

УДК 656.2

**СВЕТОВАЯ ИНДИКАЦИЯ ЗАГРУЖЕННОСТИ ВАГОНОВ КАК СРЕДСТВО
УПРАВЛЕНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКОМ НА ПЛАТФОРМАХ
МЕТРОПОЛИТЕНА**

Лысов Г.М.

к.т.н., доцент,

ФГАОУ ВО РУТ(МИИТ),

Россия, Москва

Кацай А.С.

студент,

ФГАОУ ВО РУТ(МИИТ),

Россия, Москва

Жминьковский М.М.

студент,

ФГАОУ ВО РУТ(МИИТ),

Россия, Москва

Малофеев М.И.

студент,

ФГАОУ ВО РУТ(МИИТ),

Россия, Москва

Аннотация. Рассмотрена задача повышения равномерности распределения пассажиров по вагонам поездов метрополитена за счет применения средств оперативного визуального информирования. В качестве предметного решения описана автоматизированная система динамической LED-индикации, размещаемой вдоль края пассажирской платформы. Цветовой статус каждого сегмента

соотносится с расчетной загрузкой конкретного вагона прибывающего состава и переводит данные о пассажиропотоке в понятный навигационный сигнал. В статье раскрыты предпосылки возникновения локального переполнения, предложена аппаратно-программная архитектура системы, описан принцип детекции входа и выхода пассажиров, обоснована пятиуровневая шкала комфортности. Показано, что внедрение подобной системы может способствовать сокращению неравномерности посадки, стабилизации времени стоянки поездов, более полному использованию вместимости состава и повышению качества пассажирского обслуживания.

Ключевые слова: метрополитен, пассажиропоток, индикация, автоматизированная, навигация.

***LIGHT INDICATION OF CAR OCCUPANCY AS A TOOL FOR PASSENGER
FLOW MANAGEMENT ON METRO PLATFORMS***

Lysov G.M.

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Russian
University of Transport (MIIT),
Moscow, Russia*

Katsai A.S.

*Student,
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Russian
University of Transport (MIIT),
Moscow, Russia*

Zhmin'kovsky M.M.

Student,

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Russian
University of Transport (MIIT),*

Moscow, Russia

Malofeev M.I.

Student,

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Russian
University of Transport (MIIT),*

Moscow, Russia

Abstract. The paper examines the problem of improving the distribution of passengers among metro train cars through operational visual information tools. The proposed solution is an automated system of dynamic LED indication installed along the platform edge. The color status of each segment corresponds to the calculated occupancy of a particular car of an arriving train and transforms passenger-flow data into a clear navigation cue. The study describes the reasons for local overcrowding, presents the hardware and software architecture of the system, explains the principle of detecting passenger entry and exit, and substantiates a five-level comfort scale. The expected effects include more balanced boarding, greater stability of dwell time, fuller use of train capacity, and better passenger service quality.

Keywords: metro, passenger flow, indication, automated, navigation.

Введение

Высокая провозная способность метрополитена формируется согласованной работой нескольких элементов: подвижного состава, платформенной инфраструктуры, дверных циклов, интервалов движения и поведения пассажиров в момент ожидания поезда. Любое локальное отклонение в этой цепочке быстро переходит из разряда бытового неудобства в эксплуатационный фактор. Наиболее

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

заметно это проявляется в часы пик, когда секунды стоянки приобретают значение самостоятельного ресурса линии.

Существенный резерв повышения эффективности связан с распределением людей по длине платформы. Место ожидания выбирается пассажиром преимущественно по привычному маршруту выхода, расположению эскалатора, пересадки или лестничного марша. Информация о фактической заполненности вагонов становится доступной уже в момент прибытия состава, когда пространство у дверей занято и изменить позицию кардинально сложно.

Будничный характер такой неравномерности маскирует ее технологическую значимость. Для пассажира ситуация выглядит как толпа у конкретной двери; для метрополитена она выражается в увеличении времени стоянки, росте разброса фактических интервалов, недоиспользовании вместимости отдельных вагонов и повышенной нагрузке на дверные зоны.

