

## МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОЙ МОДЕЛИ СКЛАДА ВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ В ANYLOGIC

Агейкин А.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ООО «Avanta Group»

**Аннотация:** в статье описан подход к построению имитационной модели склада временного хранения (СВХ) в транспортно-логистическом комплексе. Модель реализована в среде AnyLogic с использованием дискретно-событийного подхода и служит для оценки пропускной способности и эффективности работы СВХ при различных параметрах (грузопоток, уровень автоматизации, количество ресурсов).

Представлена архитектура модели и основные её блоки, а также детали их взаимодействия. Особое внимание уделено интеграции нескольких библиотек AnyLogic (имитации процессов, автомобильного и железнодорожного транспорта, хранения AS/RS), применению встроенного Java-кода для управления логикой процесса (генерация грузов, ожидание полной загрузки поезда и т.п.) и выбранным упрощениям (например, игнорирование мелких операций AS/RS).

Показаны практические приёмы настройки модели (использование распределений, условных переходов, конвейерной логики), обеспечивающие воспроизводимость методики другими исследователями. Моделирование подтвердило, что даже частичная автоматизация (AS/RS) существенно повышает эффективность работы склада. Предложенные решения и рекомендации могут быть использованы при разработке имитационных моделей аналогичных логистических объектов.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, дискретно-событийная модель, склад временного хранения, Anylogic, автоматизированные системы хранения (AS/RS), транспортно-логистический комплекс, цифровой двойник.

© Агейкин А.М.

Поступила 03.08.2025, одобрена после рецензирования 01.09.2025, принята к публикации 01.09.2025.

Для цитирования:

Агейкин А.М. Методика построения дискретно-событийной модели склада временного хранения в Anylogic. // Логистика и управление цепями поставок. - 2025. - Т. 22, №2 (115). - С. 4–14.

Информация об авторах:

Агейкин А.М. - ведущий менеджер по логистике и ВЭД, ООО «Avanta Group», e-mail: leksis98@mail.ru.

## ВВЕДЕНИЕ

В современных цепях поставок скорость и надёжность работы транспортно-логистических узлов имеет критическое значение. С увеличением грузопотока (особенно на пограничных переходах) и усложнением технических операций возникает необходимость тестирования и оптимизации архитектуры складских систем. Любой склад является частью цепи поставок организации, и имитационное моделирование может помочь оптимизировать складские операции, как и работу прочих инфраструктурных ресурсов. Дискретно-событийное моделирование позволяет описать бизнес-процессы в виде последовательности разовых событий (например, прибытие грузовика, разгрузка и отъезд). Такой подход широко применяется в производстве и логистике, обеспечивая надёжную и эффективную оценку системного поведения без необходимости моделировать физические детали (геометрию

## АРХИТЕКТУРА МОДЕЛИ И РАЗМЕТКА ПРОСТРАНСТВА

Построенная модель отражает основные функциональные зоны и процессы склада временного хранения (СВХ) в составе транспортно-логистического комплекса (ТЛК). В модели выделены три ключевые подсистемы, соответствующие логическим направлениям деятельности: (1) железнодорожная подсистема – поступление контейнеров поездами и их перегрузка на автотранспорт; (2) автомобильная подсистема – движение автоприцепов по территории комплекса, их разгрузка/загрузка и маршрутизация; (3) складская подсистема –

движения агентов, ускорение транспорта и т.п.) [1, 3].

Цель настоящей работы – разработать и документировать методику построения дискретно-событийной модели склада временного хранения на платформе AnyLogic, описать выбранную архитектуру, технические решения и дать рекомендации практикам. Задачи исследования включают: разработку структуры модели с учётом основных операций (приём, хранение и выдача грузов), выбор компонентов AnyLogic и дополнительных библиотек, реализацию логики потоков грузов и транспорта, настройку параметров, а также анализ результатов имитации. В дальнейшем эти методические решения могут быть использованы при моделировании аналогичных логистических систем и цифровых двойников<sup>1</sup> [2, 4].

## АРХИТЕКТУРА МОДЕЛИ И РАЗМЕТКА ПРОСТРАНСТВА

внутренние операции размещения и комплектования грузов на крытом складе и на открытой площадке. Каждая из этих частей реализована средствами AnyLogic: для железнодорожной части использована Rail Library, для автомобильной – Road Traffic Library (с дорожной сетью и блоками движения транспорта), для внутренних процессов – Process Modeling Library (блоки Source, Queue, Service, Delay, Store/Retrieve и др.), а также элементы пространства «Склад» и «Стеллаж» для зоны хранения<sup>2,3</sup>.

