

**Мухина Ксения Александровна**, аспирант  
Сибирский федеральный университет  
Mukhina Kseniia Alexandrovna  
Siberian Federal University

**Захарьин Кирилл Николаевич**, аспирант  
Сибирский федеральный университет  
Zakharin Kirill Nikolaevich  
Siberian Federal University

**ВЫДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ  
ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ  
IDENTIFICATION OF STRUCTURAL ELEMENTS  
OF A SIMULATION MODEL FOR ASSESSING THE SUSTAINABILITY  
OF PASSENGER TRANSPORT IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION**

**Аннотация.** В статье кратко рассматривается подход к структурированию имитационной модели оценки устойчивости пассажирского транспорта в условиях внедрения и использования цифровых технологий с выделением укрупненных компонентов модели и контуров технологической реализации.

**Abstract.** The article briefly examines an approach to structuring a simulation model for assessing passenger transport sustainability in the context of digital technology implementation and adoption. It outlines the model's high-level components and technological implementation frameworks.

**Ключевые слова:** Пассажирский транспорт, моделирование работы транспорта, устойчивый транспорт.

**Keywords:** Passenger transport, transport operation modeling, sustainable transport

В условиях цифрового развития транспортной отрасли, реализации утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 27.11.2021 № 3363-р транспортной стратегии Российской Федерации для 2030 года основная ставка делается на сквозную цифровизацию – от данных до физической инфраструктуры. Для пассажирского транспорта акцент на таких направлениях как MaaS (Mobility as a Service) – концепции «мобильность как услуга», развитие единых цифровых платформ, интеграции данных всех видов транспорта (железнодорожного, авиационного, общественного, каршеринга) в единую систему бронирования и оплаты, другими словами, обеспечении бесшовности и удобства мультимодальных перевозок для пассажиров требует обеспечения устойчивости работы транспортной системы.

Устойчивая модель пассажирского транспорта с учетом сквозного использования цифровых технологий – это система организации перевозок, которая сочетает экологическую, экономическую и социальную устойчивость с использованием цифровых технологий для повышения эффективности, доступности и безопасности транспортных услуг.

Исследование контуров имитационного моделирования для работы пассажирского транспорта с акцентом на обеспечение его устойчивости требует учета специфики пассажирских перевозок [1-3], включая особенности маршрутов, типы транспортных средств, категории пользователей и, соответственно, использование цифровых технологий. Очевидно, что ключевые компоненты модели должны быть адаптированы под работу пассажирского транспорта и учитывать его вид (городской, пригородный, междугородный).

Компоненты модели распределим по следующим группам (S1 ... S5):

S1 – инфраструктурные компоненты, которые определяют параметры маршрутной сети, параметры остановочных пунктов (размещение, вместимость, доступность),



пересадочных узлов (для обеспечения модальности перевозок). Инфраструктурные компоненты являются фундаментальной базой модели, поскольку они определяют физические ограничения и возможности системы.

S2 – социальные компоненты, которые характеризуют категории пассажиров (включая маломобильные группы), их поведенческие модели (выбор маршрута, предпочтения по времени, эластичность спроса по цене), параметры качества услуг (время ожидания, комфорт, безопасность). Социальные компоненты позволяют моделировать поведение пользователей и их взаимодействие с транспортной системой.

S3 – экономические компоненты, которые характеризуют стоимость проезда для различных категорий пассажиров, параметры общего финансирования системы пассажирского транспорта (государственные субсидии, доходы от билетов), оценку степени загрузки транспортных средств для обеспечения оптимального использования провозных возможностей. Экономические компоненты обеспечивают финансовую устойчивость системы и помогают оптимизировать ресурсы.

S4 – технологические компоненты, которые определяют использование цифровых технологий управления таких как использование систем GPS-мониторинга, мобильных приложений для планирования маршрутов, использование и параметры автоматизированных систем продажи билетов, включая электронные билеты, использование бесконтактных платежей, использование данных для прогнозирования спроса и оптимизации расписаний. Технологические компоненты играют ключевую роль в повышении эффективности и удобства использования пассажирского транспорта.

S5 – экологические компоненты, которые характеризуют влияние пассажирского транспорта на окружающую среду, оценивают использование экологически чистых видов транспорта.

Для формализации имитационной модели А (S1, S2, S3, S4, S5) компоненты должны быть интегрированы в единую систему, где инфраструктурные компоненты (S1) формируют основу, социальные (S2) и экономические (S3) компоненты обеспечивают социальную и финансовую устойчивость, технологические (S4) компоненты повышают эффективность, а экологические (S5) компоненты гарантируют экологическую устойчивость.

Комплексность (системность) модели А имитационного моделирования устойчивости работы пассажирского транспорта может достигаться за счет следующих процессов:

- интеграции всех компонентов, чтобы обеспечить взаимосвязь между физическими, социальными, экономическими, технологическими и экологическими аспектами работы транспорта;
- использовании цифровых технологий (анализ больших данных, анализ и принятий решений с помощью искусственного интеллекта).
- категорийной фокусировки на пассажирах, обеспечивая учет их потребностей, особенностей поведения и учета социальной устойчивости.

