

УДК (UDC) 656.13

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ANYLOGIC ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТЕЙНЕРОВ-ТРАНСФОРМЕРОВUSING THE ANYLOGIC PROGRAM FOR MODELING
PROCESSES USING TRANSFORMER CONTAINERS

Юргин И.В.

Iurgin I.V.

Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону, Россия)
Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

Аннотация. В статье рассматриваются возможности применения программного обеспечения Anylogic для моделирования перевозок с использованием контейнеров-трансформеров. Основное внимание уделено анализу уникальных характеристик контейнера-трансформера, включая его способность к трансформированию, технологии мобильного склада, а также же модификации инструментов программного обеспечения Anylogic для разработки моделей по совершенствованию погрузочно-разгрузочных, транспортных, перегрузочных и складских операций, на основе новых технических решений конструкций контейнеров, повышающих эффективность транспортно-технологических систем. Анализируются конкретные функции и библиотеки данных программы Anylogic, которые позволяют учитывать уникальные характеристики контейнеров-трансформеров при моделировании перевозок путем совершенствования производственных технологических процессов, включая погрузочно-разгрузочные, транспортные, перегрузочные и складские операции. Предложены оригинальные алгоритмы для оптимизации загрузки и разгрузки, а также инструменты для планирования маршрутов с учетом специфики использования таких контейнеров. Предлагаются пути интеграции данных подходов в существующие логистические системы и описываются потенциальные преимущества их применения для достижения более высокой эффективности и устойчивости городских транспортно-технологических систем.

Ключевые слова: перевозка грузов, контейнер-трансформер, агентное моделирование.

Дата получения статьи: 05.05.2024
Дата принятия к публикации: 19.06.2024
Дата публикации: 25.06.2024

Сведения об авторе:

Юргин Иван Владимирович - аспирант, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», e-mail: cent96v@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6828-8512>

Abstract. This scientific article discusses the possibilities of using Anylogic software to simulate transportation using transformable containers. The main attention is paid to the analysis of the unique characteristics of the transformable container, including its ability to transform, mobile warehouse technology, as well as modification of Anylogic software tools to develop models for improving loading and unloading, transport, transshipment and warehouse operations, based on new technical design solutions containers that increase the efficiency of transport and technological systems.

The article analyzes specific functions and data libraries of the Anylogic program, which allow taking into account the unique characteristics of transformable containers when modeling transportation by improving production processes, including loading and unloading, transport, transshipment and warehouse operations. Original algorithms are proposed to optimize loading and unloading, as well as tools for planning routes taking into account the specific use of such containers.

Ways to integrate these approaches into existing logistics systems are proposed and the potential benefits of their application to achieve higher efficiency and sustainability of urban transport and technological systems are described.

Keywords: cargo transportation, transformer container, agent modeling.

Date of manuscript reception: 05.05.2024
Date of acceptance for publication: 19.06.2024
Date of publication: 25.06.2024

Author's information:

Ivan V. Yurgin - Postgraduate student at Don State Technical University, e-mail: cent96v@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6828-8512>

1. Введение

В современном мире сложность экономических, социальных, транспортных, производственных и других процессов постоянно растёт. Для понимания и изучения данных процессов зачастую используется компьютерное моделирование. Одной из особенностей компьютерного моделирования, в том числе в области перевозок грузов, является возможность учёта множества различных параметров и факторов. Компьютерные модели позволяют учесть географическое расположение экологические, социальные ограничения и многое другое.

Несмотря на большой прогресс в области логистики и перевозки грузов, нет достаточно больших исследований, в которых рассматривалось бы влияние контейнеро-трансформеров на перевозки грузов в урбанизированной среде. Существуют статьи, рассматривающие вопросы коммуникационной и логистической связи [1, 2], а также работы, изучающие экономическую составляющую контейнеро-трансформеров [3]. Тем не менее, не изучена значительная часть компьютерных систем, позволяющих производить моделирование процессов использования технологии контейнера-трансформера. В работах [4-7] рассматривается лишь небольшая часть проблем, возникающих в процессе моделирования сложных транспортных систем, не учитывается влияние свойств контейнера-трансформера. Так, в [4] делается вывод о том, что доставка груза точно в обозначенный срок является ключевым фактором удовлетворённости перевозкой, тем не менее не даётся конкретных предложений по программному обеспечению, способному осуществить данные перевозки точно в срок с учётом технологических особенностей.

