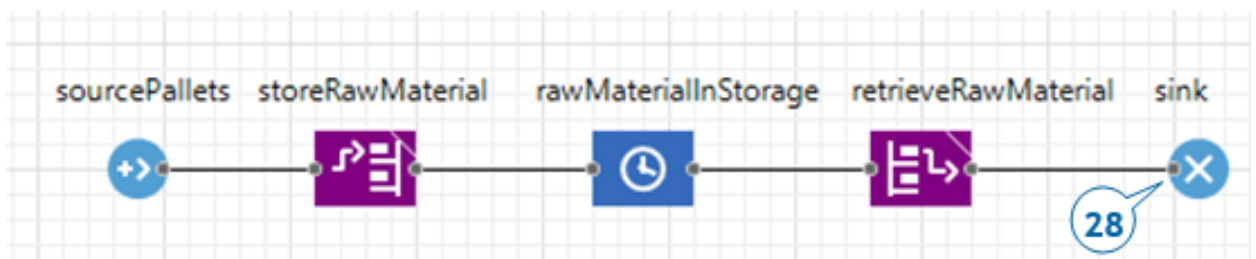
26. Добавьте блок  **Retrieve** из  **Библиотеки обработки материалов (Material Handling Library)**, соедините его с блок-схемой, а затем назовите его *retrieveRawMaterial*. В нашей модели блок  **Retrieve** извлекает поддон из ячейки на складе, а затем перемещает его в указанное место назначения. Этот блок выполняет операцию, обратную блоку Store.



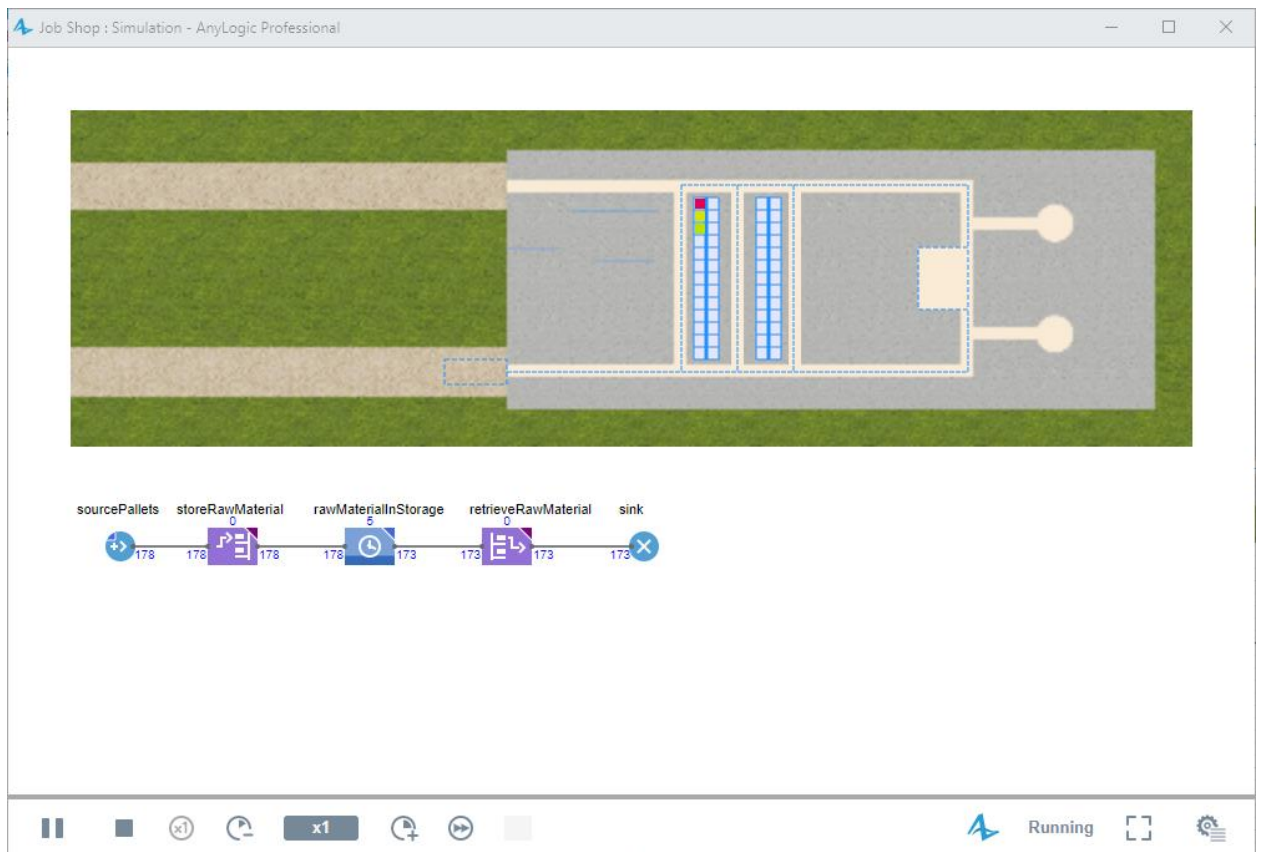
27. В панели **Свойства (Properties)** блока *retrieveRawMaterial* выполните следующие действия:

- Установите, что **Агенты перемещаются (Agents move): самостоятельно (independently)**.
- В списке **Узел (Node)** щелкните *forkliftParking*, чтобы указать, куда погрузчики должны доставлять поддоны.

28. Добавьте блок **Sink**. Блок **Sink** удаляет агентов и обычно является конечной точкой блок-схемы. Этот блок важен для завершения жизненного цикла агента в модели и освобождения памяти.



29. Мы закончили создание этой простой модели, и теперь вы можете запустить ее и наблюдать за ее поведением. Запустите модель (эксперимент *Job Shop/Simulation*). Вы увидите, как поддоны появляются в цехе, а затем помещаются на склад. Обратите внимание на счетчики на портах блоков — они показывают, сколько агентов вошло в блок и вышло из него, что помогает отслеживать поток.



Этап 2. Добавление ресурсов

Давайте продолжим разработку нашей модели, добавив ресурсы — **погрузчики** — для размещения поддонов на складе, а затем перемещения их в производственную зону. На первом этапе поддоны перемещались мгновенно. Теперь мы сделаем модель более реалистичной, введя ограниченные ресурсы, которые будут выполнять транспортировку. Это позволит нам анализировать такие показатели, как загрузка ресурсов и время ожидания.

Ресурсы

Ресурсы — это объекты, которые агенты используют для выполнения определенного действия. Агент должен получить ресурс, выполнить действие, а затем освободить ресурс. Если ресурс занят, агент будет ждать в очереди, что является ключевым аспектом моделирования систем с ограниченной пропускной способностью.



Некоторые примеры ресурсов включают:

- В модели больницы: врачи, медсестры, оборудование и инвалидные коляски




- В модели цепи поставок: транспортные средства и контейнеры
- В модели склада: погрузчики и рабочие

Существует три типа ресурсов: статические, движущиеся и переносимые.

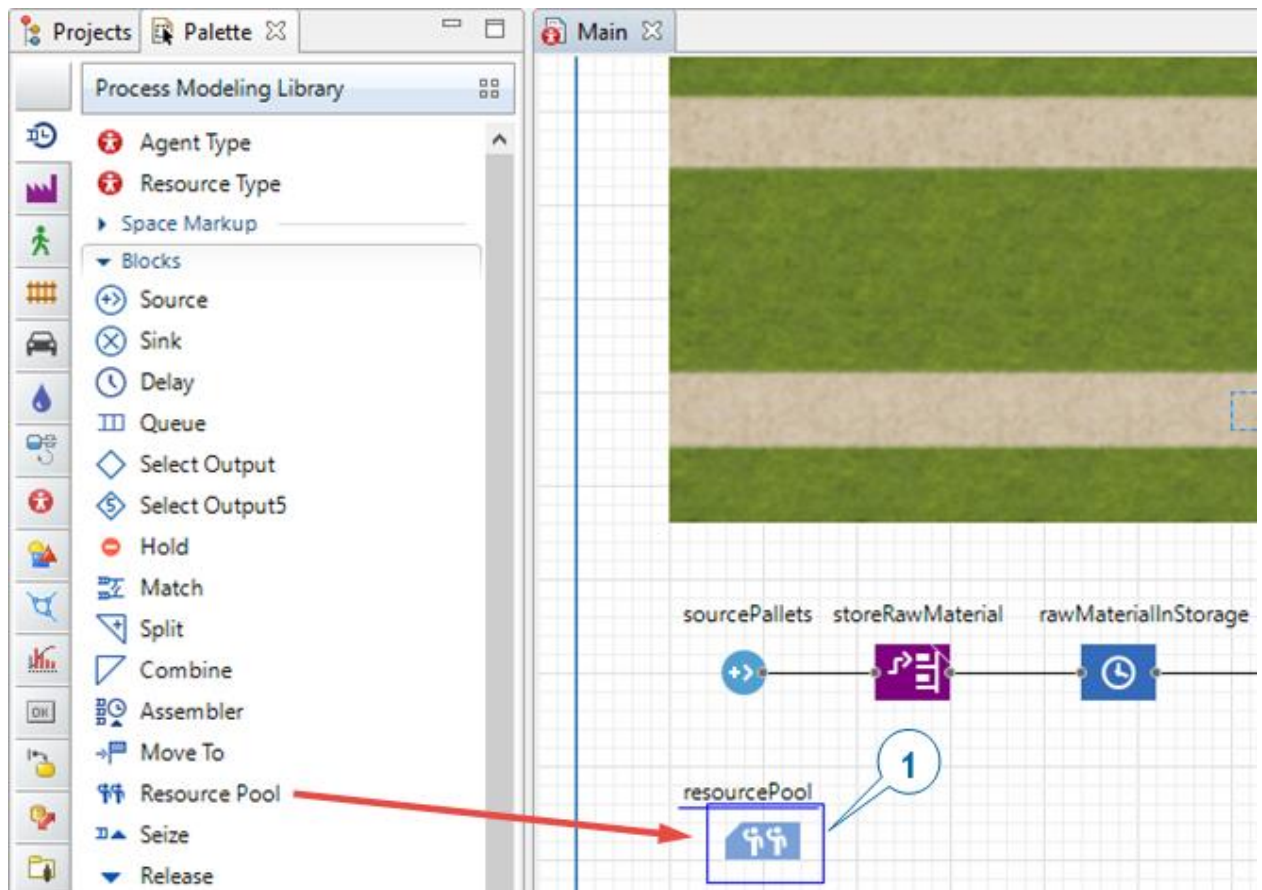
- **Статические ресурсы** привязаны к определенному месту и не могут перемещаться или быть перемещенными (например, станок или касса).
- **Движущиеся ресурсы** могут перемещаться самостоятельно (например, рабочий или Погрузчик).
- **Переносимые ресурсы** могут быть перемещены агентами или движущимися ресурсами (например, инструмент, который рабочий должен взять со склада).

В AnyLogic блок  **ResourcePool**  **Библиотеки моделирования процессов** определяет каждый набор или пул ресурсов. Единицы ресурсов могут иметь индивидуальные атрибуты, и у каждого ресурса есть графическая диаграмма, куда вы можете добавлять такие элементы, как диаграммы состояний, параметры и функции.

Ресурсы нашей модели — это погрузчики, которые перемещают поддоны из зоны разгрузки на стеллаж, а затем доставляют поддоны со стеллажа в производственную зону.

1. На палитре  **Библиотеки моделирования процессов (Process Modeling Library)** перетащите блок  **ResourcePool** на диаграмму  *Main*.


Вам не нужно соединять этот блок с блок-схемой. Он определяет пул доступных ресурсов, к которому будут обращаться другие блоки.



2. Назовите блок *forklifts*.

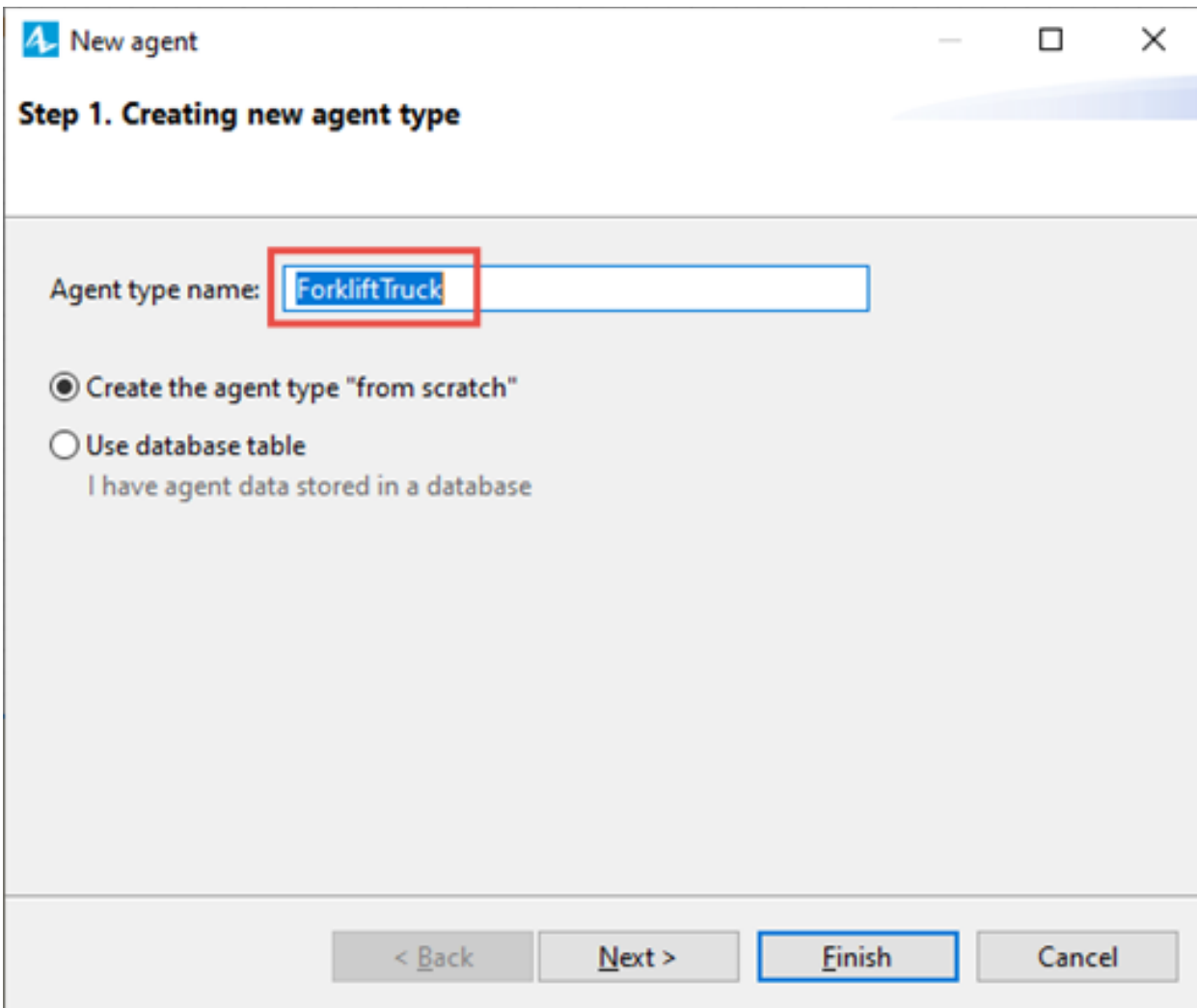
The screenshot shows the 'Properties' window for the 'forklifts - ResourcePool' block. The window has the following fields and options:

- Name:** A text field containing 'forklifts'. A callout bubble with the number '2' points to this field.
- Show name:** A checked checkbox.
- Ignore:** An unchecked checkbox.
- Resource type:** A dropdown menu set to 'Moving'.
- Capacity defined:** A dropdown menu set to 'Directly'.
- Capacity:** A text field containing '1'.
- When capacity decreases:** A dropdown menu set to 'units are preserved ('End of shift')'.
- New resource unit:** A dropdown menu set to 'Agent'. A callout bubble with the number '3' points to this dropdown.
- Below the 'New resource unit' dropdown, there is a link that says 'create a custom type'.

3. В панели  **Свойства (Properties)** блока *forklifts* щелкните **создать другой тип (create a custom type)**. Таким образом, мы создаем новый тип ресурса.

4. В мастере **Новый агент (New agent)**:

- В поле **Имя нового типа (Agent type name)** введите *ForkliftTruck*.
- Нажмите **Далее (Next)**.



