

Научная статья  
УДК 656.025  
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-2-238-247>  
EDN: PPKZFC



## ОБЗОР И ВЫБОР МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОДСЧЕТА ПАССАЖИРОВ НА ОБЩЕСТВЕННОМ НАЗЕМНОМ ТРАНСПОРТЕ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗКАМИ

А.Д. Плахтий<sup>1</sup> ✉, Д.С. Корчагин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет,  
г. Санкт-Петербурга, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Санкт-Петербурга, Россия

✉ ответственный автор  
[st110081@student.spbu.ru](mailto:st110081@student.spbu.ru)

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Цель исследования заключается в обзоре современных методов автоматического подсчета пассажиропотоков в общественном транспорте. Исследование посвящено актуальной проблеме подсчета пассажиропотока в общественном транспорте с использованием современных технологий, таких как видеонаблюдение, инфракрасные сенсоры и LiDAR.

**Материалы и методы.** Представлен обзор технологий, включая датчики, камеры, LiDAR и RFID, а также методы анализа, основанные на теоретических и эмпирических подходах. Использована информация от компаний-разработчиков для сравнения точности технологий в реальных условиях.

**Результаты.** Сравнения показывают, что наилучшую точность обеспечивают LiDAR и камеры с машинным обучением, особенно в условиях высокой плотности пассажиров. Технологии на основе Wi-Fi и Bluetooth имеют ограниченную точность, но комбинированные решения могут преодолеть их недостатки.

**Обсуждение и заключение.** Для точного подсчета пассажиров наиболее эффективны LiDAR и видеонаблюдение с машинным обучением. Рекомендуется дальнейшее тестирование комбинированных технологий и развитие гибких систем, а также использование инновационных подходов в обучении нейронных сетей для улучшения точности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** пассажиропоток, автоматический подсчет, общественный транспорт, транспортная аналитика, управление транспортом, интеллектуальные системы

**БЛАГОДАРНОСТИ:** выражаем благодарность Санкт-Петербургскому государственному университету, Санкт-Петербургскому государственному архитектурно-строительному университету и ООО «Современные технологии» за поддержку и предоставленные возможности, а также нашим научным руководителям за их ценную помощь и наставничество. Благодарим рецензентов за их ценную работу и конструктивные комментарии.

**Статья поступила в редакцию 23.12.2024; одобрена после рецензирования 13.03.2025; принята к публикации 17.04.2025.**

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

**Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.**

Для цитирования: Плахтий А.Д., Корчагин Д.С. Обзор и выбор методов автоматизированного подсчета пассажиров на общественном наземном транспорте для эффективного управления перевозками // Вестник СибАДИ. 2025. Т. 22, № 2. С. 238-247. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-2-238-247>

© Плахтий А.Д., Корчагин Д.С., 2025



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Original article  
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-2-238-247>  
EDN: PPKZFC

## REVIEW AND SELECTION OF METHODS FOR AUTOMATED PASSENGER COUNTING ON PUBLIC LAND TRANSPORT FOR EFFECTIVE TRANSPORTATION MANAGEMENT

A.D. Plakhtii<sup>1</sup> ✉, D.S. Korchagin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg State University,  
St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,  
St. Petersburg, Russia

✉ corresponding author  
[st110081@student.spbu.ru](mailto:st110081@student.spbu.ru)

### ABSTRACT

**Introduction.** The study aims to analyze modern automatic passenger counting methods in public transport. The study addresses the pressing issue of passenger flow counting in public transport using modern technologies such as video surveillance, infrared sensors, and LiDAR.

**Materials and Methods.** An overview of technologies is provided, including sensors, cameras, LiDAR, and RFID, along with analysis methods based on theoretical and empirical approaches. Information from development companies is used to compare the accuracy of technologies in real-world conditions.

**Results.** The comparison results indicate that LiDAR and cameras with machine learning offer the highest accuracy, particularly in high passenger density scenarios. Wi-Fi and Bluetooth-based technologies have limited accuracy, but combined solutions can overcome their drawbacks.

**Discussions and Conclusions.** The conclusion emphasizes that LiDAR and video surveillance with machine learning are the most effective for accurate passenger counting. Further testing of combined technologies and the development of flexible systems are recommended, along with innovative approaches in neural network training to enhance accuracy.

**KEYWORDS:** passenger flow, automatic counting, public transport, transport analytics, transport management, smart systems

**ACKNOWLEDGEMENTS.** We express our gratitude to St. Petersburg State University, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, and Modern Technologies LLC for their support, and to our supervisors for their valuable help and mentoring. We thank the reviewers for their valuable work and constructive comments.