Контейнер-трансформер представляет собой грузовой контейнер с системой автоматической трансформации, которая позволяет производить складывание и раскладывание контейнера, достигая при этом определённых преимуществ в технико-эксплуатационных характеристиках. Но отсутствие подробных компьютерных моделей для ана-

лиза использования технологии накладывает свой отпечаток на её распространённость.

Компьютерное моделирование является современным методом научных исследований, который повсеместно используется в различных областях, в том числе и на транспорте. Особенностью данного вида моделирования является то что мы можем создавать не только текущую ситуацию и обстановку и прогнозировать поведение системы в её условиях, но и создавать такие параметры, достижения которых в реальных условиях невозможно [8].

Поэтому обозначенные выше факты обосновывают актуальность использования данной темы так как она обладает большим потенциалом и низкой степенью исследованности. Недостаточная разработанность теоретических и практических подходов к использованию контейнера-трансформера также является одним из факторов, обосновывающих актуальность исследования.

Программное обеспечение Anylogic является одним из инструментов с помощью которых можно осуществлять моделирование и анализ сложных систем, в том числе и таких систем которые были описаны ранее. Широкая линейка различных инструментов используемых для моделирования позволяет создать модели максимально приближённые к исследуемым объектам.

Исследование данной темы позволит не только лучше понять особенности и преимущества данной технологии, но и оптимизировать процессы перевозки грузов в городской среде. Анализ данных, полученных в результате моделирования, поможет выявить ключевые факторы, влияющие на совершенствование производственных технологических процессов, включая погрузочно-разгрузочные, транспортные, перегрузочные и складские операции, а также предложить рекомендации по улучшению логистических решений в городских условиях.

2. Особенности контейнера-трансформера при моделировании

В современной логистике и транспортной отрасли в частности контейнеры-трансфор-

меры являются инновационным решением, позволяющим оптимизировать процесс транспортировки различных видов грузов. Контейнеры могут изменять свои размеры в зависимости от наличия перевозимого груза, что делает их важным инструментом логистической организации транспортного процесса.

В данной статье будут рассматриваться особенности программного комплекса в контексте контейнера-трансформера [9].

Тем не менее, существуют особенности процессов транспортировки грузов контейнерами-трансформерами, которые необходимо учитывать при моделировании процессов. В том числе:

1. Высокая степень неопределенности, которая заключается в том, что каждая осуществляемая перевозка обладает своим индивидуальным набором параметров, в том числе весом, объемом, необходимостью использования специальных условий транспортирования.

2. Динамическая природа процесса, которая заключается в том, что в процессе перевозки грузов участвует большое количество субъектов, обладающих различными характеристиками, а возможность трансформирования контейнера-трансформера добавляет переменных в процессы транспортирования, каждая из которых должна быть учтена в модели для большей точности.

3. Интеграция с другими системами, которая заключается в том, что транспортный процесс с использованием контейнеров-трансформеров часто взаимодействует с другими элементами логистической цепи, такими как складские операции, управление запасами, маршрутизация и расписание. Каждая из этих систем имеет свои собственные модели и алгоритмы, интеграция которых с моделью перевозки представляет собой многопараметрическую задачу.

Таким образом, комплексность транспортного процесса перевозки грузов с помощью контейнеров-трансформеров делает его моделирование сложным и трудозатратным. Необходимо использование новых подходов и методик, способных учитывать динамичность, неопределенность и многомерность различных процессов. Рассмотрим возмож-

ности применения комплексных компьютерных симуляций, которые способны адаптироваться к изменяющимся условиям и предоставлять гибкие решения для оптимизации логистических операций на примере программной среды Anylogic [10].

3. Моделирование в программной среде Anylogic

Анализ современных научных источников, в том числе [8, 11, 12], говорит о том, что сложные транспортные системы в современной научной практике всё чаще рассматривают с точки зрения компьютерных моделей, созданных в различных программных средах. Данному факту способствуют быстрое развитие компьютерных технологий в области имитационного моделирования, а также высокая степень интегрируемости разрабатываемых моделей.