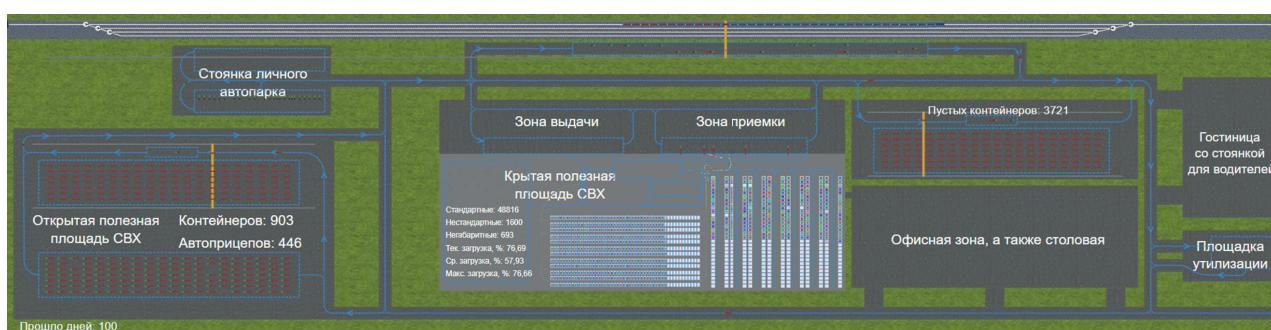


Рисунок 1. Схема транспортно-логистического комплекса.

<sup>1</sup> AnyLogic. Дискретно-событийное имитационное моделирование [Электронный ресурс] // Сайт AnyLogic. — Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/use-of-simulation/discrete-event-simulation/> (дата обращения: 01.06.2025).

<sup>2</sup> AnyLogic. Improving warehouse efficiency: how to optimize warehouse operations [Электронный ресурс] // Блог AnyLogic. — Режим доступа: <https://www.anylogic.com/blog/improving-warehouse-efficiency-how-to-optimize-warehouse-operations/> (дата обращения: 01.06.2025).

<sup>3</sup> AnyLogic. Дискретно-событийное имитационное моделирование [Электронный ресурс] // Сайт AnyLogic. — Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/use-of-simulation/discrete-event-simulation/> (дата обращения: 01.06.2025).

На схеме модели (рисунок 1) территория СВХ разделена на несколько функциональных зон. Открытая площадка предназначена для хранения контейнеров с генеральным грузом во время таможенного оформления (целые автоприцепы и контейнеры размещаются на площадке согласно заданному алгоритму). Крытая часть склада служит в том числе консолидационным узлом для сборных грузов. Здесь стандартные тарно-штучные и паллетированные грузы принимаются, проверяются и разгружаются. Внутри крытой зоны реализованы три участка хранения по типам груза: автоматизированная ячеистая система хранения AS/RS (для стандартных коробок и компактной продукции), классические стеллажи (для паллетируемых нестандартных грузов) и отдельная площадка под крупногабаритные, негабаритные грузы. Такая сегментация соответствует логике распределения потоков и упрощает управление ресурсами: у каждого типа груза свой путь движения и свой метод обработки.

В итоге, территория моделируемого ТЛК состоит из нескольких основных функциональных зон:

1) Открытая полезная площадь СВХ для генеральных грузов на время прохождения ими таможенного оформления. В процессе, складом могут быть предоставлены сопутствующие услуги в виде помощи в организации таможенного досмотра, выгрузки товара из транспортной единицы, составление его описи, переупаковка, обратная загрузка, пломбирование, хранение за время выполнения данных операций и т.п. Это также самая крупная функциональная зона СВХ, так как она должна выдерживать основной поток размещаемых на ней транспортных единиц.