New agent

Step 1. Creating new agent type

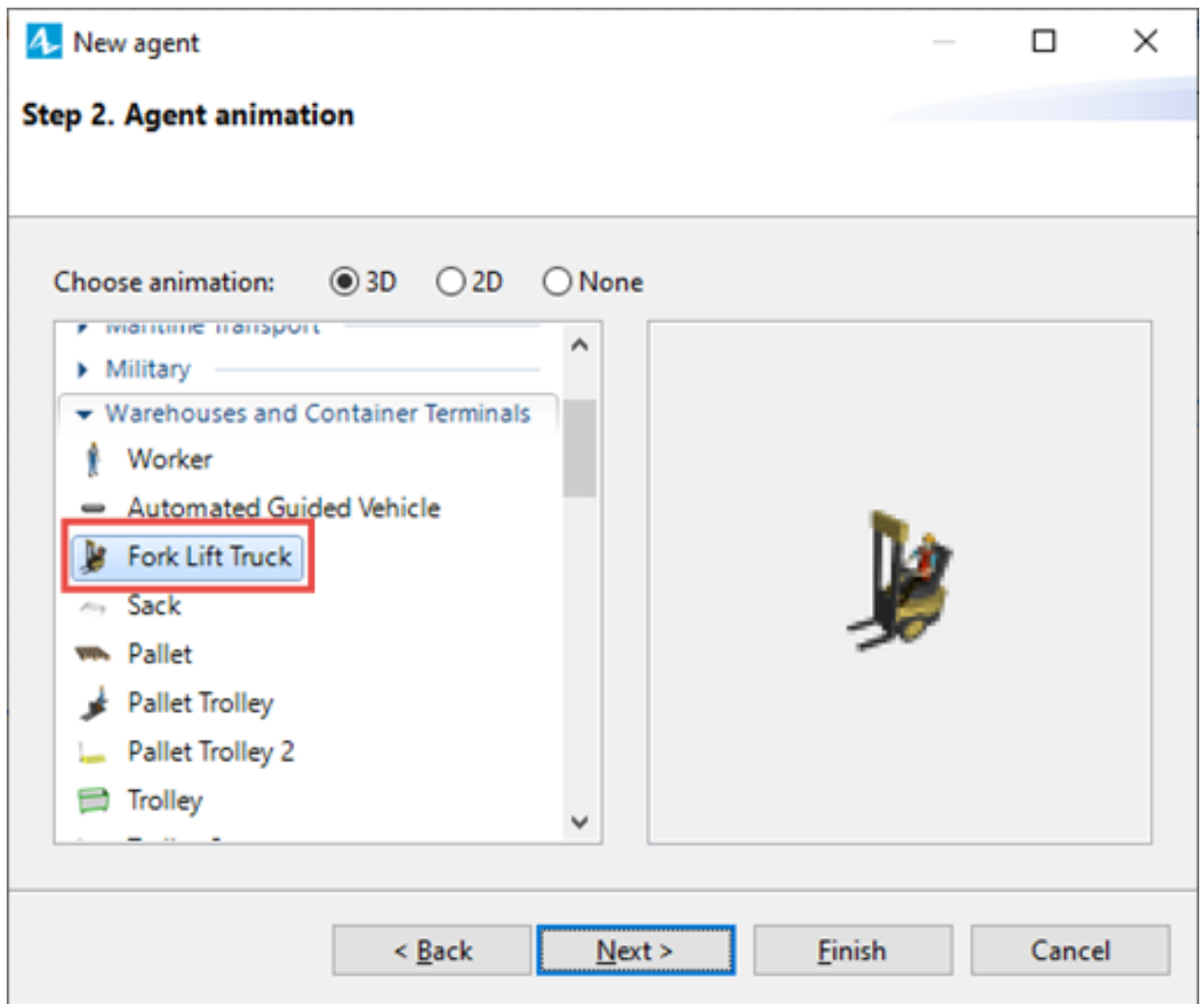
Agent type name:

☒ Create the agent type "from scratch"

☐ Use database table
I have agent data stored in a database



< Back Next > **Finish** Cancel

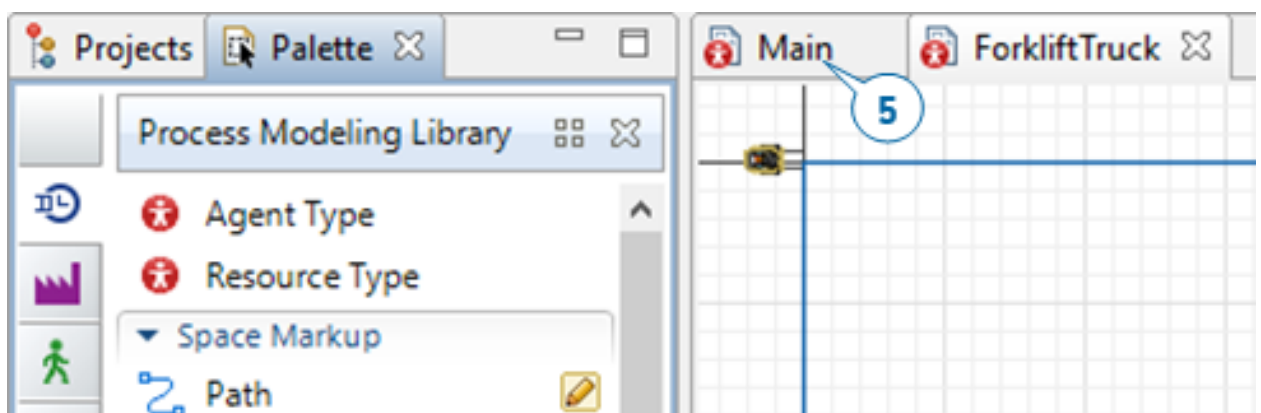
- На следующей странице в списке в левой части мастера разверните область **Склады и контейнерные терминалы (Warehouses and Container Terminals)**, а затем щелкните 3D-анимацию **Погрузчик (Fork Lift Truck)**.




- Нажмите Готово (Finish).


Откроется диаграмма типа агента *ForkliftTruck* и отобразит фигуру анимации, которую вы выбрали в мастере.

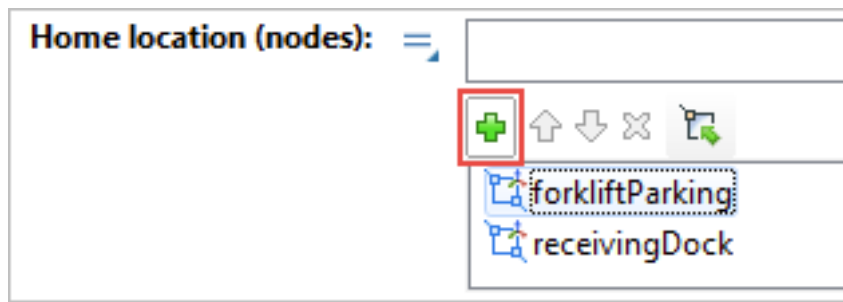
5. Щелкните вкладку  *Main*, чтобы открыть диаграмму  *Main*.



Вы увидите, что тип ресурса *ForkliftTruck* был выбран в параметре **Новая единица ресурса (New resource unit)** блока  **ResourcePool**.

6. Измените другие параметры блока **forklifts**:

- В поле **Количество ресурсов (Capacity)** введите *5*, чтобы установить количество вилочных погрузчиков в нашей модели. Это означает, что одновременно может выполняться не более пяти транспортных операций.
- В поле **Скорость (Speed)** введите *1* и выберите метры в секунду (**meters per second**) из списка справа.
- В области **Базовое местоположение (узлы) (Home location (nodes))** выберите узел *forkliftParking*. Нажмите кнопку с плюсом  и затем щелкните *forkliftParking* в списке узлов модели. Это место, куда погрузчики будут возвращаться после выполнения задания, если у них нет новых задач.



Properties

forklifts - ResourcePool

Name: forklifts ☒ Show name

☐ Ignore

Resource type: Moving

Capacity defined: Directly

Capacity: 5

When capacity decreases: units are preserved ('End of shift')

New resource unit: ForkliftTruck [create a custom type](#)

Speed: 1 meters per second

Home location (nodes): forkliftParking

+ ↑ ↓ ✕ ↻

Мы определили наши ресурсы, но нам все еще нужно убедиться, что блоки блок-схемы нашей модели будут использовать их во время имитируемых процессов.

7. В панели **Свойства (Properties)** блока *storeRawMaterial* выполните следующие действия:

- В списке **Агенты перемещаются (Agents move)** выберите **с помощью ресурсов (by resources)**. Теперь блок будет запрашивать ресурс для выполнения перемещения.
- В списке **Набор ресурсов (Resource pool)** выберите **forklifts**, чтобы блок-схемы использовал выбранные ресурсы — в нашем случае, погрузчики — для перемещения агентов.

The screenshot shows a 'Properties' window for a block named 'storeRawMaterial - Store'. The window contains the following settings:

- Name:** storeRawMaterial
- Show name:** ☒ Show name, ☐ Ignore
- Agents move:** by resources (dropdown)
- Resource pool:** forklifts (dropdown)
- Slotting policy:** ☒ According to storage, ☐ Random available, ☐ Specific slot
- Storage:** storage (dropdown)
- Move agent to:** cell (dropdown)
- Elevation speed:** 0.2 (input field), meters per second (dropdown)

8. В панели **Свойства (Properties)** блока *retrieveRawMaterial* выполните следующие действия:

- В списке **Агенты перемещаются (Agents move)** выберите **с помощью ресурсов (by resources)**.
- В списке **Набор ресурсов (Resource pool)** выберите **forklifts**.
- В разделе **Транспортеры и ресурсы (Transporters and resources)**, в области **Возвращаться (Return home)**, выберите **Если нет других задач (if no other tasks)**, чтобы погрузчики возвращались на свое домашнее местоположение после выполнения задач.

Properties

retrieveRawMaterial - Retrieve

Name:

retrieveRawMaterial

☒ Show name
☐ Ignore

Agents move:

by resources

Resource pool:

forklifts

Destination is:

Network node

Node:

forkliftParking

Take agent from:

cell

Lowering speed:

0.2

meters per second

Transporters and resources

Task priority:

0

Task may preempt:
☒

Task preemption policy:

No preemption

After release resource:

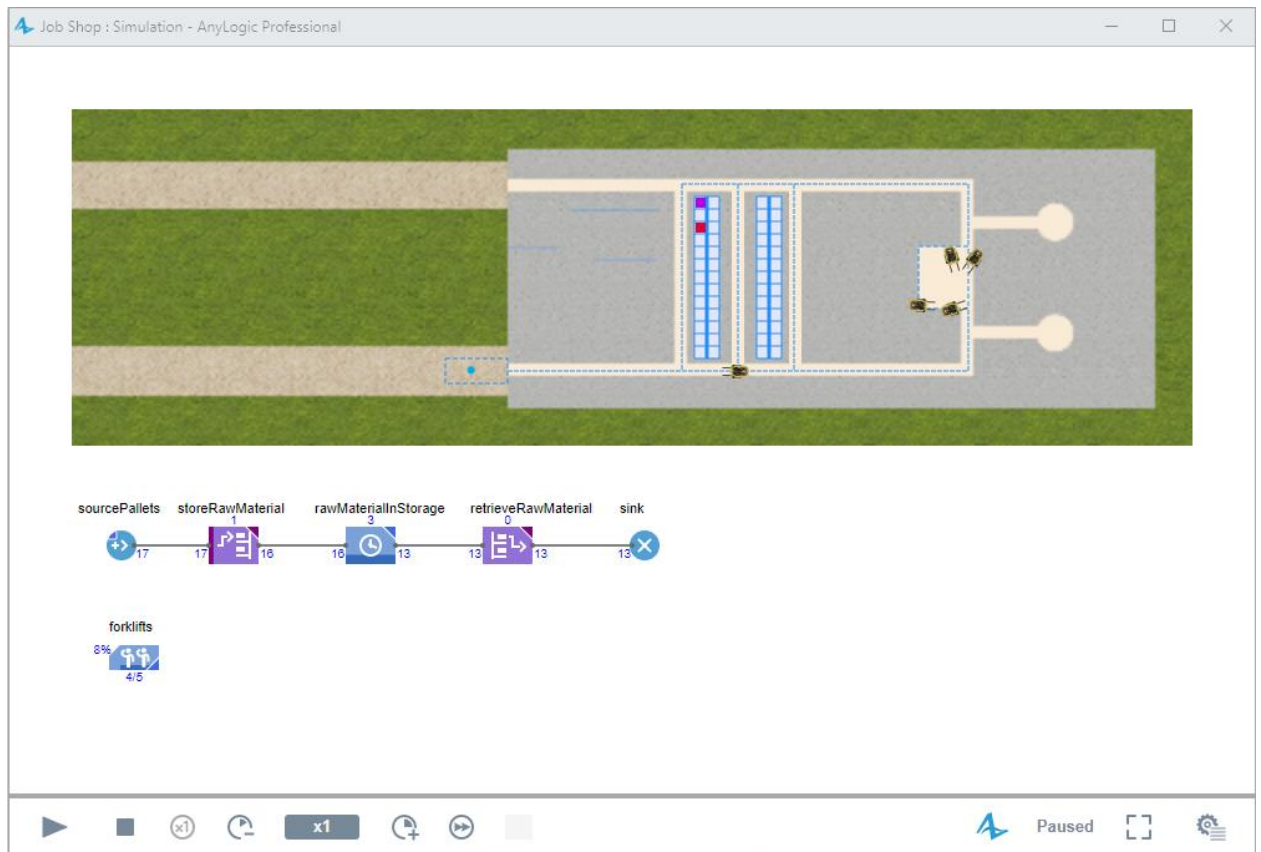
☒ Return to home location
☐ Stay where they are

Return home:

☐ each time
☒ if no other tasks
☐ custom

Если ресурсы нашей модели перемещают агента, блок **Store** (или **Retrieve**) захватывает их, доставляет к местоположению агента, присоединяет к агенту, перемещает агента в ячейку, а затем освобождает ресурсы. Весь этот сложный процесс инкапсулирован внутри одного блока.

9. Запустите модель.





Вы увидите, как погрузчики забирают поддоны и размещают их на складе. После небольшой задержки они перемещают поддоны в зону парковки вилочных погрузчиков, где поддоны исчезают. Теперь перемещение занимает время, и если все 5 погрузчиков заняты, новые поддоны будут ожидать в receivingDock, пока один из них не освободится.




Этап 3. Создание 3D-анимации

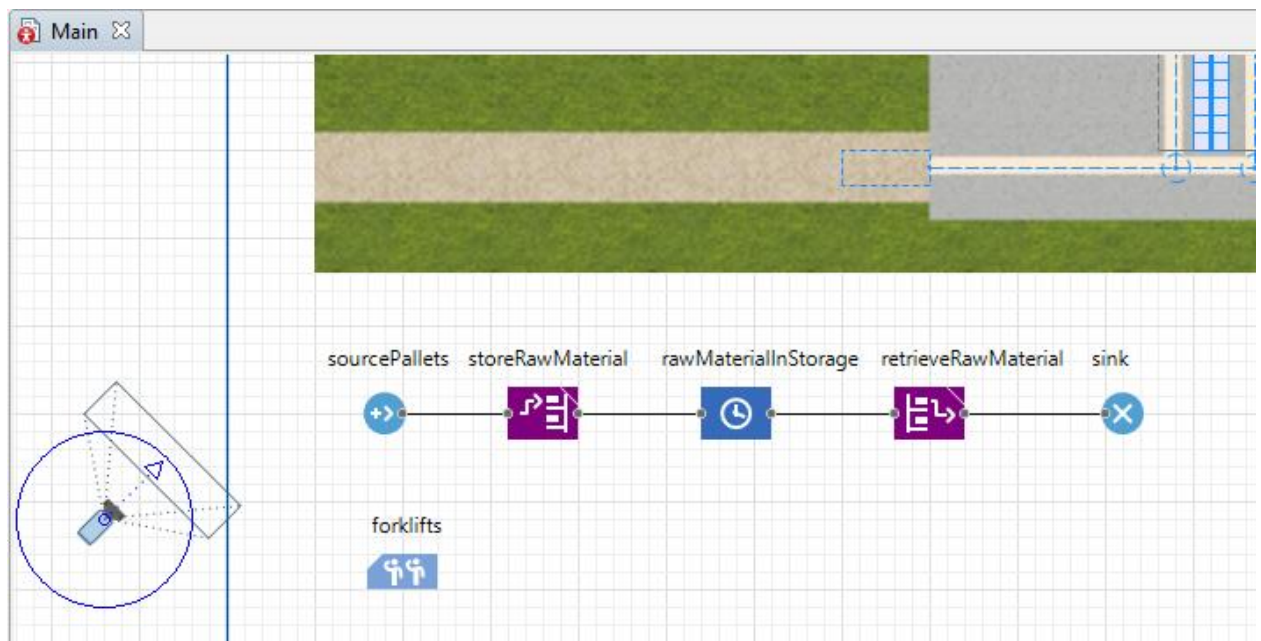
Вы уже видели многие функции, которые помогают сделать AnyLogic таким мощным инструментом моделирования. Но есть и другие, которых вы еще не коснулись, и одна из самых захватывающих — это 3D-анимация.


Объекты Камера

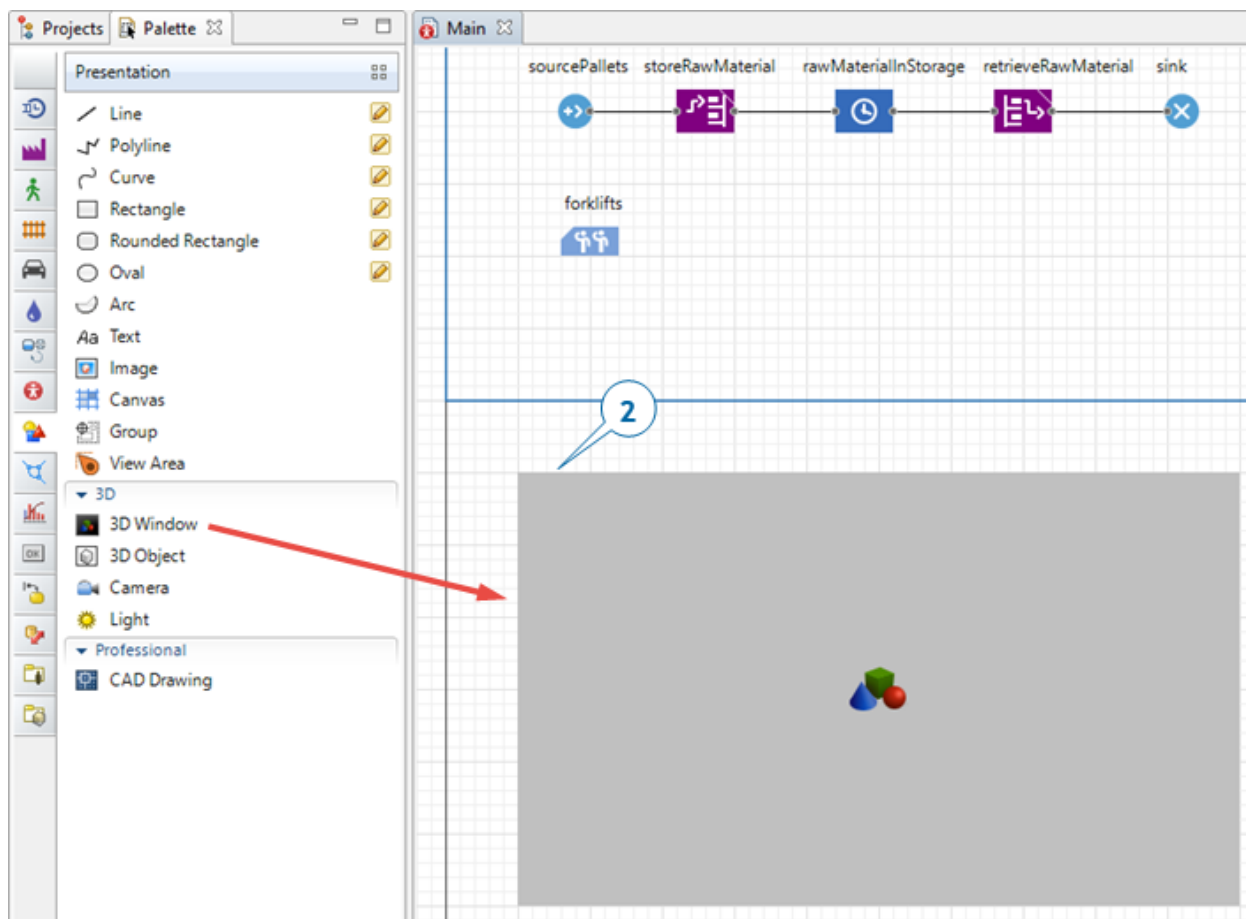
Объекты  **Камера (Camera)** AnyLogic позволяют вам определить вид, который отображается в  **3D-окне (3D Window)**. По сути, объект камеры «снимает» картинку, которую вы видите. Управляя положением и углом камеры, вы можете создавать различные ракурсы для наблюдения за ходом симуляции.

Вы также можете создать несколько объектов камеры, чтобы показать разные области одной и той же 3D-сцены или показать один объект с разных точек зрения. Если вы используете более одного объекта камеры, вы можете легко переключаться с одного вида на другой во время выполнения.

1. На палитре  **Презентация (Presentation)** перетащите объект  **Камера (Camera)** на диаграмму  *Main* так, чтобы он «снимал» планировку цеха.





2. Перетащите элемент  **3D-окно (3D Window)** на диаграмму **Main** и поместите его под блок-схемой процесса и синей линией **рамки (frame)**. Этот элемент служит контейнером для отображения 3D-сцены во время выполнения модели.

