

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

УДК 004.94+656.022.88-027.31

На правах рукописи

ДРОЗДОВСКИЙ
Артем Сергеевич

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК НА
ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
магистра экономических наук

по специальности 1-25 80 08 – Математические
и инструментальные методы экономики

Минск 2017

Работа выполнена на кафедре экономической информатики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **АЛЁХИНА Алина Энодиевна**,
кандидат экономических наук, доцент кафедры экономической информатики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **АКИНФИНА Марина Александровна**,
кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий учреждения образования «Белорусский государственный экономический университет»

Защита диссертации состоится «24» июня 2017 г. года в 10⁰⁰ часов на заседании Государственной экзаменационной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. Платонова, 39, копр. 5, ауд. 806, тел. 293-89-92, e-mail: kafei@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

СОГЛАСОВАНО:
научный руководитель
канд.экон.наук, доцент

А.Э. Алёхина

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня Белорусская железная дорога – лидер национальной системы перевозок. Являясь одним из важнейших транспортных комплексов страны, она успешно развивается и обеспечивает почти 70% грузооборота всех видов транспорта общего пользования. Единая и слаженная система железнодорожного транспорта позволяет отрасли успешно строить работу по-новому, разрабатывать и внедрять новейшие передовые технологии, обеспечивать безопасность, бесперебойность и надежность функционирования сложнейшего транспортного комплекса страны. Вполне очевидно, что в век стремительного научно-технического прогресса и развития информационных технологий конкурировать могут только компании, оснащенные технологически во всех смыслах. Поэтому сегодня ИТ инновации в транспортной логистике – это не дань моде, а необходимость, которая диктуется временем.

Глобализация рынка товаров и услуг, а также революционные изменения в информационных технологиях требуют обеспечения четкости физических потоков поставок как необходимого условия обязательной непрерывности хозяйственных процессов.

Четкость логистических процессов, применение новейших инструментов управления ими, экономическое ведение деятельности и снижение логистических расходов – необходимые условия сохранения рыночной позиции фирмы и ее победы в конкурентной борьбе.

Развитию логистики способствует прежде всего рост торговли и грузовых перевозок, она все больше приобретает международный характер. Это развитие сопровождается возникновением новых явлений, проблем и тенденций, знание которых представляет как теоретический, так и практический интерес.

Зарубежный опыт показывает, что логистике принадлежит стратегически важная роль в современном бизнесе. Наилучших результатов в бизнесе добиваются компании, использующие концепцию интегрированной логистики, которая позволяет объединить усилия управляющего персонала фирмы, ее структурных подразделений и логистических партнеров в единой цепи: закупки, производство, распределение, продажи, сервис. Сокращение всех видов издержек позволяет фирме высвободить финансовые средства на дополнительные инвестиции в складское оборудование, информационно-компьютерные системы, рекламу, маркетинговые исследования и т.д.

Оптимальные логистические решения могут быть получены менеджментом фирмы не только по критерию минимума общих затрат, но и по таким ключевым показателям, как время исполнения заказа и качество логистического сервиса.

При решении задач оптимизации логистики невозможно обойтись без применения систем поддержки принятия решений. Сложные информационные потоки, которыми оперируют менеджеры по логистике, недоступны для точного анализа с помощью традиционных методов. Участники логистических процессов прекрасно представляют, во что выливается неточность при принятии решений в логистике: такие действия приводят к увеличению уровня финансовых и бизнес-потерь.

Становится очевидным то, что изменение одной из характеристик системы может легко привести к изменениям или создать потребность в изменениях в других частях системы. Каждый современный руководитель, если он хочет добиться максимальной эффективности своего предприятия, должен периодически обращаться к методам компьютерного имитационного моделирования, потому что оно является одним из эффективных средств исследования систем управления, позволяющим получить количественную оценку характеристик их функционирования. Знание принципов и возможностей имитационного моделирования, умение создавать, исследовать и применять модели на практике становятся необходимыми требованиями современного менеджмента. Имитационное моделирование является одним из самых популярных методов в бизнес среде, которое призвано повысить точность и надежность принимаемых управленческих решений.