Исследование сложных систем, таких как транспортный процесс перевозки грузов с использованием контейнеров-трансформеров, технологии подвижного склада, с помощью имитационного моделирования представляет ряд преимуществ.

Основными причинами широкой распространённости имитационных моделей для анализа сложных транспортных систем являются:

1. Возможность учёта динамичности и неопределённости в рамках имитационного моделирования. Модель может адаптироваться к изменяющимся условиям и варьирующимся параметрам, что делает ее более гибкой и приближенной к реальным условиям.

2. Моделирование поведения отдельных участников, так как имитационное моделирование позволяет учитывать случайные события, происходящие при работе систем и моделировать действия участников системы шеринга контейнеров, таких как оператор, водители и другие. Это позволяет более точно предсказывать действия и влияние на процессы внутри системы.

3. С помощью имитационного моделирования можно проводить различные эксперименты и оптимизировать параметры системы, чтобы найти наилучшие решения. Это

позволяет проводить виртуальные тесты с использованием контейнера-трансформера и анализировать результаты без необходимости реального вмешательства.

4. Имитационное моделирование способно учитывать сложные взаимодействия между различными компонентами системы и предсказывать их влияние на общий результат. Это особенно важно для систем с множеством взаимосвязанных элементов, как в случае с транспортным процессом с контейнерами-трансформерами, а также технологией подвижного склада.

Поэтому использование имитационного моделирования для исследования сложных систем, включая системы с контейнерами-трансформерами, а также технологией подвижного склада, обладает рядом преимуществ. Это делает имитационное моделирование эффективным инструментом для анализа и оптимизации таких систем.

AnyLogic представляет собой инновационное программное обеспечение, которое обладает уникальными возможностями и широким спектром инструментов для имитационного моделирования, поэтому он был выбран в качестве программы для создания модели.

Одним из аргументов в пользу использования AnyLogic является его мультипарадигменный подход. Программа позволяет комбинировать различные методы моделирования, такие как дискретные события, системная динамика и агентное моделирование, в одной модели. Это обеспечивает более точное и реалистичное моделирование сложных систем.

Другим важным аспектом является возможность визуализации и анализа данных в AnyLogic. Программа предоставляет мощные инструменты для визуализации результатов моделирования, что помогает лучше понять поведение системы. Графики, диаграммы и анимации делают процесс анализа более наглядным и понятным [8].

Процесс работы и создания моделей с использованием контейнера-трансформера в AnyLogic включает выбор типа моделирования, создание компонентов модели, настройку параметров и взаимодействий, визуализа-

цию и анализ данных, а также интеграцию с реальными данными. Этот последовательный подход позволяет создавать точные и реалистичные модели сложных систем [10].

4. Использование программы Anylogic для моделирования процессов перевозки контейнера-трансформера

Процесс изучения модели перевозки контейнеров-трансформеров в рамках Anylogic начинается с предварительного анализа функционала программы, в ходе которого определяется, какая степень абстракции будет достигнута при создании модели и насколько данная степень абстракции удовлетворяет запросу исследования.

Программная среда Anylogic не накладывает ограничений на количество моделируемых объектов и агентов, единственное ограничение, которое будет существенным при процессе уменьшения абстракции модели, что увеличивает время на создание модели, большая сложность взаимосвязи элементов, а также физические ограничения производственных мощностей компьютера.

Программный продукт представляет возможность совместного использования трех видов моделирования:

1) системной динамики, с помощью которой описываются потоковые процессы больших систем, оказывающих влияние на основной моделируемый процесс, но обладающими большой степенью абстракции;

2) агентного моделирования, представляющего каждый исследуемый объект (контейнер-трансформер, автомобиль, клиента и др.) в качестве независимой системы с собственной уникальной логикой действий и целями;

3) дискретно-событийного моделирования, являющегося составной частью логики работы всех других методов моделирования.

Перечисленные выше виды моделирования могут быть использованы в ходе моделирования процессов перевозки контейнеров-трансформеров. С помощью системной динамики можно моделировать сложные транспортные процессы и получать в результате скорость движения, соответствующую

времени суток, населенности территории и другим параметрам.