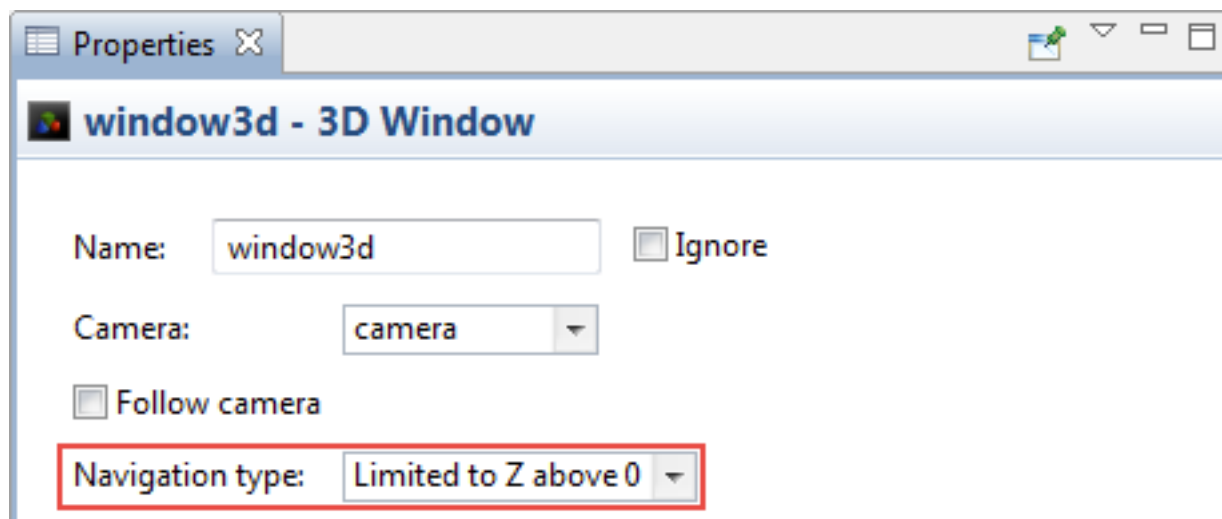



3D-окно

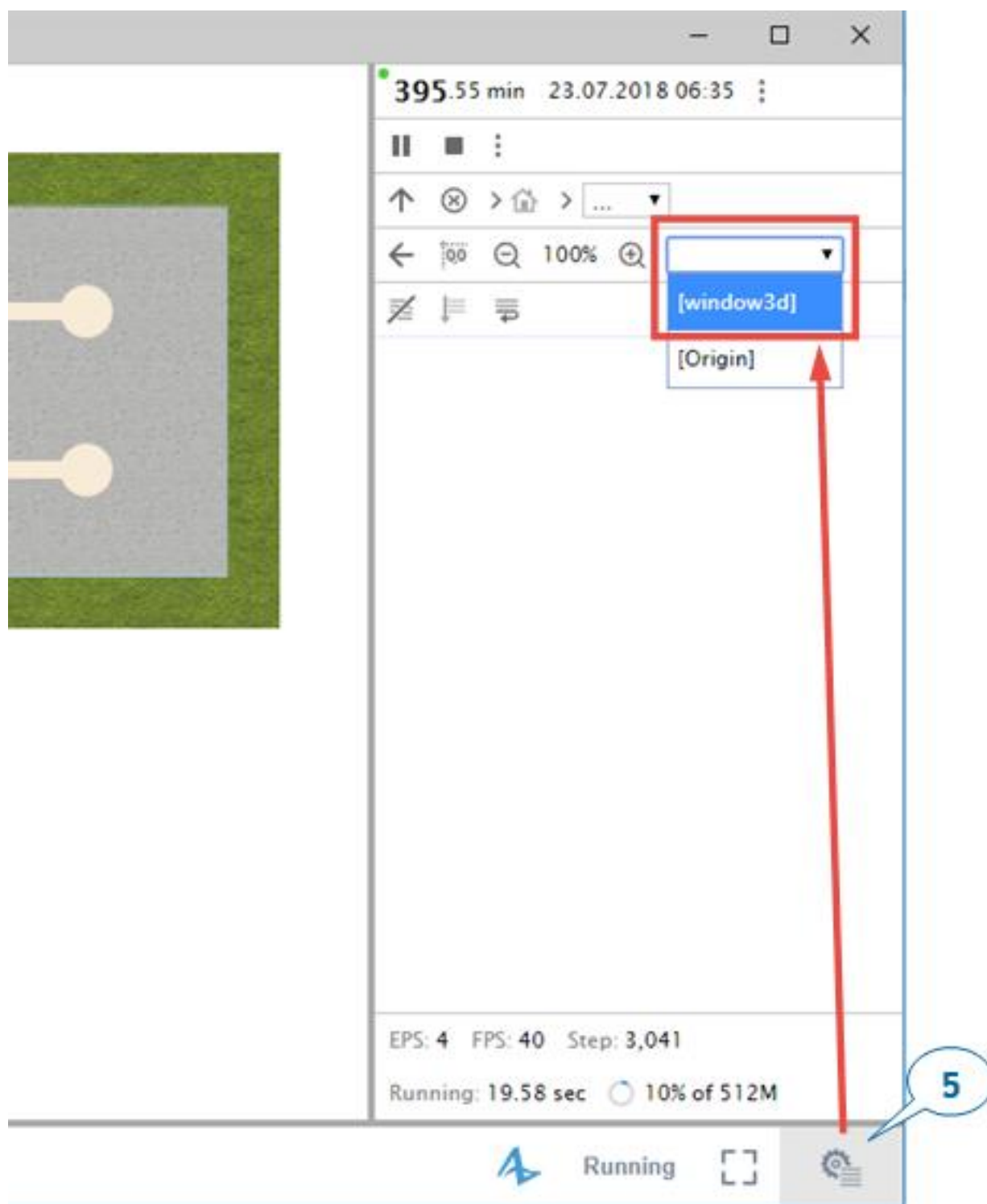
Помимо возможности добавлять несколько камер в вашу модель, вы также можете добавить несколько 3D-окон, каждое из которых будет отображать одну и ту же 3D-сцену с разных точек зрения.

3. Пусть камера «снимает» картинку для  **3D-окна**. В панели **Свойства (Properties)**  **3D-окна** щелкните **camera** в списке **Камера (Camera)**.

4. Предотвратите съемку камерой из-под пола, выбрав опцию **Ограничено Z выше 0 (Limited to Z above 0)** из списка **Тип навигации (Navigation type)**. Эта настройка не позволит камере «провалиться» под плоскость XY, что делает навигацию более удобной.



5. Запустите модель. Когда вы создаете 3D-окно, AnyLogic добавляет  **Область просмотра (View Area)**, которая позволяет вам легко переключаться на 3D-вид во время выполнения. Чтобы переключиться на этот 3D-вид во время работы модели, щелкните крайний правый элемент управления **Показать панель разработчика (Toggle Developer panel)** и выберите «*window3d*» из списка **Выбрать область и показать (select view area to navigate)**.



Область просмотра расширяет сцену 3D-анимации на весь размер окна модели.

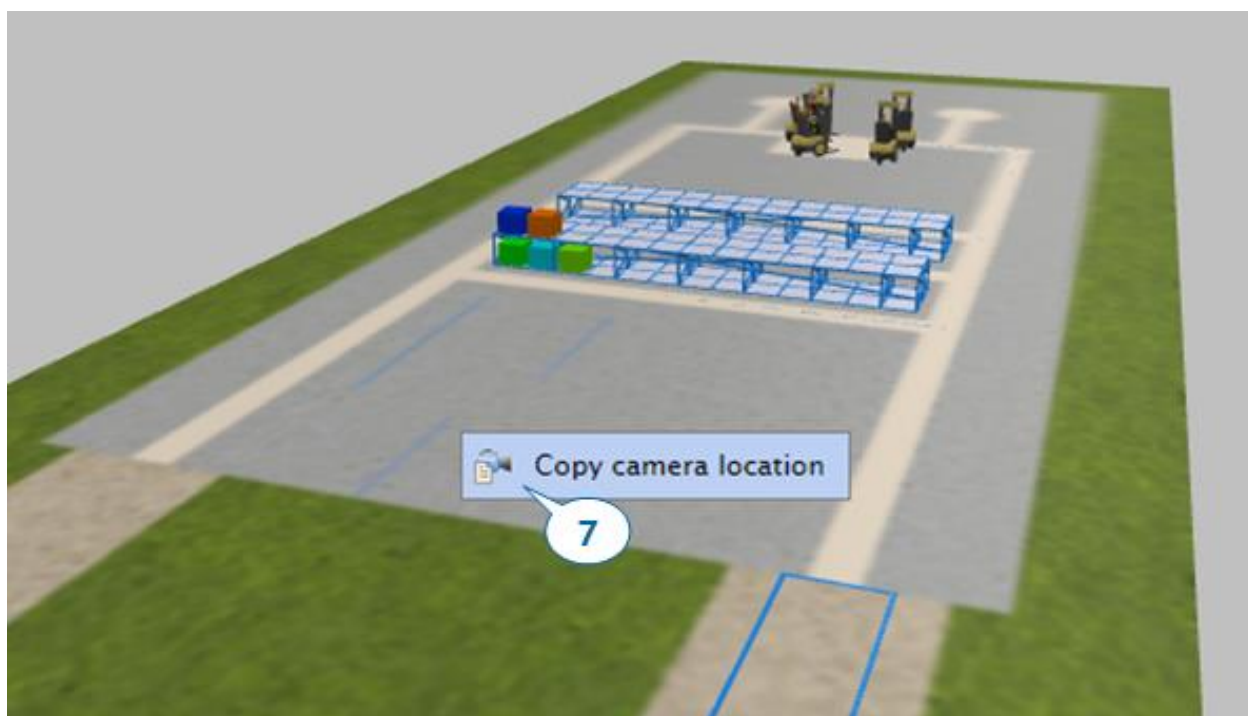
6. Выполните одно или несколько из следующих действий для навигации в 3D во время выполнения:

- Чтобы перемещать камеру влево, вправо, вперед или назад, перетаскивайте мышь в выбранном направлении.


- Чтобы приблизить или отдалить камеру от центра сцены, вращайте колесо мыши.

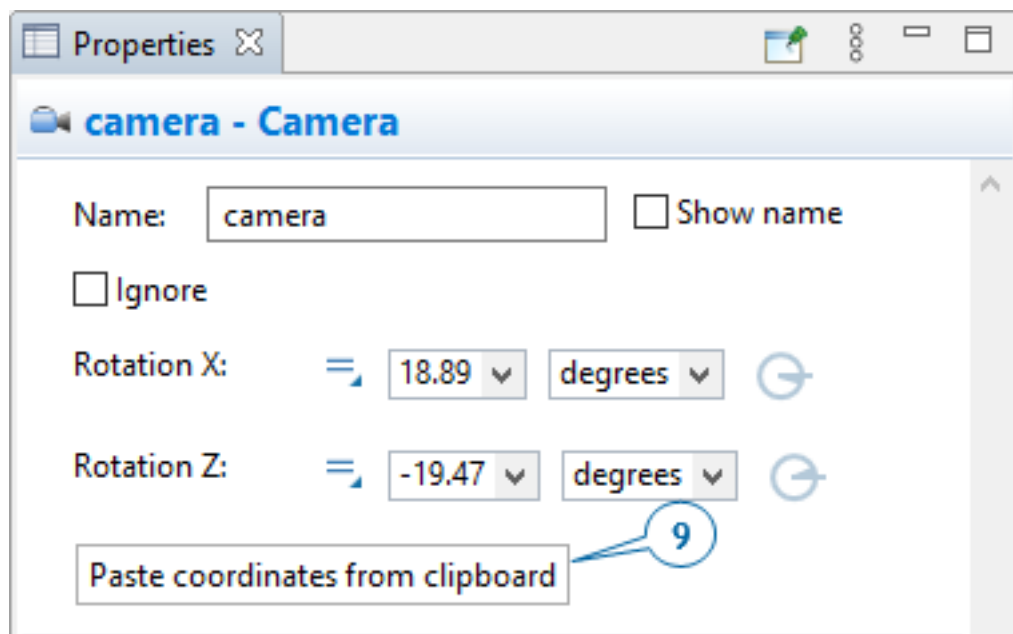
- Чтобы вращать сцену относительно камеры, перетаскивайте мышью, удерживая клавишу **Alt** (macOS: **Option**) и левую кнопку мыши.



7. Выберите вид, который вы хотите отображать во время выполнения, щелкните правой кнопкой мыши (macOS: **Ctrl** + щелчок) внутри 3D-сцены, а затем щелкните **Скопировать положение камеры (Copy camera's location)**. Эта функция позволяет сохранить понравившийся ракурс.




8. Закройте окно модели.

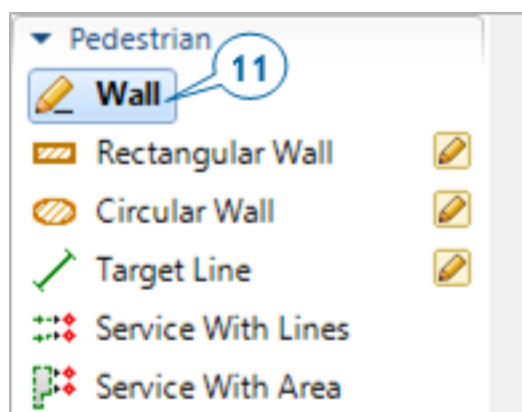
9. В панели  **Свойства (Properties)** камеры примените положение камеры, которое вы выбрали на предыдущем шаге, нажав **Вставить координаты из буфера обмена (Paste coordinates from clipboard)**. Теперь модель будет запускаться именно с этого ракурса.



Если вы не можете найти камеру, вы можете использовать панель  **Проекты (Projects)**. Она отобразит **camera** под веткой **Презентация (Presentation)** агента  **Main**.

10. Запустите модель, чтобы просмотреть 3D-вид с новой позиции камеры, а затем закройте окно модели.

11. Разверните область **Пешеход (Pedestrian)** на палитре  **Пространственная разметка (Space Markup)**, а затем дважды щелкните значок элемента  **Стена (Wall)**, чтобы включить режим рисования стен.

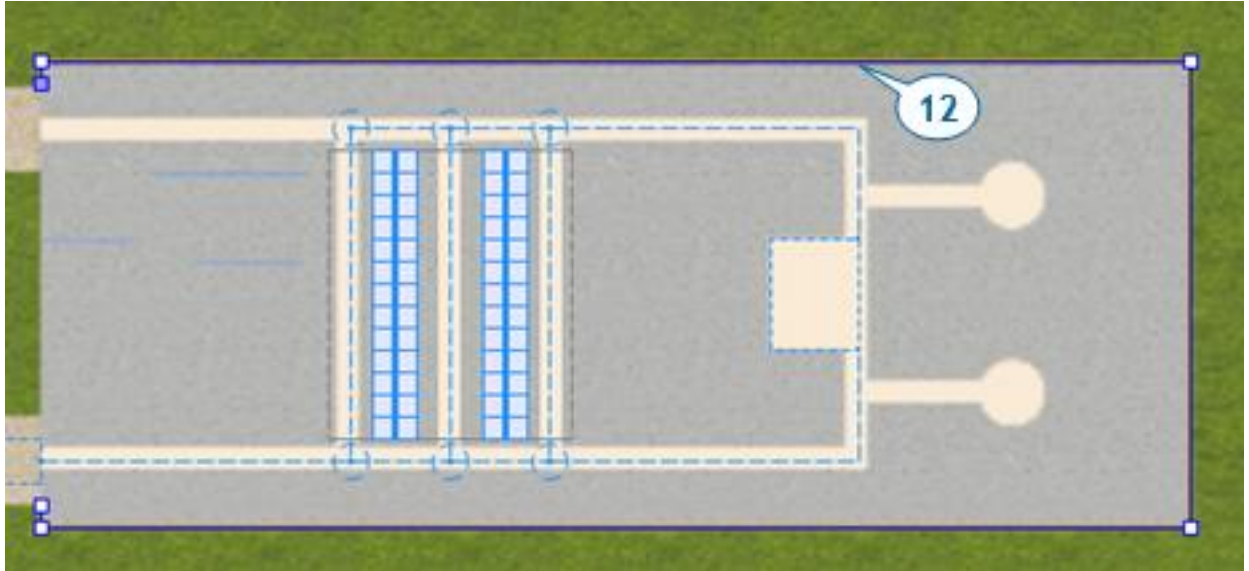


12. Выполните следующие действия, чтобы нарисовать стены вокруг рабочей зоны планировки цеха:


- Щелкните в графическом редакторе в том месте, где вы хотите начать рисовать стену.
- Перемещайте указатель в любом направлении, чтобы нарисовать

прямую линию, а затем щелкните в любой точке, где вы хотите изменить направление.

- Дважды щелкните в точке, где вы хотите закончить рисование стены.




13. Выполните следующие действия, чтобы изменить цвет заливки и текстуру стены:

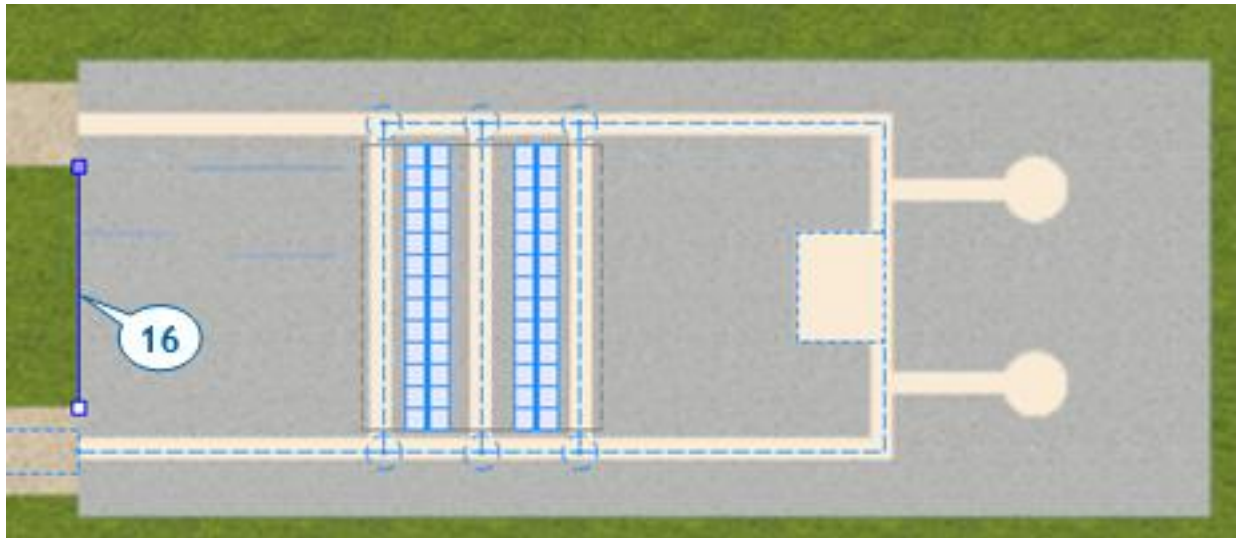
- В панели  **Свойства (Properties)** стены разверните раздел **Внешний вид (Appearance)**.
- В меню цвета щелкните **Другие цвета (Other colors)**.
- В диалоговом окне **Цвета (Colors)** выберите цвет, который вы хотите применить к стене, из палитры или спектра. Вы также можете установить уровень прозрачности (используйте ползунок **Прозрачность (Transparency)** в диалоговом окне **Цвета**) или настроить стену с помощью любой предоставленной текстуры (щелкните пункт **Текстуры... (Textures...)** в меню цветов).