2) Крытая полезная площадь СВХ, в том числе выполняющая роль склада консолидации для сборных грузов. Благодаря автоматизированным складским системам (AS/RS), работа со стандартными тарно-штучными и паллетированными грузами сведена к минимуму. Главным образом, такие системы используются для автоматического учёта и размещения груза на соответствующих стеллажах (в нижней части крытого склада на

схеме). Однако работа с негабаритным типом груза по-прежнему требует использование вилочных погрузчиков. Если товар тяжеловесный или длинномерный, AS/RS не сможет его обработать, и он не поместится в стандартных ячейках стеллажей. Для этого на территории крытого склада отведена зона для хранения негабаритных грузов – дополнительный набор стеллажей, если груз может быть на них размещён (в правой части крытого склада на схеме), а также простая ровная площадка, товар на которой размещается рядами, имитируя одноуровневые стеллажи (в левой части крытого склада на схеме). Помимо этого, склад также имеет стоянку для вилочных погрузчиков, а по соседству и смежную офисную зону, в которой работают сотрудники, менеджеры СВХ, таможенные инспекторы.

3) Железнодорожный терминал погрузки/выгрузки контейнеров с рельсовых путей, к которым был пристроен специальный козловый кран, перемещающий контейнеры с прибывшего состава на автомобильную платформу, либо обратно. В одном сценарии погруженнное на данном терминале авто сразу следует на открытую площадку для размещения там контейнера с генеральным грузом. В другом сценарии перецепленный контейнер является сборным, а потому авто следует до крытого склада и размещается в зоне приёмки для выгрузки контейнера и распределения его содержимого по соответствующим зонам.

Также территория СВХ включает в себя и несколько вспомогательных зон, среди которых:

- стоянка личного автопарка во владении СВХ, который необходим для перемещения контейнеров с железнодорожных путей на складскую площадь, а также для оказания дополнительных услуг по перемещению грузов, либо их срочному вывозу до адреса клиента;
- зона утилизации для грузов, превысивших максимальный срок хранения по договору с СВХ, либо для грузов, не прошедших таможенное оформление, арестованных товаров и так далее;
- зону хранения выгруженных сборных железнодорожных контейнеров, которые грузят на разгруженные поезда, чтобы вывез-

ти их с территории склада на железнодорожный терминал;

- столовая для водителей и сотрудников СВХ;
- гостиница для водителей, необходимая в тех случаях, когда оформление генерального груза затягивается, и авто вынуждено ждать несколько суток до возможности выхода с территории СВХ;
- подъездные дорожные пути (СВХ работает только на импорт из Китая);
- декоративная парковая зона.

В совокупности данные элементы составляют собой сложный взаимосвязанный процесс, направленный на максимально оперативную обрачиваемость приходящего грузопотока. Грузовладельцы смогут получить наиболее полный комплекс услуг по работе с их товарами, как генеральными, так и пришедшими в составе сборки.

### ОПИСАНИЕ КЛЮЧЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МОДЕЛИ

Автомобили в модели формируются из двух основных точек генерации: стоянки личного автопарка комплекса и въезда на территорию ТЛК. Блок «НовоеАвто» (Source) генерирует машины с параметрами грузов. Встроенный Java-код в этом блоке реализует следующую логику: с заданной вероятностью агенту присваивается статус «сборный груз», иначе – «генеральный груз». В случае сборного груза дополнительно случайным образом выбирается один из трёх подтипов (негабарит, нестандартный, стандартный) и количество грузовых мест (паллет или коробок) по равномерному распределению. Например:

```
agent.загружен = true;
agent.типГруза = (randomTrue(вероятностьСборногоГруза)) ? ТипГруза.Сборный :
ТипГруза.Генеральный;
if (agent.типГруза == ТипГруза.Сборный)
{
    int i = uniform_discr(100);
    if (i < вероятностьНегабарит) {
        agent.тип = 1;
        agent.количество =
uniform_discr(минНег, максНег);
    }
}
```

Грузы и транспорт в модели представлены агентами соответствующих классов. Например, каждый контейнер – как агент-контейнер с параметрами (тип груза, габарит и т.д.), каждая транспортная единица – как агент-автомобиль или агент-погрузчик. Источниками транспортных агентов служат блоки Source: блоки генерации поездов (источники со скользящим графиком прибытия) и генераторы новых автомобилей. Источниками для вилочных погрузчиков и сотрудников крытого склада служат блоки ResourcePool: возникают в заданных узлах пространства и в определённом количестве с запуском моделирования. Потоки товаров моделируются через блоки перемещения и ожидания (Queue, Delay), которые инкапсулируют типовые операции (погрузка, выгрузка, перемещение).

```
else if (i < (вероятностьНегабарит + вероятностьНестандарт)) {
    agent.тип = 2;
    agent.количество =
uniform_discr(минНес, максНес);
}
else {
    agent.тип = 3;
    agent.количество =
uniform_discr(минСтанд, максСтанд);
}
agent.вариантПрибытия = ВариантПрибытия.Авто;
```

