

## Разработка модели цифрового двойника транспортного объекта на основе процессного подхода

*Е.В. Митрюхина, Е.Ю. Нарусова*

*Российский университет транспорта, г. Москва*

**Аннотация:** В статье рассматривается проблема обеспечения качества грузовых перевозок с использованием информационных технологий. В качестве основного метода улучшения эффективности и надежности управления грузоперевозкой предлагается использование цифрового двойника транспортных объектов – участников транспортно-логистических процессов. Цель исследования – разработка рекомендаций по созданию цифровых моделей на транспорте. Гипотезой является предположение о результативности применения процессного подхода при разработке моделей цифровых двойников для улучшения их адекватности и эффективности по управлению грузоперевозками. Рассмотрена задача контроля перевозки грузов в рефрижераторном контейнере с управляемым климатическим режимом на основе цифрового моделирования. Выработаны предложения по разработке цифровых моделей для информационного сопровождения транспортно-логистических процессов на основе процессного подхода.

**Ключевые слова:** Бизнес-процесс, цифровое моделирование, процессный подход, математическая модель, интеллектуальная 3D-модель, управляемый климатический режим, рефрижераторный контейнер, транспортная логистика.

### Введение

Современные транспортные системы и оборудование, подвижной состав и объекты транспортной инфраструктуры становятся все более и более сложными с точки зрения функциональных возможностей, конструкции, технологиям и управления. Возрастает необходимость сбора, передачи и анализа значительного объема информации о перевозочном процессе. При этом требования к надежности, безопасности, эффективности и оптимальности транспортных процессов со стороны заказчиков и потребителей также повышается.

Естественным решением таких задач становится повышение уровня автоматизации и внедрение интеллектуальных информационных технологий в обеспечении взаимосвязей, информационного обмена, оптимизации управления функционированием элементов в транспортных системах [1, 2]. Применение информационных технологий позволяет увеличить объем

контролируемых технических и логистических параметров, с высокой скоростью решать задачи оптимизации, задачи онлайн управления и контроля [3-5]. По существу, любые сложные процессы и системы в технике и производстве приводят к необходимости создавать их как киберфизические системы, обладающие элементами искусственного интеллекта [6, 7].

Актуальность исследования обуславливается необходимостью повышать функциональность, качество, управляемость и оптимальность транспортно-логистических процессов для наилучшего удовлетворения требований и предпочтений потребителя транспортных услуг.

Основной задачей исследования является анализ возможностей использования цифровых двойников на транспорте и разработка предложений по их созданию с учетом исследования процессов оказания услуги грузоперевозки.

### **Методы и объекты исследования**

При решении задач улучшения качества транспортных процессов находят применение и широко используются такие информационные технологии, как: 3D-моделирование, блокчейн, нейросетевое программирование, цифровые двойники и ряд других современных информационных подходов, методов и инструментов [8]. Как правило, в применении информационных технологиях для обслуживания технических объектов осуществляется преемственность накопления, анализа и передачи данных на протяжении всего жизненного цикла (ЖЦ) технической системы, что позволяет создать единую информационную среду, оптимизирующую процессы и стоимость ЖЦ [9].

Для информационного обеспечения транспортно-логистических задач, помимо алгоритмов оптимизации маршрутов движения, перевалки и складирования, наиболее важным становится осуществление онлайн-мониторинга, контроля и управления параметрами транспортировки, что

---

может быть наиболее полно приближено виртуально к наблюдаемым физическим процессам и условиям перевозки с помощью цифрового моделирования и построения цифровых двойников всех взаимосвязанных объектов транспортных процессов [10, 11].

При создании модели применяются принципы и методы системного анализа, процессного подхода, управления качеством и другие системные методы и инструменты, позволяющие построить цифровую модель наиболее полно, корректно и адекватно.

### **Результаты и обсуждения**

При разработке цифровой модели исследуемого транспортного объекта необходимо учесть наиболее существенные детали, характеристики и свойства, отражающие функционирование объекта (подвижного состава и элементов транспортной инфраструктуры) в реальных условиях эксплуатации при перевозке грузов [12].

Этапы планирования, разработки и эксплуатации объекта, для улучшения адекватности модели, рассматривается с построением и анализом бизнес-процессов.

Рассмотрим формирование бизнес-процессов на примере задачи мониторинга состояний перевозки железнодорожным транспортом контейнеров-рефрижераторов с управляемым климатическим режимом. Кроме цифрового контроля и управления состоянием контейнера, также проводится анализ и управление логистическими процессами транспортировки продукции от момента загрузки продукции до момента ее выгрузки [13]. Цифровизация железнодорожной перевозки рефрижераторного контейнера включает информатизацию и автоматизацию процессов перевозки, обслуживания, учета и других процессов транспортной логистики при контейнерной перевозке [14].