Моделирование является обязательной частью крупных, дорогостоящих исследований и разработок в сфере транспортной логистики. При разработке имитационной модели бизнес процессов можно повысить эффективность работы компании. Анализируя эффективность модели, необходимо выявить проблемы, актуальность и суть решения, критерий выбора решения, заинтересованных лиц, альтернативные действия. Необходимо знать о различных подходах моделирования бизнес процессов компании, чтобы принятое решение было наиболее эффективным.

Имитационное моделирование — гибкий и многофункциональный подход для описания процессов складской логистики, транспортной логистики и управления цепочками поставок, применяемый на всех этапах: планирование, управление, контроль. Модель показывает взаимодействия между звеньями логистической системы, прогнозирует альтернативные варианты развития событий, помогает обнаруживать экстренные ситуации, требующие особого внимания менеджеров, создает отчетность для детального понимания поведения логистической системы. При этом моделирование может использоваться в качестве системы оперативного управления и как инструмент принятия стратегических решений.

Трудно поддерживать эффективное управление транспортировкой товаров без новых технологий. Чем больше поставщиков, перевозчиков, экспе-

диторов и других участников, тем сложнее задача управления потоками товаров и информации в цепочке поставок. Имитационное моделирование может помочь справиться со сложностью этой задачи, увеличить рентабельность и улучшить качество обслуживания клиентов для повышения конкурентоспособности компании.

Создание имитационной модели логистических процессов является одной из наиболее сложных проблем в теории и практике моделирования.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Рассматривая особенности логистики грузовых железнодорожных перевозок в Республике Беларусь, следует отметить, что Белорусская железная дорога занимает выгодное геополитическое расположение на перекрестке II и IX международных транспортных коридоров, что и предопределило ее роль как важнейшего связующего звена в обеспечении торгово-экономических связей стран Евросоюза и Азиатско-Тихоокеанского региона. Для принятия управленческого решения требуется информация, притом, чем сложнее решение, тем больше объем необходимой информации. К тому же информация должна соответствовать определенным требованиям: быть полной, достоверной и своевременной.

Разработка имитационной модели железнодорожных перевозок дает возможность учитывать особенности всех узлов системы в их взаимосвязи позволяет снизить затраты и уменьшить вероятность возникновения рисков неэффективных решений в процессе управленческой деятельности и потенциальных рисков финансовых потерь.

Моделирование позволяет рассматривать процессы, происходящие в системе, на любом уровне детализации. При этом с помощью модели можно реализовать практически любой алгоритм управленческой деятельности или поведения системы, что позволяет определить влияние отдельных параметров на работу полной модели.

Степень разработанности проблемы

Исследованиями моделирования в области транспортной логистики занимались отечественные ученые В. В. Дыбская, Е. И. Зайцев, В. И. Сергеев, С. Уваров, А. Н. Стерлигова и др., а также известные зарубежные ученые Г. Павеллек, Д. Бауэрсокс, Д. Клосс, М. Кристофер, Дж. Сток, Д. Ламберт, М. Купер и многие другие.

В XX веке математические методы моделирования в экономике применялись широко и эффективно во многих странах мира (Д. Хикс, Р. Солоц, Д. Неш, В. Леонтьев, П. Самуэльсон, Л. Канторович, А. Гранберг, Н. Моисеев, В. Крючков, К. Гофман, Ю. Овсиенко, А. Андрейчиков, Р. Косенков, М. Красс и другие).

Метод имитационного моделирования развивался в работах Р. Шенно-

на, А. Лоу, В. Кельтона, Т. Дж. Шрайбера, Б. Советова, В. Боева, В. Томашевского, А. Борщева, Ю. Карпова.

Вопросам применения технологий имитационного моделирования для решения задач совершенствования управления промышленными, транспортными и торговыми предприятиями посвящены работы Б. Гнеденко, А. Емельянова, С. Кокса, Б. Шмидта, С. Конюха, В. Девяткова, В. Марля, И. Поспелова, Ю. Толуева и многих других.

Появление в 90-е годы прошлого века совершенно новых объектно-ориентированных, визуальных технологий имитационного моделирования, резкое повышение параметров ПК, существенно расширило возможности методов имитационного моделирования.