14. Измените **Ширину линии (Line width)** стены на **1 пт.**


15. Перейдите в раздел **Местоположение и размер (Position and size)** стены и измените **Z-высота (Z-Height)** на **40**. AnyLogic автоматически устанавливает высоту фигуры на 20 пикселей, чтобы обеспечить ей объем в 3D-виде, но мы увеличили ее высоту до 40 пикселей.

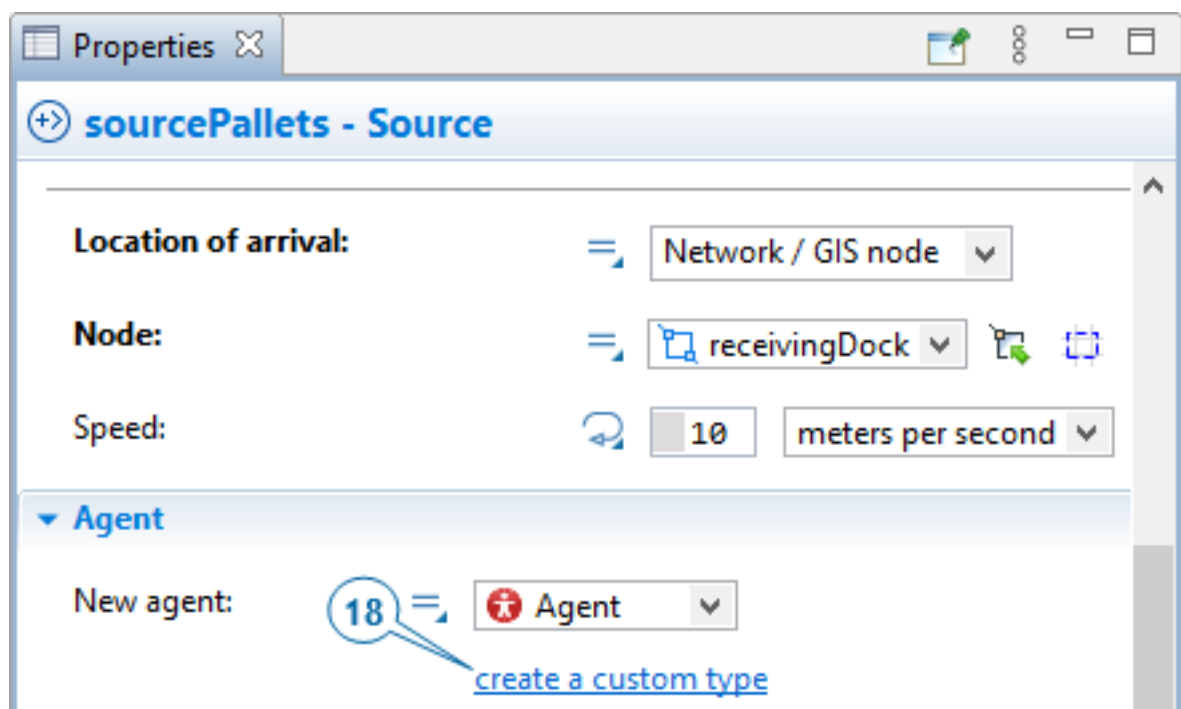
16. Нарисуйте еще одну стену между выходами, а затем измените

настройки в панели  **Свойства (Properties)** второй стены, чтобы они соответствовали первой.



17. Запустите модель и просмотрите 3D-анимацию. Вы увидите, что анимация нашей модели использует случайно окрашенные фигуры для представления поддонов, но мы исправим эту проблему, создав тип агента, который определяет пользовательскую анимацию для поддонов.

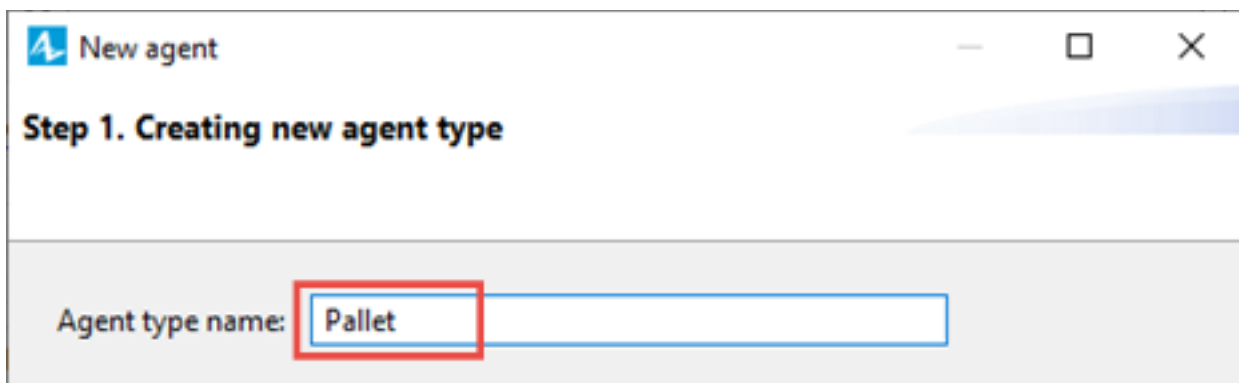
18. В панели  **Свойства (Properties)** блока *sourcePallets* под списком **Новый агент (New agent)** щелкните **создать другой тип (create a custom type)**.



19. В мастере **Новый агент (New agent)** выполните следующие

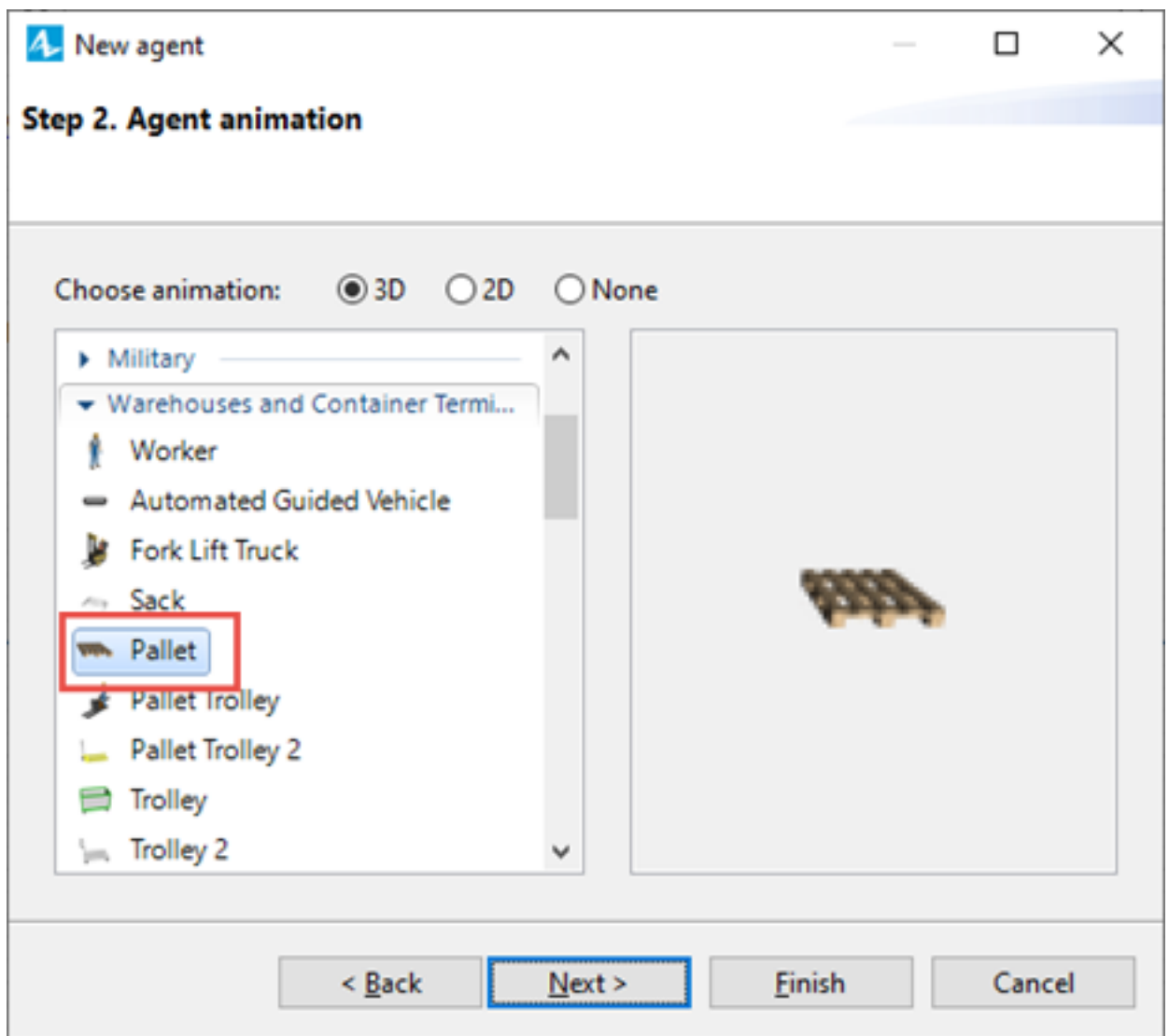
действия:

- В поле **Имя типа агента (Agent type name)** введите *Pallet*.
- Нажмите **Далее (Next)**.



The screenshot shows a window titled "New agent" with standard Windows window controls (minimize, maximize, close). Below the title bar, the text "Step 1. Creating new agent type" is displayed. At the bottom of the window, there is a label "Agent type name:" followed by a text input field. The input field contains the text "Pallet". A red rectangular box highlights the input field, and a blue rectangular box highlights the text "Pallet" inside it.

- На следующей странице мастера разверните раздел **Склады и контейнерные терминалы (Warehouses and Container Terminals)** в списке слева, а затем щелкните 3D-анимацию **Поддон (Pallet)**.
- Нажмите **Готово (Finish)**.



AnyLogic создаст тип агента **Pallet** и откроет диаграмму **Pallet**, которая будет отображать анимацию, выбранную нами в мастере.

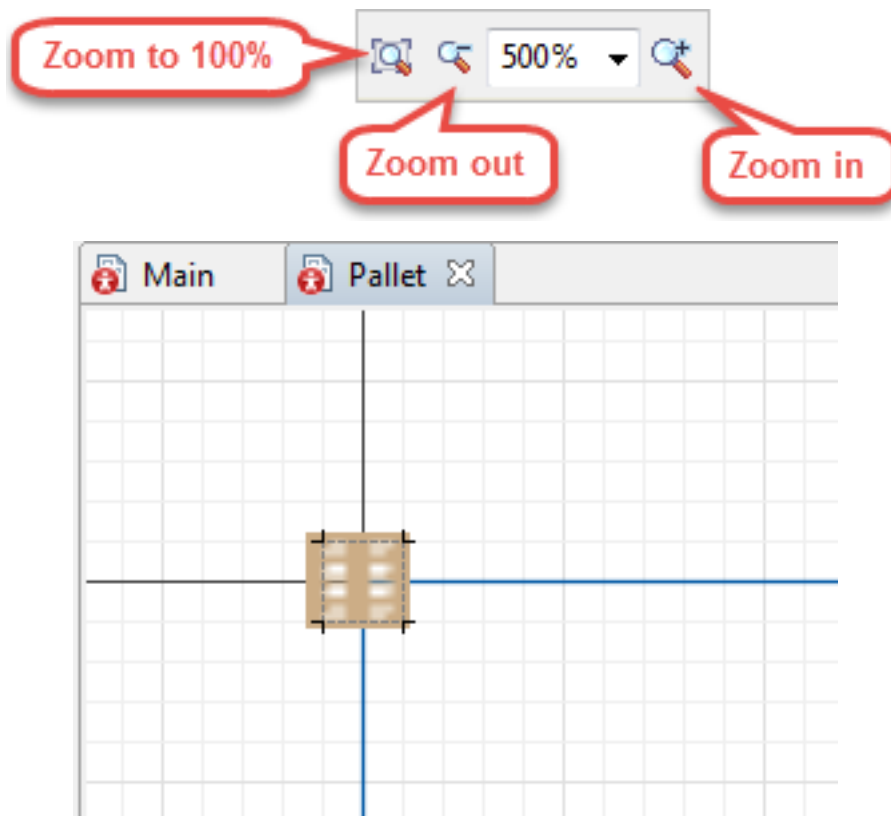
20. В свойствах типа агента *Pallet* разверните раздел **Агент в диаграмме процесса (Agent in flowcharts)** и выберите Материальный объект (**Material Item**) из выпадающего списка **Использовать в диаграммах процесса как (Use in flowcharts as)**. Теперь агенты типа *Pallet* будут иметь дополнительную функциональность, которая может быть полезна, пока эти агенты обрабатываются блоками Библиотеки обработки материалов. В частности, теперь агенты-поддоны имеют явно определенные размеры (если вы развернете раздел **Размеры и движение (Dimensions and movement)** свойств типа агента *Pallet*, вы увидите поля **Длина (Length)**, **Ширина (Width)** и **Высота (Height)**).

Наш следующий шаг — добавить анимацию продукта поверх анимации поддона, но сначала мы увеличим вид, чтобы рассмотреть поддон поближе.

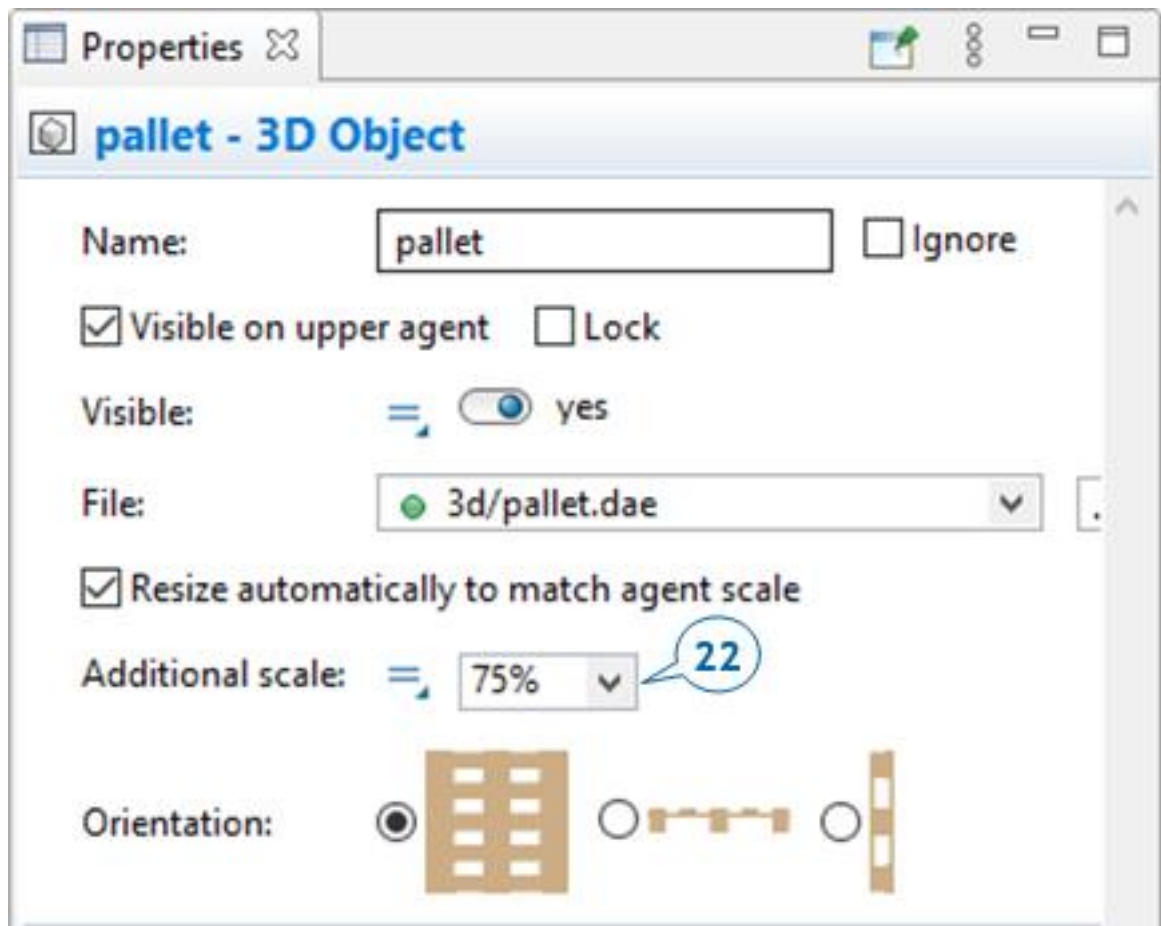
21. Используя панель инструментов **Масштаб (Zoom)**, увеличьте диаграмму **Pallet** до 300%, а затем переместите холст вправо и вниз, чтобы увидеть **начальную точку** оси и фигуру анимации поддона.

Увеличение или уменьшение вида

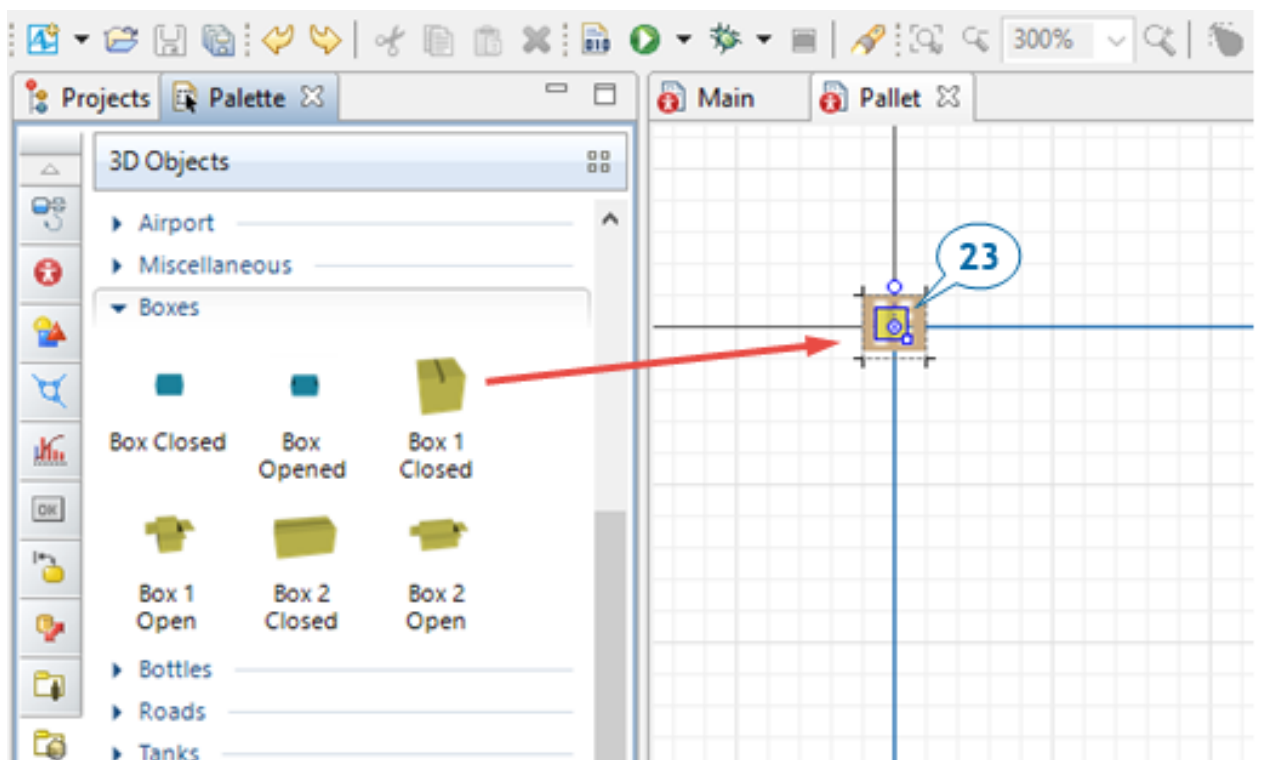
Панель инструментов **Масштаб (Zoom)** AnyLogic позволяет увеличивать или уменьшать вид графической диаграммы.