Структура модели А в таком случае определяется с учетом параметров работы пассажирского транспорта и его взаимодействия с пассажирами.

Входными данными I (А) модели выступают:

- данные о маршрутной сети (графы, расписания, параметры пропускной способности);
- данные о пассажиропотоках (часовые пики, сезонные колебания).
- профили пассажиров (место проживания, цели поездок и др.).
- внешние факторы учета влияния погоды, праздничных дат, экономической ситуации.

Процессными элементами Р (А) модели являются:

- модели движения пассажирского транспорта (учет задержек, интервалов движения);
- алгоритмы оптимизации расписаний (минимизация времени ожидания);
- модели принятия решений пассажирами (выбор маршрута, выбор времени поездки).

Выходными данными О (А) модели являются:

- показатели эффективности работы пассажирского транспорта (время ожидания, использование вместимости транспортных средств);



- социальные показатели (доступность транспорта, уровень удовлетворенности);
- экологические показатели (снижение выбросов за счет использования экологичных видов транспорта).

Тогда модель А имитационного моделирования устойчивости работы пассажирского транспорта задается системой параметров: А (S1, S2, S3, S4, S5), А (I, P, O). Конкретизация модели далее осуществляется в рамках ее технологической реализации. По нашему мнению, с учетом подходов, изложенных в [4] для технологической реализации модели имитационного моделирования устойчивости работы пассажирского транспорта необходимо декомпозировать несколько ключевых контуров, каждый из которых направлен на решение конкретных задач. Первый контур связан с сбором и обработкой данных, которые формируют основу для создания цифрового двойника (модели) транспортной системы. В этот контур входят IoT-платформы, технологии обработки больших данных и облачные решения для интеграции информации с GPS-трекеров, датчиков на остановках, мобильных приложений и государственных баз данных. Это позволяет получать актуальные данные о состоянии сети, пассажиропотоках и внешних факторах.

Второй контур – моделирование маршрутной сети и оптимизация расписаний. Здесь используются графовые модели и алгоритмы оптимизации, такие как генетические алгоритмы или методы линейного программирования, для анализа текущих и прогнозируемых пассажиропотоков. Технологии имитационного моделирования и системы машинного обучения помогают учитывать часовые пики, сезонные колебания и внешние события, такие как погодные условия или ремонт дорог. Результатом становится оптимизированная маршрутная сеть, минимизирующая время ожидания и загрузку транспортных средств.

Третий контур фокусируется на управлении транспортными потоками и обеспечении их бесперебойности. Для этого применяются адаптивные светофоры, системы мониторинга трафика и искусственный интеллект, который анализирует данные в реальном времени и принимает решения. Этот контур также включает механизмы информирования водителей и пассажиров через мобильные приложения, что позволяет оперативно корректировать маршруты в случае аварий или пробок. Благодаря этому снижаются задержки и повышается надежность перевозок.

Четвертый контур направлен на обеспечение социальной, экологической и экономической устойчивости системы. Социальная устойчивость достигается за счет анализа категорий пользователей, их поведенческих моделей и особых потребностей маломобильных групп населения. Экологическая устойчивость поддерживается путем внедрения экологичных видов транспорта и мониторинга выбросов CO<sub>2</sub> и шумового загрязнения. Экономическая устойчивость обеспечивается за счет анализа затрат и доходов, эффективности государственных субсидий и внедрения автоматизированных систем продажи билетов.

Наконец, пятый контур включает интеграцию цифровых технологий и механизмов обратной связи для непрерывного улучшения модели. Технологии искусственного интеллекта, блокчейн и AR/VR используются для прогнозирования спроса, прозрачности финансовых операций и обучения персонала. Обратная связь от пользователей через мобильные приложения и данные о задержках позволяют регулярно анализировать результаты моделирования и вносить изменения. Таким образом, модель становится гибкой и адаптивной, способной реагировать на изменения и улучшать качество транспортных услуг.

### Список литературы:

1. Лапшин, В. А. Особенности моделирования пассажиропотока объектов транспортной инфраструктуры [Текст] / В. А. Лапшин // Молодой ученый. – 2020. – № 1 (291). – С. 33–36. – URL: <https://moluch.ru/archive/291/65976/> (дата обращения: 23.06.2025).
2. Трофименко, Ю. В. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов [Текст]: монография / Ю. В. Трофименко, М. Р. Якимов. – М.: Логос, 2013. – 464 с.



3. Петров, А. И. Влияние внешней среды на устойчивость системы пассажирского общественного транспорта [Текст] / А. И. Петров. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011. – 300 с.

4. Яворский, В. В. Структурные методы совершенствования управления транспортными системами городов [Текст] / В. В. Яворский, И. Т. Утепбергенов. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2006. – 272 с.