Общая постановка задачи цифровизации контейнерной перевозки состоит из следующих фактов:

- В собственности транспортно-логистической компании имеется парк эксплуатируемых контейнеров-рефрижераторов.
- Компания осуществляет для заказчика перевозку грузов, требующих выполнения специализированных климатических условий перевозки.
- Компания в соответствии с договором оказания транспортных услуг несет ответственность перед заказчиком за выполнение требований к перевозке.
- Компания стремится оптимизировать логистику перевозки, снизить издержки перевозки, повысить качество оказания услуги перевозки, что создает основу для усиления конкурентных преимуществ компании на рынке транспортных услуг.

Анализ исследуемого процесса начинается с построения модели бизнес-процесса, который может быть, как глобальным, так и локальным [15]. Различают разные типы диаграмм (нотаций), применение которых необходимо для отображения определенной поставленной задачи (UML, IDEF, DFD, BPMN, EPC).

Наиболее популярной и функциональной является диаграмма BPMN, которая позволяет отразить механизмы, задействованные в бизнес-процессе [16]. Различают несколько видов диаграмм BPMN: «Процесс» (ProcessDiagram), «Взаимодействие» (CollaborationDiagram), «Хореография» (ChoreographyDiagram), «Диалог» (ConversationDiagram).

Создание цифрового двойника технического объекта занимает длительный период времени и требует участия широкого круга специалистов. Один из первых этапов – разработка виртуальной модели, которая повторяет физический объект в том контексте, который необходим для отображения определенной поставленной цели моделирования. Второй

---

этап является, в основном, сбором данных для формирования базы знаний. Третий этап – это тестирование продукта и его доработка, в случае выявленной необходимости при тестировании программного продукта. Четвертый этап включает доработку и стадию завершения разработки, выполняемые в согласовании с заказчиком. При этом готовность продукта определяется уже в процессе внедрения и опытной эксплуатации.

Рассмотрим указанные процессы более подробно в нотации BPMN. На рис. 1 показан процесс создания 3D-модели после подписания договора на разработку цифрового двойника физического объекта, требующий обязательного участия специалистов-разработчиков и представителя заказчика.

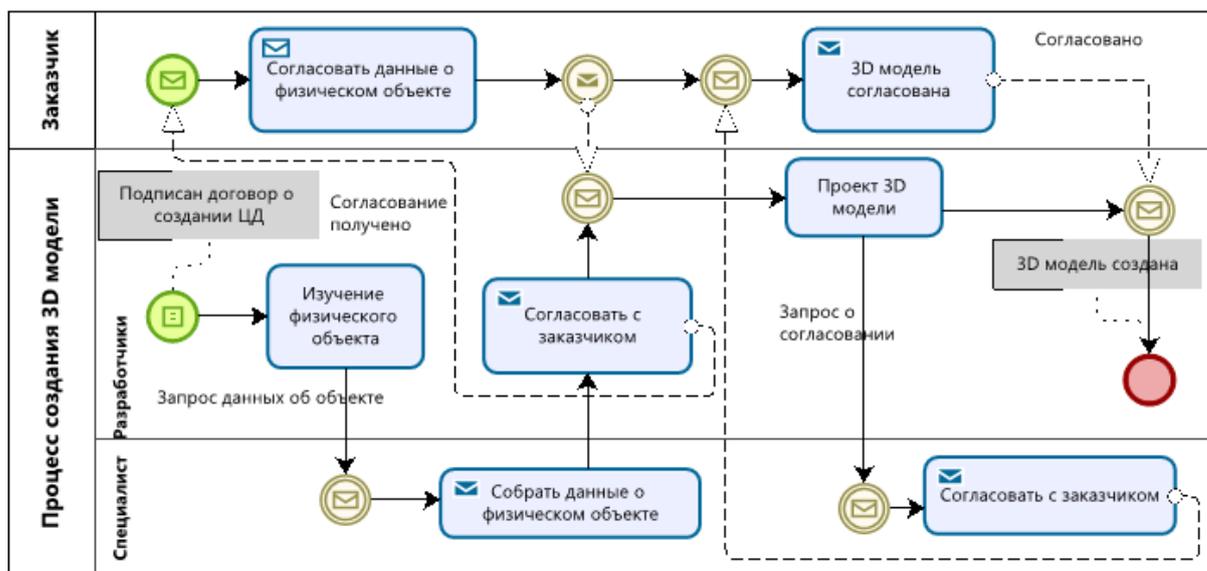


Рис. 1. – Процесс создания 3D-модели физического объекта

Работа команды разработчиков по созданию 3D-модели основывается на совместной работе специалистов, которые занимаются сбором данных о физическом объекте. Собранные данные согласовываются с заказчиком, затем, после получения одобрения, разрабатывается проект 3D-модели физического объекта. В случае, если документация согласована, создается модель, которая является неотъемлемой частью цифрового двойника.

