

Министерство цифрового развития, связи и  
массовых коммуникаций Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Сибирский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики» (СибГУТИ)

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6**  
по дисциплине «Моделирование»

Выполнил:  
студент гр. ИС-142  
«\_\_» мая 2025 г.

\_\_\_\_\_ /Наумов А.А./

Проверил:  
преподаватель  
«\_\_» мая 2025 г.

\_\_\_\_\_ /Уженцева А.В./

Оценка « \_\_\_\_\_ »

Новосибирск 2025

## **ВВЕДЕНИЕ**

Лабораторная работа направлена на освоение дискретно-событийного моделирования с помощью программного обеспечения AnyLogic. Основная цель — построить модель цеха Job Shop, изучая процессы прибытия паллет, их хранение, использование ресурсов, логистику и производство. Задачи включают создание модели, добавление визуализации и анализ результатов для понимания производственных систем.

**Работа делится на пять фаз, каждая из которых описывает шаги моделирования:**

1. Создание простой модели.
2. Добавление погрузчиков.
3. Добавление 3D-анимации.
4. Добавление грузовиков для доставки паллет.
5. Моделирование станков ЧПУ.

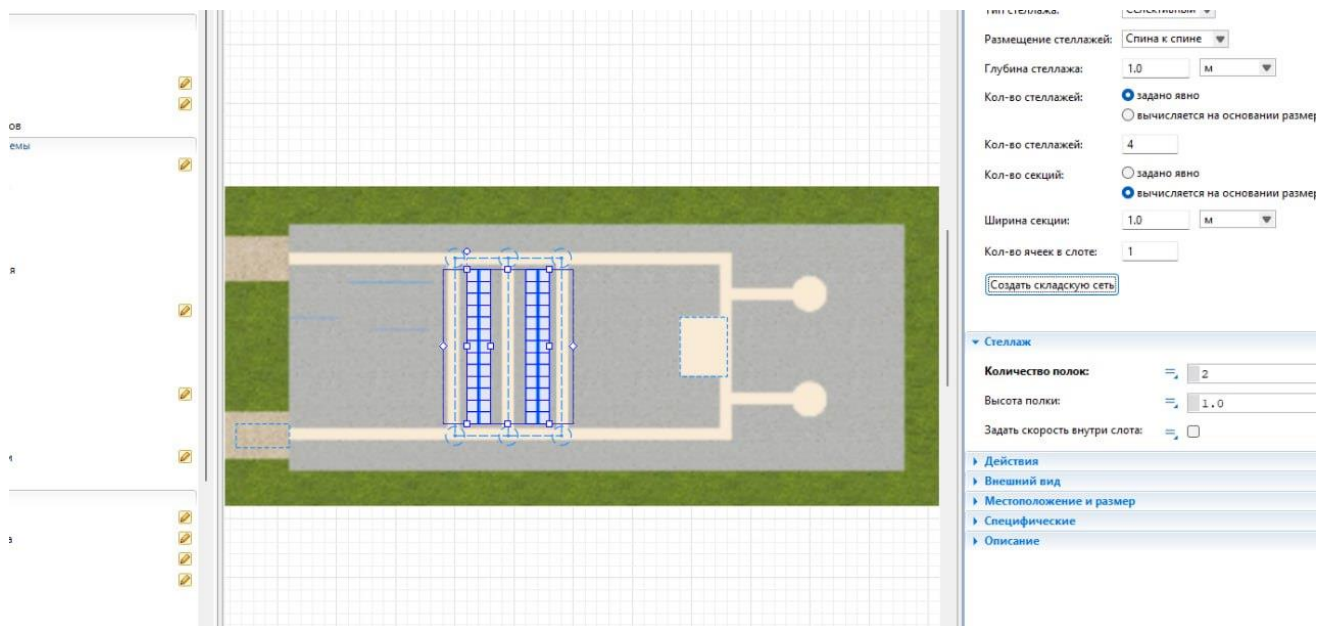
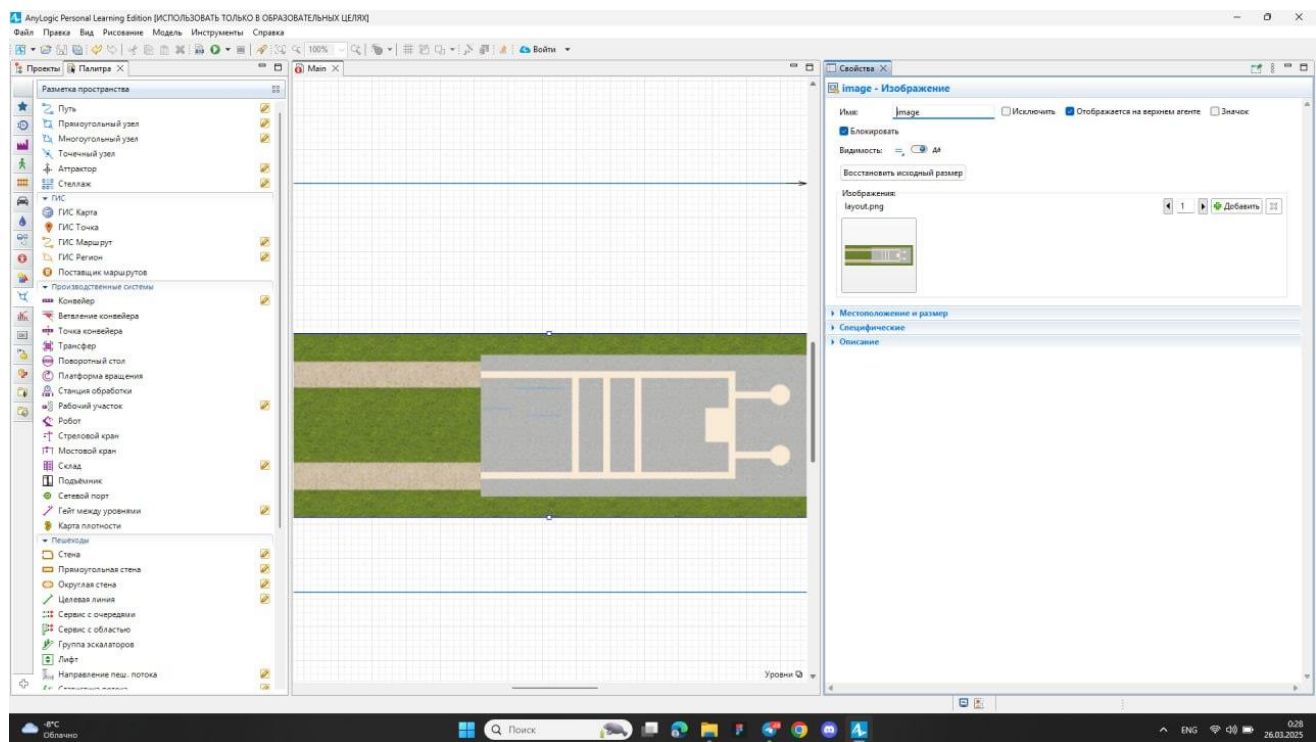
И после построения модели, выдвигается гипотеза с анализом и результатами экспериментов.