Данный код позволяет реализовать генерацию автомобилей с нужным сочетанием вероятностей грузов, упрощая ветвление в схеме блоков. После генерации авто следует блок Queue (ожидание разгрузки) и далее разветвление по типу груза. Генеральные грузы, прибывшие автоприцепом, направляются на открытую площадку СВХ, а сборные грузы – в зону разгрузки крытого склада.

В точке разгрузки крытого склада сотрудники и техника обрабатывают сборный груз. Здесь по прибытию авто моделируется проверка вида груза в контейнере: стандартный,

паллетируемый нестандарт или негабарит. В зависимости от типа выбирается участок хранения: AS/RS, стеллажи или открытая площадка. Для разгрузки используются ресурсы: вилочные погрузчики или человеческий труд. В реальной системе AS/RS часть тарно-штучного груза разгружается автоматизированно, но в модели для простоты принят подход «гибридного склада»: весь тарно-штучный сборный груз комплектуется вручную оператором. Такая формулировка упрощает модель, снимая необходимость в дополнительных автоматизированных узлах, хотя несколько ограничивает точность.

В свою очередь, железнодорожная часть модели действует по принципу вызова заданного количества вагонов с контейнерами с выбранной периодичностью. Вызванный поезд

останавливается в зоне погрузки/разгрузки и ожидает соответствующих действий от козлового крана. Далее происходит перемещение контейнеров с железнодорожного состава на автоприцеп из состава личного автопарка ТЛК. После полной выгрузки состава, козловой кран переходит к его загрузке генеральными контейнерами, прошедшими таможенное оформление и готовые к дальнейшему движению по России. По мере завершения загрузки контейнерами, поезд возобновляет движение и покидает модель. Реализована одновременная поддержка до четырёх поездов по четырём путям.

Обозначенная логика движения поезда реализована в модели одной архитектурной веткой, представленной на рисунке 2.

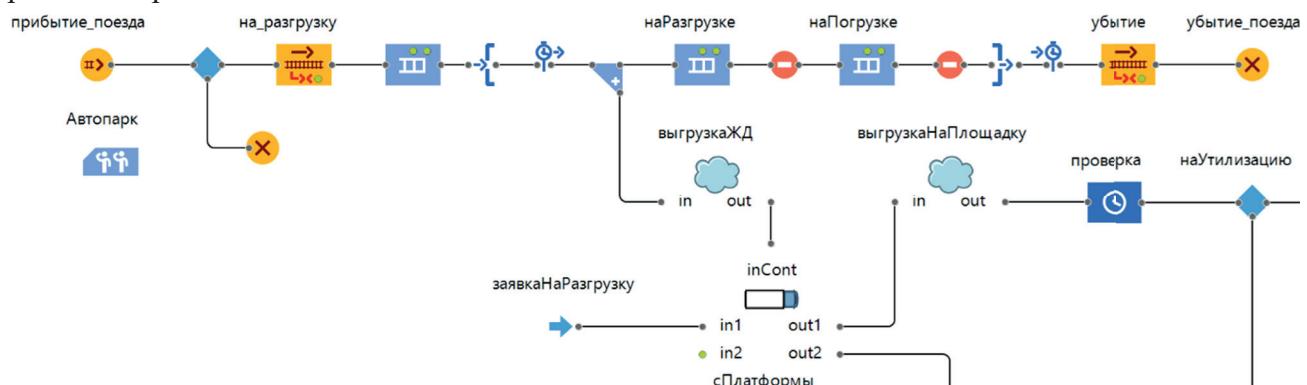


Рисунок 2. Архитектура имитационной дискретно-событийной модели (железнодорожный сегмент).