Создание 3D-модели сопровождается переносом ее на платформу, которая будет обеспечивать ее виртуальное перемещение с сопровождающими объектами, а также создание базы знаний для системы машинного обучения цифрового двойника. В случае рассмотрения контейнера рефрижератора, производится сбор и анализ данных от датчиков, установленных на холодильной установке и в помещении контейнера. Также необходим сбор данных с внешних источников, например, данных с запирающего устройства, данных о температуре окружающей среды. Полученная цифровая информация собирается в базу данных, впоследствии проходит обработку на основе специализированных алгоритмов и синхронизируется с базой знаний. С помощью базы знаний цифровой двойник анализирует поток информации и прогнозирует возможные ситуации, а также формирует управляющие решения для транспортно-логистических процессов [17].

3D-моделирование широко используется во многих областях IT-сферы, что привело к возникновению понятия интеллектуальная 3D-модель. Рассмотрим интеллектуальное моделирование более подробно. Предлагается представить 3D-объект в виде объединения компонентов ( $D$ ) (евклидово пространство в декартовой системе координат  $\{x, y, z\}$ ), состоящих из формы объекта ( $F$ ), определяющей точки (центра масс) в трехмерном пространстве ( $Z$ ), пограничных линий, моделируемого объекта ( $B$ ), элементарного оператора ( $O$ ), и множества состояний ( $S$ ) (формула (1)) [18].

$$D = \langle F, Z, B, O, S \rangle \quad (1)$$

Основным объектом будет являться сама модель, в то время как ее поведение в окружающей среде можно представить, как интеллектуальное, то есть обладающее определенными возможностями автоматизированного анализа и принятия управленческих решений [19].

---

Форму объекта определим, как  $F = \langle x_1, \dots, x_n \rangle$ , с евклидовой метрикой. Точка  $Z$  является определяющей точкой объекта моделирования или центром масс  $Z = \langle M, \Delta S \rangle$ , где  $\Delta S$  – это изменение состояния  $S$ , а  $M$  – матрица аффинного преобразования.

Пограничные линии  $B$  задаются множеством отрезков  $B = \langle v_i, \dots, v_m \rangle$ , где  $i=1, \dots, m$ . Также для расчета границ объектов моделирования, можно использовать формулу Эйлера для многогранников, булевы операции и другие математические методы.

Элементарный оператор  $O$  задает действия, связанные, например, с преобразованием объекта до необходимого состояния. В частности, простейшей формой преобразования является масштабирование модели.

Оператор  $O$  позволяет реализовывать изменения геометрической формы объекта в случае его модернизации, реконструкции или любых других изменений объекта в течение его жизненного цикла.

Введем понятие среды существования  $E$ , где для объекта моделирования среда существования определяется в зависимости от его месторасположения.

Время существования объекта  $t$ , единицей измерения установим тактовую частоту. Таким образом, среда существования объекта есть функция взаимодействующих с ним (и внешних по отношению к нему) объектов  $W$ , месторасположение самого объекта, привязанного к его центру масс  $Z$  и времени его существования (от начала функционирования)  $t$  (формула (2)).

$$E(t) = f(W, Z, t) \quad (2)$$

Под жизненным циклом объекта в данном случае понимается множество изменений формы, элементов, функций, характеристик и действий объекта от начала его эксплуатации до момента вывода его из

---

эксплуатации. В широком смысле полный жизненный цикл включает, также, предпроектную стадию, проектирование, эксплуатацию, реконструкцию, утилизацию. Модель, учитывающая все стадии ЖЦ транспортного объекта намного более содержательна и эффективна для прикладного использования, но также значительно более сложна для разработки и реального воплощения в программном продукте.

В ходе эксплуатации объекта осуществляется достижение поставленных задач и жизненный цикл завершается достижением поставленной цели, то есть места, действия, состояния объекта, когда его эксплуатация завершена по экономическим или техническим причинам. Таким образом, жизненный цикл представлен кортежем (формула (3)), где  $T$  – достигаемая цель:

$$L = \langle T, \langle o_1, o_2 \dots o_l \rangle \rangle \quad (3)$$

Комплекс действий определяется функцией от среды существования модели найдем по формуле (4):

$$\langle o_1, o_2 \dots o_l \rangle = f(E) \quad (4)$$

Интеллектуальный 3D-объект определяется способностью управлять своим жизненным циклом, то есть выстраивать последовательность своих операторов таким образом, чтобы достигать поставленной пользователем цели наиболее эффективным способом. Таким образом, по формуле 5, интеллектуальное поведение  $I$  определяется, как функция объекта, его среды существования и достигаемой им цели:

$$I(t) = f(D(t), E(t), T) \quad (5)$$

Интеллектуальное поведение созданной модели управляется пользователем, но может быть сгенерировано искусственным интеллектом. При возникновении изменений в процессе жизненного цикла, интеллектуальное поведение изменяется для реализации заданной цели.