**The article was submitted: December 23, 2024; approved after reviewing: March 13, 2025; accepted for publication: April 17, 2025..**

**All authors have read and approved the final manuscript.**

**Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.**

*For citation.* Plakhtii A.D., Korchagin D.S. Review and selection of methods for automated passenger counting on public ground transport for effective transportation management. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2025; 22 (2): 238-247. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-2-238-247>

© Plakhtii A.D., Korchagin D.S., 2025



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

## ВВЕДЕНИЕ

Описание проблемы, с которой связано исследование

Подсчет пассажиропотоков в наземном общественном транспорте – автобусах, троллейбусах, трамваях – представляет собой одну из ключевых задач для транспортных систем современных городов. Точные данные о количестве пассажиров, местах их посадки и высадки необходимы для оптимизации работы транспорта, повышения качества обслуживания и рационального использования ресурсов. Однако отсутствие таких данных приводит к множеству проблем: неравномерной загрузке транспортных средств (переполненность на одних участках маршрутов и недогруженность на других), увеличению эксплуатационных затрат, снижению удовлетворенности пассажиров из-за неудобных расписаний или переполненности, а также затруднениям в стратегическом планировании транспортной инфраструктуры. Например, в крупных мегаполисах, таких как Москва или Санкт-Петербург, переполненность автобусов в часы пик давно стала хронической проблемой, а недостаток точной информации о пассажиропотоках мешает эффективно распределять транспортные ресурсы.

Как подчеркивается в «Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом до 2035 года»<sup>1</sup>, качественное улучшение транспортных услуг и оптимизация городской инфраструктуры невозможны без внедрения современных систем учета пассажиропотоков. Эта задача актуальна не только для мегаполисов, но и для небольших городов, где общественный транспорт часто является основным средством передвижения. Например, по данным П.В. Зюзина (2022)<sup>2</sup>, в Москве ежедневно фиксируются значительные нагрузки на транспортную систему и отсутствие точных данных о движении пассажиров усложняет разработку новых маршрутов, корректировку расписаний и планирование закупок подвижного состава.

Традиционные методы подсчета пассажиров, такие как ручной подсчет или анализ продаж билетов, давно показали свою ограниченность. Ручной подсчет, выполняемый сотрудниками транспортных компаний или волонтерами, требует значительных трудовых ресурсов, подвержен человеческому фактору (ошибкам и субъективности) и не позволяет получать данные в реальном времени, что делает его непригодным для оперативного управления. Анализ билетных систем, в свою очередь, не учитывает пассажиров-безбилетников, не фиксирует точек выхода и не отражает реальной картины распределения пассажиропотоков по маршруту. Современные автоматизированные технологии, такие как видеоаналитика, LiDAR (Light Detection and Ranging), инфракрасные датчики и другие, предлагают решения этих проблем, обеспечивая высокую точность и оперативность. Однако выбор подходящей технологии осложняется разнообразием условий эксплуатации (например, плотность пассажиров, освещенность, тип транспорта), требованиями к точности, а также бюджетными ограничениями, что делает данный анализ особенно актуальным.

Исследование R.A. Kuipers, C.-W. Palmqvist [1], проведенное на пригородных поездах, показало, что автоматический подсчет пассажиров с помощью датчиков улучшает управление загрузкой и временем стоянки. Хотя работа касается железнодорожного транспорта, она подчеркивает общую полезность таких методов для оптимизации перевозок.

### **Обзор литературы, связанной с исследованием**

Изучение методов подсчета пассажиропотоков активно ведутся как в России, так и за рубежом, охватывая широкий спектр технологий и подходов. В российской научной литературе акцент часто делается на необходимости перехода от устаревших методов к автоматизированным системам. О.А. Лебедева (2014)<sup>3</sup> отмечает, что ручной подсчет и билетные системы не отвечают современным требованиям и предлагает интегрировать автоматизированные технологии с GPS для повышения

<sup>1</sup> Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Официальный интернет-сайт Федерального дорожного агентства. Доступ: 30 окт. 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozom-na-period-do-2035-goda> (дата обращения: 23.10.2024)

<sup>2</sup> Зюзин П.В. Транспортные системы городов России: современное состояние и перспективы развития // докл. к XXIII Ясинской (Апрельской) Междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества. М.: НИУ ВШЭ, 2022. С. 80.

<sup>3</sup> Лебедева О.А. Совершенствование методов мониторинга пассажиропотоков на маршрутах городского общественного транспорта: дис. ... канд. техн. наук, 05.22.10. М.: МГТУ им. Баумана, 2014. 150 с.

точности и географической привязки данных. В.М. Власов и др. (2014)<sup>4</sup> обсуждают использование телематических систем и цифровой инфраструктуры в городском транспорте, выделяя их роль в создании «умных» транспортных систем, способных адаптироваться к изменениям спроса. Как показано в работе К.П. Андреева [2], использование современных технологий для сбора и анализа данных о пассажирах позволяет оптимизировать маршруты и расписания, что особенно важно для повышения эффективности транспортного обслуживания населения. Д.В. Петрова [3] рассматривает использование современных технологий для мониторинга пассажиропотоков в крупных городах, таких как камеры видеонаблюдения с алгоритмами распознавания лиц, а также использование мобильных данных. А.М. Ковалев и др. [4] анализируют системы подсчета пассажиропотока (инфракрасные и ультразвуковые датчики, камеры), протестированные в реальных условиях на городских маршрутах. В статье отмечается важность испытаний для оценки точности и устойчивости систем. Д.Ж. Сайфутдинов (2025)<sup>5</sup> подчеркивает потенциал цифровых технологий, таких как видеоаналитика и датчики присутствия, для управления пассажирскими потоками в реальном времени.