Цель и задачи исследования

Целью магистерской диссертации является повышение точности принятия управленческих решений в транспортной логистике на основе построения имитационной модели для решения задачи формирования железнодорожным составов для перевозки грузов.

Для достижения поставленной цели были сформулированы **следующие задачи:**

- исследовать процесс перевозки товаров железнодорожным транспортом;
- проанализировать существующие математические модели формирования перевозочных схем и критерии их оптимизации;
- разработать имитационная модель перевозки грузов на основе многоподходного инструмента моделирования *AnyLogic*;
- провести анализ полученных результатов эксперимента работы модели.

Объектом исследования является задача формирования грузовых составов на примере организации перевозок по маршруту «Минск-Сортировочный – Орша-Центральная».

Предметом исследования выступают математические модели и методы решения задач транспортной логистики, а также методы имитационного моделирования.

Методы исследования. Для решения поставленных задач работы использовались методы имитационного моделирования сложных систем с использованием программного средства *AnyLogic*.

Область исследования.

Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-25 80 08 «Математические и инструментальные методы экономики».

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли результаты исследований отечествен-

ных и зарубежных ученых в области математического и компьютерного моделирования.

Информационная база исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

Научная новизна

Научная новизна и значимость диссертационной работы заключается в разработке имитационной модели железнодорожных грузоперевозок для совершенствования принятия управленческих решений в транспортной логистике, автоматизации и визуализации процесса транспортировки грузов с возможностью сбора статистических данных.

Теоретическая значимость диссертации заключается в исследовании и применении методов имитационного моделирования для построения модели железнодорожных грузоперевозок, позволяющий детально исследовать процесс поставки товара. Представлена имитационная модель, демонстрирующая поведение реальной системы транспортировки грузов железнодорожным транспортом.

Практическая значимость диссертации состоит в возможности применения модели для принятия управленческих решений при транспортировке грузов железнодорожным транспортом, а так же возможности использования результатов построения и работы модели в учебном процессе.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Результат сравнительного анализа теоретических подходов в области имитационного моделирования логистических процессов, позволивший выявить наиболее полный набор ключевых факторов, касающихся транспортировки товаров.
2. Имитационная модель задачи формирования железнодорожных составов в транспортной логистике.
3. Результаты апробации модели, проиллюстрированные на графиках, построенных на данных, полученных в среде AnyLogic, позволившей наблюдать решение модели.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Результаты исследования представлены на научной конференции «Актуальные научные исследования в современном мире». Украина, 2016 г., а также в научном журнале «Современные научные исследования и инновации». Москва, 2016 г.

Публикации

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в двух опубликованных работах общим объемом 9,0 п.л. (авторский объем 9,0 п.л.).

Структура и объем работы.

Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трёх глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений.

В первой главе проведен обзор логистики и логистических процессов, в частности логистики грузовых железнодорожных перевозок, рассмотрены задачи логистики грузовых железнодорожных перевозок.

Во второй главе проведен анализ грузовых перевозок Белорусской железной дорогой, построена функциональная модель перевозки грузов железнодорожным составом, приведена формулировка задачи маршрутизации и формирования грузового состава.

В третьей главе описана разработка имитационной модели процесса перевозки груза железнодорожным составом от грузоотправителя к грузополучателю и описаны результаты тестирования данной разработки.

В приложении представлены публикации автора.

Общий объем диссертационной работы составляет 74 страницы. Из них 40 страниц основного текста, 24 иллюстраций на 18 страницах, 4 таблицы на 3 страницах, библиографический список из 55 наименований на 4 страницах, список собственных публикаций соискателя из 2 наименований на 1 странице, 2 приложения на 20 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** показана важность применения IT-разработок в сфере транспортной логистики, дается краткая характеристика применения имитационного моделирования, рассмотрено область его применения, определяется средство для моделирования, выделяется актуальность темы исследований..

В **общей характеристике работы** показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований, а также результаты работы.

В первой главе были введены понятия логистики и логистических процессов, транспортной логистики, логистики грузовых железнодорожных перевозок в частности. Также приведено описание имитационного моделирования, его методы.

Рассмотрены задачи грузовых железнодорожных перевозок:

- выбор типа подвижного состава грузового железнодорожного транспорта;
- создание оптимальных (рациональных) маршрутов доставки грузов;
- минимизация транспортных затрат на грузовые перевозки;

– планирование транспортных процессов на железнодорожном грузовом транспорте.