В блоке «наПогрузке» внедрён Java-код, который перебирает массив ожидающих контейнеров и освобождает их по мере загрузки на поезд. Логика следующая: суммируется число свободных вагонов и контейнеров; если на поезд есть хотя бы один контейнер, то запускается погрузка всех доступных; если вагонов нет – поезд разблокируется и уезжает:

```

int count = 0;
ArrayList<Контейнер> контейнеры = new
ArrayList<Контейнер>();
ArrayList<Контейнер> контейнеры2 =
new ArrayList<Контейнер>();

for (Контейнер temp: wait2){
    контейнеры.add(temp);
    count++;
}
  
```

```

if (count == количествоВагонов)
break;
}
if (count != количествоВагонов) {
    for (Контейнер temp: ожидание-
    Вывода){
        контейнеры2.add(temp);
        count++;
        if (count == количеств-
        Вагонов) break;
    }
}
if (count == 0) ожиданиеПогрузки.
unblock();
else {
    for (Контейнер temp: контейне-
    ры)
        wait2.free(temp);
}
  
```

```

for (Контейнер temp: контейне-
ры2)
    ожиданиеВыхода.

free(temp);
}

```

Этот фрагмент кода гарантирует, что поезд не отправится раньше времени и что ресурсы разгрузки грузятся полностью.

## ОПИСАНИЕ БЛОКОВ ANYLOGIC И КОМПОНЕНТОВ МОДЕЛИ

Модель собрана преимущественно из стандартных блоков библиотеки Process Modeling Library. На этапах приёма и обработки грузов используются блоки Source (поступление контейнера, авто, поезда), Queue (очереди на разгрузку), Service или Delay (операции обработки, например разгрузка контейнера или проверка документов) и Sink

(вывод). Для ячеистой части AS/RS объект «Rack System» (rackStore) задаёт структуру стеллажей. Складская секция показана на масштабном плане модели (в разметке пространства AnyLogic) отдельным элементом, внутри которого перемещаются агенты-товары по заданной сети путей (рисунок 3).

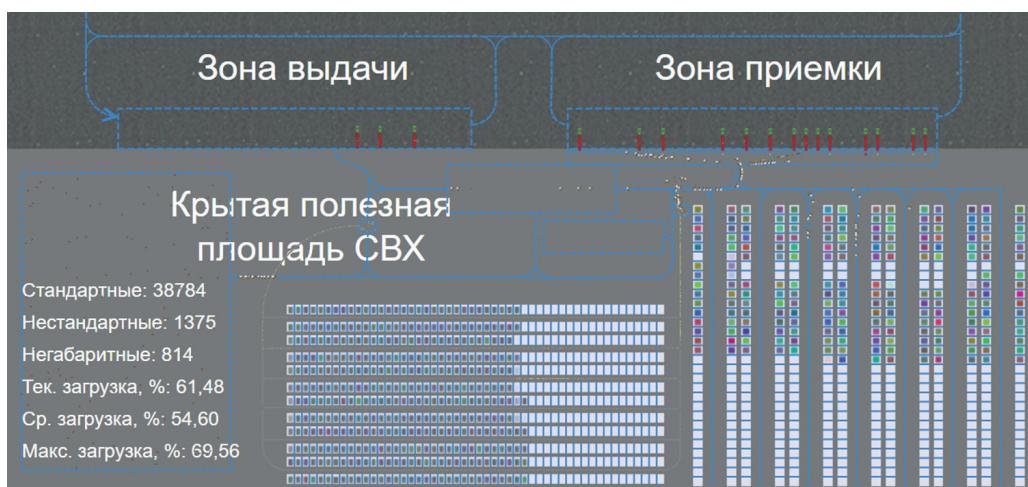


Рисунок 3. Зоны хранения на крытом складе ТЛК.

Движение транспорта в пределах склада задаётся с помощью сети дорог AnyLogic: установлены точки назначения (ворота разгрузки, выезды), а машины автоматически передвигаются по дорогам. Вся логика движения и правил пересечения дорог обеспечивается средствами Road Traffic Library, что упрощает анимацию и избавляет от ручного программирования маршрутов.