Зарубежные исследования предлагают более детализированный анализ конкретных технологий. М. Radovan и др. (2024)<sup>6</sup> классифицирует методы подсчета на ручные (например, подсчет по билетам или визуальный контроль) и автоматизированные (видеоаналитика, LiDAR, RFID (Radio Frequency Identification)), подчеркивая преимущества последних. I. Grgurević и др. [5] проводят сравнение современных систем, отмечая высокую точность LiDAR (95–96%) и камер с машинным обучением (92–99%) в условиях высокой плотности пассажиров. А. Kotz и др. [6] исследуют весовые датчики, указывая на их ограниченную точность (80–90%) из-за вариаций веса пассажиров и багажа. М. Nitti и др. [7] и Н. Jiang и др. [8] анализируют использование Wi-Fi и Bluetooth для подсчета, подчеркивая их зави-

симость от наличия у пассажиров активных устройств и относительно низкую точность (75–94% и 73–77% соответственно).

Особое внимание в зарубежной литературе уделяется видеоаналитике с применением машинного обучения. S. Khan и др. [9], С. Labit-Bonis и др. [10], R. Seidel и др. [11] и С. Pronello, X.R.G. Ruiz [12] подчеркивают её высокую точность (до 99%) и гибкость, но отмечают сложность обработки больших объемов данных и чувствительность к условиям освещения. Y.-W. Hsu и др. [13] исследуют применение глубокого обучения для подсчета пассажиров в автобусах, указывая на проблемы с распознаванием в условиях низкой видимости или высокой плотности. Тепловизоры, рассмотренные I. Grgurević и др. [5], демонстрируют эффективность в условиях плохой освещенности (точность 70–98%), но теряют точность в переполненных транспортных средствах из-за наложения тепловых сигнатур.

Кроме того, интеграция данных из различных источников, таких как GPS, видеокamеры и инфракрасные датчики, как отмечают L. Ge и др. [14] и J. Zhang и др. [15], значительно повышает точность анализа пассажиропотока в условиях высокой плотности пассажиров и сложных маршрутов. M.G. Demissie и др. [16] демонстрируют, что мобильные данные могут служить ценным инструментом для оценки пассажиропотока, особенно в развивающихся странах, где традиционные методы могут быть недоступны. С. McCarthy и др. [17] показывают, что развитие IT-системы (Internet of Things) будет не только повышать точность подсчета, но и обеспечивать гибкое управление транспортными потоками.

#### **Описание белых пятен в проблеме**

Несмотря на значительное количество исследований, в данной области остаются нерешенные вопросы, требующие дальнейшего изучения. Во-первых, отсутствует единое мнение о том, какой метод является оптимальным для различных эксплуатационных сценариев, таких как переполненные автобусы в часы пик, транспорт в ночное время или маршруты с низким пассажиропотоком. Во-вторых, боль-

<sup>4</sup> Власов В.М., Ефименко Д.Б., Богумил В.Н. Информационные технологии на автомобильном транспорте: учебник / под ред. В.М. Власова. М.: Академия, 2014.

<sup>5</sup> Сайфутдинов Д.Ж. Совершенствование организации мониторинга пассажиропотоков в системе городского транспорта общего пользования: дис. ... канд. техн. наук: 2.9.1. Екатеринбург, 2025. Режим доступа: <https://www.usurt.ru/science/dissertatsionnye-sovety/d-44200802/dissertatsii/sajfutdinov-d-zh> (дата обращения: 11.03.2025).

<sup>6</sup> Radovan M., Mršić Z., Novak D. A Review of Passenger Counting in Public Transport: Concepts, Methodologies, and Applications // Proceedings of the International Conference on Public Transport and Smart Mobility. – Irvine, CA : Algebra University College, 2024. – P. 45–52.

шинство работ сосредоточены на отдельных технологиях (например, LiDAR или видеоаналитика), но не проводят их комплексного сравнения с учетом всех ключевых критериев – точности, стоимости, простоты внедрения и применимости в реальных условиях. В-третьих, недостаточно внимания уделяется практическим аспектам внедрения технологий: как адаптировать их к существующей транспортной инфраструктуре, какие затраты потребуются на обучение персонала и как обеспечить совместимость с другими системами (например, билетными или диспетчерскими).

Российские исследования<sup>7,8</sup> часто ограничиваются общими выводами о необходимости автоматизации, не предоставляя детализированных рекомендаций или сравнительных таблиц. Зарубежные работы [5, 18]<sup>9</sup> более подробно описывают технологии, но редко учитывают специфику развивающихся стран, где бюджетные ограничения и состояние транспорта могут существенно влиять на выбор метода. Таким образом, существует потребность в систематизированном анализе, который бы объединил существующие данные, предложил практические рекомендации и заполнил пробелы в понимании того, как различные технологии могут быть адаптированы к конкретным условиям эксплуатации.