## **ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ**

### **Фаза 1. Создание простой модели**

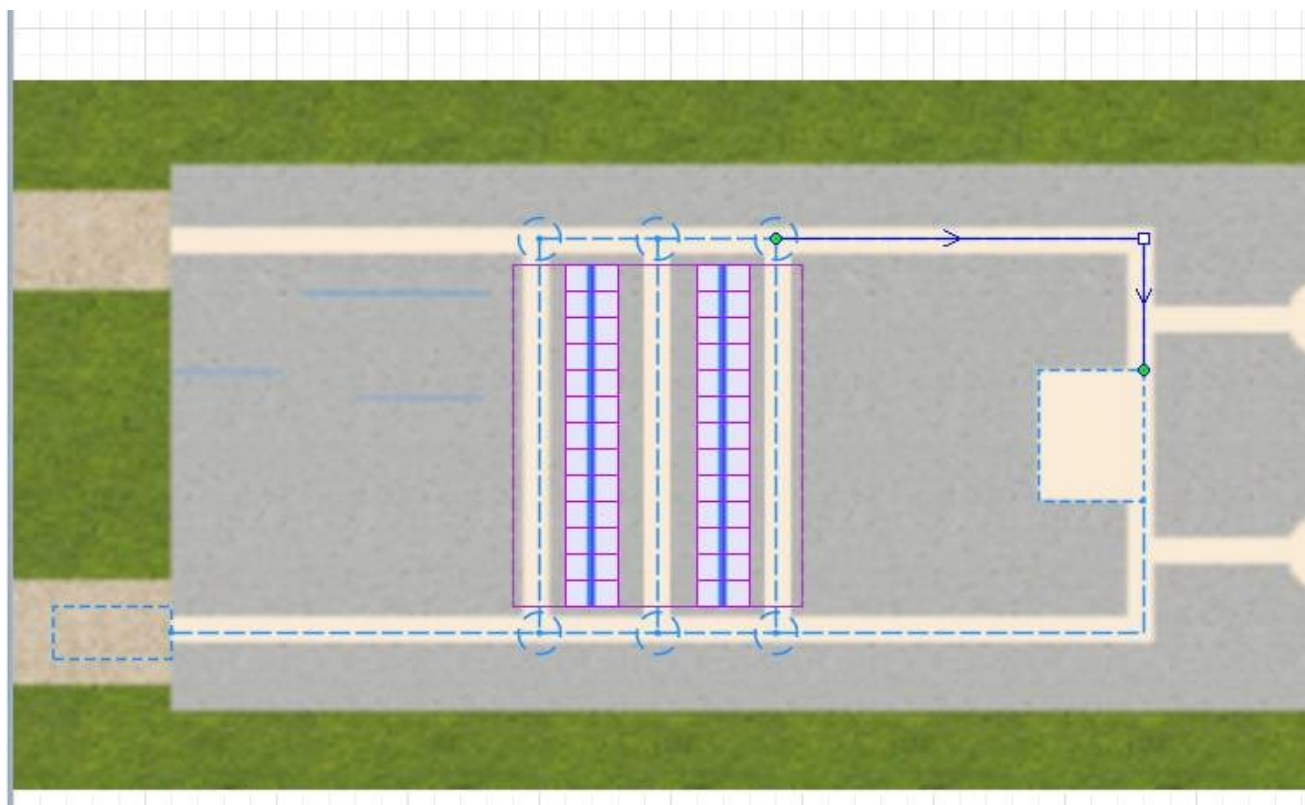
В этой фазе нужно настроить базовую структуру модели, симулируя прибытие паллет в цех и их хранение на погрузочной площадке. Использовать библиотеку Process Modeling Library для создания источников паллет и очередей для временного хранения.

Добавление изображения плана здания:



Расположение склада на изображении:

Добавляем разметку пути по складу:



Используя библиотеку моделирования процессов, создаем узел **sourcePallets**:

## sourcePallets - Source

Имя:  ☒ Отображать имя ☐ Исключить

Прибывают согласно:

Время между прибытиями:

Первое прибытие происходит:

Считать параметры агентов из БД: ☐

За 1 раз создается несколько агентов: ☐

Ограниченное кол-во прибытий: ☐

Местоположение прибытия:

Узел:   

Скорость:

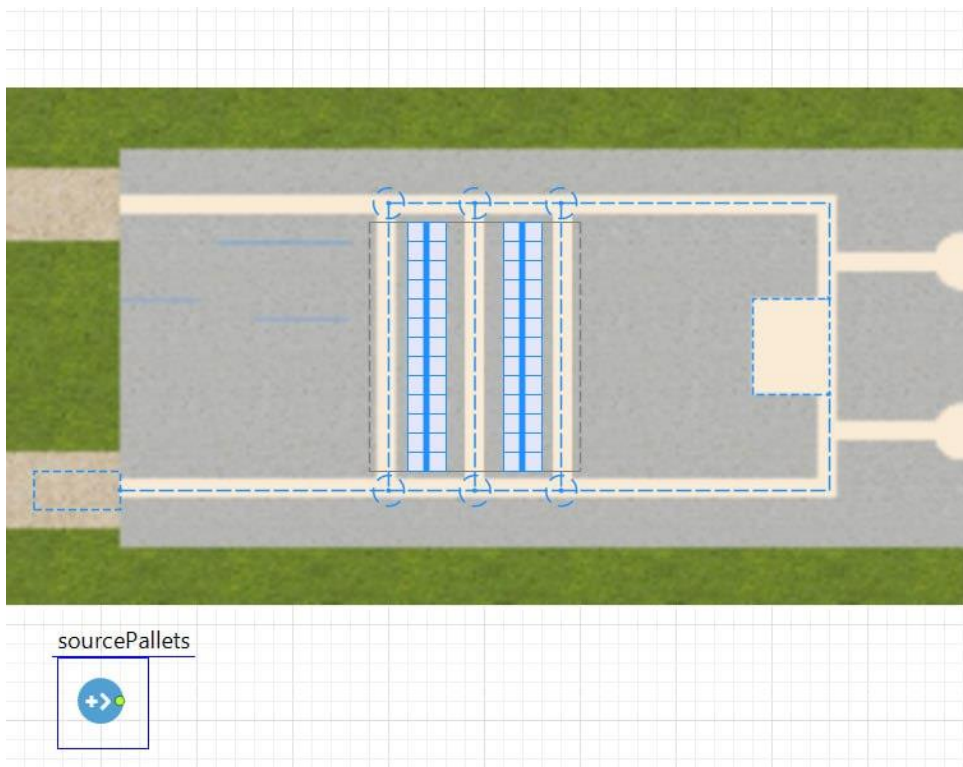
Агент

Специфические

Действия

Специфические

Описание



## storeRawMaterial - Store

Имя:  ☒ Отображать имя ☐ Исключить

Агенты перемещаются:

Размещение: ☒ по правилам выбранного склада  
☐ в случайно выбранной ячейке  
☐ в конкретном слоте

Склад:   

Переместить агента:

Скорость подъема:

Действия

Специфические

Описание

Store моделирует помещение

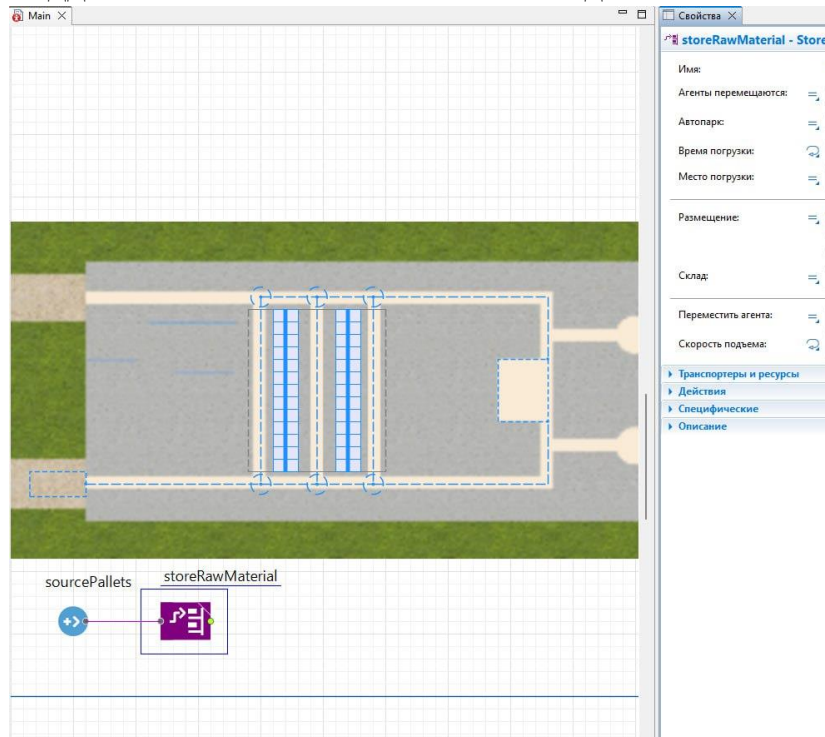
ПОДДОНОВ

В

заданные

ячейки

склада:



Добавляем

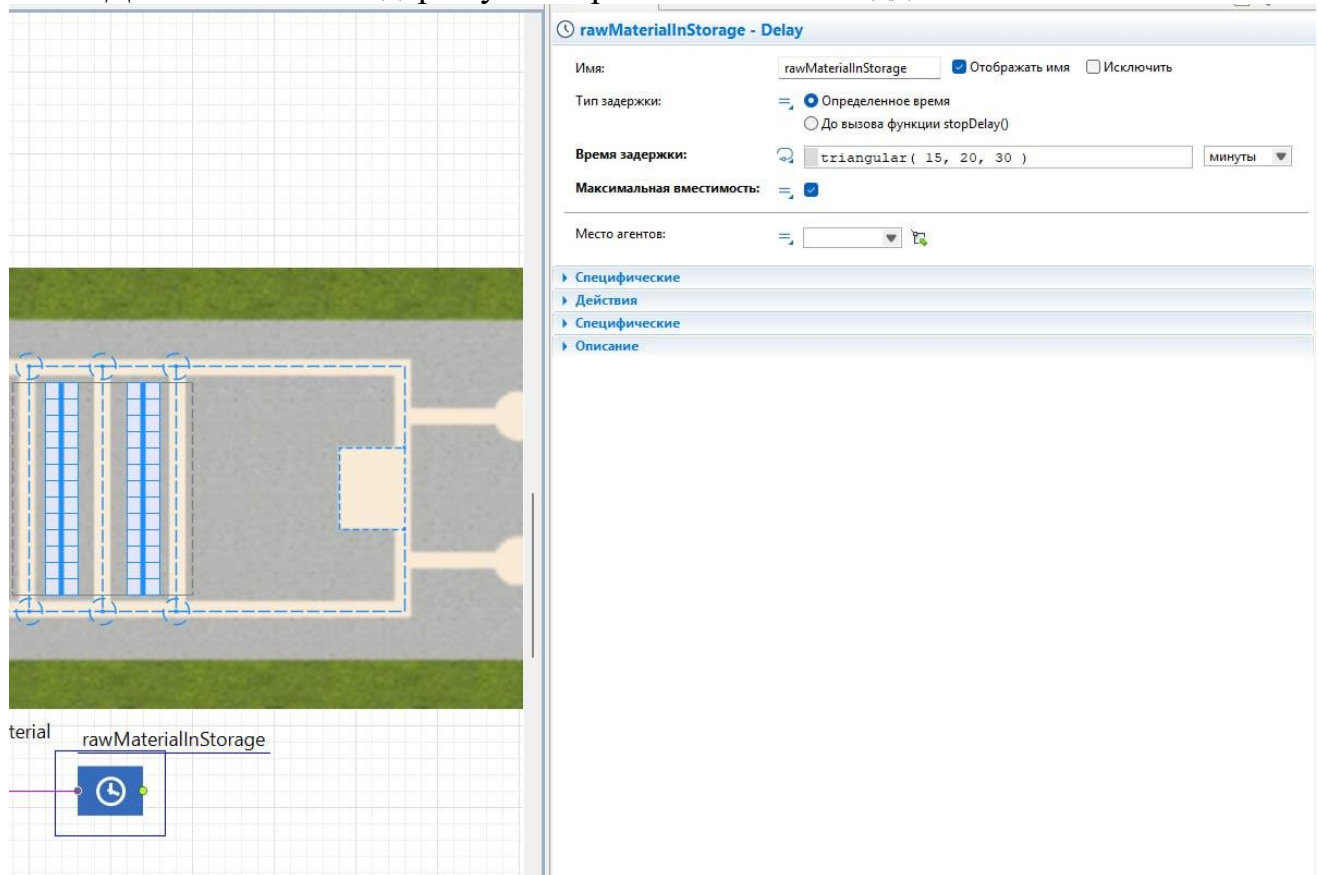
задержку

пребывания

поддонов

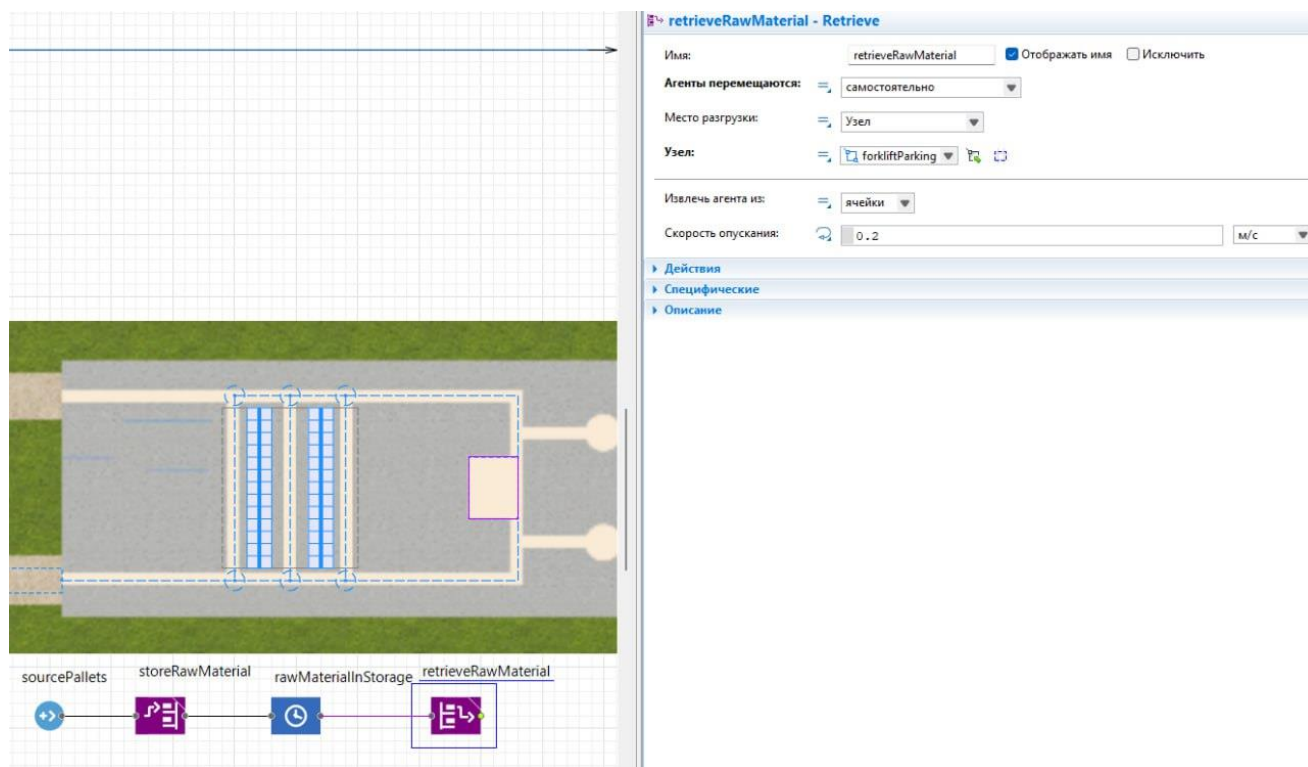
в

стеллаже:

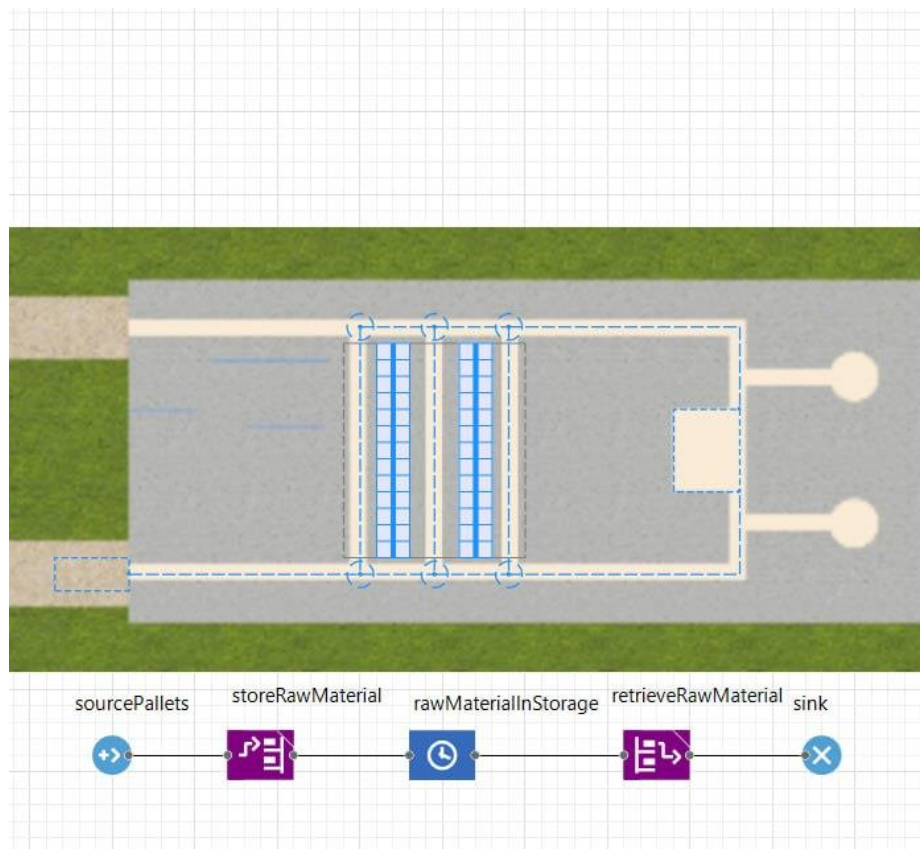




Добавляем блок извлечения поддонов из ячейки стеллажа и перемещение в заданное место:



Добавляем блок Sink для уничтожения поступающих агентов, который выступает конечной точкой диаграммы процесса:



Теперь можно запустить простую модель:



Работа простой модели, на ней видно, как поддоны доставляются в цех и затем помещаются для хранения на склад.