С помощью агентного моделирования может быть задана логика движения автомобилей-манипуляторов и клиентов. Такой подход позволит учесть субъективные факторы, особенности всех участников процесса, а также произвести точный учет степени удовлетворенности финальным результатом работы системы каждого агента, в том числе с учетом технологии подвижного склада.

С помощью дискретно-событийного моделирования в модели перевозки грузов с помощью контейнера-трансформера могут быть заданы алгоритм перевозки груза, процессы работы с контейнером, для которых важна высокая степень детализации.

При этом важно отметить тот факт, что все эти методы моделирования в рамках большой системы имеют возможность быть интегрированными друг в друга, влиять друг на друга и быть триггерами запуска особых сценариев и алгоритмов [2].

Таким образом AnyLogic позволяет нам достичь высокой детализации и многоуровневости системы, при этом сохраняя возможность использования высокой степени абстракции на тех участках системы, где она допустима.

Агентное моделирование в AnyLogic в контексте моделирования процессов транспортировки контейнеров-трансформеров дает возможность каждому агенту иметь свою логику, осуществлять процесс накопления данных, совершать действия на основе накопленного ранее набора данных. Так моделирование контейнера-трансформера в контексте агентного моделирования позволяет отобразить его состояние трансформации, статистику его использования и необходимость вызова других агентов.

Логика агентного моделирования предполагает наличие популяций агентов. Популяцией агентов в AnyLogic называют совокупность однотипных агентов, работающих по одному алгоритму. Такими популяциями в рамках разработки модели перевозочного процесса контейнера-трансформера будут автомобили-манипуляторы, контейнеры-трансформеры, клиенты. Данная функция

упрощает процесс создания модели и помогает оперативно вносить корректировки в работу всех популяций агентов сразу.

Важной особенностью агентного моделирования в AnyLogic является технология вложенных агентов. Данная особенность позволяет в структуре логики агента использовать других агентов, тем самым повышая уровень детализации и приближенности модели к реальным объектам.

На рис. 1 представлен набор свойств и параметров, которые можно указать для агента.

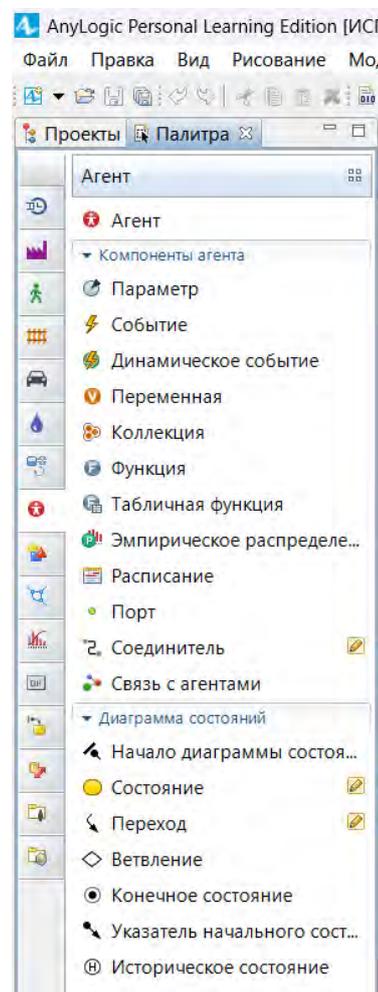


Рис. 1. Набор функций и параметров, применяемых к агенту в AnyLogic

Подраздел «Диаграмма состояний» является важной частью программного комплекса, с помощью функционала данного подраздела может указываться состояние контейнера-трансформера и логика действий по работе с ним. Каждый из этапов работы с кон-

тейнером может быть формализован таким образом.

Каждый агент имеет набор действий, которые могут запускаться на различных этапах. Так, например, это позволит учесть состояние трансформации контейнера-трансформера при запуске моделирования. Пункт «При уничтожении» к агенту контейнера-трансформера в рамках моделирования применяться не будет, тем не менее он может быть использован при работе с агентом «Клиент». Так после выполнения заявки на перевозку конкретный агент из популяции агентов будет не нужен, и с помощью данной функции можно будет произвести присоединение накопленной агентом статистики использования к общему набору данных статистики.