22. Поскольку фигура поддона кажется слишком большой и не помещается в заполнитель, соответствующий размерам этого материального объекта, выберите ее щелчком и измените ее **Доп. масштабирование (Additional scale)** на 75%.





23. Добавьте анимацию продукта поверх анимации поддона. На палитре **3D-объекты (3D Objects)** разверните область **Коробки (Boxes)** и перетащите объект **Коробка 1 Закрытая (Box 1 Closed)** на поддон.



24. Измените **Доп. масштабирование (Additional scale)** коробки на *125%*.


25. В панели  **Свойства (Properties)** коробки разверните раздел **Расположение (Position)**, а затем измените координату **Z** коробки на 2. Наше изменение отражает тот факт, что мы хотим разместить коробки на поддонах, а высота каждого поддона составляет около 2 пикселей.

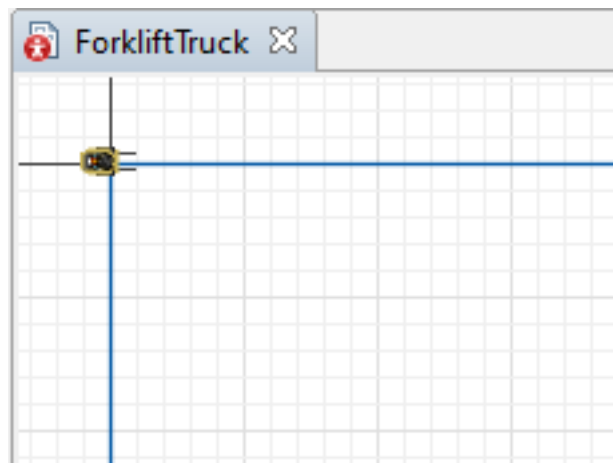
26. Верните уровень масштабирования к 100%, нажав на панели инструментов кнопку **Масштаб 100% (Zoom to 100%)**.

27. Вернитесь на диаграмму  *Main*. Если вы откроете панель  **Свойства (Properties)** блока *sourcePallets*, вы увидите, что **Pallet** выбран в качестве **Нового агента (New agent)**. Этот блок будет генерировать агентов типа **Pallet**.

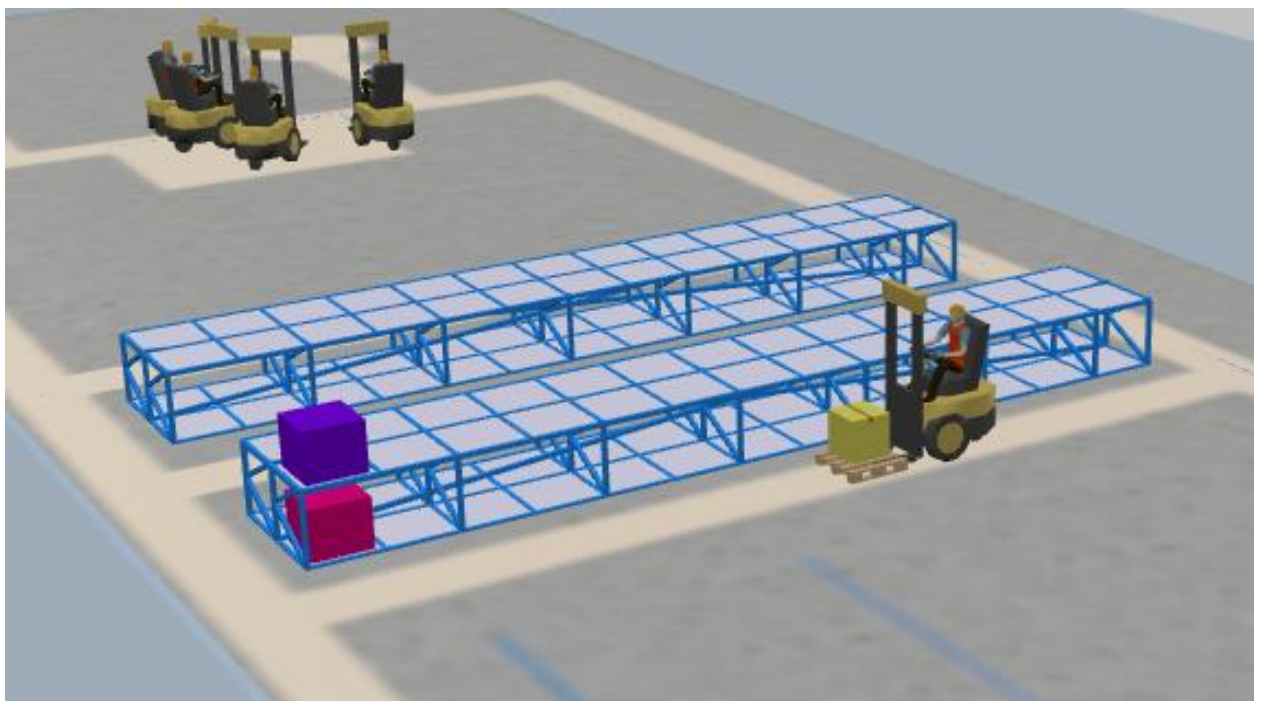
28. Запустите модель. Вы увидите, что фигуры поддонов заменили разноцветные фигуры. Однако, если вы приблизите 3D-сцену, вы заметите, что погрузчики не перевозят поддоны. Мы исправим эту проблему, переместив анимацию поддонов нашей модели таким образом, чтобы погрузчики могли их подбирать.



29. В панели  **Проекты (Projects)** дважды щелкните тип агента **ForkliftTruck**, чтобы открыть его диаграмму, а затем переместите фигуру **forkliftWithWorker** на одну ячейку вправо. Теперь форма анимации находится в правильном месте, и поддоны нашей модели выровнены с вилами вилочных погрузчиков.

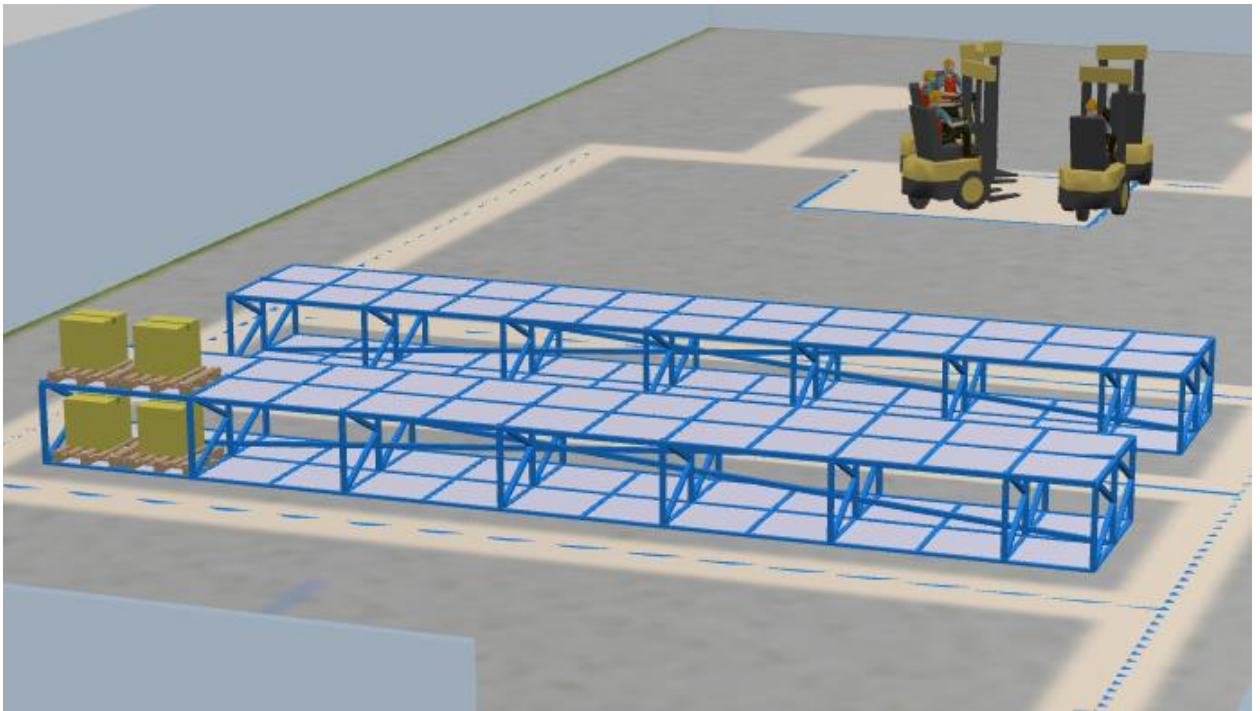


Однако, когда поддоны с продуктами хранятся в ячейках склада, они визуализируются не 3D-моделями, а случайно окрашенными кубами. Это происходит потому, что склад по умолчанию настроен на оптимизацию своей производительности за счет использования примитивных форм для анимации хранящихся предметов.






30. Чтобы это изменить, выберите склад в графическом редакторе, затем разверните раздел **Внешний вид (Appearance)** его свойств и установите параметр **Анимация заполненных ячеек (Occupied cells animation)** на **анимация агента (agent animation)**.

31. Запустите модель, и вы увидите, что предметы, хранящиеся на складе, визуализируются с использованием выбранных 3D-моделей.



Этап 4. Моделирование доставки поддонов грузовиками

В этой части нашей работы мы добавим грузовики, которые доставляют поддоны в цех. Это сделает модель более комплексной и реалистичной, так как поступление сырья теперь будет зависеть от прибытия транспорта. Мы создадим отдельный, параллельный процесс для грузовиков. Начнем с создания типа агента для их представления.




1. На палитре  **Библиотека моделирования процессов (Process Modeling Library)** перетащите элемент  **Тип агента (Agent Type)** на диаграмму  *Main*.

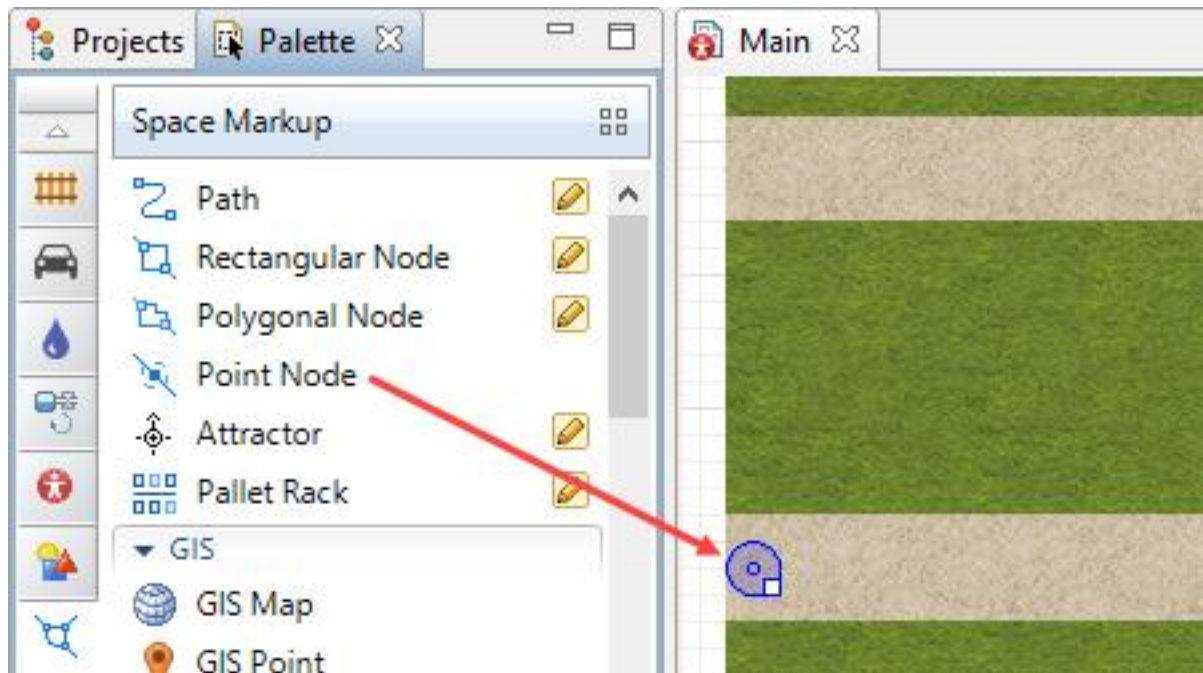
2. В мастере **Новый агент (New agent)** выполните следующие действия:


- В поле **Имя типа агента (Agent type name)** введите **Truck**.
- Нажмите **Далее (Next)**.
- На следующей странице мастера разверните раздел **Автомобильный транспорт (Road Transport)** в списке слева, а затем щелкните 3D-анимацию **Грузовик (Truck)**.
- Нажмите **Готово (Finish)**.

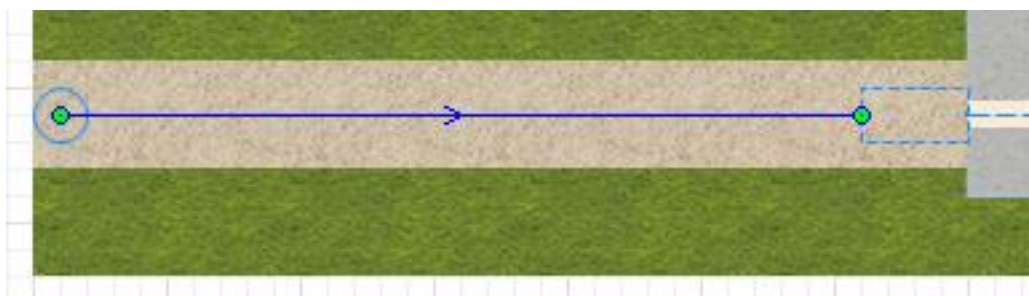
Давайте добавим еще два элемента в нашу сеть: узел, где будут


появляться грузовики, и путь, по которому они будут следовать до приемного дока.

3. Откройте диаграмму  *Main*.
4. На палитре  **Пространственная разметка (Space Markup)** щелкните элемент  **Точечный узел (Point Node)** и перетащите его на въезд.

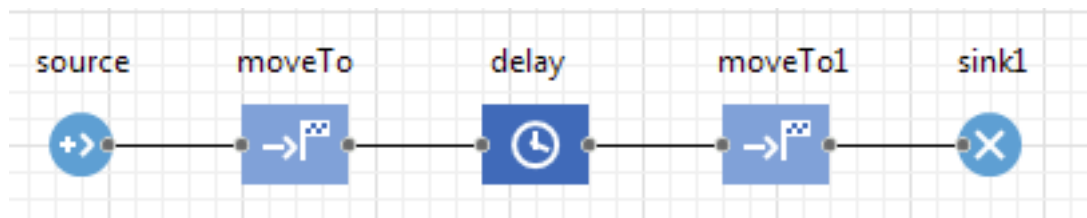




5. Назовите узел *exitNode*.
6. Нарисуйте  **Путь (Path)** для соединения *exitNode* с *receivingDock*.







7. Создайте еще одну блок-схему процесса для определения логики движения грузовика, соединив блоки  **Библиотеки моделирования процессов (Process Modeling Library)** в следующем порядке:

 **Source** —  **MoveTo** —  **Delay** —  **MoveTo** —  **Sink**.




- Блок  **Source** генерирует грузовик.
- Первый блок  **MoveTo** направляет грузовик ко входу в цех.

Блоки блок-схемы  **MoveTo** перемещают агентов в новые места в сети. Если к агенту присоединены ресурсы, они будут двигаться вместе с ним.

- Блок  **Delay** имитирует разгрузку поддонов.
- Второй блок  **MoveTo** увозит грузовик.
- Блок  **Sink** удаляет грузовик из модели.

8. Назовите блок  **Source** *sourceDeliveryTrucks*.

9. В панели  **Свойства (Properties)** блока *sourceDeliveryTrucks* выполните следующие действия, чтобы новый агент пользовательского типа *Truck* прибывал на въезд раз в час с определенной скоростью:

- В списке **Прибывают согласно (Arrivals defined by)** щелкните **Времени между прибытиями (Interarrival time)**.
- В поле **Время между прибытиями (Interarrival time)** введите **1** и выберите **часы (hours)** из списка справа.
- В списке **Первое прибытие происходит (First arrival occurs)** щелкните **При запуске модели (At model start)**. Первый грузовик появится сразу при запуске модели, и нам не придется ждать его один час модельного времени.
- В списке **Местоположение прибытия (Location of arrival)** щелкните **Узел сети/ГИС (Network/GIS node)**.
- В списке **Узел (Node)** щелкните *exitNode*.
- В поле **Скорость (Speed)** введите **40** и выберите **километры в час (kilometers per hour)** из списка справа.
- В списке **Новый агент (New agent)** в разделе **Агент (Agent)**

щелкните **Truck**.