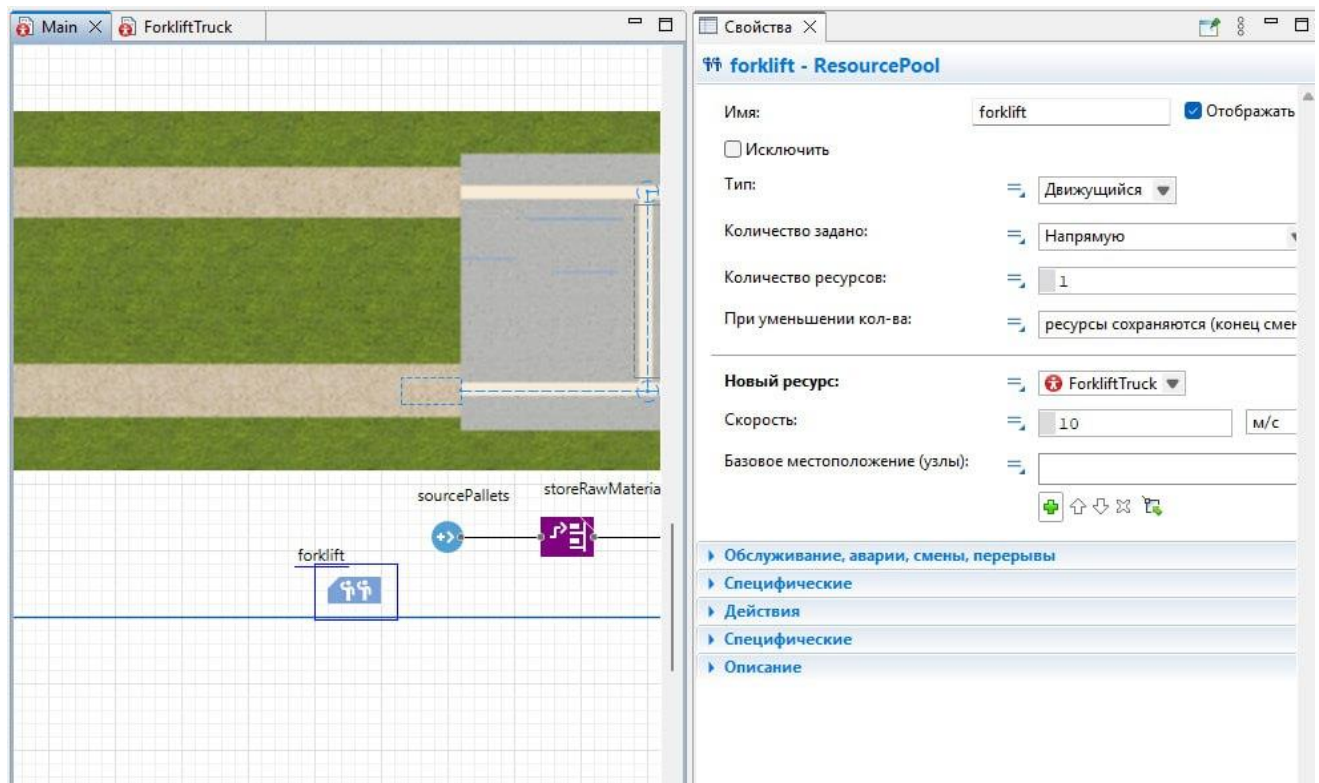
На первом этапе создана базовая структура модели цеха Job Shop. Основной задачей было симулировать прибытие паллет в цех и их временное хранение на погрузочной площадке. Использована библиотека Process Modeling Library в AnyLogic для создания источников, генерирующих паллеты, и очередей или складских зон для их хранения до дальнейшей обработки. Например, настроили источник для моделирования прибытия паллет с определенной частотой, что позволило увидеть базовый поток в системе.



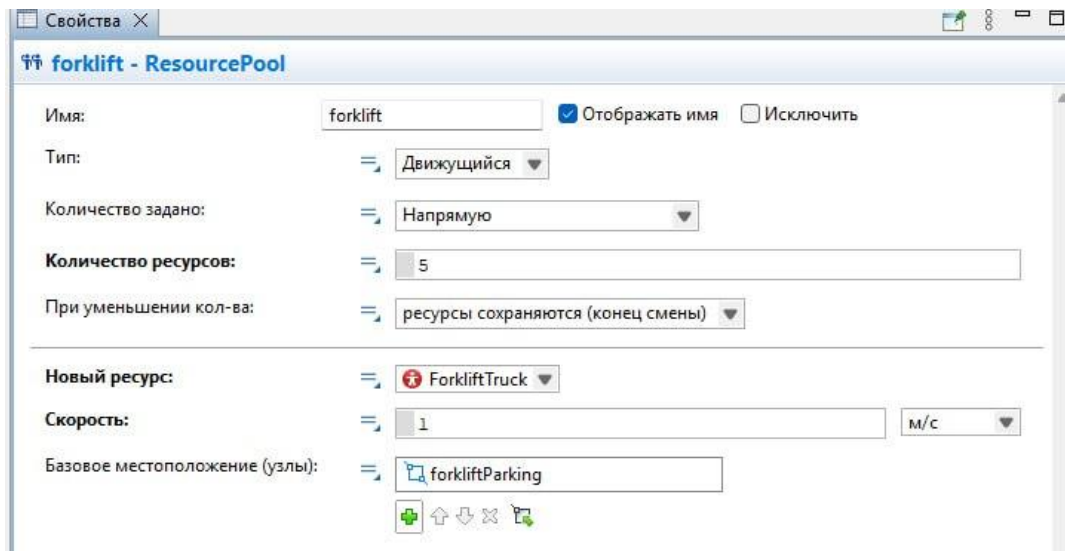
## Фаза 2. Добавление ресурсов

Для наглядности моделирования процесса, нужно добавить погрузчики.

Создаем новый тип для погрузчика и добавляем его на главную схему:



Добавим сразу 5 погрузчиков:



Теперь нужно изменить передвижение с помощью погрузчика:

Свойства

storeRawMaterial - Store

Имя:

storeRawMaterial

☒ Отображать имя

☐ Исключить

Агенты перемещаются:

с помощью ресурсов

Набор ресурсов:

forklift

Размещение:

☒ по правилам выбранного склада  
☐ в случайно выбранной ячейке  
☐ в конкретном слоте

Склад:

storage

Переместить агента:

в ячейку

Скорость подъема:

0.2

м/с

retrieveRawMaterial - Retrieve

Имя:

retrieveRawMaterial

☒ Отображать имя

☐ Исключить

Агенты перемещаются:

с помощью ресурсов

Набор ресурсов:

forklift

Место разгрузки:

Узел

Узел:

forkliftParking

Извлечь агента из:

ячейки

Скорость опускания:

0.2

м/с

Транспортеры и ресурсы

Приоритет задачи:

0

Может вытеснять другие задачи:

☒

Правило вытеснения задач:

Вытеснения нет

После освобождения ресурсы:

☒ Возвращаются в базовую точку  
☐ Остаются на месте

Возвращаться:

☐ Всегда  
☒ Если нет других задач  
☐ другое

Задать выбор ресурса:

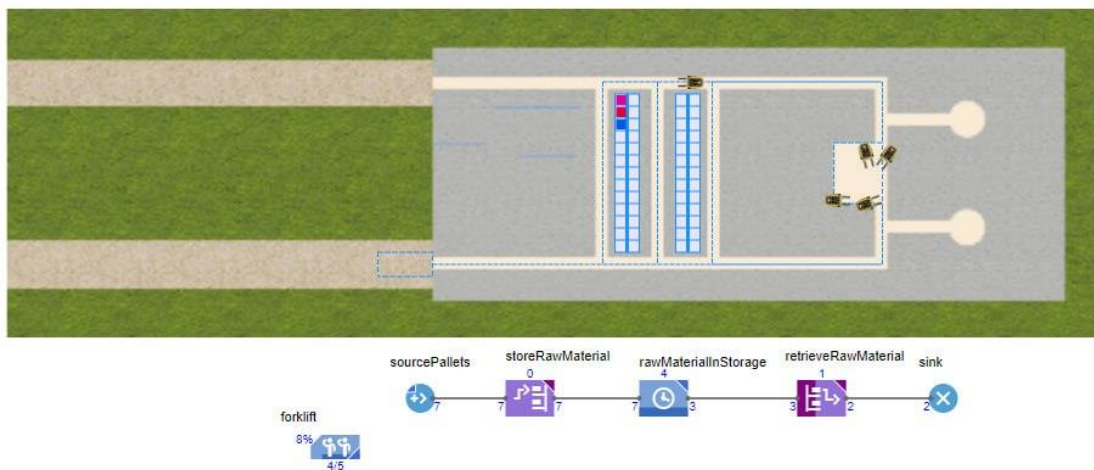
☐

Политика выбора ресурса:

Не применяется

При перемещении агента блок Store захватывает свободный ресурс (автопогрузчик), перемещает его в место расположения агента (поддона), прикрепляет ресурс к агенту, перемещает агента с помощью ресурса в ячейку склада, а затем освобождает ресурс. Схожим образом ведет себя и блок Retrieve (разница в том, что он извлекает поддоны со склада).