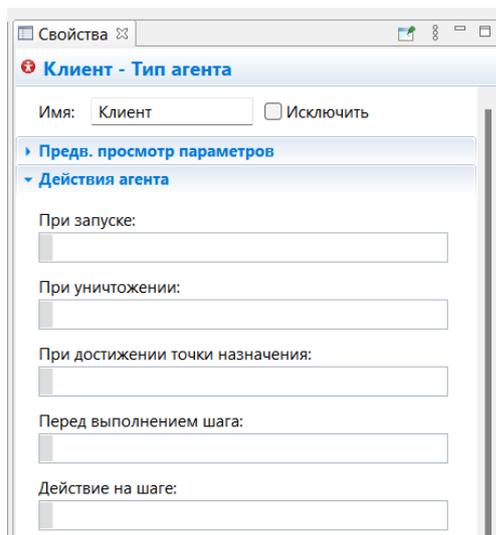


Рис. 2. Набор действий, вызываемых на различных этапах работы агента

Все агенты могут быть использованы различными способами в рамках диаграммы процессов. Для контейнера-трансформера это даёт возможность быть использованным в качестве ресурса в процессе перевозки, то есть быть перемещённым от одного агента к другому, при этом не влияя на внутреннюю структуру агентов и используя простой синтаксис операции.

Сбор данных о работе модели использования контейнера-трансформера в перевозках в рамках программного комплекса Anylogic осуществляется с помощью блока

статистики, представленного на вкладке «Палитра» (рис.4).

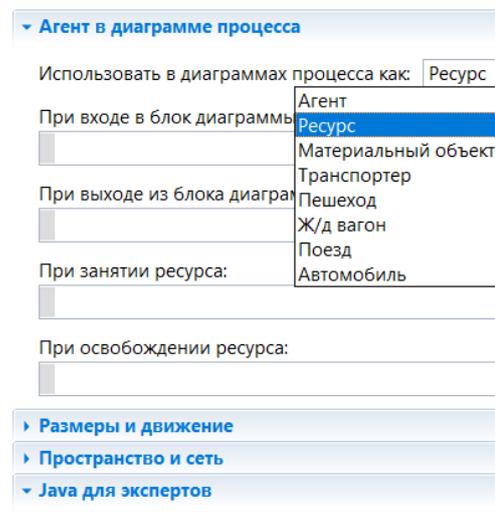


Рис. 3. Использование контейнера-трансформера как ресурса в диаграммах процесса

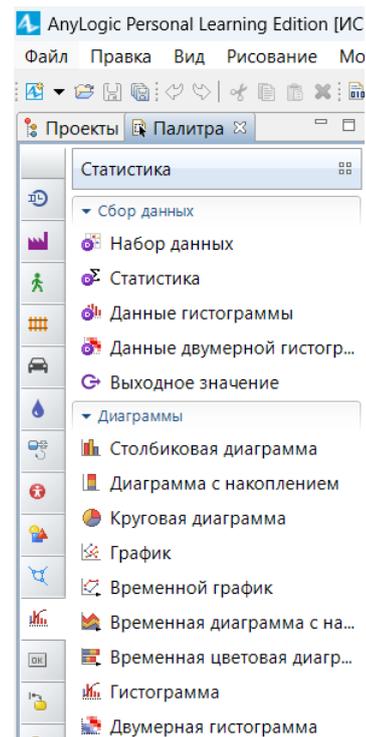


Рис. 4. Блок «Статистика» на вкладке «Палитра»

Блок «Статистика» позволяет учесть особенности условий эксплуатации контейнера-трансформера, в том числе возможность перемещения нескольких контейнеров на одном транспортном средстве, что влияет на производительность автомобиля, а также на

коэффициент использования транспортных средств.

В ходе расчёта технико-эксплуатационных параметров работы системы с использованием контейнера-трансформера необходим учёт в том числе и предельных показателей работы, таких как, например, минимальное и максимальное время оборота контейнера. Расчёт данных параметров также осуществим с помощью блока статистики.

Программный комплекс Anylogic поддерживает следующие типы функций сбора статистики: Количество, Сумма, Среднее, Мин. и Макс.