Приведено описание имитационного моделирования, его методы. Основным преимуществом имитационного моделирования по сравнению с аналитическим является возможность решения более сложных задач. Имитационные модели позволяют достаточно просто учитывать такие факторы, как наличие дискретных и непрерывных элементов, нелинейные характеристики элементов системы, многочисленные случайные воздействия и другие, которые часто создают трудности при аналитических исследованиях.

В настоящее время имитационное моделирование является наиболее эффективным методом исследования систем и получения информации о поведении системы, особенно на этапе ее проектирования.

Имитационное моделирование условно может быть представлено различными разновидностями или направлениями, соответствующими имеющими свои методологии, как показано на рисунке 1.

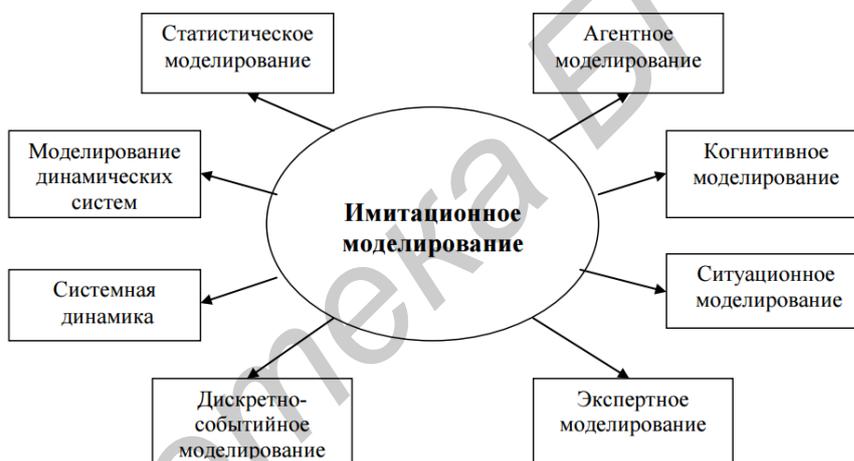


Рисунок 1 – Разновидности имитационного моделирования

Во второй главе проводится анализ данных о грузовых перевозках железнодорожными составами по белорусской железной дороге. Сравниваются показатели грузооборота, количества перевезенных грузов, а также какие виды грузов чаще всего грузились на станциях. Ключевыми для железнодорожного комплекса Беларуси являются экспортные и транзитные перевозки грузов. Основными транзитными грузами являются: строительные грузы, нефтегрузы, а также химические и минеральные удобрения, черные металлы, химикаты и др. Наибольшие объемы транзитных перевозок осуществляются в сообщении с Россией, Латвией, Литвой, Польшей и Украиной.

Перед созданием имитационной модели была построена функциональная модель. Функциональная модель – описание системы с помощью *IDEF0*. Данная модель предназначена для описания существующих бизнес-процессов, в которой используются как естественный, так и графический языки.

Представлена формулировка задачи формирования грузовых составов, а также целевая функция минимизации суммарного запаздывания.

В третьей главе дается определение моделирования — исследование объектов на их моделях; построение и изучение моделей реально существующих объектов, процессов или явлений с целью получения объяснений этих явлений, а также для предсказания явлений, интересующих исследователя. Выделены основные подходы моделирования:

- информационное (концептуальное) моделирование – процесс описания информации об объекте, с помощью формализованных, неформализованных языков, образно-иллюстративных материалов и фиксированные в реальном материале эти представления и факты;

- эстетическое моделирование – процесс описания информации и объектов и явлений через ощущения и восприятия человека посредством живописи, декоративно-прикладного искусства и музыки;

- физическое моделирование – процесс разработки, конструирования натуральных, физических, аналоговых или масштабных моделей объектов и исследование свойств и картины поведения объекта и реальных явлений на этих моделях;

- математическое (аналитическое и имитационное) моделирование;

- компьютерное моделирование.

Особое внимание уделено имитационному моделированию. Имитационное моделирование (ситуационное моделирование) — это метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему, с которой проводятся эксперименты с целью получения информации об этой системе. Экспериментирование с моделью называют имитацией (имитация — это постижение сути явления, не прибегая к экспериментам на реальном объекте).