---

Опишем применение описанной модели для ЖЦ рефрижераторного вагона.

Элементы 3D-модели  $F$ ,  $Z$ ,  $B$  определяют: геометрическую форму контейнера, его границы ( $B$ ), сложные элементы поверхности (рифление), расположение и форму оборудования контейнера (холодильная установка, устройства вентиляции, питающее электрооборудование), системы электропроводки, системы датчиков и оборудования мониторинга, запорные системы дверей ( $F$ ,  $B$ ); задается точка (центр тяжести или характерная точка), определяющая местоположения контейнера в целом при его движении по маршруту и объектами инфраструктуры ( $Z$ ).

Оператор  $O$  и изменяемое состояние  $S$  определяют, как изменения формы (это может быть модернизация контейнера, изменения после ремонта, изменение рефрижераторного оборудования и изменение конфигурации систем мониторинга), так и движение контейнера в пространстве при движении в процессе транспортировки. Отметим, что пространственное положение контейнера, определяемое с помощью GPS/ГЛОНАСС, формирование и онлайн контроль его трека является важной функцией цифрового двойника.

Функционал среды существования  $E$  во времени  $t$ , включая местоположение контейнера  $Z$ , движение его по маршруту и операции, производимые с ним во взаимодействии с другими транспортными объектами  $W$  (подвижным составом, погрузочной техникой, объектами транспортной инфраструктуры), которые осуществляются при автомобильной доставке контейнера, при проведении операций погрузки контейнера на железнодорожную платформу и его закрепления, при движении контейнера по железной дороге, при выгрузке контейнера в порту и погрузке на судно-контейнеровоз.

Достижимой целью  $T$  является эффективная эксплуатация контейнера-рефрижератора от момента его приобретения компанией до момента списания и утилизации. Контейнер должен выполнять свое функциональное предназначение, все агрегаты и оборудование должно работать без сбоев и нарушений заданных режимов (при необходимом ресурсном обеспечении, должном техническом обслуживании, ремонте и модернизации). При этом, как правило, используется подход RAMS/LCC, состоящий в обеспечении надежности и качества в условиях управления стоимостью жизненного цикла объекта. В более узком смысле понимания цели на локальном отрезке времени – для одной перевозки конкретизацией достигаемой цели  $T$  является качественное оказание услуги перевозки грузов с регулируемым климатическим режимом контейнером-рефрижератором согласно договору, заключенному с заказчиком.

Интеллектуальное поведение  $I$  в рассматриваемом примере представляет собой интеллектуальную информационную систему, включающую набор информационных инструментов транспортно-логистической оптимизации процессов, текущего онлайн контроля состояния контейнера и его местоположения на основе систем мониторинга, принятие автоматизированных управляющих рекомендаций (решений) в типовых случаях отказов оборудования или несоответствий транспортировки (логистических и технических).

Далее рассмотрим процесс мониторинга состояния и режимов управления климатом контейнера, представленном на рис. 2.