Количество. Подсчитывает количество агентов, для которых будет выполнено заданное Условие.

Сумма. Последовательно проходит по всем агентам и вычисляет заданное Выражение для каждого агента. Возвращает сумму полученных значений.

Среднее. Последовательно проходит по всем агентам и вычисляет заданное Выражение для каждого агента. Возвращает среднее полученных значений.

Мин. Последовательно проходит по всем агентам и вычисляет заданное Выражение для каждого агента. Возвращает минимальное из полученных значений.

Макс. Последовательно проходит по всем агентам и вычисляет заданное Выражение для каждого агента. Возвращает максимальное из полученных значений.

Основой моделирования процессов перевозки контейнеров-трансформеров с учётом технологии подвижного склада в программном комплексе Anylogic является ГИС-карта.

Моделирование процессов перевозки грузов с использованием контейнера-трансформера без учёта реальных параметров улично-дорожной сети не является достоверным и используется лишь при приближённых расчётах некоторых параметров.

Особенностью ГИС карты в Anylogic является возможность интеграции в нее агентов, которые будут осуществлять заданные им функции, используя элементы этого пространства.

Поддержка ГИС пространства включает возможности помещения агента в новое ме-

сто, получения местоположений для размещения агентов, перемещения агента из текущего местоположения в новое с заданной скоростью по существующим маршрутам, выполнения определённого действия по прибытии, отображения анимации агента в разном масштабе, установления связей между агентами в зависимости от их расположения в том числе с учетом технологии подвижного склада и многое другое [5].

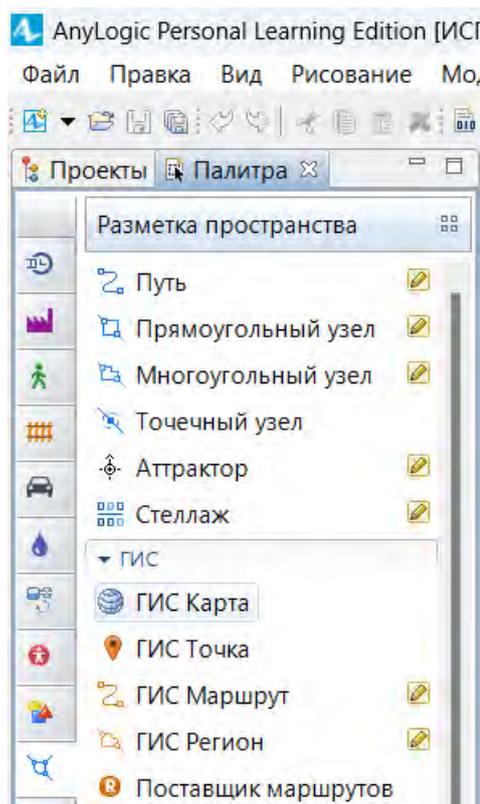


Рис. 5. Блок «ГИС» на вкладке «Палитра»

Одной из ключевых особенностей Anylogic является возможность интеграции созданных моделей в сторонние Java-приложения, представленный на рис. 6. Это позволяет расширить функциональность существующих приложений, добавив в них имитационное моделирование. Интеграция может быть полезна в различных областях, где требуется анализ и оптимизация сложных систем, таких как логистика и производство.

Преимущества интеграции моделей AnyLogic в Java-приложения:

1. Расширение функциональности. Добавление имитационного моделирования в существующее приложение позволяет рас-

ширить его функциональность и повысить эффективность работы.

2. Повышение точности анализа. Использование имитационного моделирования позволяет получить более точные результаты анализа и прогнозирования.

3. Снижение затрат на разработку. Интеграция готовых моделей AnyLogic может сократить время и ресурсы, затрачиваемые на разработку собственных моделей.