Проект системы умной подсветки платформ направлен на раннее предоставление пассажиру ясного пространственного ориентира. Данные о загрузке вагонов переводятся в цветовой код, считываемый без специальных знаний и без обращения к мобильному приложению. Зеленый участок платформы указывает на более свободный вагон, красный обозначает зону высокой плотности, промежуточные цвета позволяют оценить степень комфорта посадки.

Цель работы заключается в научно-прикладном описании системы световой индикации, предназначенной для повышения равномерности распределения пассажиров по вагонам без реконструкции платформ и без изменения конструкции подвижного состава.

Достижение указанной цели предполагает решение четырех задач: уточнение эксплуатационной природы локального переполнения вагонов; описание

аппаратно-программной архитектуры предлагаемого комплекса; раскрытие принципа получения и обработки данных о входе и выходе пассажиров; обоснование шкалы цветовой индикации с учетом комфортности поездки и технологических ограничений посадки.

Исходное состояние пассажирского распределения

Схема до внедрения проекта отражает типичную картину неравномерной посадки. Пассажиры концентрируются у наиболее удобных точек платформы, связанных с выходами, пересадками и привычными траекториями движения. В результате одни дверные зоны принимают избыточную нагрузку, тогда как другие остаются сравнительно свободными. На рисунках 1 и 2 представлена имитационная модель до внедрения системы индикации заполненности вагонов и после.

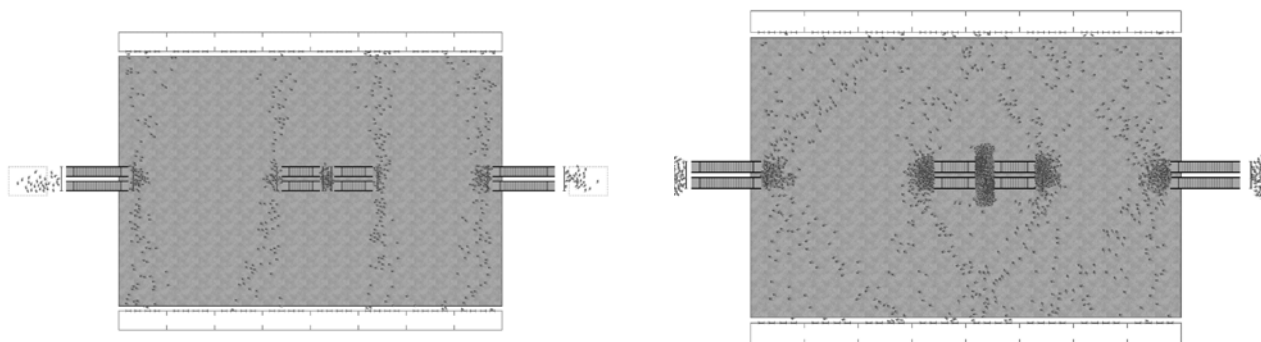


Рисунок 1 – Распределение пассажиров до внедрения системы Рисунок 2 – Распределение пассажиров после внедрения системы

Схема после внедрения проекта демонстрирует изменение информационной среды при сохранении геометрии платформы. Пассажир получает внешний ориентир, показывающий участки с более комфортной посадкой. Такой подход принципиален: человеку не требуется заранее знать структуру станции или прогнозировать загрузку состава по косвенным признакам.

Концепция предлагаемой системы

Логика предлагаемого решения основана на заблаговременном отображении загрузки вагонов. Видя перегруженный сектор платформы, пассажир получает мотив перейти к менее плотной зоне ожидания. Носителем информации служит светодиодная лента, размещенная вдоль края платформы и разделенная на сегменты, соответствующие вагонам или дверным проемам прибывающего состава.

Каждый сегмент передает цветовой статус соответствующего вагона либо дверной зоны. Зеленый и салатовый цвета обозначают свободные или относительно комфортные условия поездки; желтый фиксирует приемлемую заполненность; оранжевый предупреждает о высокой населенности; красный маркирует предельное заполнение, при котором посадка становится затруднительной. На рисунке 3 представлена концепция LED-индикации вдоль платформы.