#### **Формулирование цели и задач исследования**

Цель данного исследования заключается в проведении всестороннего обзора и сравнительного анализа современных методов автоматизированного подсчета пассажиропотоков в наземном общественном транспорте с целью выявления наиболее эффективных решений для управления перевозками. Для достижения данной цели поставлены следующие задачи:

1. Систематизировать существующие автоматизированные методы подсчета пассажиров, включая их технические характеристики и области применения.
2. Провести сравнение методов по ключевым критериям: точность подсчета (в процентах), стоимость внедрения и эксплу-

атации (низкая, средняя, высокая), простота интеграции в существующую инфраструктуру (высокая, средняя, низкая), применимость к различным типам транспорта и условиям эксплуатации, а также уровень защиты конфиденциальности пассажиров.

3. Разработать практические рекомендации по выбору методов подсчета, которые позволят транспортным операторам оптимизировать управление перевозками в зависимости от их потребностей, бюджета и технических возможностей.

#### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Для проведения исследования были проанализированы данные из научной литературы, технических отчетов компаний-разработчиков и официальных сайтов производителей систем подсчета пассажиров. Основное внимание уделялось автоматизированным методам, реализуемым с использованием различных технологий. Так, видеоаналитика с машинным обучением предполагает применение камер высокого разрешения, оборудованных алгоритмами глубокого обучения, что позволяет анализировать видеопоток и распознавать пассажиров в режиме реального времени. Технология LiDAR использует лазерные сенсоры для создания трехмерных карт, отображающих движение пассажиров на основе отражения световых импульсов. Другой подход реализуется с помощью инфракрасных датчиков, которые фиксируют прерывание инфракрасных лучей при прохождении пассажиров через дверные проемы, а ультразвуковые датчики – посредством использования звуковых волн для обнаружения движения и подсчета людей. В условиях низкой освещенности применяются тепловизоры, регистрирующие тепловое излучение тел пассажиров, что обеспечивает дополнительную точность в сложных условиях. Помимо этого, системы, основанные на технологиях Wi-Fi и Bluetooth, осуществляют подсчет пассажиров через обнаружение сигналов от мобильных устройств, а технология RFID позволяет учитывать пассажиров с помощью радиочастотных меток, прикрепленных к билетам или картам.

<sup>7</sup> Лебедева О.А. Совершенствование методов мониторинга пассажиропотоков на маршрутах городского общественно-го транспорта: дис. ... канд. техн. наук, 05.22.10. М.: МГТУ им. Баумана, 2014. 150 с.

<sup>8</sup> Сайфутдинов Д.Ж. Совершенствование организации мониторинга пассажиропотоков в системе городского транспорта общего пользования. ...

<sup>9</sup> Radovan M., Mršić Z., Novak D. A Review of Passenger Counting in Public Transport: Concepts, Methodologies, and Applications // Proceedings of the International Conference on Public Transport and Smart Mobility. Irvine, CA: Algebra University College, 2024. P. 45–52.

Таблица 1  
Сравнение методов подсчета пассажиров  
Источник: составлено авторами.

Table 1  
Comparison of passenger counting methods  
Source: compiled by the authors.

Метод	Точность (%)	Стоимость	Простота внедрения	Применимость
Инфракрасные датчики	80–95	Низкая	Высокая	Автобусы, трамваи
Видеоаналитика (ML)	92–99	Высокая	Средняя	Все виды транспорта
Весовые датчики	80–90	Средняя	Низкая	Автобусы, поезда
RFID	82–98	Высокая	Низкая	Контролируемый доступ
Wi-Fi	75–94	Низкая	Высокая	Все виды транспорта
Bluetooth	73–77	Низкая	Высокая	Все виды транспорта
LiDAR	95–96	Высокая	Средняя	Все виды транспорта
Тепловизоры	70–98	Средняя	Средняя	Низкая освещённость
Ультразвуковые датчики	88–89	Низкая	Высокая	Автобусы, трамваи

Также в анализ включены весовые датчики, способные оценивать количество пассажиров по изменению веса транспортного средства.

Методология исследования была построена на теоретическом подходе, включающем систематический обзор литературы и сравнительный анализ технологий. В процессе оценки методов были выделены несколько ключевых критериев. Первый критерий – точность – отражает процент правильного определения количества пассажиров, подтвержденный эмпирическими данными. Второй критерий – стоимость, который оценивается с точки зрения затрат на оборудование, установку и обслуживание, при этом низкая стоимость определяется как до 500 долл. за единицу, средняя – в диапазоне от 500 до 2000 долл., а высокая – свыше 2000 долл. Также важен критерий простоты внедрения, определяющий уровень сложности интеграции предлагаемой системы в существующую транспортную инфраструктуру: высокий уровень означает минимальные

изменения, средний – требует определенной настройки, а низкий уровень внедрения предполагает необходимость значительных модификаций. Кроме того, был учтен критерий применимости, отражающий возможность использования системы на различных типах транспорта – автобусах, трамваях, троллейбусах – и в разных условиях, независимо от времени суток и плотности пассажиропотока.