Для тонкой настройки процессов в модель интегрирован Java-код. Помимо блока «Ново-

еАвто», использовался аналогичный подход в других местах. Например, приведённый выше блок «наПогрузке» демонстрирует, как встроенным кодом контролировать состояние агрегированных ресурсов (поездов и контейнеров). Таким образом, сочетание графических блоков AnyLogic и программных проверок обеспечивает гибкость: обычно простую логику моделируют блоками, а особые алгоритмы – кодом. Это позволяет достичь высокой настраиваемости и воспроизводимости.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЁМЫ И НАСТРОЙКИ

Для моделирования распределения грузов по типам и потоков использованы стохастические методы AnyLogic. Так, создание автомобилей и поездов может происходить по случайному закону Пуассона (время между прибытиями), а количество паллет в грузовике – по равномерному распределению. Распреде-

ления задаются через параметры модели (например, вероятность сборного груза или границы uniform\_discr) и легко корректируются. Корректируются вручную и прочие параметры для тонкой настройки работы модели, при помощи ползунков интерфейса (рисунок 4).



Рисунок 4. Интерфейс управления моделью.

Важной деталью является сбор статистики и счётчиков в ходе имитации. Модель ведёт учёт таких показателей, как среднее время пребывания груза, длина очередей в блоках Queue и загрузка ресурсов (рисунок 5). Для этого AnyLogic предоставляет механизмы дан-

ных и графиков. Кроме того, введены управляющие параметры: количество работников склада, число погрузчиков, скорость AS/RS и т.д., – что позволяет проводить эксперименты с разными сценариями.

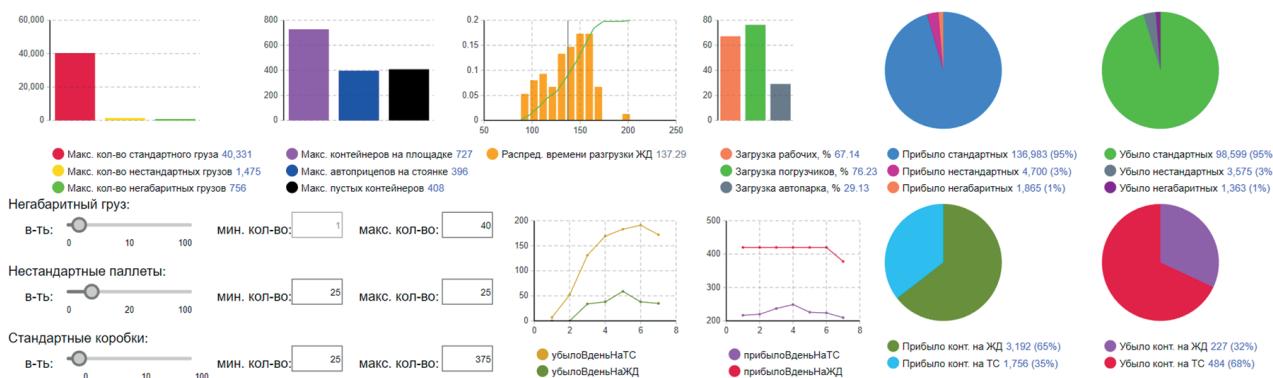


Рисунок 5. Статистические показатели модели.

### ПРИНЯТЫЕ УПРОЩЕНИЯ

При разработке модели были сделаны ряд допущений для упрощения и ускорения моделирования, не влияющих на ключевые выводы.

Например: исключены детальные временные задержки на проверку документов и прохождение таможни (можно задать фиксированной

паузой, так как это не критично для логики склада); не моделируются мелкие операции AS/RS (такие как автоматический сдвиг коробок внутри ячеек) – вместо этого считаем, что как только контейнер поступил в AS/RS, товар сразу начинает храниться. Также все грузообороты сгруппированы в несколько категорий (стандартный, нестандартный, негабарит) вместо детальной классификации продукции. В модели не отражены экологические или аварийные задержки – т.е. система считается надёжной. Подход к упрощениям соответствует средней степени абстракции дискретно-событийного метода: акцент сделан на ключевых операциях и ресурсах, а физические детали движения и мелкие задержки опущены.

Влияние таких упрощений проверялось тестовыми прогоном: показано, что они не исказывают основных показателей (пропускную способность и загрузку узлов).

Дополнительно, функционал офисной зоны ТЛК, столовой, гостиницы, парковой зоны и прочих декоративных элементов запрограммирован не был и служит лишь общим графическим наполнением схемы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Построенная модель позволяет выполнять виртуальные эксперименты: отрабатывать алгоритмы движения транспорта, подбирать параметры парка (например, количество погрузчиков), определять целесообразность расширения AS/RS. Подобная методика может быть легко адаптирована к иным условиям: достаточно изменить входные данные (интенсивность потоков, структуру грузов, параметры оборудования) и использовать ту же архитектуру блоков AnyLogic.