Properties

sourceDeliveryTrucks - Source

Name:

☒ Show name ☐ Ignore

Arrivals defined by:

Interarrival time:

First arrival occurs:

Set agent parameters from DB: ☐

Multiple agents per arrival: ☐

Limited number of arrivals: ☐

Location of arrival:

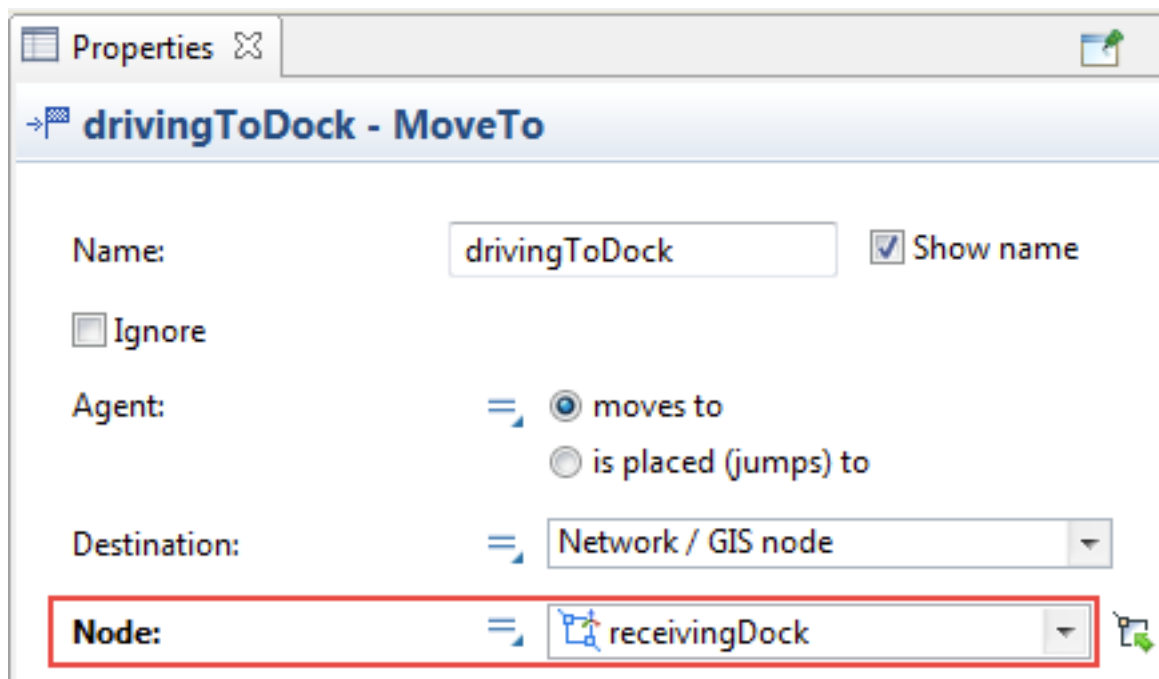
Node:



Speed:

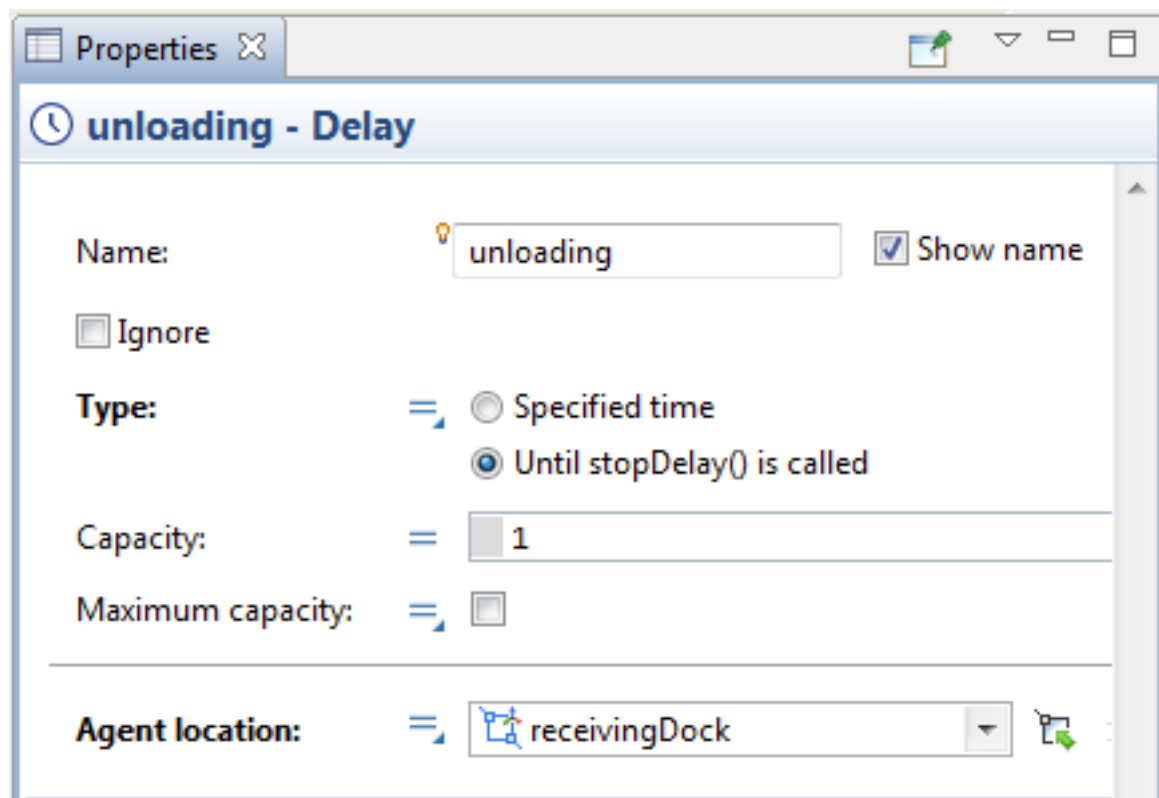
Agent



New agent:

10. Назовите первый блок **MoveTo** *drivingToDock*.
11. В панели **Свойства (Properties)** блока *drivingToDock* в списке **Узел (Node)** щелкните *receivingDock*, чтобы установить пункт назначения агента.





12. Переименуйте блок  **Delay** в *unloading*.
13. В панели  **Свойства (Properties)** блока *unloading* выполните следующие действия:
 - В области **Тип задержки (Type)** щелкните **До вызова stopDelay()** (Until stopDelay() is called).
 - В списке **Место агентов (Agent location)** щелкните *receivingDock*.




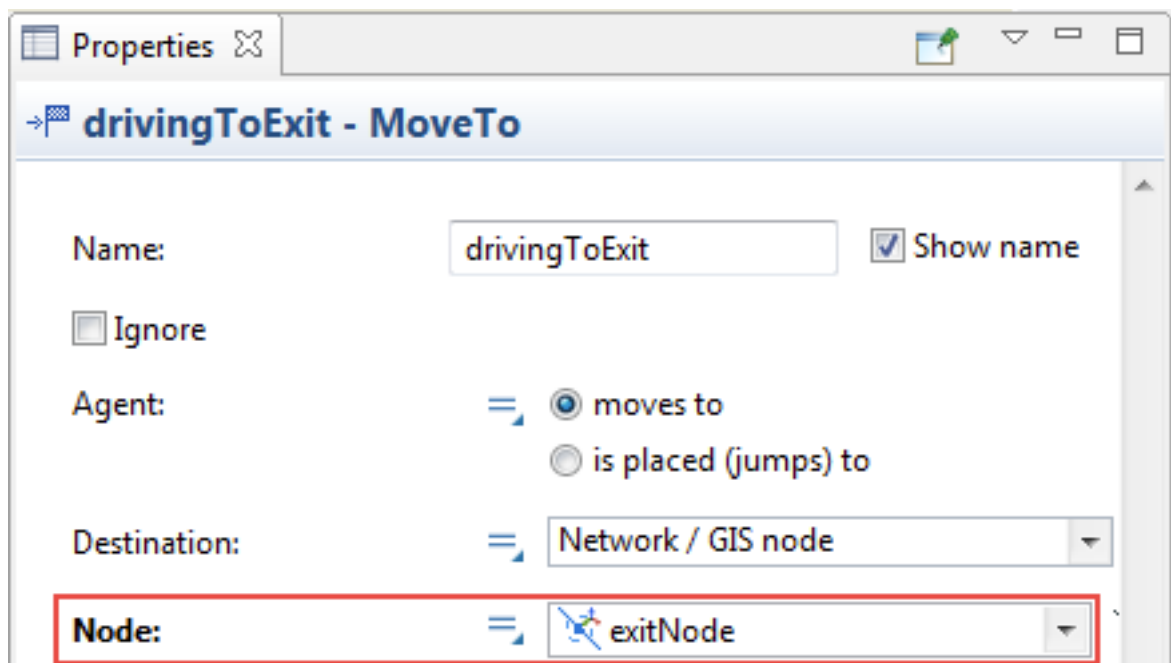
Продолжительность операции зависит от того, как быстро разгружаются и увозятся поддоны вилочными погрузчиками. Мы будем считать эту операцию завершенной, когда блок  **Store** закончит размещение поддонов, и смоделируем это, изменив режим работы блока  **Delay**. Это создает динамическую связь между двумя, казалось бы, независимыми процессами.


Программное управление временем задержки


Обычно вы указываете **Время задержки (Delay time)** для работы блока  **Delay**. Это может быть фиксированная продолжительность, например, пять минут, или стохастическое выражение, которое генерирует время задержки, например, *triangular(1, 2, 6)*. Вы также можете программно управлять продолжительностью операции и останавливать задержку при необходимости, вызывая соответствующую функцию блока. Если вам нужно остановить ожидание для всех агентов, находящихся в блоке  **Delay**, вызовите функцию блока *stopDelayForAll()*. Другая функция — *stopDelay(agent)* — завершает операцию и освобождает указанного агента.

14. Назовите второй блок  **MoveTo** *drivingToExit*.


15. В панели  **Свойства (Properties)** блока *drivingToExit* в списке **Узел (Node)** щелкните *exitNode*, чтобы установить узел назначения.




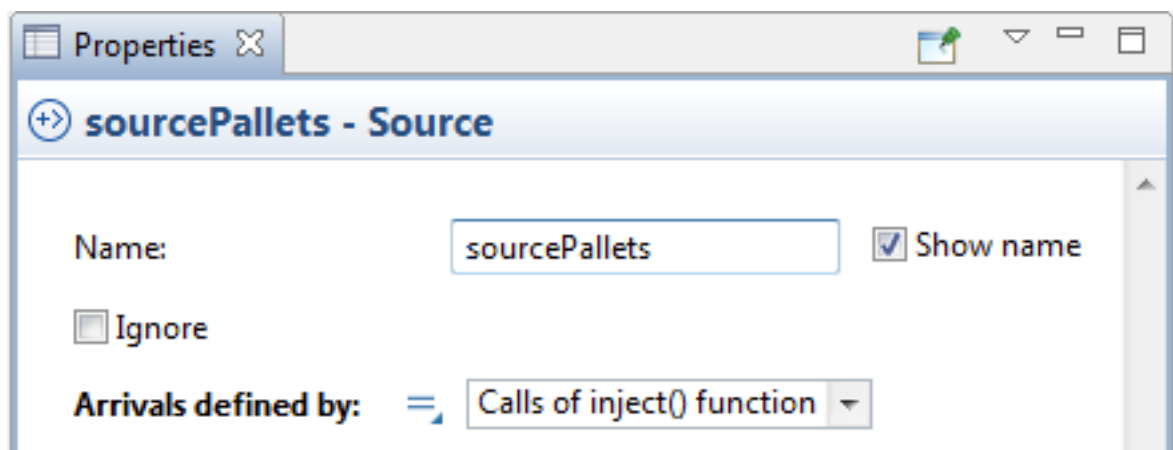
Два блока  **Source** нашей модели генерируют агентов двух типов:

грузовики, которые появляются каждый час, и поддон, который генерируется каждые пять минут. Поскольку мы хотим, чтобы поддоны появлялись, когда грузовик разгружается, мы изменим режим прибытия для блока  **Source**, который их генерирует.


Управление генерацией агентов

Вы можете заставить блок  **Source** генерировать агентов через заданные интервалы, установив параметр блока **Прибытия определяются (Arrivals defined by)** на **Вызовы функции inject() (Calls of inject() function)**. Вы сможете управлять созданием агентов во время выполнения, вызывая функцию блока *inject(int n)*. Эта функция генерирует заданное количество агентов в момент вызова. Вы устанавливаете количество агентов, которое блок будет генерировать, используя аргумент функции, например, *sourcePallets.inject(12);*. Этот подход позволяет создавать агентов не по расписанию, а в ответ на определенные события в модели.

16. В панели  **Свойства (Properties)** блока *sourcePallets* в списке **Прибывают согласно (Arrivals defined by)** щелкните **Вызовам функции inject() (Calls of inject() function)**.

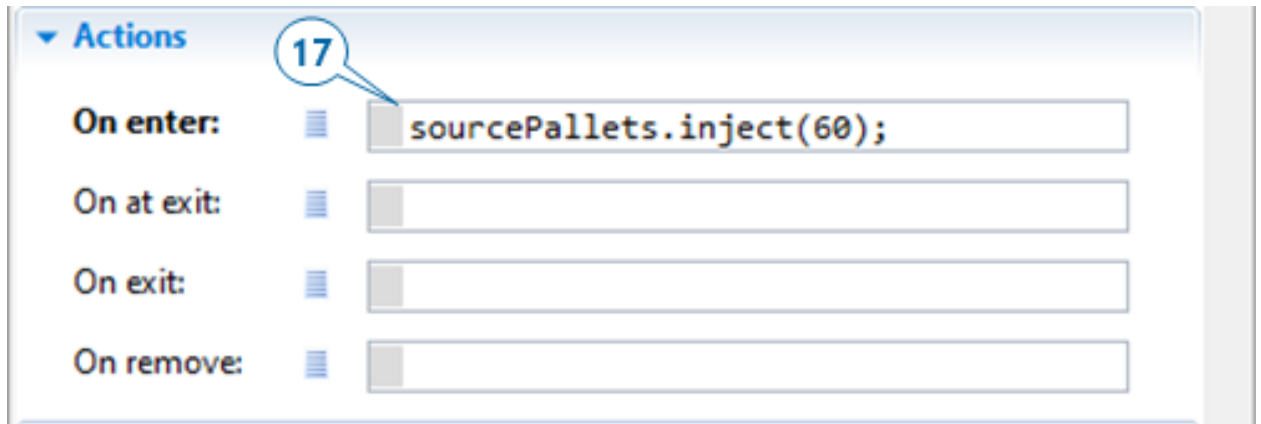



17. Выполните следующие действия, чтобы блок *sourcePallets* генерировал поддоны, когда грузовик входит в блок *unloading*:

- В панели  **Свойства (Properties)** блока *unloading* разверните раздел **Действия (Actions)**.
- В поле **При входе (On enter)** введите следующее:

sourcePallets.inject(60);

Эта функция Java обеспечит генерацию 60 поддонов каждый раз, когда грузовик начинает разгрузку.



18. В панели  **Свойства (Properties)** блока *storeRawMaterial* разверните раздел **Действия (Actions)** и в поле **При выходе (On exit)** введите следующее:

```
if( self.nWaitingForResource() == 0 )  
unloading.stopDelayForAll();
```

В этом примере *self* — это сокращение, которое мы используем для ссылки на блок *storeRawMaterial* из его собственного действия. Этот код проверяет, все ли поддоны, созданные этим грузовиком, уже размещены на складе. Если да, то он программно завершает задержку для грузовика.

► Transporters and resources

▼ Actions


On enter:	
On seize transporter:	
On loading start:	
On loading finished:	
On release transporter:	
On exit:	<pre>if(self.nWaitingForResource() == 0) unloading.stopDelayForAll();</pre>
On remove:	

Если нет поддонов, ожидающих ресурсов для доставки на склад, время задержки блока *unloading* заканчивается (другими словами, вызывается *stopDelayForAll()*), и грузовик покидает блок разгрузки и входит в следующий блок блок-схемы, *drivingToExit*.

19. Запустите модель.

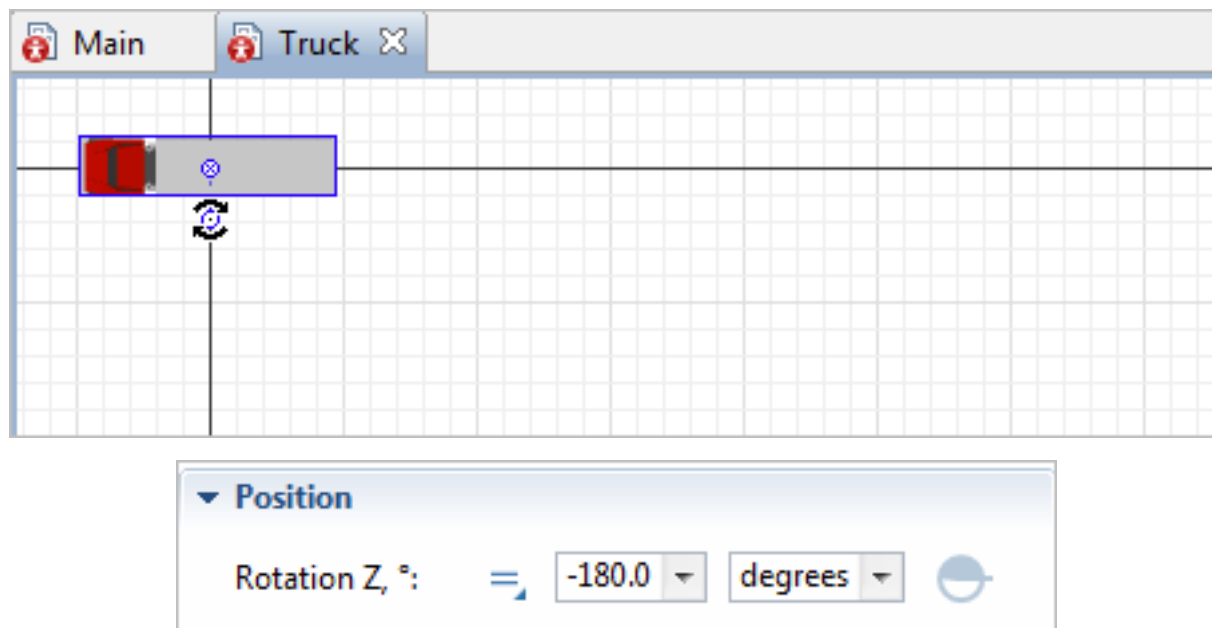
20. Если грузовик выровнен неправильно, как на рисунке ниже, выполните следующие действия, чтобы это исправить.



- В панели  **Проекты (Projects)** дважды щелкните тип агента **Truck**, чтобы открыть его диаграмму и просмотреть фигуру анимации грузовика.



- В графическом редакторе выберите форму грузовика, а затем используйте круглый маркер или свойство **Поворот Z (Rotation Z)** в разделе **Расположение (Position)** свойств формы, чтобы повернуть грузовик на -180

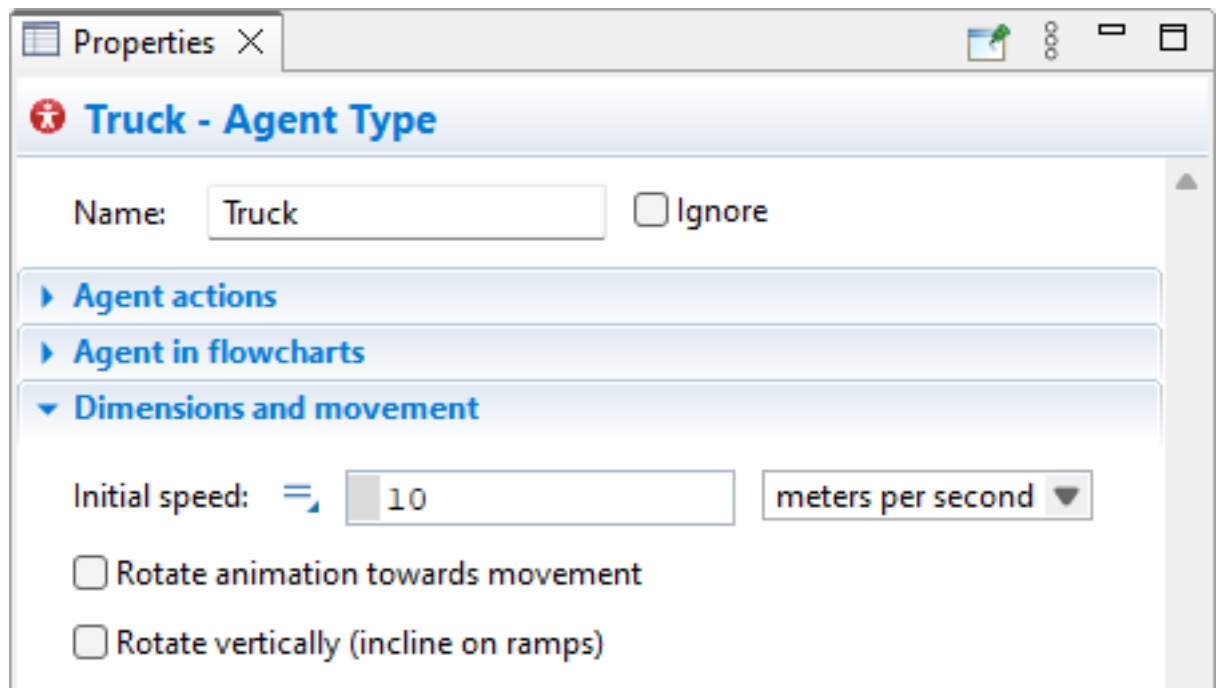
градусов.