Эмпирические данные были собраны из научных статей и технических отчетов компаний, таких как DILAX (инфракрасные датчики и видеоаналитика)<sup>10</sup>, Foorir (3D-камеры)<sup>11</sup>, Infotech (видеоаналитика)<sup>12</sup>, Hikvision (тепловизоры и видеоаналитика)<sup>13</sup> и Eurotech (LiDAR и датчики)<sup>14</sup>. Например, точность LiDAR в 95–96% подтверждена P. Kuchár и др. [18], а видеоаналитика с точностью 92–99% – C. Pronello и X.R.G. Ruiz [12]. Все данные обобщены в таблицах, представленных в разделе «Результаты».

<sup>10</sup> DILAX [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dilax.com/en> (дата обращения: 25.02.2025).

<sup>11</sup> Infotech [Электронный ресурс]. URL: <https://infotech.group/en> (дата обращения: 25.02.2025).

<sup>12</sup> Hikvision [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hikvision.com/en/> (дата обращения: 25.02.2025).

<sup>13</sup> Eurotech [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eurotech.com> (дата обращения: 26.02.2025).

<sup>14</sup> SensorTech [Электронный ресурс]. URL: <https://sensortecinc.com/> (дата обращения: 26.02.2025).

Таблица 2  
Сравнение решений компаний по подсчету пассажиропотока  
Источник: составлено авторами.

Table 2  
Comparison of companies' passenger counting solutions  
Source: compiled by the authors.

Компания	Технология	Точность (%)	Стоимость (\$ за единицу)	Простота внедрения	Применимость	Описание решения
DILAX	Инфракрасные датчики	95–99	300–500	Высокая	Автобусы, трамваи, поезда	Устройства устанавливаются над дверями, фиксируют вход/выход с высокой точностью
Foorir	3D-камеры (ToF)	>98	1000–1500	Средняя	Все виды транспорта	Использует Time-of-Flight для создания 3D-моделей пассажиров, работает в темноте
Infotech	Видеоаналитика (ML)	97–99	1500–2000	Средняя	Все виды транспорта	Камеры с глубоким обучением, распознают пассажиров даже в толпе
Hikvision	Тепловизоры+ ML	92–98	800–1200	Средняя	Низкая освещённость	Комбинация теплового и видеоанализа, эффективна ночью и в плохих условиях
Eurotech	LiDAR	95–96	2000–3000	Средняя	Все виды транспорта	Лазерные сенсоры для точного подсчета в сложных условиях (толпа, движение)
Axis	Видеоаналитика	90–95	1000–1800	Средняя	Автобусы, трамваи, метро	Камеры с базовой аналитикой, подходят для умеренной плотности пассажиров

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты исследования включают общий сравнительный анализ методов подсчета пассажиров (таблица 1) и детальное сравнение решений различных компаний (таблица 2).

Анализ таблицы 1 показывает, что технологии LiDAR и видеоаналитика с применением машинного обучения демонстрируют наивысшую точность – от 95 до 99%. Это делает их оптимальными для работы в сложных условиях, например, при переполненных автобусах в часы пик. Однако высокая стоимость оборудования и необходимость в мощных вычислительных ресурсах для обработки данных ограничивают их широкое внедрение, особенно в небольших городах с ограниченным бюджетом.

В то же время инфракрасные и ультразвуковые датчики обеспечивают более сбалансированное соотношение цены и качества, достигая точности в диапазоне 80–95%. Такие системы представляют интерес для транспортных операторов, которым достаточно базового уровня мониторинга пассажиропотока без значительных затрат на инфраструктуру.

Технологии, основанные на использовании Wi-Fi и Bluetooth, характеризуются простой установкой и низкими затратами, однако их точность, в пределах от 73 до 94%, оставляет желать лучшего для использования в целях точного планирования маршрутов. Основным ограничением этих решений является зависимость от количества и типа мобильных устройств у пассажиров.

Наконец, тепловизоры показывают хорошую эффективность в условиях низкой освещенности, демонстрируя точность от 70 до 98%. Однако их преимущество снижается в условиях плотного скопления людей, когда перекрывающиеся тепловые сигналы затрудняют корректное определение каждого пассажира.

