

УДК 656.02

*Лебедева Ольга Анатольевна,**к.т.н., доцент кафедры «Управление на автомобильном транспорте»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
тел.: +7(952)6326611, e-mail: kravhome@mail.ru**Баянов Семён Владимирович,**студент гр. ТП-23-1 кафедры «Управление на автомобильном транспорте»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
тел.: +7(950)1392967, e-mail: cyja642@yandex.ru***ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В ТРАНСПОРТНЫХ  
ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛАХ ПОСРЕДСТВОМ ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ПАССАЖИРОПОТОКАМИ***Lebedeva O.A., Bayanov S.V.***IMPROVING SERVICE QUALITY AT TRANSPORT HUBS THROUGH DYNAMIC  
PASSENGER FLOW MANAGEMENT**

**Аннотация.** В статье описана методология динамического управления пассажиропотоками в транспортных пересадочных узлах с использованием данных автоматического подсчета пассажиров и прогнозных моделей на основе нейронных сетей. Подход позволяет оценивать уровень обслуживания в реальном времени, прогнозировать транспортный спрос и выявлять перегруженные зоны для регулировки потоков, повышая качество обслуживания. Результаты применимы для проектирования узлов, модернизации и внедрения интеллектуальных транспортных систем для оптимизации общественного транспорта.

**Ключевые слова:** пассажиропотоки, транспортные узлы, уровень обслуживания, прогнозирование, интеллектуальные транспортные системы, нейронные сети.

**Abstract.** This article describes a methodology for dynamic passenger flow management at transport hubs using automatic passenger counting data and predictive models based on neural networks. This approach enables real-time service level assessment, forecasting transport demand, and identifying congested areas to regulate flows, improving service quality. The results are applicable to hub design, modernization, and the implementation of intelligent transport systems to optimize public transport.

**Keywords:** passenger flows, transport hubs, service level, forecasting, intelligent transport systems, neural networks.

Мультимодальные транспортные узлы функционируют как динамические сложные системы, сочетающие функции пересадочного узла и общественного пространства. Сложность формирования заключается во взаимозависимых факторах: пересадочность между видами транспорта, разнообразие доступных услуг для пользователей. Таким образом, узел в транспортной системе является самостоятельной сетью, где происходят непрерывные взаимодействия между тремя компонентами: инфраструктурой, процессами (эксплуатация, логистика, услуги) и населением [1]. Эффективное управление должно учитывать взаимодействия, обеспечивая адаптацию объектов транспортной инфраструктуры и операционных стратегий колебания спроса, что в конечном итоге повышает производительность системы и качество обслуживания пользователей.

Повышение эффективности и конкурентоспособности общественного транспорта является ключевой задачей в рамках создания агломераций [2]. Главную роль в этом составляют транспортные узлы, минимизирующие потери времени при пересадках. Управление перевозочным процессом сосредоточено на транспортных услугах, в то время как исследования, ориентированные на пассажиров ограничены [1]. Необходим целостный подход, связывающий поведение пользователей с использованием пространства для оптимизации операционной эффективности.

Цифровизация общественного транспорта демонстрирует ценность интеллектуальных транспортных систем (ИТС) и инструментов автоматического подсчета пассажиров (automated passenger counting, APC) для сбора точных данных в режиме реально-

го времени [1]. Прогнозирование остается областью, требующей развития.

Транспортные узлы выполняют сложную двойственную функцию: с одной стороны, они действуют как пересадочные пункты, позволяя упростить процедуры перемещения и пересадки; с другой стороны, они являются местом ожидания и осуществления деятельности, связанной с повседневной мобильностью [2-5]. В таблице 1 приве-

дены ключевые характеристики, которые следует учитывать при управлении транспортными узлами.

Помимо процесса перевозки, большинство характеристик связано с пребыванием в узле и условиями его функционирования. Эффективное управление инфраструктурой и пространством играет важную роль при оценке этих факторов.

Таблица 1 – Основные характеристики транспортного узла

Аспект / категория	Транспортный узел (node)	Общественное пространство (place)	Интегрированные характеристики
Основная функция	пересадка, перемещение	пребывание, деятельность	взаимосвязь функций
Транспортные аспекты	<ul style="list-style-type: none"> <li>• доступность нескольких видов транспорта;</li> <li>• навигационная информация;</li> <li>• управление транспортными потоками;</li> <li>• тарификация и билеты;</li> <li>• расстояния и время в пути;</li> <li>• условия пересадки</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• безопасность и охрана;</li> <li>• эксплуатационная надежность;</li> <li>• координация между видами транспорта</li> </ul>
Пространственные и сервисные аспекты		<ul style="list-style-type: none"> <li>• коммерческие услуги;</li> <li>• зоны ожидания и отдыха;</li> <li>• комфорт и дизайн среды;</li> <li>• благоустройство прилегающей территории;</li> <li>• удобства</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• качество окружающей среды;</li> <li>• доступность для маломобильных групп;</li> <li>• чистота и климат-контроль</li> </ul>
Управление и развитие	<ul style="list-style-type: none"> <li>• моделирование транспортных потоков;</li> <li>• пропускная способность</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• планировка и дизайн;</li> <li>• интеграция в городскую среду;</li> <li>• социальная и общественная ценность</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• устойчивое развитие;</li> <li>• финансирование и бизнес-модели;</li> <li>• нормативно-правовая база;</li> <li>• управление активами;</li> <li>• влияние на окружающую среду</li> </ul>

Целью исследования является разработка метода прогнозирования пассажиропотоков в мультимодальном транспортном

узле в критических зонах с использованием модели на основе нейронных сетей типа LSTM (long short-term memory), которая ши-

роко применяется в транспорте и демонстрирует высокую производительность и позволяет эффективно внедрять стратегии управления на основе данных.