Мы изменили положение фигуры грузовика, но нам также нужно будет изменить стандартную настройку AnyLogic, чтобы программа не поворачивала его второй раз.

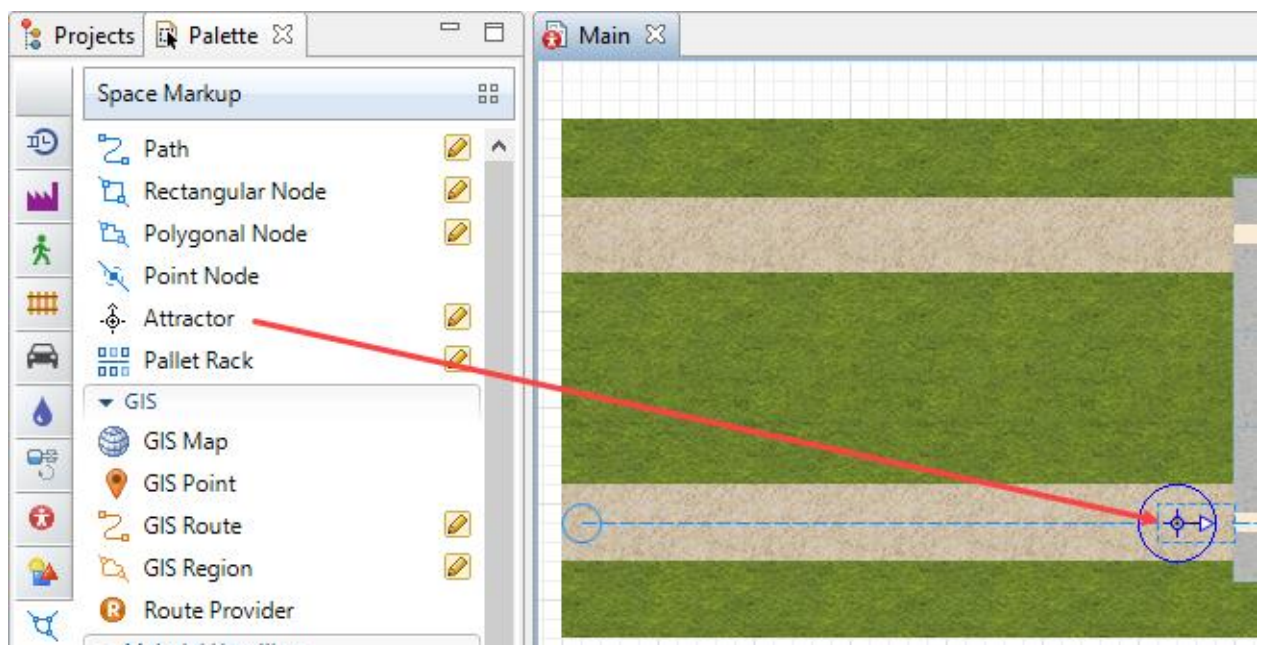
21. Выполните следующие действия, чтобы изменить стандартные настройки AnyLogic:

- В панели  **Проекты (Projects)** щелкните **Truck**.
- В панели  **Свойства (Properties)** типа агента **Truck** разверните раздел **Размеры и движение (Dimensions and movement)**.
- Снимите флажок **Поворачивать анимацию согласно направлению движения (Rotate animation towards movement)**.



22. Откройте диаграмму *Main*.



23. Чтобы убедиться, что поддоны правильно расположены в сетевом узле *receivingDock*, откройте палитру **Пространственная разметка (Space Markup)** и перетащите **Аттрактор (Attractor)** в *receivingDock*. Пусть он будет обращен ко входу.



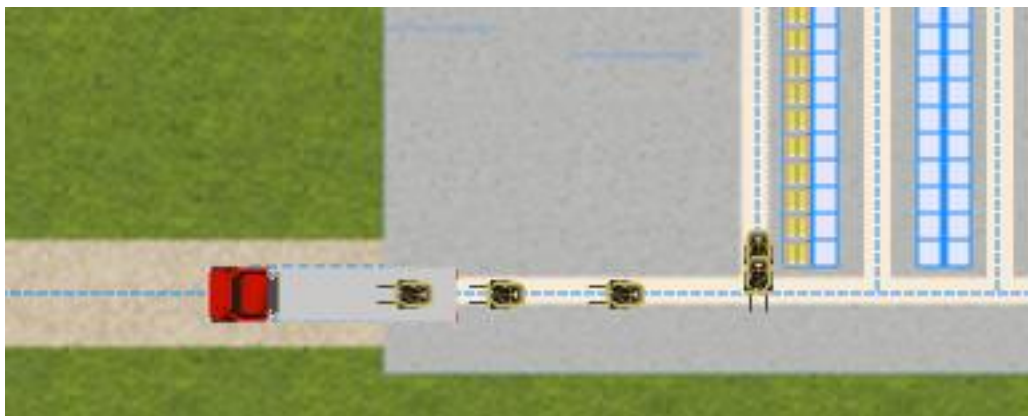
Аттракторы в узлах

Аттракторы позволяют нам контролировать местоположение агента внутри узла.

- Если узел определяет место назначения, к которому движутся наши агенты, аттракторы определяют точные целевые точки внутри узла.
- Если узел определяет место ожидания, аттракторы определяют точные точки, где агенты будут ждать внутри узла.

Аттракторы также определяют ориентацию анимации агента, пока агент ждет внутри узла. Здесь мы используем аттрактор для этой конкретной цели. Вы можете добавлять аттракторы, перетаскивая их по отдельности на диаграмму  *Main*, но, если аттракторы образуют регулярную структуру, вам следует использовать специальный мастер для одновременного добавления нескольких аттракторов. Мастер предлагает несколько различных режимов создания, а также возможность очистить все аттракторы, и вы можете отобразить его, нажав кнопку **Аттракторы (Attractors)** в панели  **Свойства (Properties)** узла.


24. Запустите модель, чтобы проверить поведение грузовика. Анимация должна работать так, как мы ожидаем.



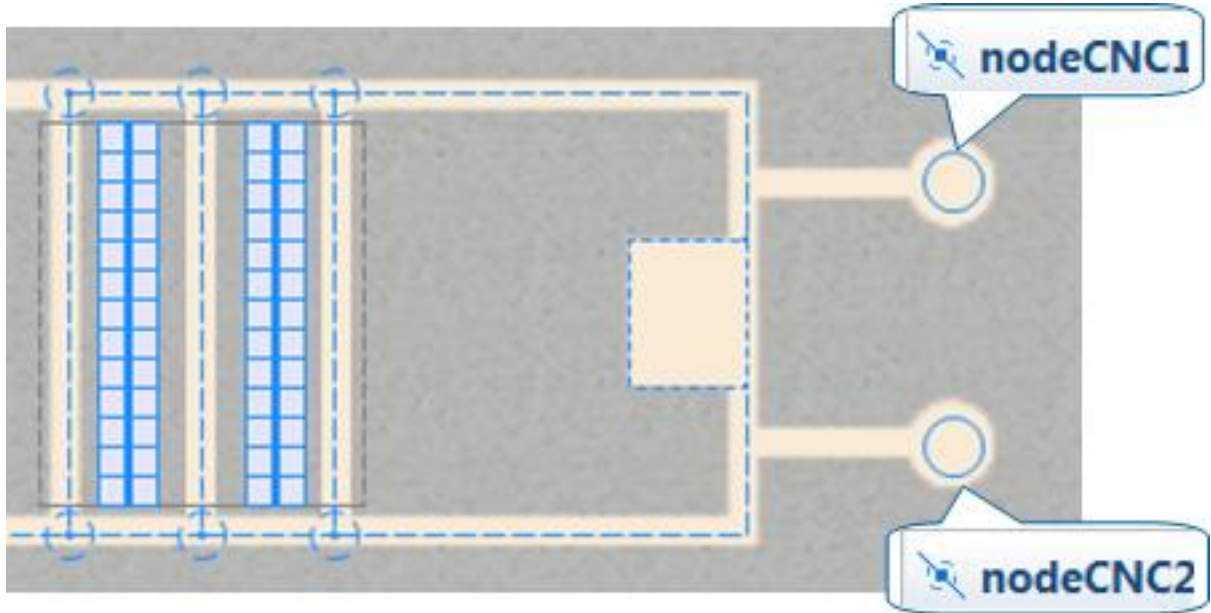
Этап 5. Моделирование станков с ЧПУ

В этой части нашей работы мы будем имитировать станки с ЧПУ, которые обрабатывают сырье. Это заключительный и самый важный этап производственного процесса в нашей модели. Мы добавим стационарные ресурсы, которые будут представлять собой производственные мощности. Мы начнем с разметки пространства и использования точечных узлов для определения местоположения станков с ЧПУ.



1. На палитре  **Пространственная разметка (Space Markup)**

перетащите элемент  **Точечный узел (Point Node)** на планировку цеха и назовите его *nodeCNC1*.

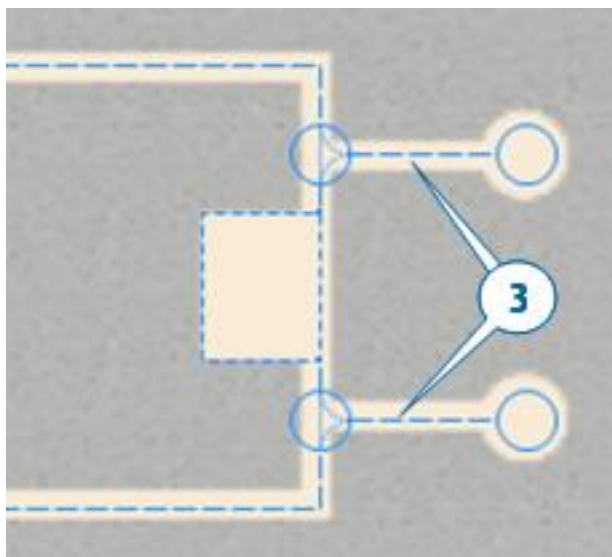
2. Скопируйте этот узел, чтобы разметить пространство для второго станка с ЧПУ. AnyLogic назовет второй узел *nodeCNC2*.







Нам нужно будет создать пути для соединения обоих этих узлов с нашей сетью. Вилочным погрузчикам нашей модели они понадобятся, чтобы добраться до станков с ЧПУ.



3. На палитре  **Пространственная разметка (Space Markup)** щелкните элемент  **Путь (Path)** и нарисуйте пути, как показано на рисунке ниже. Чтобы соединить путь с точечным узлом, щелкните центр точечного узла.

Убедитесь, что нарисованные вами пути соединяют *nodeCNC1* и *nodeCNC2* с сетью. Вы можете проверить соединение пути, выбрав его щелчком. Если путь соединен с сетью, вокруг его конечных точек появятся голубые подсветки.



Станок с ЧПУ — это единица ресурса, и мы добавим его в нашу модель, создав тип ресурса и используя блок  **ResourcePool** для определения пула ресурсов. В отличие от погрузчиков, это будут статические ресурсы.

4. На палитре  **Библиотека моделирования процессов (Process Modeling Library)** щелкните и перетащите блок  **ResourcePool** на диаграмму  *Main*.

5. В панели  **Свойства (Properties)** блока  **ResourcePool** выполните следующие действия:

- В поле **Имя (Name)** введите *спс*.
- В списке **Тип (Resource type)** щелкните **Статический (Static)**, чтобы отразить тот факт, что это статический ресурс.

Properties X

cnc - ResourcePool

Name: ☒ Show name

☐ Ignore

Resource type:

Capacity defined:

Capacity:

When capacity decreases:

New resource unit: [create a custom type](#)

Теперь, когда наш пул ресурсов готов, мы можем создать новый тип ресурса.

6. Под списком **Новый ресурс (New resource unit)** щелкните ссылку **создать другой тип (create a custom type)**.

7. В мастере **Новый агент (New agent)** выполните следующие действия:

- В поле **Имя типа агента (Agent type name)** введите **CNC**.
- Нажмите **Далее (Next)**.
- На следующей странице мастера разверните раздел **Станки с ЧПУ (CNC Machines)** и выберите **Вертикальный станок 2 Сост 1 (CNC Vertical Machining Center 2 State 1)**.

- Нажмите **Готово (Finish)**.

8. Закройте диаграмму нового типа **CNC** и вернитесь на диаграмму **Main**.

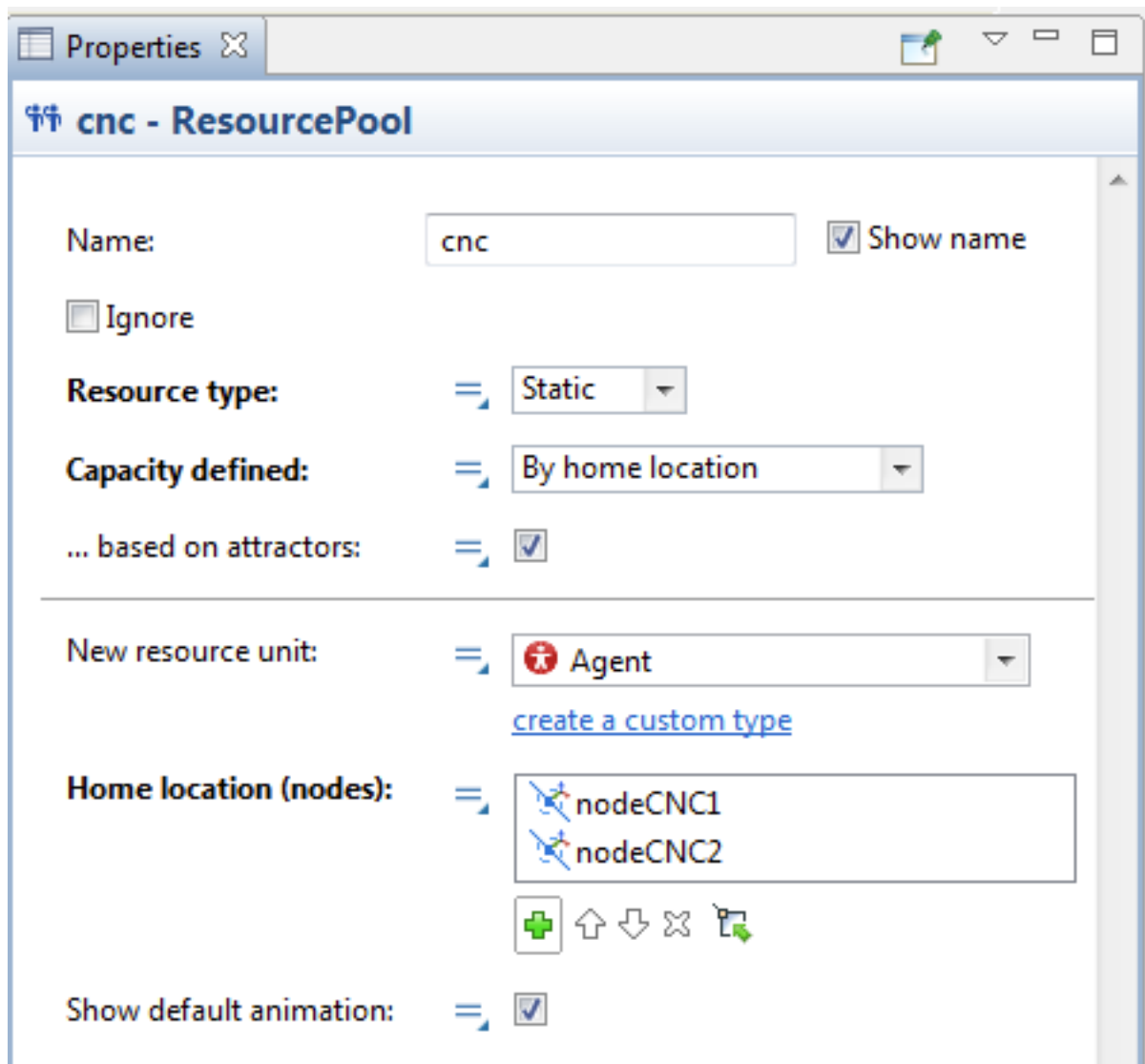
9. В панели **Свойства (Properties)** блока **ResourcePool cnc** выполните следующие действия, чтобы разместить два станка с ЧПУ нашей


модели в местах, определенных нашими точечными узлами, *nodeCNC1* и *nodeCNC2*.



- В списке **Количество задано (Capacity defined)** щелкните **Базовым местоположением (By home location)**. Опция **Базовым местоположением** устанавливает количество ресурсов равным количеству узлов домашнего местоположения, которые вы установили для этого пула ресурсов.

- Нажмите кнопку с плюсом  и добавьте *nodeCNC1* и *nodeCNC2* в список **Базовое местоположение (узлы) (Home location (nodes))**.

После добавления узлов список должен выглядеть как на рисунке ниже.





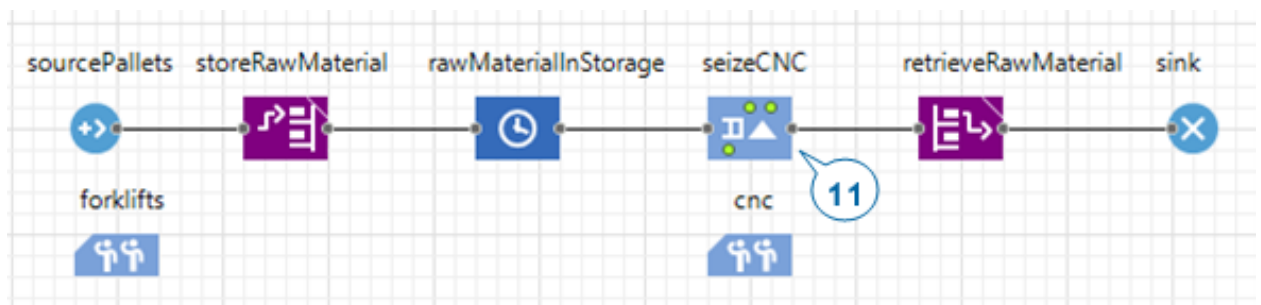
Мы готовы изменить блок-схему, которую наша модель использует для определения поведения поддонов, добавив блок  **Seize**, который будет



захватывать станок с ЧПУ. Позже блок  **Delay** будет имитировать обработку сырья станком с ЧПУ, а блок  **Release** будет освобождать станок с ЧПУ, чтобы он мог обработать сырье следующего поддона. Эта последовательность "Seize-Delay-Release" является стандартным паттерном для моделирования любой операции, требующей ограниченного ресурса.