Теперь можно запустить модель. На ней видно, как автопогрузчики забирают поддоны из зоны разгрузки и помещают их на склад. По истечению задержки они перемещают поддоны в зону парковки автопогрузчиков, при попадании в которую поддоны пропадают:

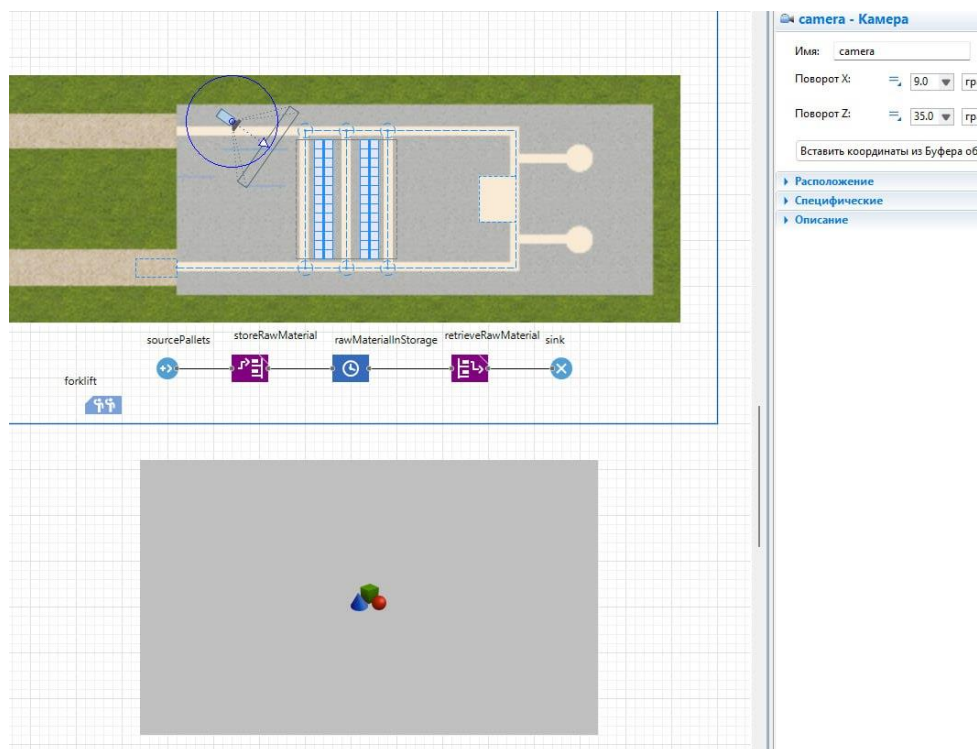


Во второй фазе расширилась модель, путем добавления погрузчиков для перемещения паллет. Погрузчики были определены как ресурсы с указанием их количества и возможностей. Логика движения включает перемещение паллет из зоны приема на склад, а затем в производственную зону. Это потребовало настройки задач для погрузчиков, таких как захват паллеты, транспортировка и освобождение, что сделало модель более реалистичной и отразило использование ресурсов в цехе.

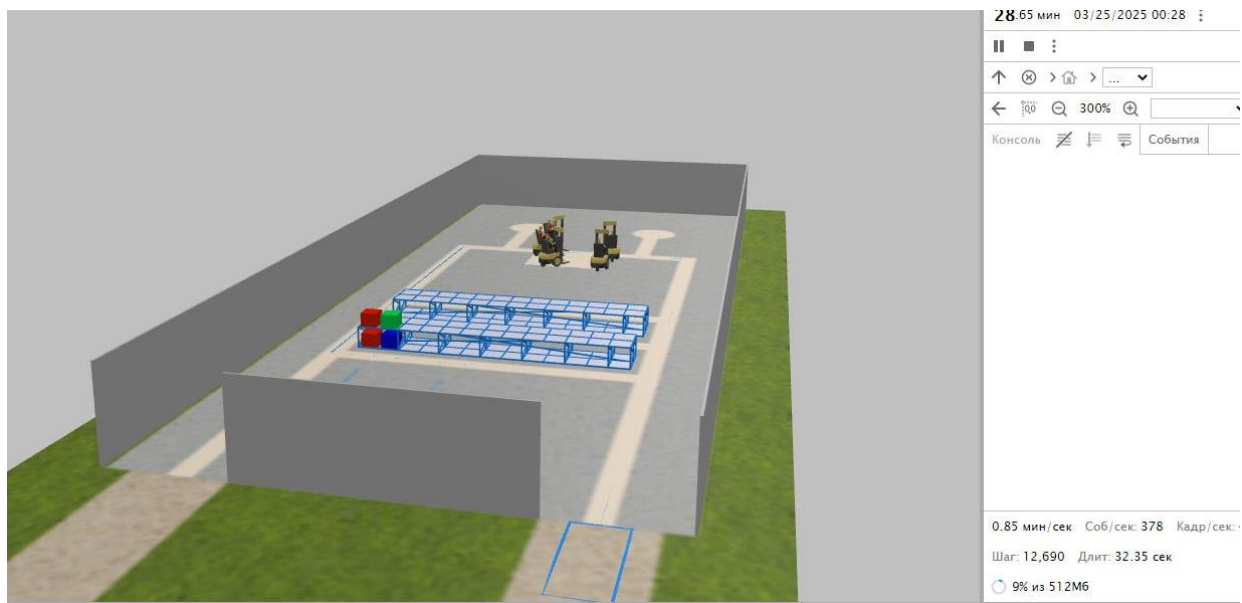
### **Фаза 3. Создание трехмерной анимации.**

Для улучшения визуализации в этой фазе была добавлена 3D-анимация, созданы 3D-объекты для цеха, машин, складов и движущихся сущностей, таких как погрузчики и паллеты, для более наглядного наблюдения:

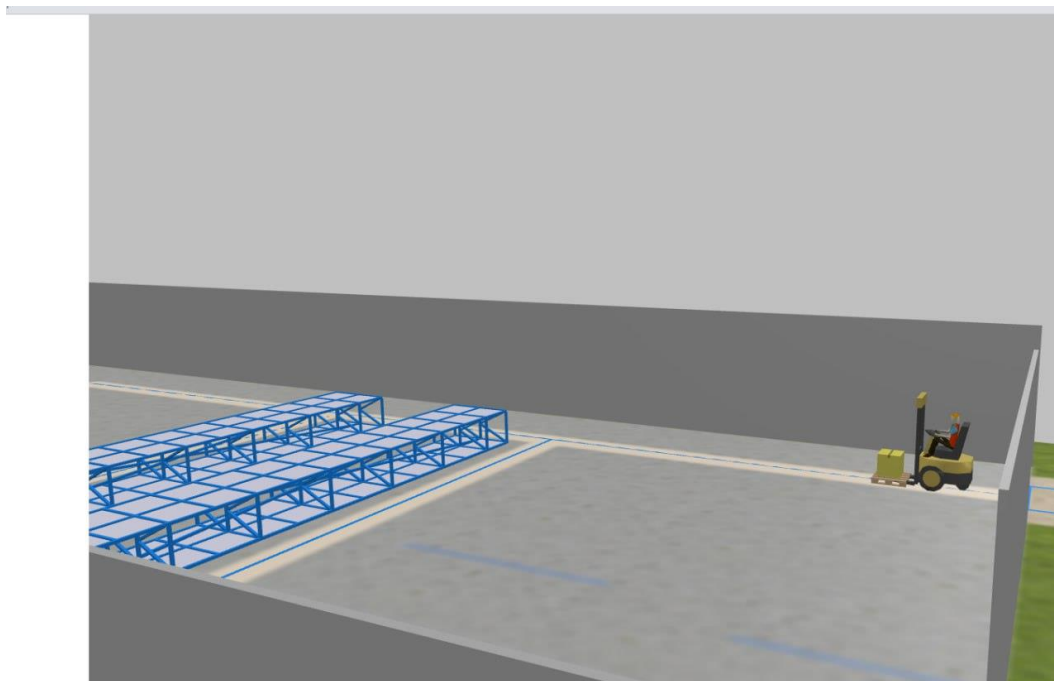
Добавим 3D-камеру для просмотра:



Добавляем стены для разграничения пространства склада:

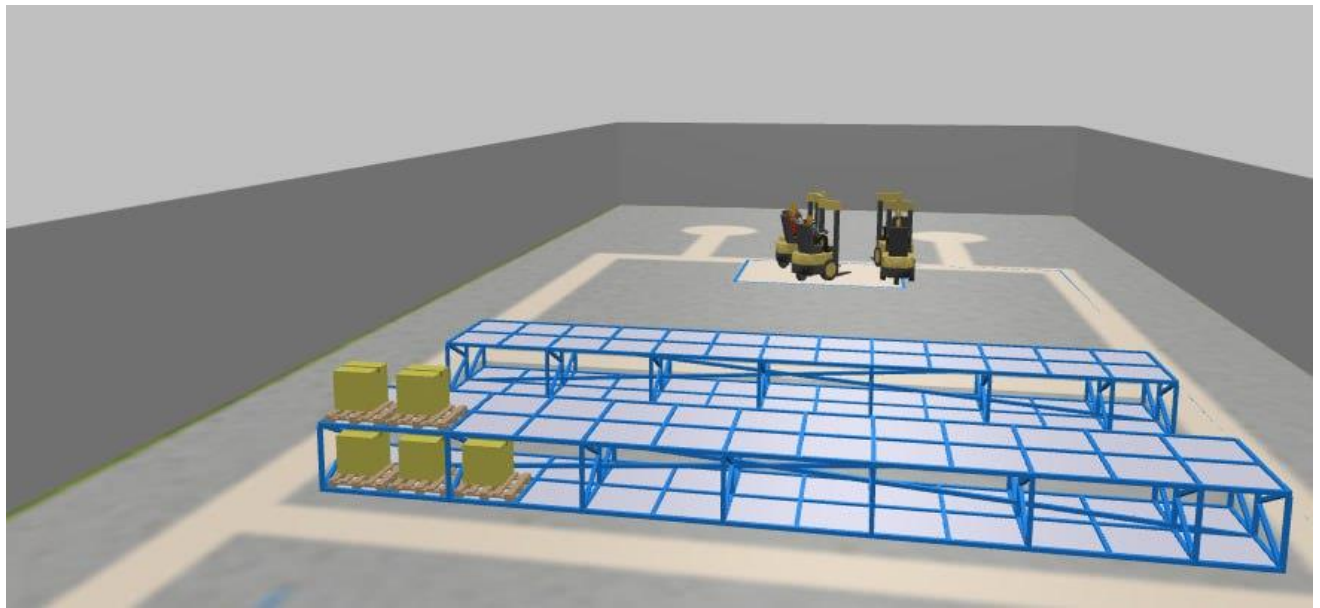


Добавим вместо разноцветных коробок, палет с коробкой:





Внешний вид склада с новыми палетами с закрытой коробкой:



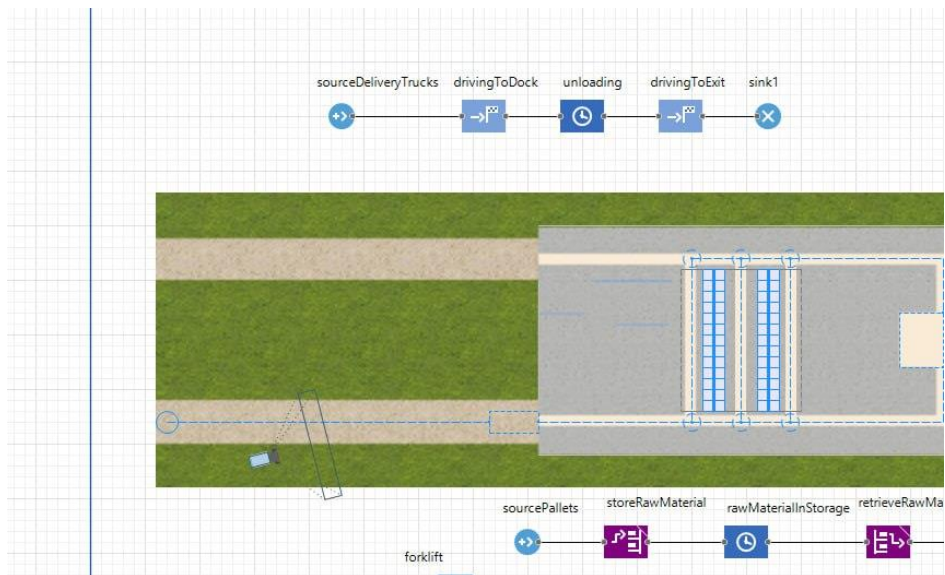
Третья фаза была посвящена улучшению визуализации модели путем добавления 3D-анимации. Созданы 3D-объекты, представляющие цех, машины, склады и движущиеся сущности, такие как погрузчики и паллеты. Это позволило наблюдать за процессом в интерактивном виде, что особенно полезно для понимания динамики системы. Например, можно было видеть, как погрузчики перемещаются между зонами, а паллеты проходят через очереди, что улучшило восприятие модели.

#### **Фаза 4. Моделирование доставки поддонов фурами**

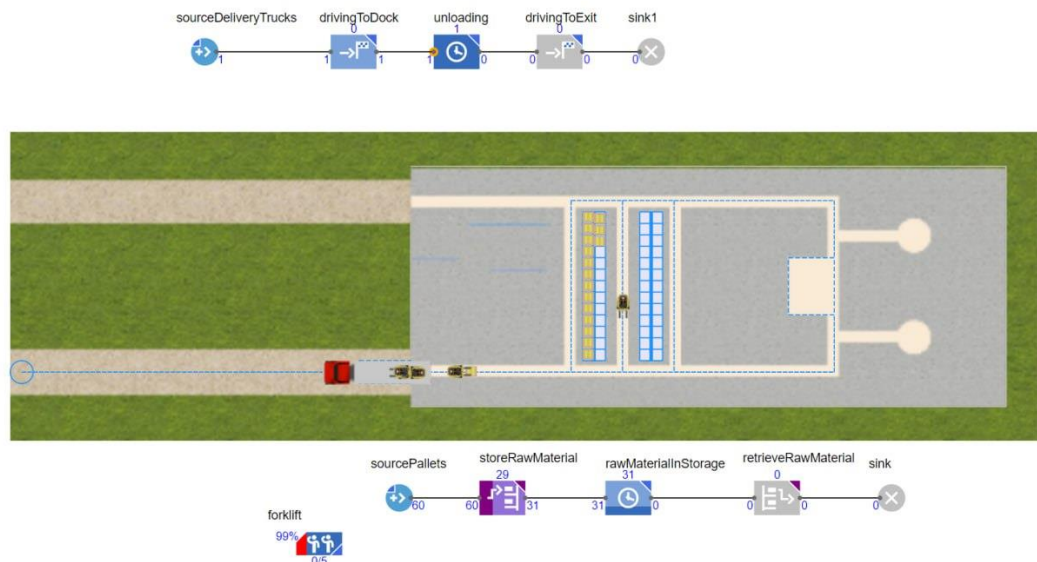
Моделирование логистики, добавлением грузовиков для доставки паллет в цех. Настроен источник прибытия грузовиков, процессы загрузки и выгрузки, интегрировав их с существующей моделью:

Два блока Source нашей модели создают агентов двух разных типов: фуры, появляющиеся каждый час, и поддоны, появляющиеся каждые пять минут. Поскольку нам нужно, чтобы поддоны появлялись при разгрузке фуры, мы изменим настройки того блока Source, который генерирует поддоны.