Рассматривая имитационное моделирование можно выделить три основных подхода:

- системная динамика;

- дискретно-событийное моделирование (процессно-ориентированное);

- агентное моделирование.

Были рассмотрены основные принципы построения и применения имитационных моделей.

В главе было описано программное обеспечение для имитационного моделирования *AnyLogic*.

Преимущества *AnyLogic*:

- Графическая среда разработки моделей *AnyLogic* значительно ускоряет процесс создания моделей.

- Создание библиотек позволяет разработчику многократно использовать уже написанные модули.

- Объектно-ориентированный подход поднимает процесс разработки моделей на новый уровень.

- Интуитивный графический интерфейс упрощает переход с других инструментов имитационного моделирования на *AnyLogic*.

Была построена имитационная модель движения грузовых составов между станциями «Минск-Сортировочный» и «Орша-Центральная». При ее разработке использовались все три подхода имитационного моделирования.

Для моделирования пополнения складов товарами использовался метод системной динамики.

Процесс обработки заказов представлен с помощью дискретно-событийного моделирования.

Для моделирования поведения состава используется процессный подход.

Каждый объект модели представляет из себя агента и влияет на общий результат моделирования.

На рисунке 2 представлена анимация выполнения построенной имитационной модели.

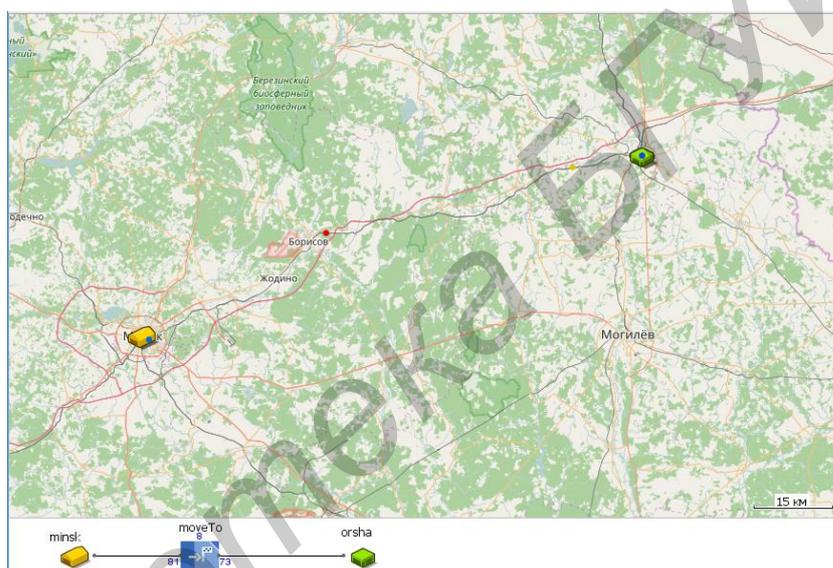


Рисунок 2 – Анимация выполнение имитационной модели

Таким образом, среда *AnyLogic* позволяет наглядно демонстрировать результаты работы модели с высоким уровнем визуализации и собирать статистическую информацию для последующего анализа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Рассмотрены основные модели и методы решения задач транспортной логистики.
2. Проведен анализ метода разработки и применения имитационного моделирования для решения задачи формирования железнодорожного состава.
3. Разработана имитационная модель работы железнодорожных станций и перевозки грузов железнодорожными составами между ними на основе многоподходного инструмента моделирования AnyLogic. Проведена оптимизация работы сортировочной станции на реальных данных при помощи пакета оптимизации.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные результаты могут быть приняты во внимание компаниями-грузоотправителями для сравнительного анализа экспериментальных данных о выгодности грузовых железнодорожных перевозок по сравнению с другими видами перевозок, а так же внедрены в учебный процесс на кафедре экономической информатики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебный курс «Логистические сети и системы».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в сборниках научных трудов