4. Возможность масштабирования. Интегрированные модели AnyLogic могут быть легко адаптированы к изменяющимся условиям и требованиям.



```

1 package доставка_грузов;
2
3 import java.io.Serializable;
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71 public class Main extends Agent
72 {
73     /**
74      * стартЗаказа Класс динамического события
75      */
76     public static class startЗаказа extends DynamicEvent {
77         public Клиент откуда;
78         public Клиент куда;
79
80         /**
81          * Конструкторсбп
82          * Используйте метод <code>create_стартЗаказа</code>
83          */
84         public startЗаказа( Main _ao_xjal, double _dt_xjal,
85             this( _ao_xjal, _dt_xjal, false
86                 , откуда
87                 , куда );
88     }
89 }

```

Рис. 6. Java-код приложения

5. Заключение

Приведенные в статье данные были основой для создания «Программы по автоматическому определению технико-эксплуатационных характеристик системы доставки грузов с использованием контейнеров-трансформеров» для ЭВМ [13].

Список литературы

1. Короткий А.А. Использование контейнеров-трансформеров и караванного движения в мегаполисах - путь к улучшению экологии окружающей среды // Безопасность техногенных и природных систем. 2021. № 2. С. 33–42.

2. Гальченко Г.А., Короткий А.А., Иванов В.В. Информационно-коммуникационная логистическая система для оптимизации транспортных маршрутов в урбанизированной среде // Вестник Брянского государственного технического университета.

На основе рассмотренных функций программы AnyLogic можно сделать вывод, что она подходит для создания имитационной модели использования контейнеров-трансформеров в том числе с учетом технологии подвижного склада. AnyLogic предоставляет широкий спектр возможностей для моделирования сложных систем и процессов, включая поддержку различных методов моделирования, таких как системная динамика, дискретно-событийное моделирование и агентное моделирование.

Это позволяет точно воссоздать процессы, связанные с использованием контейнеров-трансформеров, учитывая их уникальные характеристики, такие как способность к складыванию и раскладыванию. AnyLogic также предлагает инструменты для оптимизации загрузки и разгрузки контейнеров, а также планирования маршрутов с учётом специфики использования таких контейнеров. Эти функции делают AnyLogic возможным выбором для создания имитационной модели использования контейнеров-трансформеров, которая может быть использована для анализа и оптимизации логистических процессов.

AnyLogic позволяет создавать точные и реалистичные модели перевозок с использованием контейнеров-трансформеров в том числе с учётом технологии подвижного склада. Программа предоставляет инструменты для моделирования процессов погрузки и разгрузки контейнеров, а также для анализа эффективности использования контейнеров-трансформеров в логистических системах.

References

1. Korotkij A.A. The use of transformer containers and caravan traffic in megacities is the way to improve the ecology of the environment. *Bezopasnost tekhnogennyh i prirodnih sistem*, 2021, No. 2, pp. 33–42 (In Russian)

2. Galchenko G.A., Korotkij A.A., Ivanov V.V. Information and communication logistics system for optimizing transport routes in an urbanized environment. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2018, №4. pp. 63–67.

DOI: 10.30987/article_5b28d18e203e46.88731833

2018. №4. С. 63–67

DOI: 10.30987/article_5b28d18e203e46.88731833

3. Konings R., Thijs R. Foldable Containers: A New Perspective On Reducing Container-Repositioning Costs // *European Journal of Transport and Infrastructure Research (EJTIR)*, 2001, Vol. 1 No. 4, pp. 334-352. DOI: 10.18757/ejtir.2001.1.4.3503

4. Dundar A.O., Ozturk, R. The effect of on-time delivery on customer satisfaction and loyalty in channel integration // *Business and Management Study: An International Journal*. 2020. Vol 8. № 3. P. 2675-2693. DOI: 10.15295/bmij.v8i3.1520.

5. Cheikhrouhou O., Khoufi I. A comprehensive survey on multiple travelling salesman problem: applications, approaches, and taxonomy // *Computer Science Review*. 2021. DOI: 10.1016/j.cosrev.2021.100369

6. Masson A., Paravié D., Rohvein C., Villalba L. Review of Vehicle Routing Problems Solving Software // *INGECUC*. 2021. Vol. 17. №1. P. 315–328.

7. Chandra A., Natalia C. Applications of multiple traveling salesman problem on zone picking // *Academic Journal of Manufacturing Engineering*. 2023. Vol.21. №1. P. 51-58.

8. Зырянов, В. В. Руководство по моделированию дорожного движения. Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. гос. строит. ун-та, 2015. - 61 с.