Анализ таблицы 2 демонстрирует конкурентное положение различных производителей на рынке технологий подсчета пассажиропотока. Компания DILAX предлагает доступное решение, использующее инфракрасные датчики, которые легко интегрируются в существующие транспортные средства и обеспечивают высокую точность – до 99%. Такое сочетание параметров делает их популярным выбором для муниципальных операторов, стремящихся оптимизировать затраты при обеспечении точности мониторинга. В свою очередь компании Foorir и Infotech применяют передовые технологии, включая 3D-камеры и видеоаналитику, что позволяет достигать точности выше 98%; однако выбор этих систем требует значительных финансовых вложений и наличия квалифицированного сервиса для обслуживания. Продукция Hikvision основана на сочетании тепловизоров и методов машинного обучения, что делает её оптимальной для ночных маршрутов или регионов с переменной погодой, несмотря на несколько завышенную стоимость по сравнению с другими решениями. Eurotech предлагает системы на базе LiDAR, которые идеально подходят для крупных транспортных систем, где требуется максимально высокая точность в сложных условиях, однако высокая цена (до \$3000) существенно ограничивает применение данной технологии. Производство компании Axis ориентировано на создание сбалансированных решений для условий умеренной нагрузки, при этом их показатели точности уступают лидерам рынка, что отражается в общем сравнительном анализе.

## ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты анализа подтверждают, что выбор метода подсчета пассажиров зависит от множества факторов: бюджета, типа транспорта, условий эксплуатации и требуемой точности. LiDAR и видеоаналитика с машинным обучением демонстрируют наивысшую точность (95–99%), что согласуется с выводами

P. Kuchár и др. [18], M. Radovan и др. (2024)<sup>15</sup>. Эти технологии особенно эффективны в переполненных транспортных средствах, где традиционные методы, такие как инфракрасные датчики, могут давать сбои из-за наложения сигналов. Однако их внедрение требует значительных финансовых вложений и технической экспертизы, что делает их менее доступными для малобюджетных систем.

Инфракрасные датчики, такие как решения от DILAX, обеспечивают точность до 99% при низкой стоимости и простоте установки, что делает их практичным выбором для небольших городов или маршрутов с умеренной нагрузкой. Это подтверждается выводами Grgurević et al. [5], где подчеркивается их надежность в базовых сценариях. Wi-Fi и Bluetooth, несмотря на простоту внедрения, не могут конкурировать по точности (73–94%) и подходят только для грубых оценок пассажиропотоков, как отмечено в работах M. Nitti и др. [7], H. Jiang и др. [8]. Тепловизоры, такие как решения Hikvision, выделяются в условиях низкой освещенности, но их эффективность снижается в толпе, что ограничивает их универсальность.

Сравнение решений компаний показывает, что рынок предлагает широкий выбор технологий, от бюджетных (DILAX) до премиальных (Eurotech, Infotech). Однако ни одна технология не является универсальной: выбор зависит от приоритетов оператора. Например, для мегаполисов с высокой плотностью пассажиров предпочтительны LiDAR или видеоаналитика, тогда как для пригородных маршрутов достаточно инфракрасных датчиков.

Исследование показало, что наиболее эффективными методами автоматизированного подсчета пассажиров в наземном транспорте являются LiDAR (Eurotech) и видеоаналитика с машинным обучением (Infotech, Foorir), обеспечивающие точность до 99%. Для бюджетных систем оптимальны инфракрасные датчики (DILAX) с точностью до 95% и низкой стоимостью. Рекомендуется комбинировать технологии (например, LiDAR с видеоаналитикой) для компенсации их недостатков и повышения общей эффективности. В дальнейшем целесообразно проводить полевые испытания гибридных систем и разрабатывать алгоритмы машинного обучения, адаптированные к динамичным условиям общественного транспорта.