Кроме того, сам подход комбинирования библиотек AnyLogic с Java-кодом доказал свою универсальность. Эффективным является моделирование логистических объектов с сочетанием стандартных блоков (для отображения процесса) и встроенного кода для частных вычислений, а также разбиение модели на

логические подсистемы (транспорт, хранение, обработка). Это упрощает сопровождение и повторное использование модели.

В заключение стоит отметить, что методика построения такой модели позволяет сформулировать практические рекомендации по развитию реального склада: например, при повышении грузопотока, решить, требуется ли нанять больше сотрудников, либо же реализовать автоматизацию. Модель может служить цифровым двойником объекта: при интеграции с реальными данными она даст возможность управлять складом в режиме «что-если». В дальнейшем модель планируется расширить по внутренней детализации, но и рассмотреть влияние внешних факторов (аварии, погодные задержки).

### **Список источников**

1. Анисимова Г.Б., Ярош Д.А. Имитационное моделирование деятельности логистического центра // Вестник Донского гос. техн. ун-та. — 2022. — №18. — С. 18–22.
2. Древс, Ю. Г. Имитационное моделирование : учебное пособие для вузов / Ю. Г. Древс, В. В. Золотарёв. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 136 с.
3. Кузнецов, А. В. Имитационное моделирование в складской логистике / А. В. Кузнецов // Аллея науки. — 2021. — Т. 1, № 5(56). — С. 424-427. — EDN DXFJAH.
4. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Авторская имитация систем и сетей с очередями. — 2-е изд., - Москва : Лань, 2025 – 112 с.

## METHODOLOGY FOR BUILDING A DISCRETE-EVENT MODEL OF A TEMPORARY STORAGE WAREHOUSE IN ANYLOGIC.

Ageikin A.M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Avanta Group.

**Abstract:** the paper describes an approach to constructing a simulation model of a temporary storage warehouse (TSW) within a transport-logistics complex. The model is implemented in the AnyLogic environment using a discrete-event approach and is intended to assess the throughput and operational efficiency of the TSW under various parameters (goods flow, level of automation, number of resources). The architecture of the model and its main blocks are presented, together with details of their interactions. Special attention is paid to the integration of several AnyLogic libraries (process simulation, road and rail transport, AS/RS storage), the use of embedded Java code to control process logic (goods generation, waiting for full train loading, etc.), and to selected simplifications (for example, omission of minor AS/RS operations).

Practical techniques for configuring the model (use of probability distributions, conditional transitions, conveyor logic) are demonstrated to ensure that the methodology is reproducible by other researchers. The simulation confirmed that even partial automation (AS/RS) substantially improves warehouse performance. The proposed solutions and recommendations can be applied when developing simulation models of similar logistics facilities.

**Keywords:** simulation modeling; discrete-event model; temporary storage warehouse; Anylogic; automated storage and retrieval systems (AS/RS); transport-logistics complex; digital twin.

© Ageikin A.M.

Received 03.08.2025, approved 01.09.2025, accepted for publication 01.09.2025.

For citation:

Ageikin A.M. Methodology for building a discrete-event model of a temporary storage warehouse in Anylogic. Logistics and Supply Chain Management. 2025. Vol 22, Iss 2 (115). pp. 4-14.

Information about the authors:

Ageikin A.M. - Senior Logistics and Foreign Economic Activity Manager, Avanta Group LLC, e-mail: leksis98@mail.ru.

### **References**

1. Anisimova G.B., Yarosh D.A. Simulation modeling of the logistics center // Bulletin of the Don State Technical University. un-ta. — 2022. — No. 18. — pp. 18-22.
2. Drews, Yu. G. Simulation modeling : a textbook for universities / Yu. G. Drews, V. V. Zolotarev. — 2nd ed., ispr. and add. Moscow : Yurait Publishing House, 2025. 136 p
3. Kuznetsov, A.V. Simulation modeling in warehouse logistics / A.V. Kuznetsov // Alley of Science. – 2021. – Vol. 1, No. 5(56). – pp. 424-427. – EDN DXFJAH.
4. Ryzhikov Yu.I. Simulation modeling. The author's imitation of systems and networks with queues. — 2nd ed., Moscow : Lan, 2025 - 112 p.