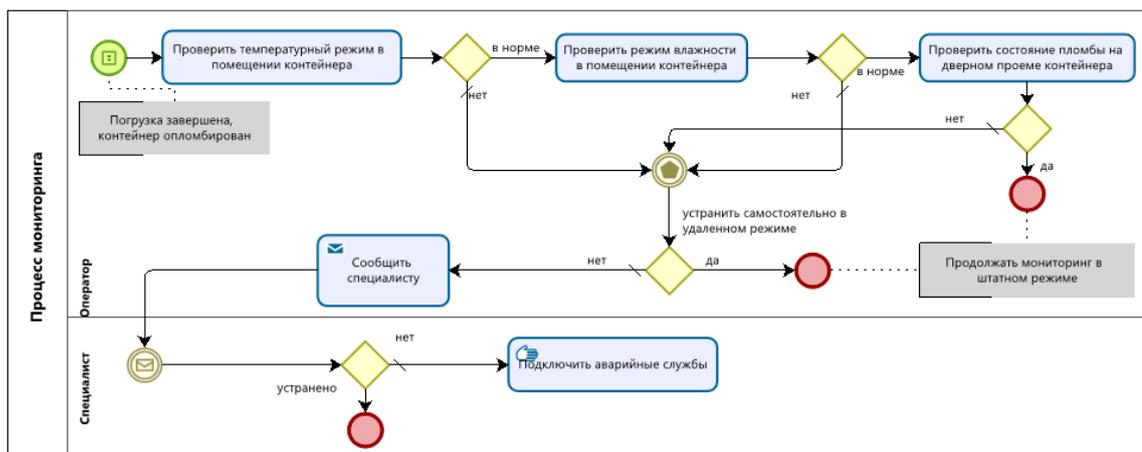


Рис. 2. – Процесс мониторинга при перевозке с управляемым климатическим режимом

Процесс мониторинга начинается с момента опломбирования контейнера. Погрузка контейнера на железнодорожную платформу осуществляется после его опломбирования и подключения к процессу мониторинга. Главными задачами мониторинга перевозки продукции являются контроль и корректировка управления климатическим режимом с учетом текущих внутренних и внешних факторов соответственно с требованиями заказчика и нормативной регламентирующей документации по перевозке. Таким образом, подлежат мониторингу температурно-влажностный режим внутри контейнера, требования к вентиляции, среде, а также состоянию закрытия дверей, что свидетельствует о безопасной перевозке продукции.

Рассмотрим процесс доставки груза заказчику. Модель бизнес-процесса доставки груза представлена на рис. 3.

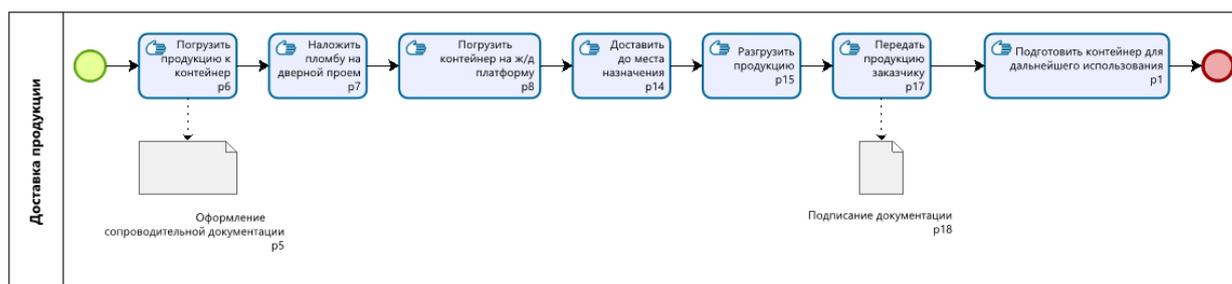


Рис. 3. – Модель процесса доставки груза заказчику

После подписания договора об оказании услуги перевозки, заполнения необходимой документации, процесс доставки груза начинается с погрузки продукции в помещение контейнера и заканчивается подготовкой помещения к следующему заказу. Все работы происходят в ручном режиме, как показано на диаграмме, и на этом этапе полностью задействованы процессы, осуществляемые работниками предприятия, производящего перевозку. Все процессы синхронизируются с автоматизированной системой.

В процессе доставки груза возможно возникновение технических неисправностей и отказов, что также диагностируется в текущем режиме и может корректироваться с помощью переходов на резервные эксплуатационные режимы. Зарегистрированные данные об отказах оборудования и о соответствующем проведении его технического обслуживания и ремонта также являются важной информационной составляющей модели цифрового двойника контейнера, сохраняются и анализируются для разработки регламентов технического обслуживания и эксплуатации.

Отметим, что кроме рисков некорректного функционирования самого рефрижераторного контейнера возможны технические несоответствия и отказы, связанные с надежностью подвижного состава [20]. Поскольку для железнодорожного подвижного состава также разрабатываются системы автоматизированного мониторинга и модели цифровых двойников, становится возможным устанавливать онлайн-обмен информации об их текущем состоянии, и кроме того, интегрировать эти цифровые двойники в состав общей перевозочной цифровой модели. При перспективном проектировании интеллектуальной информационной системы транспортно-логистической компании необходимо концептуально учесть возможность ее взаимосвязи и интеграции с другими транспортными информационными

---

системами для оптимизации решения общих транспортных процессов и задач.

### **Заключение**

Технология цифровых двойников транспортных объектов для повышения технической надежности и производственной эффективности, для оптимизации управления ресурсами и управления техническим обслуживанием в настоящее время находит широкое применение, разрабатывается и внедряется в транспортных предприятиях отрасли железнодорожного транспорта (например, разработки ЦД путевой машинной станции в Центральной дирекции по ремонту пути ОАО «РЖД», а также разработки ЦД пассажирского вагона АО «ФПК») [21, 22].

В результате проведенного исследования и на основе опыта создания цифровых двойников (ЦД) на предприятиях железнодорожного транспорта, предложим следующие рекомендации для разработки цифровых двойников объектов транспортно-логистических процессов:

1. Построить математическую модель, включающую:

– Необходимые компоненты и детализацию 3D-модели, существенные для получения информационного потока и управления транспортным объектом.

– Необходимые объекты взаимодействующей окружающей среды и описания функций связи.