<sup>15</sup> Radovan M., Mršić Z., Novak D. A Review of Passenger Counting in Public Transport: Concepts, Methodologies, and Applications .... P. 45–52.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kuipers R.A., Palmqvist C.-W. Passenger Volumes and Dwell Times for Commuter Trains: A Case Study Using Automatic Passenger Count Data in Stockholm // *Appl. Sci.* 2022. Т. 12, №12. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12125983>.
2. Андреев К.П. Совершенствование транспортного обслуживания населения // *Транспортное Дело России.* 2017. № 3. С. 7–9.
3. Петрова Д.В. Современные подходы к организации мониторинга пассажиропотоков общественного транспорта городских агломераций // *Int. J. Open Inf. Technol.* 2020. Т. 8, № 1. С. 47–57.
4. Ковалев А.М., Егоров К.В., Санжапов Р.Р., Прыткова Е.Г. Тестирование системы аппаратного учета пассажиропотока в реальных условиях городского маршрута // *Технико-технологические проблемы сервиса.* 2021. № 4 (58). С. 12–18.
5. Grgurević I., Juršić K., Rajič V. Review of Automatic Passenger Counting Systems in Public Urban Transport. 5th EAI International Conference on Management of Manufacturing Systems. Cham: Springer, 2022. pp. 1–15. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-67241-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-67241-6_1).
6. Kotz A., Kittelson D.B., Northrop W.F. Novel Vehicle Mass-Based Automated Passenger Counter for Transit Applications // *Transp. Res. Rec.* 2016. Т. 2536. DOI: <https://doi.org/10.3141/2536-05>.
7. Nitti M., Pinna F., Pintor L., et al. iABACUS: A Wi-Fi-Based Automatic Bus Passenger Counting System // *Energies.* 2020. Т. 13, no 6. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13061446>.
8. Jiang H., Chen S., Xiao Z., et al. Pa-Count: Passenger Counting in Vehicles Using Wi-Fi Signals // *IEEE Trans. Mob. Comput.* 2024. Т. 23, no 4. pp. 2684–2697. DOI: <https://doi.org/10.1109/TMC.2023.3263229>.
9. Khan S., Yousaf M.H., Murtaza F., Velastin S. Passenger Detection and Counting for Public Transport System // *NED Univ. J. Res.* 2020. Т. XVII. pp. 35–46. DOI: <https://doi.org/10.35453/NEDJR-ASCN-2019-0016>.
10. Labit-Bonis C., Thomas J., Lerasle F. Visual and Automatic Bus Passenger Counting Based on a Deep Tracking-by-Detection System. [Электронный ресурс]. URL: <https://hal.science/hal-03363502> (режим доступа: 30.10.2024)
11. Seidel R., Jahn N., Seo S., et al. NAPC: A Neural Algorithm for Automated Passenger Counting in Public Transport on a Privacy-Friendly Dataset // *IEEE Open J. Intell. Transp. Syst.* 2022. Т. 3. pp. 33–44. DOI: <https://doi.org/10.1109/OJITS.2021.3139393>.
12. Pronello C., Ruiz X.R.G. Evaluating the Performance of Video-Based Automated Passenger Counting Systems in Real-World Conditions: A Comparative Study // *Sensors.* 2023. Т. 23, no 18. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23187719>.
13. Hsu Y.-W., Wang T.-Y., Perng J.-W. Passenger Flow Counting in Buses Based on Deep Learning Using Surveillance Video // *Optik.* 2020. Т. 202. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2019.163675>.
14. Ge L., Sarhani M., Voß S., Xie L. Review of Transit Data Sources: Potentials, Challenges and Complementarity // *Sustainability.* 2021. Т. 13, no 20. pp. 11450. DOI: <https://doi.org/10.3390/su132011450>.
15. Zhang J., et al. A Real-Time Passenger Flow Estimation and Prediction Method for Urban Bus Transit Systems // *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 2017. Т. 18, no 11. DOI: <https://doi.org/10.1109/tits.2017.2686876>.
16. Demissie M.G., et al. Inferring Passenger Travel Demand to Improve Urban Mobility in Developing Countries Using Cell Phone Data: A Case Study of Senegal // *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 2016. Т. 17, no 9. pp. 2466–2478. DOI: <https://doi.org/10.1109/TITS.2016.2521830>.
17. Mccarthy C., et al. A Field Study of Internet of Things-Based Solutions for Automatic Passenger Counting // *IEEE Open J. Intell. Transp. Syst.* 2021. Т. 2. pp. 384–401. DOI: <https://doi.org/10.1109/OJITS.2021.3111052>.
18. Kuchár P., Pirník R., Janota A., et al. Passenger Occupancy Estimation in Vehicles: A Review of Current Methods and Research Challenges // *Sustainability.* 2023. Т. 15, no 2. pp. 1332. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15021332>.

## REFERENCES

1. Kuipers, R. A., & Palmqvist, C.-W., "Passenger Volumes and Dwell Times for Commuter Trains: A Case Study Using Automatic Passenger Count Data in Stockholm". *Appl. Sci.* 2022; vol. 12, no. 12: 5983, Jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12125983>.
2. Andreev K.P. The Improvement of Transport Services of the Population. *Transport Business in Russia.* 2017; 3: 7–9. (In Russ.)
3. Petrova D.V. Modern Approaches to the Organization of Public Transport Passenger Traffic Monitoring in Urban Agglomerations. *International Journal of Open Information Technologies.* 2020; Vol. 8, No. 1: 47–57 (In Russ.)
4. Kovalev A.M., Egorov K.V., Sanzhapov R.R., Pрыткова E.G. Testing of the system of hardware accounting of passenger traffic in real conditions of the city route. *Technical and technological problems of the service.* 2021; 4 (58): 12–18 (In Russ.)
5. Grgurević I., Juršić K., Rajič V. Review of Automatic Passenger Counting Systems in Public Urban Transport. *5th EAI International Conference on Management of Manufacturing Systems. Cham:* Springer. 2022: 1–15. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-67241-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-67241-6_1).
6. Kotz A., Kittelson D.B., Northrop W.F. Novel Vehicle Mass-Based Automated Passenger Counter for Transit Applications. *Transp. Res. Rec.* 2016. Т. 2536. DOI: <https://doi.org/10.3141/2536-05>.
7. Nitti M., Pinna F., Pintor L., et al. iABACUS: A Wi-Fi-Based Automatic Bus Passenger Counting System. *Energies.* 2020; Т. 13, no 6. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13061446>.
8. Jiang H., Chen S., Xiao Z., et al. Pa-Count: Passenger Counting in Vehicles Using Wi-Fi Signals. *IEEE Trans. Mob. Comput.* 2024; Т. 23, no 4: 2684–2697. DOI: <https://doi.org/10.1109/TMC.2023.3263229>.