Общая методология реализации инструмента динамического управления узлом представлена на рисунке 1.



Р

исунок 1 – Методологии внедрения инструмента динамического управления транспортным узлом [1]

Методология включает следующие этапы:

1. Выбор обследуемого объекта – ключевого транспортного узла, соединяющего несколько видов транспорта (метрополитен, городские/пригородные автобусные маршруты и др.). Модуль узла включает зоны ожидания, торговые центры и платформы.

2. Система сбора данных в режиме реального времени (фаза 1): для точного расчета уровня заполнения пространства используется APC-система на основе видеока-

мер с ИИ-моделями для детектирования и подсчета людей в режиме реального времени на всех точках входа/выхода [1].

3. Прогностическая модель краткосрочного периода (фаза 2): полученные данные используются для обучения модели прогнозирования LSTM. Модель обучается на исторических данных и предсказывает двадцати четырехчасовой промежуток. Помимо данных APC, в модель интегрируются внешние переменные, влияющие на пассажиропоток. Переменные и их источники представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Переменные прогностической модели и источники информации

Переменная	описание	источник информации
flow passenger	пассажиропоток	APC -система
occupancy	пользователи, находящиеся в транспортном узле	рассчитано на основе данных APC
transport users	пользователи, осуществляющие посадку/высадку на остановочных пунктах	перевозчик
traffic at corridor	интенсивность и плотность движения	карты
weather	погодные условия	гисметео
academic calendar	график учебной деятельности школьников/студентов	академический учебный календарь
holidays	праздничные и предпраздничные дни	календарь
daily & weekly identifier	абсолютное значение для каждого дня	определение

Результаты подтверждают возможность интеграции разрозненных источников данных для прогнозирования перемещений пассажиров в транспортном узле. Производительность прогностической модели демонстрирует, что процессы на каждом этапе методологии были выполнены корректно.

Модель, валидированная на данных узла, показывает согласованность между данными реального времени и прогнозируемыми значениями. Прогнозируемые уровни загрузки следуют за наблюдаемыми в часы пик и в периоды низкой загрузки. Это свидетельствует о том, что модель точно охватывает динамику пассажиропотока и использования транспортных узлов, а также влияние внешних факторов.

Анализ функций узла показал, что его основная роль – пересадочность, а не место длительного пребывания, но была выявлена коммерческая функция, связанная с оказанием услуг в будние дни. Интеграция APC-системы и прогностической модели служит мощным инструментом для принятия решений на основе данных, позволяя адресовать два ключевых аспекта: мониторинг в режиме реального времени и прогнозирование для быстрого реагирования.

На основе результатов могут быть реализованы стратегии динамического управления по пяти ключевым направлениям:

1. Управление информацией: информирование пассажиров о загрузке и оптимальных маршрутах.

2. Оптимизация пространства: корректировка планировки и распределения зон.

3. Учет пассажиропотока: внедрение мер по управлению пассажиропотоком, включая разделение потоков, ограничение доступа, и адаптивные рекомендации по времени поездки.

4. Развитие потребительских и коммерческих услуг: планирование работы торговых центров и сервисов на основе прогностической модели.

5. Реагирование на чрезвычайные ситуации: разработка эффективных планов эвакуации и действий в критических ситуациях на основе прогнозных данных.

Наличие прогнозной информации позволяет оптимизировать частоту транспортных услуг, управлять доступностью остановочных пунктов и координировать работу с перевозчиками.

Разработанная методика является инструментом мониторинга и прогнозирования уровня обслуживания в транспортных узлах. Его использование позволяет перейти к управлению, обеспечивая оптимизированную работу и высокое качество обслуживания пассажиров.

Развитие методики прогнозирования направлено на интеграцию данных автоматизированной системы подсчета пассажиров, учет дополнительных внешних переменных (транспортные заторы) и апробацию модели на узлах с иной конфигурацией и спросом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Zhang, J.** Dynamic flow analysis and crowd management for transfer stations / J. Zhang, Q. Ai, Y. Ye, S. Deng // *Public Transport*. – 2024. – Vol. 16. – p. 619–653.

2. **Шаров, М.И.** Влияние транспортного зонирования на функционирование маршрутной сети города / М. И. Шаров, О. А. Лебедева. – Текст : непосредственный // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. – 2019. – № 2 (62). – С. 196-202.

3. **Лебедева, О.А.** Показатели оценки эффективности работы общественного транспорта / О. А. Лебедева. – Текст : непосредственный // *Современные технологии и*

научно-технический прогресс. – 2018. – Т. 1. – С. 108-109.

4. **Лебедева, О.А.** Вопросы функционирования городского пассажирского транспорта / О. А. Лебедева. – Текст : непосредственный // *Современные технологии и научно-технический прогресс*. – 2013. – Т. 1. – С. 40.

5. **Михайлов, А.Ю.** Система критериев оценки транспортно-пересадочных узлов / А. Ю. Михайлов, Т. А. Копылова. – Текст : непосредственный // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. – 2015. – № 7 (102). – С. 168-174.