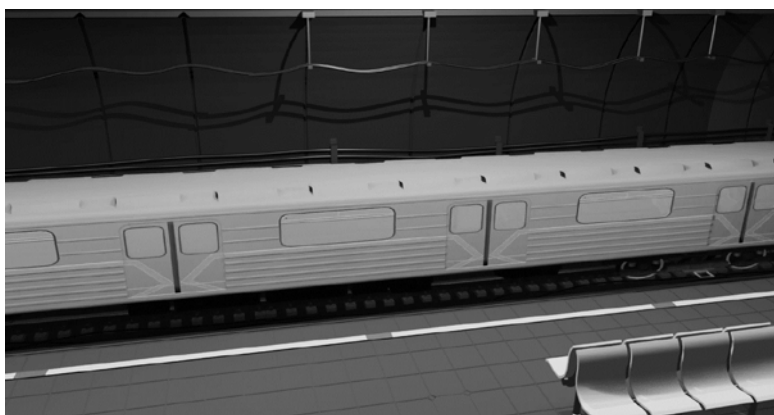


Рисунок 3 – Визуальная концепция LED-индикации вдоль платформы

Система не дублирует существующую навигацию метрополитена. Ее функция уже и конкретнее: оперативно направлять пассажиров по длине состава в момент прибытия поезда. Поэтому проект целесообразно рассматривать как дополнительный слой пассажирской информации, работающий на стыке организации движения, эргономики и цифрового управления городской мобильностью.

Архитектура аппаратно-программного комплекса

Аппаратно-программный комплекс целесообразно представить в виде четырех взаимосвязанных уровней. Сенсорный уровень обеспечивает фиксацию прохода пассажиров через дверные зоны. Уровень локальной обработки на борту вагона определяет направление движения и формирует текущую оценку наполнения. Станционный уровень принимает данные, сопоставляет их с порогами комфортности и выбирает цветовой статус. Исполнительный уровень управляет сегментами LED-подсветки на платформе. На рисунке 4 представлена схема логика работы автоматизированной системы световой индикации.

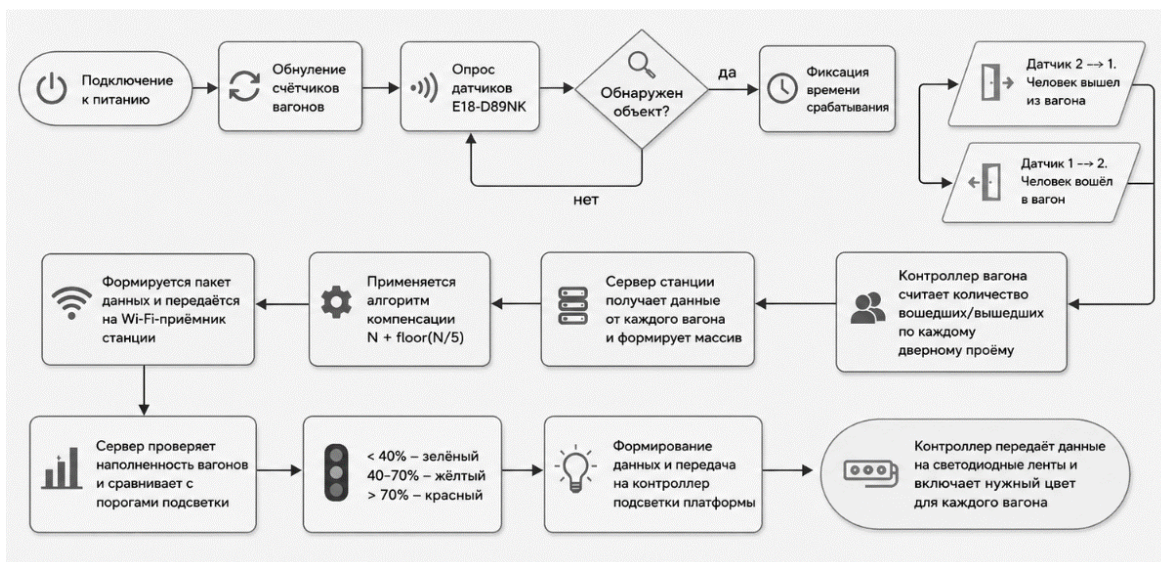


Рисунок 4 – Общая логика работы автоматизированной системы световой индикации

В исходной технической схеме роль вагонного контроллера отведена ESP32. Для проектного прототипа такое решение выглядит оправданным благодаря компактности, поддержке беспроводной передачи данных и возможности обработки сигналов от нескольких датчиков. Передача информации на