9. Khan S., Yousaf M.H., Murtaza F., Velastin S. Passenger Detection and Counting for Public Transport System. *NED Univ. J. Res.* 2020; T. XVII: 35–46. DOI: <https://doi.org/10.35453/NEDJR-ASCN-2019-0016>.

10. Labit-Bonis C., Thomas J., Lerasle F. Visual and Automatic Bus Passenger Counting Based on a Deep Tracking-by-Detection System. Available at: <https://hal.science/hal-03363502> (accessed: 30.10.2024)

11. Seidel R., Jahn N., Seo S., et al. NAPC: A Neural Algorithm for Automated Passenger Counting in Public Transport on a Privacy-Friendly Dataset. *IEEE Open J. Intell. Transp. Syst.* 2022; T. 3: 33–44. DOI: <https://doi.org/10.1109/OJITS.2021.3139393>.

12. Pronello C., Ruiz X.R.G. Evaluating the Performance of Video-Based Automated Passenger Counting Systems in Real-World Conditions: A Comparative Study. *Sensors.* 2023; T. 23, no 18. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23187719>

13. Hsu Y.-W., Wang T.-Y., Perng J.-W. Passenger Flow Counting in Buses Based on Deep Learning Using Surveillance Video. *Optik.* 2020; T. 202. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2019.163675>.

14. Ge L., Sarhani M., Voß S., Xie L. Review of Transit Data Sources: Potentials, Challenges and Complementarity. *Sustainability.* 2021; T. 13, no 20<sup>^</sup> 11450. DOI: <https://doi.org/10.3390/su132011450>.

15. Zhang J., et al. A Real-Time Passenger Flow Estimation and Prediction Method for Urban Bus Transit Systems. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 2017; T. 18, no 11. DOI: <https://doi.org/10.1109/tits.2017.2686876>.

16. Demissie M.G., et al. Inferring Passenger Travel Demand to Improve Urban Mobility in Developing Countries Using Cell Phone Data: A Case Study of Senegal. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 2016; T. 17, no 9: 2466–2478. DOI: <https://doi.org/10.1109/TITS.2016.2521830>.

17. Mccarthy C., et al. A Field Study of Internet of Things-Based Solutions for Automatic Passenger Counting. *IEEE Open J. Intell. Transp. Syst.* 2021; T. 2: 384–401. DOI: <https://doi.org/10.1109/OJITS.2021.3111052>.

18. Kuchár P., Pirník R., Janota A., et al. Passenger Occupancy Estimation in Vehicles: A Review of Current Methods and Research Challenges. *Sustainability.* 2023; T. 15, no 2: 1332. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15021332>.

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Плахтий А.Д.* Поиск источников, проведение обзора литературы и оформление текста. Изучение существующих исследований и систематизация информации, что стало основой для дальнейшего анализа.

*Корчагин Д.С.* Анализ найденных решений и проверка статьи. Оценка достоверности и акту-

альности информации, исследование представленных данных, что способствовало повышению качества работы.

## CONTRIBUTION OF AUTHORS

*Plakhtii A.D.* Was responsible for sourcing references, conducting a literature review, and formatting the manuscript. Their work involved a thorough investigation of existing studies and the systematic organization of information, which laid the foundation for further analysis.

*Korchagin D.S.* Focused on analyzing the identified solutions and verifying the article. They assessed the reliability and relevance of the information, as well as conducted a critical evaluation of the presented data, which contributed to enhancing the overall quality of the work.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Плахтий Андрей Дмитриевич* – аспирант, 2.3.4. «Управление в организационных системах», Санкт-Петербургский государственный университет (199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб. 7/9).

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0005-3334-5106>

**e-mail:** [st110081@student.spbu.ru](mailto:st110081@student.spbu.ru)

*Корчагин Денис Сергеевич* – аспирант, 2.9.5. «Эксплуатация автомобильного транспорта», Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4). Генеральный директор ООО «Современные технологии» (192019, г. Санкт-Петербург, Хрустальная улица, 18 Литера А, Офис 414А).

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0007-7163-3453>

**e-mail:** [Dsk@transportsoft.ru](mailto:Dsk@transportsoft.ru)

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

*Plakhtii Andrei D.* – postgraduate student, 2.3.4. Management in Organizational Systems, St. Petersburg State University (Universitetskaya emb., 7-9, St. Petersburg, 199034).

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0005-3334-5106>

**e-mail:** [st110081@student.spbu.ru](mailto:st110081@student.spbu.ru)

*Korchagin Denis S.* – postgraduate student, 2.9.5. Operation of Road Transport, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering” (4, 2nd Krasnoarmeiskaya Str., St Petersburg, 190005). CEO, Modern Technologies LLC (Khrustalnaya Street, 18 Liter A, Office 414A, St Petersburg, 192019).

**ORCID:** <https://orcid.org/0009-0007-7163-3453>

**e-mail:** [Dsk@transportsoft.ru](mailto:Dsk@transportsoft.ru)