– Операторы трансформирования и движения объекта в реальном времени, с учетом анализа процессов эксплуатации, процессов технического обслуживания, процессов транспортировки, процессов перевалки и хранения. Данные цифрового двойника, отображающего физический объект подвергаются процессно-логистическому анализу, оптимизируются в онлайн-режиме и могут транслироваться потребителю для подтверждения

качества процесса оказания транспортной услуги, получения обратной связи и контроля со стороны потребителя.

– Цель моделирования, определяющую требования потребителя к качеству услуги перевозки, закреплённую документально и сфокусированную на наилучшем удовлетворении этих требований, выявленных в результате анализа обратной связи с потребителем.

– Формирование концепции, архитектуры интеллектуальной информационной оболочки, наборов решаемых оптимизационных задач и управленческих решений, методов и алгоритмов из реализации, структуры и состава программного обеспечения.

2. Проведение анализа специальных процессов (например, контроля и управления климатическими режимами рефрижераторной контейнерной перевозки) для формирования требуемых оптимизационных решений и решений по управлению в штатных и нештатных режимах. Выявление необходимой структуры потоков информации, и обеспечение их инициализации, на основе чего формируется аппаратно-программный комплекс датчиков контроля и системы мониторинга.

3. Автоматизированный в рамках цифровой модели анализ основных транспортных процессов, анализ статистики данных об инцидентах и несоответствиях, для выявления слабых мест процессов и принятия решений, направленных на улучшение качества оказываемой транспортной услуги.

4. Тестирование цифровой модели для ее улучшения в процессе проектирования по спиральной модели разработки программного продукта, его обслуживания и развития в рамках концепции жизненного цикла интеллектуального информационного продукта, сопровождающего и информационно обеспечивающего жизненный цикл физического транспортного объекта.

Эффективно спланированные модели ведения бизнеса и созданные на их основе цифровые модели позволяют транспортному предприятию достигать поставленных целей в области качества предоставляемых транспортных услуг, усовершенствовать предлагаемый продукт, обеспечивая компании конкурентные преимущества и расширять занимаемую нишу на рынке транспортных услуг.

### Литература

1. Macheret P.D., Savchuk R.R., Shkuratov G.I. Intelligent Transport Systems: Analysis of the Current State and Prospects of Development // Proceedings of the 2021 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", T and QM and IS 2021, Yaroslavl, 2021. – pp. 234-237.

2. Кравчук И.С., Рогов А.А. Нелинейное моделирование стохастических процессов транспортных систем // Качество. Инновации. Образование. – 2016. – № 8-10(135-137). – С. 125-128.

3. Kluchko O.V., Savchuk R.R. Implementation of a Hardware and Software Complex for Monitoring Industrial Equipment (Using the Example of AIS Dispatcher) // Proceedings of the 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2022, St. Petersburg, 2022. – pp. 1671-1674.

4. Макаревич А.Д., Рогов А.А. Совершенствование качества информационного обеспечения инфраструктуры железнодорожного транспорта на примере Московско-рязанской дистанции пути // Транспорт: проблемы, цели, перспективы (Transport 2021): Материалы II Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Пермь/ Под редакцией Е.В. Чабановой. – Пермь: Пермский филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего

образования «Волжский государственный университет водного транспорта», 2021. – С. 70-75.

5. Ключко О.В., Савчук Р.Р. Мониторинг технологических параметров // Аспирантские чтения: Материалы ежегодной научно-практической конференции молодых ученых ИПСС РУТ (МИИТ). – Москва: Издательско-торговая корпорация "Дашков и К", 2024. – С. 44-48.

6. Shkolnik I.S., Isaeva A.A., Kublitskii A.O., Rogov A.A., Fedotov D.V. Development of an Automated Remote Control System and Ensuring the Reliability of Vertical Passenger Transport Vehicles // Proceedings of the 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2022, St. Petersburg, 2022. – pp. 1743-1748.

7. Евсеев Д.Г., Шинкарук А.С., Куликов Ю.М. Цифровизация элементной базы пассажирского вагона на примере ремонта колесной пары // Мир транспорта. – 2023. – Т. 21, № 6(109). – С. 65-71.

8. Guskova M.F., Shutina A.O., Trofimov D.A. Modeling the digital twins of transport infrastructure objects // Proceedings of the 2020 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", IT and QM and IS 2020, Yaroslavl, 2020. – pp. 368-371.

9. Titov A.A., Rogov A.A. System approach in mathematical support of modeling methods in quality management problems of complex systems and processes // Proceedings of the 2020 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", IT and QM and IS 2020, Yaroslavl, 2020. – pp. 303-305.

10. Guskova M.F., Nemtsov Y.V., Telyatnikova N.A., Myasnikova S.V. Assessment of the Quality of Radio Coverage by a Mobile Radiotelephone Network of a Railway Section Using the Method of Fuzzy-set Theory Approach //

Proceedings of the 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2022, St. Petersburg, 2022. pp. 38-42.