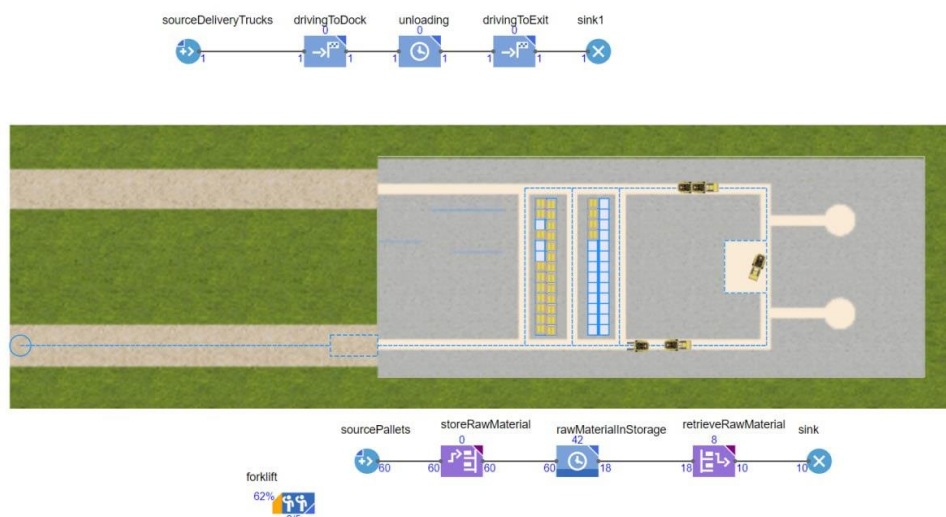
Добавим нового агента в виде фуры, сделаем ему путь до разгрузки и создадим свой блок source:



Теперь есть фура которая привозит нам поддоны с коробками:



Фура за один раз загружает склад 60 коробками, наблюдаем как полностью заняты погрузчики.

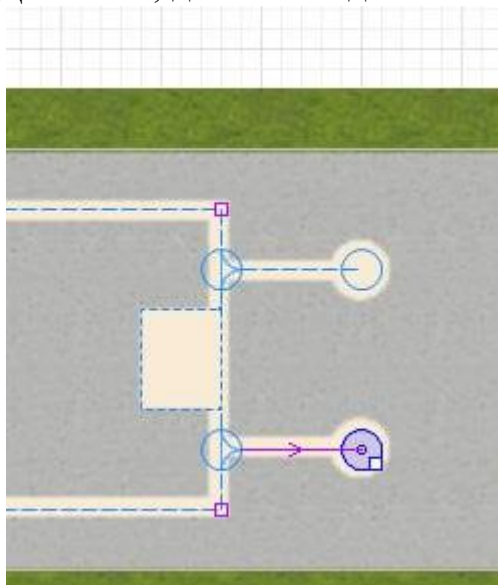


В четвертой фазе добавлена логистическая составляющая, моделируя прибытие грузовиков, доставляющих паллеты в цех. Настроен источник для прибытия грузовиков, процессы загрузки и выгрузки паллет, интегрировав их с существующей моделью. Это включало определение времени прибытия грузовиков, их загрузки на складе и выгрузки в зоне приема, что позволило смоделировать взаимодействие внешней логистики с внутренними процессами цеха.

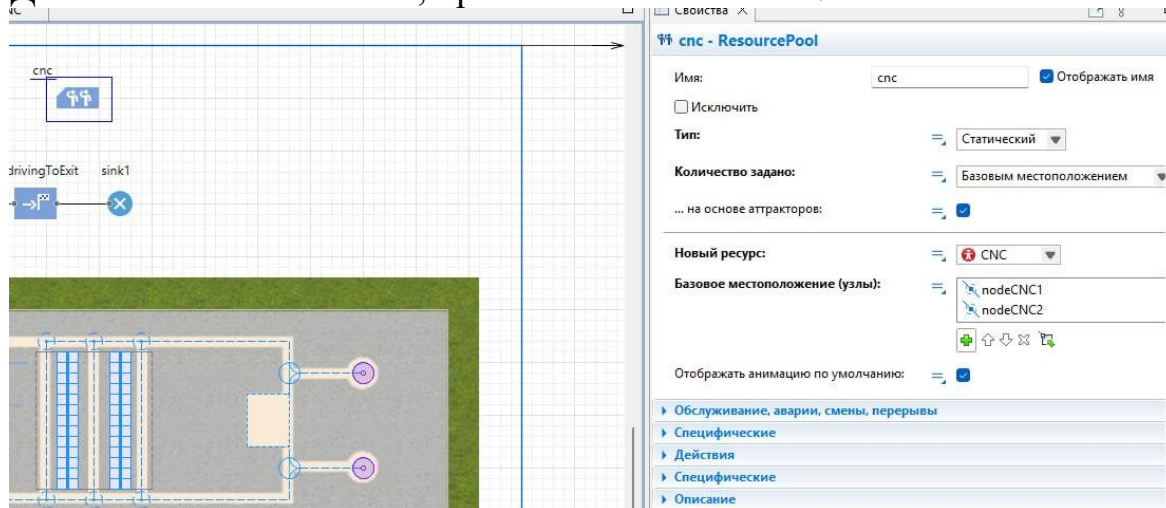
## Фаза 5. Моделирование станков с ЧПУ

Для включения обработки сырья на станках ЧПУ, определяем время обработки, настроив станки как ресурсы и моделируя поток паллет через производственный процесс с учетом очередей:

Для этого, добавляем два станка:

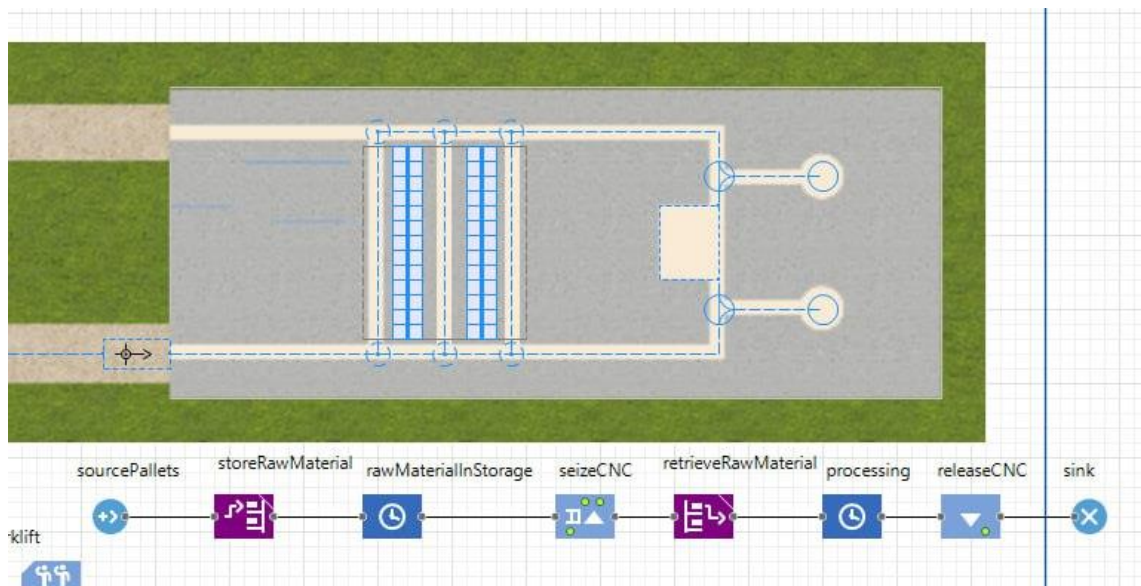


Делаем resourcePool CNC, привязанным к станкам:

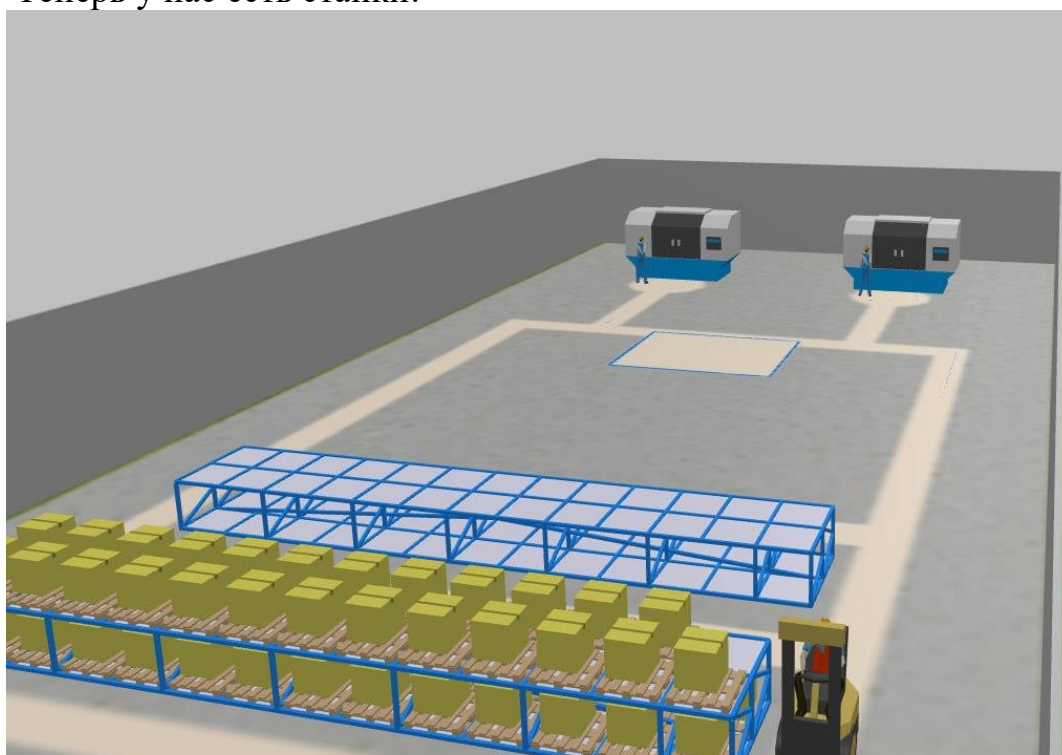


Изменим модель поведения с поддонами для того чтобы погрузчики доставляли их к станкам и они выполняли работу:

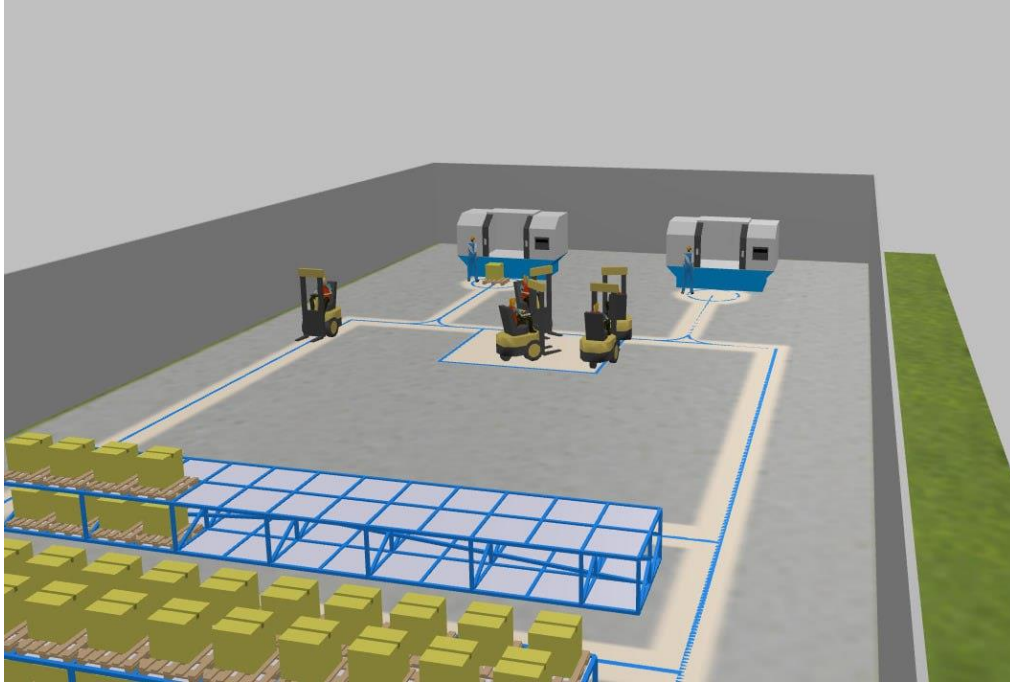




Теперь у нас есть станки:



И анимация обработки:



На заключительном этапе добавлена обработка сырья на станках ЧПУ. Определена временная мера обработки для каждого станка, настроили их как ресурсы и смоделировали поток паллет через производственный процесс. Включая очереди перед станками для учета возможных задержек, что отразило реальные условия работы цеха. Например, можно было анализировать, как паллеты ждут своей очереди на обработку, и оценивать загрузку станков.

После основной работы по построению модели можно выдвинуть **гипотезу о пропускной способности:**

**Гипотеза:** Увеличение количества погрузчиков на 66.7% (с 3 до 5) приведет к пропорциональному увеличению пропускной способности системы.

**Ожидание:** Рост числа обработанных деталей с 310 до ~517 за 8 часов (рабочая смена).

**Результаты эксперимента:** Для проверки эксперимента я заранее уменьшил количество погрузчиков (с 5 до 3) и время простоя паллетов на складе с Triangle(15,20,30) ~ 21.67 минуты, на Triangle(5,10,15) ~ среднее 10 минут, с учетом того, что станок обрабатывает 1 деталь за 1 минуту.

**Результаты** с 3 погрузчиками, на складе всего 156 ячеек, привозят по 50 паллетов каждый час, время обработки одной детали 1 минута, время простоя снижено до 10 минут в среднем:





По итогам получаем 310 деталей, выдвигаем гипотезу о пропорциональном увеличении пропускной способности и ожидаем, с увеличением погрузчиков (с 3 до 5), рост числа обработанных деталей с 310 до ~517.

### Результаты с 5 погрузчиками:



С 5 погрузчиками: 358 деталей за 8 часов, получили фактический прирост в 48 деталей (15.5%).

### Приступаем к анализу гипотезы:

- Увеличение числа погрузчиков не привело к пропорциональному росту пропускной способности.
- Фактический прирост (15.5%) значительно ниже ожидаемого (66.7%), что указывает на наличие узкого места в системе.
- Поскольку рост числа погрузчиков не дал существенного эффекта, ограничение находится на этапе обработки деталей, то есть на станках ЧПУ.

## Вывод из результатов:

- Гипотеза не подтвердилась: увеличение числа погрузчиков не привело к пропорциональному увеличению пропускной способности.
- Узким местом являются станки ЧПУ, так как их производительность ограничивает систему. Вероятно, их загруженность близка к 100%, что не позволяет обработать больше деталей, даже при ускорении подачи материалов.

Добавил еще один станок ЧПУ в модель, и проблема с загруженностью станков пропала, из результатов видно, что сколько паллетов приезжало с грузовика, столько и обработано за 8 часовую смену:



## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Выполнение лабораторной работы позволило успешно построить модель цеха Job Shop в AnyLogic, пройдя через пять этапов моделирования. Каждый этап способствовал пониманию различных аспектов дискретно-событийного моделирования: от базового потока паллет до сложных логистических и производственных процессов.

Использование 3D-анимации значительно улучшило визуальное восприятие динамики системы, что важно для анализа и оптимизации. Эта работа предоставила ценные знания о возможностях AnyLogic, таких как моделирование ресурсов, визуализация и интеграция логистики, что является ключевым для анализа сложных производственных систем.

### **Проверка гипотезы о пропускной способности**

В рамках работы была выдвинута гипотеза о том, что увеличение количества погрузчиков на 66.7% (с 3 до 5) приведет к пропорциональному увеличению пропускной способности системы. Для проверки этой гипотезы были проведены эксперименты с двумя сценариями: базовым (с 3 погрузчиками) и тестовым (с 5 погрузчиками). В каждом сценарии измерялось количество обработанных паллет за 8 часов работы системы.

### **Результаты анализа**

- В базовом сценарии с 3 погрузчиками было обработано 310 паллет.
- В тестовом сценарии с 5 погрузчиками — 358 паллет, что соответствует увеличению пропускной способности на 15.5%. Ожидаемый пропорциональный рост при увеличении числа погрузчиков на 66.7% составил бы около 517 паллет. Однако фактический прирост оказался значительно ниже, что указывает на наличие ограничений в системе, препятствующих достижению ожидаемого результата.

### **Выводы**

Гипотеза не подтвердилась: увеличение количества погрузчиков не привело к пропорциональному росту пропускной способности системы. Анализ результатов показал, что основным ограничивающим фактором являются станки ЧПУ, которые были загружены на 100% в обоих сценариях. Это узкое место не позволяет системе обрабатывать больше паллет, даже при увеличении числа погрузчиков. Таким образом, для повышения эффективности системы недостаточно увеличивать количество погрузчиков — необходимо устранять ограничения на этапе обработки.

В будущем можно рассмотреть дополнительные эксперименты, такие как изменение параметров для оптимизации времени обработки на станках ЧПУ или увеличение их количества, чтобы найти оптимальные настройки для повышения общей производительности системы.