Помните, что в блок-схеме нашей модели уже есть блок *retrieveRawMaterial*, который имитирует движущийся ресурс (погрузчики), доставляющий поддоны к станку с ЧПУ.


10. В блок-схеме, определяющей поведение поддонов, перетащите блоки *retrieveRawMaterial* и *sink* вправо, чтобы освободить место для нового блока.

11. На палитре  **Библиотека моделирования процессов (Process Modeling Library)** перетащите блок  **Seize** и вставьте его в блок-схему поддонов после блока *rawMaterialInStorage*.



12. В панели  **Свойства (Properties)** блока  **Seize** выполните следующие действия:


- В поле **Имя (Name)** введите *seizeCNC*.
- Под опцией **Набор ресурсов (Resource sets)** нажмите кнопку с плюсом  и затем щелкните *cnc*. Выполнение этого шага гарантирует, что блок  **Seize** захватит один ресурс из пула ресурсов *cnc*.

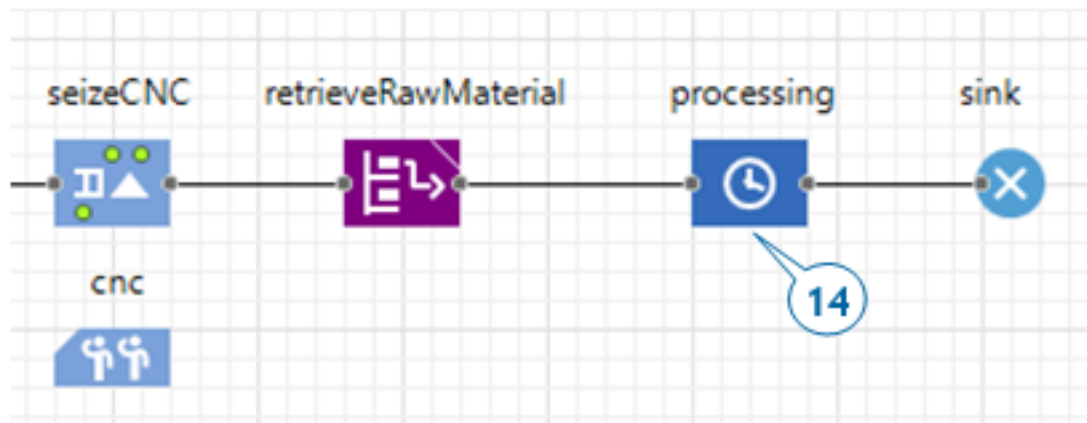
13. В панели  **Свойства (Properties)** блока блок-схемы *retrieveRawMaterial* выполните следующие действия:



- В списке **Место разгрузки (Destination is)** щелкните: **Захваченный ресурс (Seized resource unit)**.

○ В списке **Ресурс (Resource)** щелкните *cnc*. Этот блок будет имитировать, как поддоны транспортируются к захваченному станку с ЧПУ, а не в зону парковки вилочных погрузчиков.

14. Выполните следующие действия, чтобы имитировать обработку сырья станком с ЧПУ:



- Добавьте блок  **Delay**, поместите его сразу после *retrieveRawMaterial* и назовите его *processing*.



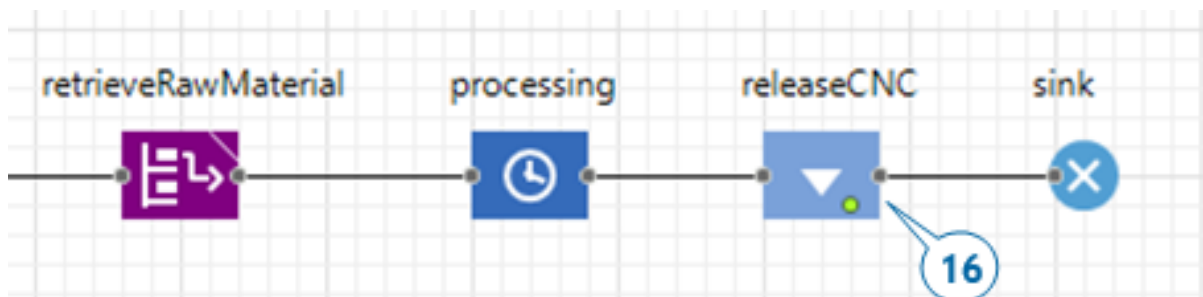
15. В панели  **Свойства (Properties)** блока  **Delay** выполните следующие действия:

- В поле **Время задержки (Delay time)** введите *1* и выберите **минуты (minutes)** из списка справа.
- Установите флажок **Максимальная вместимость (Maximum capacity)**, чтобы позволить станкам обрабатывать несколько поддонов.

Каждый агент, который прибывает в блок Delay, должен иметь один из двух станков с ЧПУ нашей модели.

16. На палитре  **Библиотека моделирования процессов (Process Modeling Library)** перетащите блок  **Release** в блок-схему поддонов и поместите его после блока *processing*.

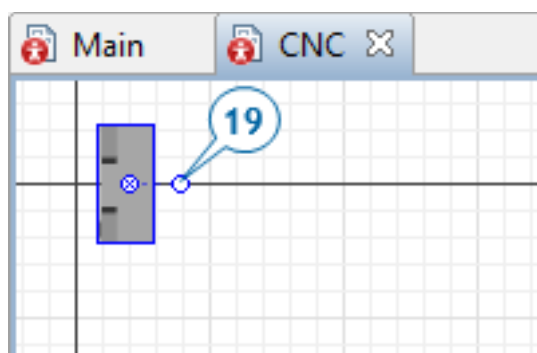
17. Назовите этот блок  **Release** *releaseCNC*.



Если вы запустите модель, вы увидите, что, хотя процессы моделируются правильно, 3D-анимация рисует поддон в середине фигуры станка с ЧПУ. Это происходит, когда станок с ЧПУ и обрабатываемый им поддон используют один и тот же точечный узел в качестве места анимации. Чтобы решить эту проблему, нам нужно будет сдвинуть станок с ЧПУ вправо и повернуть его лицом к поддону.

18. В панели **Проекты (Projects)** дважды щелкните тип агента **CNC**, чтобы открыть его диаграмму.

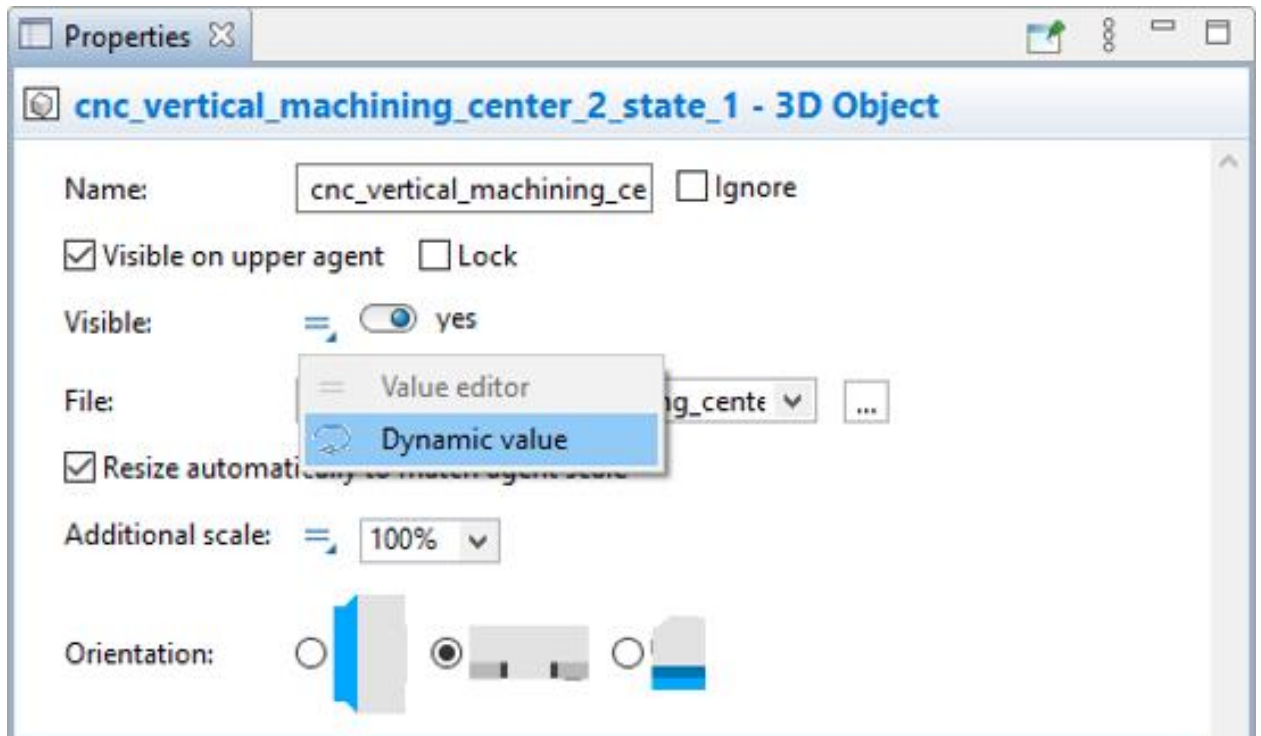
19. Переместите анимацию вправо и поверните фигуру станка с ЧПУ, используя круглый маркер или установив свойство **Поворот (Rotation)** фигуры на **90** градусов.





Мы готовы использовать две похожие фигуры 3D-анимации для анимации станка с ЧПУ: одна фигура будет представлять простаивающий станок, а другая — станок во время обработки сырья. Мы определим динамические значения для свойства **Видимый (Visible)** каждой фигуры, что позволит нашей модели использовать состояние станка с ЧПУ для определения, какую фигуру модель будет отображать во время выполнения.

20. Выполните следующие действия, чтобы изменить настройку видимости фигуры анимации ЧПУ:

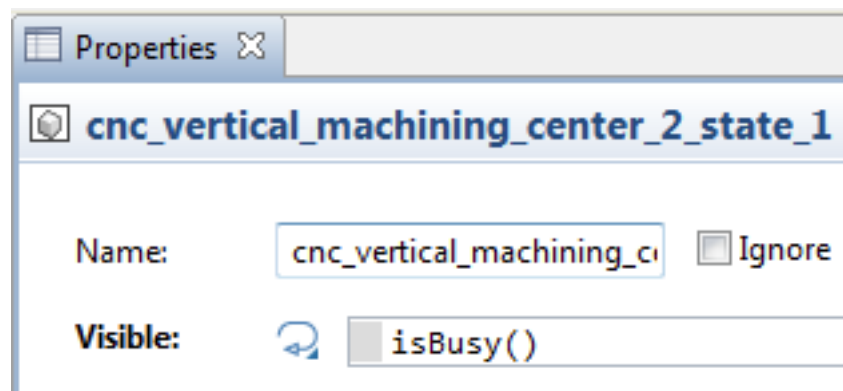
- Выберите фигуру анимации ЧПУ.
- Наведите курсор на значок статических параметров, который отображается рядом с меткой **Видимый (Visible)**, и щелкните **Динамическое значение (Dynamic value)**.



Значок  изменится на значок динамических свойств , и отобразится поле, где вы можете определить динамическое выражение значения. Вы можете использовать это поле для ввода выражения Java, которое возвращает значение *true* или *false*.

- В поле введите *isBusy()*.

Эта стандартная функция для ресурса AnyLogic возвращает *true*, когда ресурс занят. В нашем случае функция заставит отображаться фигуру 3D-анимации, когда станок с ЧПУ обрабатывает сырье.







Динамические свойства

Когда вы определяете выражение для динамического значения свойства, наша модель будет пересчитывать выражение на каждом кадре анимации во время выполнения, а затем использовать полученное значение в качестве текущего значения свойства. Предоставление динамических значений для положения, высоты, ширины или цвета фигуры позволяет пользователям AnyLogic анимировать свои модели. Это мощный инструмент для создания динамических и информативных визуализаций.


Если вы не вводите динамическое значение, свойство сохраняет стандартное статическое значение на протяжении всей симуляции.

Блоки блок-схемы могут иметь:

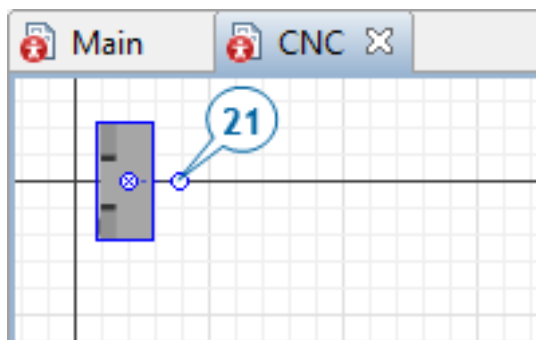
-  **Статические параметры**, которые сохраняют одно и то же значение на протяжении всей симуляции, если только функция *set_parameterName(new value)* не изменит его.
-  **Динамические свойства**, значение которых пересчитывается каждый раз, когда новый агент входит в блок.
-  **Параметры кода**, которые позволяют вам определять действия, которые будут выполняться в ключевой момент в блоке блок-схемы, такие как действие **При входе (On enter)** или **При выходе (On exit)**. В большинстве случаев вы найдете параметры кода в панели  **Свойства (Properties)** блока блок-схемы, в разделе **Действия (Actions)**.


Маленький треугольник у значка параметра показывает, что вы можете щелкнуть значок и переключиться между редактором статических значений и полем, где вы можете ввести динамически пересчитываемое выражение значения.

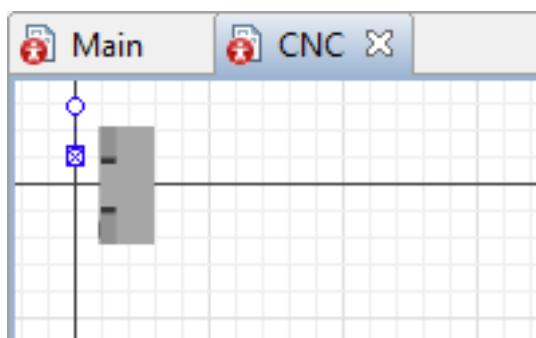
21. Выполните следующие действия, чтобы добавить еще одну фигуру анимации, которая будет видна только тогда, когда станок с ЧПУ не обрабатывает сырье.

- Откройте палитру  **3D-объекты (3D Objects)**, которая содержит готовые к использованию 3D-объекты AnyLogic.

- Разверните область **Станки с ЧПУ (CNC Machines)** и перетащите фигуру **Вертикальный станок 2 Сост 2 (CNC Vertical Machining Center 2 State 2)** на диаграмму **CNC**.
- В появившемся диалоговом окне **Автомасштабирование 3D-объекта (Auto scale 3D object)** нажмите кнопку **Да (Yes)**.
- Поверните фигуру и поместите ее прямо поверх первой фигуры анимации.
- В поле **Видимый (Visible)** переключитесь на редактор динамических значений и введите *isIdle()* в качестве динамического выражения для свойства **Видимый (Visible)** фигуры.



22. Разверните раздел **Люди (People)** на палитре  **3D-объекты (3D Objects)** и перетащите фигуру **Рабочий (Worker)** на диаграмму **CNC**.



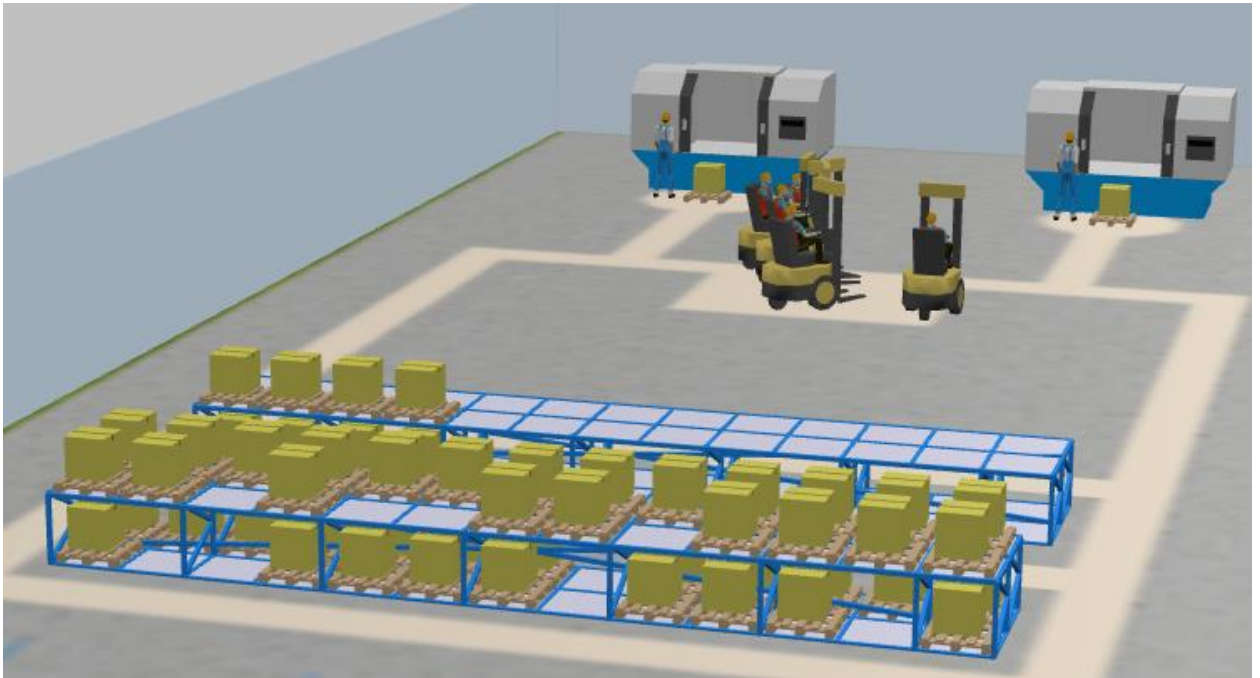
23. Наконец, сделайте сеть невидимой во время выполнения. Откройте диаграмму *Main*. Выберите сеть и установите ее свойство **Видимый (Visible)** на **нет (no)**.


Помните, что ваш первый щелчок выберет элемент сети, а второй щелчок выберет всю сеть.

24. Запустите модель и наблюдайте за процессом.

Вы увидите, как погрузчики транспортируют поддоны к станкам с ЧПУ

для обработки. Вы также должны увидеть анимированные станки с ЧПУ, меняющие 3D-фигуры в зависимости от их состояния.



Мы завершили нашу простую модель, которая имитирует процесс производства и отгрузки в небольшом цехе. Теперь у вас есть базовые знания о ресурсах AnyLogic и о том, как с ними работать. Вы также знаете, как использовать блок-схему, построенную из блоков  **Библиотеки моделирования процессов (Process Modeling Library)**, для определения логики процесса. Вашим следующим шагом может быть моделирование того, как поддоны с готовой продукцией перемещаются в другую зону хранения на отгрузочном доке, где они будут оставаться до отправки.