станционный сервер может осуществляться через локальную сеть; в проектной конфигурации серверная функция связывается с Raspberry Pi.

Критически важным свойством архитектуры является локальная устойчивость. Временная потеря связи или неполнота данных не должна приводить к хаотичному изменению подсветки. Рабочий алгоритм нуждается в безопасном режиме, основанном на сохранении последнего подтвержденного состояния, переходе к нейтральной индикации или выдаче служебного сигнала для персонала станции.

Система детекции пассажиров в вагонах

Проект предусматривает применение ИК-датчиков E18-D80NK, размещаемых в зоне дверей. Выбор этого элемента требует проверки дальности обнаружения, влияния освещенности, устойчивости к неоднородным поверхностям объекта и поведения датчика при плотном пассажирском потоке. Для каждой двери формируется несколько контрольных лучей, перекрывающих верхнюю и боковые зоны прохода.

Определение направления прохода основано на последовательности пересечения контрольных лучей. Один порядок срабатывания интерпретируется как вход, обратный порядок связывается с выходом. Неполные, противоречивые и слишком быстрые комбинации относятся к помехам и подлежат фильтрации, поскольку в дверной зоне постоянно возникают сложные ситуации: багаж, широкая одежда, встречное движение, групповой проход. На рисунках 5 и 6 представлены схемы расположения датчиков в дверных проёмах и между вагонами.



Рисунок 5 – Пример моделирования контрольных линий в межвагонной зоне



Рисунок 6 – Пример размещения линий детекции у дверного проема

Для компенсации погрешностей в исходном проекте применяется расчетная поправка: $N_{\text{корр}} = N + \text{floor}(N/5)$, где N означает количество пассажиров, определенное системой счета, а $\text{floor}(N/5)$ представляет целую часть от деления N на 5. По содержанию формула увеличивает измеренное значение примерно на 20 процентов. Такая поправка учитывает риск недосчета при плотном проходе пассажиров, наличии багажа и частичном перекрытии лучей.

На следующем этапе указанная формула должна быть уточнена по результатам натурных измерений. Ошибка счета различается по станциям, типам вагонов, времени суток и структуре пассажиропотока. Окончательная версия

алгоритма должна калиброваться статистически, с оценкой средней ошибки, дисперсии, доли пропусков и доли ложных срабатываний. На рисунке 7 представлен промышленный образец разработанной системы индикации на базе Arduino.

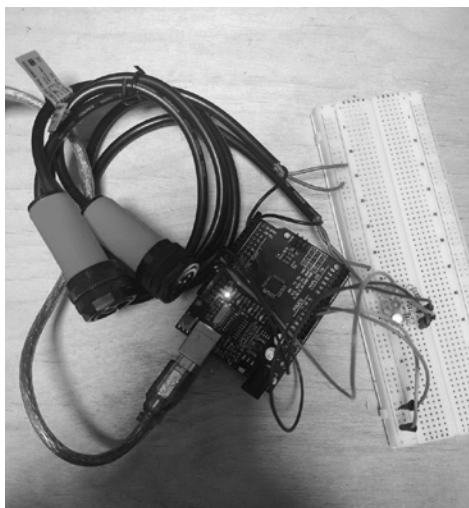


Рисунок 7 – Макет датчиков и контроллера для прототипирования системы счета

Пятиуровневая шкала комфорта

Цветовая шкала является центральным элементом взаимодействия системы с пассажиром и подлежит отдельному обоснованию. Слишком укрупненная градация слабо различает вагоны по степени заполнения; избыточная детализация ухудшает читаемость сигнала в плотном потоке. В проекте принята пятиуровневая модель, где каждому диапазону количества пассажиров соответствует цвет и содержательная интерпретация уровня комфорта. В таблице 1 представлена Пятиуровневая шкала визуального информирования пассажиров.