11. Telyatnikova N.A., Guskova M. F., Pereselenkov G. S. Analysis of the transport system development & prospects of transport construction in Russia // Proceedings of the 2017 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", IT and QM and IS 2017, St. Petersburg, 2017. – pp. 114-116.

12. Ханова А. А., Бондарева И. О., Нестерова Е. Т., Кинжалиева А. Р. Разработка стратегии цифровой трансформации предприятия // Инженерный вестник Дона, 2021, № 7. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7112](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7112).

13. Tagiltseva J.A., Kuzina E.L., Drozdov N.A., Vasilenko M.A., Kuzina M.A., Korenyakina N.N. The International Cargo Transportations in South Russian Transport and Logistics System // Proceedings of the 2021 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", T and QM and IS 2021, Yaroslavl, 2021. – pp. 248-251.

14. Мамаев Э. А., Гуда А. Н., Годованый К. А. Модель активности агентов в транспортно-логистических и технологических системах // Инженерный вестник Дона, 2021, № 12. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7345](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7345).

15. Titov A.A., Rogov A.A. Management Models Based on the Situational Approach in the Presence of Factors of Fuzziness and Uncertainty // Proceedings of the 2021 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", T and QM and IS 2021, Yaroslavl, 2021. – pp. 335-337.

16. Рогозов Ю. И., Скороход Д. С., Скороход С. В., Кучеров С. А. Анализ возможности применения механизмов как промежуточной нотации

при переходе к BPMN // Инженерный вестник Дона, 2023, № 10. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8755](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8755).

17. Titov A.A. Rogov A.A., An algebra-logical approach to modeling of complex systems control problems // Proceedings of the 2020 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", IT and QM and IS 2020, Yaroslavl, 2020. – pp. 299-302.

18. Круглов М. А., Холкин А. В. Метод построения трехмерной графики на основе полей расстояний // Инженерный вестник Дона, 2024, № 7. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2024/9384](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2024/9384).

19. Пекарь С.А., Смелов В.В. Математическая модель интеллектуального поведения 3D-объекта // Управление информационными ресурсами: Материалы XIV Международной научно-практической конференции, Минск: Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 2017. – С. 253-257.

20. Drozdov N.A., Kuzina E.L., Prokopchuk V.Y., Vasilenko M.A., Tagiltseva J.A., Kuzina M.A. The Risk Management in the Urbanized Territories Transport Infrastructure // Proceedings of the 2021 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", T and QM and IS 2021, – Yaroslavl, 2021. – pp. 152-155.

21. Шамраев В.В., Шамраева Т.А., Сидраков А.А. Разработка и внедрение модели «Цифровая путевая машинная станция» как механизм обеспечения автоматизированного управления на объектах железнодорожной инфраструктуры // Аспирантские чтения: Сборник научных статей аспирантов ИПСС РУТ (МИИТ). Том Выпуск 5. – Москва: Издательство «Перо», 2023. – С. 193-197.

22. Шинкарук А.С., Куликов М.Ю., Барышников А.В. Совершенствование производственных и управленческих процессов при

---

ремонте и техническом обслуживании пассажирских вагонов с использованием «цифровых двойников» // Транспортное машиностроение. – 2024. – № 12(36). – С. 70-77.

### References

1. Macheret P.D., Savchuk R.R., Shkuratov G.I. Intelligent Transport Systems: Analysis of the Current State and Prospects of Development. Proceedings of the 2021 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", T and QM and IS 2021, Yaroslavl, 2021. pp. 234-237.

2. Kravchuk I.S., Rogov A.A. Kachestvo. Innovatsii. Obrazovaniye. 2016. № 8-10(135-137). pp. 125-128.

3. Kluchko O.V., Savchuk R.R. Implementation of a Hardware and Software Complex for Monitoring Industrial Equipment (Using the Example of AIS Dispatcher). Proceedings of the 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2022, St. Petersburg, 2022. pp. 1671-1674.

4. Makarevich A.D., Rogov A.A. Sovershenstvovanie kachestva informacionnogo obespecheniya infrastruktury` zheleznodorozhnogo transporta na primere Moskovskogo-ryazanskoj distancii puti [Improving the quality of information support for railway transport infrastructure using the Moscow-Ryazan track section as an example]. Transport: problemy`, celi, perspektivy` (Transport 2021). Materialy` II Vserossijskoj nauchno-texnicheskoj konferencii s mezhdunarodny`m uchastiem. Perm`. Permskij filial Federal`nogo gosudarstvennogo byudzhethnogo obrazovatel`nogo uchrezhdeniya vy`sshego obrazovaniya «Volzhskij gosudarstvennyj universitet vodnogo transporta», 2021. pp. 70-75.