1. Дроздовский, А.С. / Решение задачи коммивояжера методом ветвей и границ при помощи имитационного моделирования/ А.С. Дроздовский, В.И. Дроздовская, А.Э. Алехина //международная XVIII научно-практическая конференция «Актуальные научные исследования в современном мире», Украина, 28-29 октября 2016 г. – С. 81-84.
2. Дроздовский, А.С. / Решение задачи коммивояжера с помощью имитационного моделирования / А.С. Дроздовский, В.И. Дроздовская, А.Э. Алехина // Современные научные исследования и инновации. – 2016. – № 10. – С.53-56

РЭЗІЮМЭ
Драздоўскі Арцём Сяргеевіч
Праектаванне чыгуначных перавозак
на аснове імітацыйнага мадэлявання

Ключавыя словы: імітацыйнае мадэляванне, лагістычныя працэсы, метады імітацыйнага мадэлявання, задачы грузавых і чыгуначных перавозак, AnyLogic.

Мэта працы: павышэнне надзейнасці і дакладнасці прыняцця кіраўніцкіх рашэнняў у транспартнай лагістыцы на аснове пабудовы імітацыйнай мадэлі для вырашэння задачы фарміравання і маршрутызацыі чыгуначным складаў для перавозкі грузаў.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: выкананы аналіз існуючых метадаў імітацыйнага мадэлявання. Распрацавана імітацыйная мадэль фарміравання грузавых складаў, дазваляе змадэляваць паводзіны працэсу ў розных умовах; эксперыментальна імітацыйная мадэль была аптымізавана: праведзены эксперымент па зніжэнні часу прастою вагонаў на сартавальных станцыях.

Ступень выкарыстання: вынікі могуць быць прыняты пад увагу кампаніямі-грузаадправіцеляў для правядзення параўнальнага аналізу эксперыментальных дадзеных пра выгаднасць грузавых чыгуначных перавозак у параўнанні з іншымі відамі перавозак, а таксама могуць быць укаранены ў навучальны працэс на кафедры эканамічнай інфарматыкі ўстанова адукацыі «Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі» у навучальны курс «Лагістычныя сеткі і сістэмы».

Вобласць ужывання: лагістыка грузавых чыгуначных перавозак.

РЕЗЮМЕ

Дроздовский Артём Сергеевич Проектирование железнодорожных перевозок на основе имитационного моделирования

Ключевые слова: имитационное моделирование, логистические процессы, методы имитационного моделирования, задачи грузовых железнодорожных перевозок, AnyLogic.

Цель работы: повышение надежности и точности принятия управленческих решений в транспортной логистике на основе построения имитационной модели для решения задачи формирования и маршрутизации железнодорожным составов для перевозки грузов.

Полученные результаты и их новизна: выполнен анализ существующих методов имитационного моделирования. Разработана имитационная модель формирования грузовых составов, позволяющая смоделировать поведение процесса в различных условиях; экспериментально имитационная модель была оптимизирована: проведен эксперимент по снижению времени простоя вагонов на сортировочных станциях.

Степень использования: результаты могут быть приняты во внимание компаниями-грузоотправителями для проведения сравнительного анализа экспериментальных данных о выгодности грузовых железнодорожных перевозок по сравнению с другими видами перевозок, а также могут быть внедрены в учебный процесс на кафедре экономической информатики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебный курс «Логистические сети и системы».

Область применения: логистика грузовых железнодорожных перевозок.

SUMMARY

Drozdovsky Artem Sergeevich Designing of railway transportations On the basis of simulation modeling

Keywords: Simulation modeling, logistic processes, methods of simulation, the tasks of freight rail transportation, AnyLogic.

The object of study: Increase of reliability and accuracy of making managerial decisions in transport logistics on the basis of building a simulation model for solving the problem of the formation and routing of railway trains for the transport of goods.

The results and novelty: The analysis of existing methods of simulation is performed. An imitation model for the formation of freight trains has been developed, which makes it possible to simulate the behavior of the process under various conditions; Experimentally the simulation model was optimized: an experiment was conducted to reduce the idle time of the wagons at the sorting stations.

Degree of use: The results can be taken into account by shipper companies for a comparative analysis of experimental data on the profitability of freight rail transport in comparison with other modes of transportation, and can also be introduced into the educational process at the Department of Economic Informatics of the educational institution "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics" in Training course "Logistic networks and systems".

Sphere of application: Freight rail logistics.