9. Пат. 2788837 Рос. Федерация: МПК В65D 88/52, В65D 90/48. Контейнер-трансформер / Короткий А.А., Панфилов А.В., Панфилова Э.А., Юргин И.В.; заявитель и патентообладатель ООО ИКЦ "Мысль" НГТУ. №2022122502; заявл. 19.08.2022; опубл. 24.01.2023, Бюл. № 7.

10 Юргин И.В., Короткий А.А. Применение мультиагентного моделирования доставки грузов с использованием контейнеро-трансформеров // *Мир транспорта и технологических машин*. 2021. №3 (74). С. 115-121.

11.Фиалкин В.В. Моделирование транспортного спроса в г. Ростове-на-Дону для изучения нагрузки на дорожную сеть // *Молодой исследователь Дона*. 2020. № 5 (26). - С. 64–70.

12. Короткий А.А., Лагереv А.В., Месхи

(In Russian)

3. Konings R., Thijs R. Foldable Containers: A New Perspective On Reducing Container-Repositioning Costs. *European Journal of Transport and Infrastructure Research (EJTIR)*, 2001, Vol. 1 No. 4, pp. 334-352. DOI: 10.18757/ejtir.2001.1.4.3503

4. Dundar A.O., Ozturk, R. The effect of on-time delivery on customer satisfaction and loyalty in channel integration. *Business and Management Study: An International Journal*, 2020, Vol 8, Issue 3, pp. 2675-2693. DOI: 10.15295/bmij.v8i3.1520.

5. Cheikhrouhou O., Khoufi I.A comprehensive survey on multiple travelling salesman problem: applications, approaches, and taxonomy. *Computer Science Review*, 2021. DOI: 10.1016/j.cosrev.2021.100369

6. Masson A., Paravié D., Rohvein C., Villalba L. Review of Vehicle Routing Problems Solving Software. *INGECUC*, 2021, Vol. 17, No.1, pp. 315–328.

7. Chandra A., Natalia C. Applications of multiple traveling salesman problem on zone picking. *Academic Journal of Manufacturing Engineering*, 2023, Vol.21, No.1, pp. 51-58.

8. Zyryanov V. V. A guide to traffic modeling: a tutorial. Rostov-na-Donu, Izd-vo Rost. gos. stroit. un-ta, 2015. 61 p. (In Russian)

9. Patent RU 2788837 , В65D 88/52, В65D 90/48. *Kontejner-transformer* [Container-transformer]. Korotkij A.A., Panfilov A.V., Panfilova E.A., Yurgin I.V. Declared 19.08.2022. Published 24.01.2023. (In Russian)

10. Yurgin I.V., Korotkij A.A. Application of multi-agent modeling of cargo delivery using transformer containers. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2021, No.3(74), pp. 115-121 (In Russian)

11. Fialkin V.V. Modeling of transport demand in Rostov-on-Don to study the load on the road network. *Molodoy issledovatel Dona*, 2020, No. 5 (26). pp. 64–70. (In Russian)

12. Korotkij A.A., Lagerev A.V., Meskhi B.Ch., Lagerev I.A., Panfilov A.V., Tarichko V.I. *Transportno-logisticheskie tekhnologii i mashiny dlya cifrovoj urbanizirovannoj sredy* [Transport and logistics technologies and machines for a digitally urbanized environment]. Rostov-na-Donu, DGTU, 2019. 268 p. (In

Б.Ч., Лагерев И.А., Панфилов А.В., Таричко В.И. Транспортно-логистические технологии и машины для цифровой урбанизированной среды. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2019. 268 с.

13. Программа по автоматическому определению технико-эксплуатационных характеристик системы доставки грузов с использованием контейнеров-трансформеров / А.А. Короткий, И.В. Юргин. - Свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ №2024618471. Зарегистрир. в Реестре программ для ЭВМ 12.04.2024. Бюл. № 4.

Russian)

13. Korotkij A.A., Yurgin I.V. *Programma po avtomaticheskomu opredeleniyu tekhniko-ekspluacionnyh harakteristik sistemy dostavki грузов s ispolzovaniem kontejnerov-transformerov* [A program for the automatic determination of technical and operational characteristics of a cargo delivery system using transformer containers]. No. 2024618471, 2024. (In Russian)