5. Klyuchko O.V., Savchuk R.R. Monitoring texnologicheskix parametrov [Monitoring of technological parameters]. Aspirantskie chteniya. Materialy`

ezhegodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii molody`x ucheny`x IPSS RUT (MIIT). Moskva. Izdatel`sko-torgovaya korporaciya "Dashkov i K", 2024. pp. 44-48.

6. Shkolnik I.S., Isaeva A.A., Kublitskii A.O., Rogov A.A., Fedotov D.V. Development of an Automated Remote Control System and Ensuring the Reliability of Vertical Passenger Transport Vehicles. Proceedings of the 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2022, St. Petersburg, 2022. pp. 1743-1748.

7. Evseev D.G., Shinkaruk A.S., Kulikov Yu.M. Mir transporta. 2023. T. 21, № 6(109). pp. 65-71.

8. Guskova M.F. , Shutina A.O., Trofimov D.A. Modeling the digital twins of transport infrastructure objects/ Proceedings of the 2020 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", IT and QM and IS 2020, Yaroslavl, 2020. pp. 368-371.

9. Titov A.A., Rogov A.A. System approach in mathematical support of modeling methods in quality management problems of complex systems and processes. Proceedings of the 2020 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", IT and QM and IS 2020, Yaroslavl, 2020. pp. 303-305.

10. Guskova M.F., Nemtsov Y.V., Telyatnikova N.A., Myasnikova S.V. Assessment of the Quality of Radio Coverage by a Mobile Radiotelephone Network of a Railway Section Using the Method of Fuzzy-set Theory Approach. Proceedings of the 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2022, St. Petersburg, 2022. pp. 38-42.

11. Telyatnikova N.A., Guskova M. F., Pereselenkov G. S. Analysis of the transport system development & prospects of transport construction in Russia. Proceedings of the 2017 International Conference "Quality Management,

---

Transport and Information Security, Information Technologies", IT and QM and IS 2017, St. Petersburg, 2017. pp. 114-116.

12. Xanova A. A., Bondareva I. O., Nesterova E. T., Kinzhalieva A. R. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, № 7. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7112](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7112).

13. Tagiltseva J.A., Kuzina E.L., Drozdov N.A., Vasilenko M.A., Kuzina M.A., Korenyakina N.N. The International Cargo Transportations in South Russian Transport and Logistics System. Proceedings of the 2021 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", T and QM and IS 2021, Yaroslavl, 2021. pp. 248-251.

14. Mamaev E. A., Guda A. N., Godovanyj K. A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021, № 12. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7345](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7345).

15. Titov A.A., Rogov A.A. Management Models Based on the Situational Approach in the Presence of Factors of Fuzziness and Uncertainty. Proceedings of the 2021 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", T and QM and IS 2021, Yaroslavl, 2021. pp. 335-337.

16. Rogozov Yu. I., Skoroxod D. S., Skoroxod S. V., Kucherov S. A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, № 10. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8755](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2023/8755).

17. Titov A.A. Rogov A.A., An algebra-logical approach to modeling of complex systems control problems. Proceedings of the 2020 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", IT and QM and IS 2020, Yaroslavl, 2020. pp. 299-302.

18. Kruglov M. A., Xolkin A. V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, № 7. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2024/9384](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2024/9384).

19. Pekar` S.A., Smelov V.V. Matematicheskaya model` intellektual`nogo povedeniya 3D-ob`ekta [Mathematical model of intelligent behavior of a 3D-

---

object]. Upravlenie informacionny`mi resursami: Materialy` XIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Minsk: Akademiya upravleniya pri Prezidente Respubliki Belarus`, 2017. pp. 253-257.

20. Drozdov N.A., Kuzina E.L., Prokopchuk V.Y., Vasilenko M.A., Tagiltseva J.A., Kuzina M.A. The Risk Management in the Urbanized Territories Transport Infrastructure. Proceedings of the 2021 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies", T and QM and IS 2021, Yaroslavl, 2021. pp. 152-155.

21. Shamraev V.V., Shamraeva T.A., Sidrakov A.A. Razrabotka i vnedrenie modeli «Cifrovaya putevaya mashinnaya stanciya» kak mexanizm obespecheniya avtomatizirovannogo upravleniya na ob`ektax zheleznodorozhnoj infrastruktury` [Development and implementation of the "Digital track machine station" model as a mechanism for ensuring automated control at railway infrastructure facilities]. Aspirantskie chteniya: Sbornik nauchny`x statej aspirantov IPSS RUT (MIIT). Tom Vy`pusk 5. Moskva: Izdatel`stvo «Pero», 2023. pp. 193-197.

22. Shinkaruk A.S., Kulikov M.Yu., Bary`shnikov A.V. Transportnoe mashinostroenie. – 2024. № 12(36). pp. 70-77.

**Дата поступления: 16.01.2025**

**Дата публикации: 3.03.2025**