Таблица 1 – Пятиуровневая шкала визуального информирования пассажиров

Цвет	Загрузка	Интерпретация	Организационное значение
Зеленый	0–40 чел.	Комфортная заполненность	Вероятны сидячие места; посадка проходит без плотного контакта.
Салатовый	41–100 чел.	Умеренная заполненность	Сиденья в основном заняты; пространство для стояния остается свободным.
Желтый	101–170 чел.	Рабочая нагрузка	Вагон используется достаточно полно; перемещение по салону сохраняется.
Оранжевый	171–250 чел.	Высокая плотность	Перемещение затруднено; время посадки и уровень дискомфорта возрастают.
Красный	Более 250 чел.	Предельная заполненность	Вагон близок к переполнению; предпочтителен переход к соседним дверям.

Нижние уровни шкалы соотносятся с числом сидячих мест и субъективным ощущением свободного пространства. Верхние уровни отражают технологический риск посадки: рост плотности увеличивает продолжительность обмена пассажиров через двери, осложняет перемещение внутри салона и повышает вероятность задержки закрытия дверей.

Алгоритм работы системы

Рабочий цикл системы состоит из четырех основных операций. Сначала датчики фиксируют события входа и выхода в дверных зонах. Затем вагонный Дневник науки | www.dnevnika.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

контроллер рассчитывает текущую оценку числа пассажиров. После этого данные передаются на станционный сервер, где выполняется сопоставление с порогами шкалы комфорта. Завершает цикл передача команды на соответствующий сегмент платформенной подсветки.

Индикация должна появляться до открытия дверей либо в самый ранний момент остановки состава. При позднем включении подсказка теряет управленческую ценность и превращается в декоративный сигнал: пассажир уже оказался перед конкретной дверью, а поток вокруг него ограничил возможность перемещения.

Повышение надежности требует включения фильтров сглаживания. Разовое ошибочное срабатывание датчика не должно мгновенно менять цвет сегмента при сохранении общей тенденции загрузки вагона. Без такой стабилизации пассажир увидит мерцающий и противоречивый сигнал, что снизит доверие к системе.

Ожидаемые эксплуатационные результаты

Первым ожидаемым результатом является выравнивание посадки по длине состава. Даже частичный перенос пассажиров из перегруженных зон к менее загруженным дверям способен уменьшить локальные очереди и снизить вероятность задержки закрытия дверей. Инфраструктура станции при этом остается прежней, меняется лишь способ информационного сопровождения пассажира.

Второй результат связан с повышением устойчивости графика движения. Метрополитен не располагает безграничным резервом сокращения интервалов при постоянном колебании фактического времени стоянки. Физические ограничения пассажиропотока сохраняются, однако световая индикация помогает уменьшить один из источников эксплуатационной вариативности.

Третий результат относится к качеству пассажирского опыта. Человек получает точную подсказку непосредственно в месте принятия решения. Благодаря этому поездка становится более управляемой для пассажира: он понимает, куда перейти, чтобы разместиться свободнее.

Четвертый ожидаемый результат выражается в снижении локальной нагрузки на дверные механизмы и край платформы. Более равномерное распределение пассажиров уменьшает число конфликтных ситуаций у отдельных дверей, снижает давление очереди на вход и делает процесс посадки визуальным предсказуемым для дежурного персонала.

Ограничения и условия внедрения

Проект следует рассматривать как перспективную опытную разработку, требующую последующего доведения до промышленного уровня. Перед внедрением необходима проверка точности датчиков в реальном пассажирском потоке, устойчивости связи между вагоном и станционным сервером, читаемости цветовой шкалы в условиях разной освещенности и соответствия требованиям транспортной безопасности.

Отдельное значение имеет доступность цветового кодирования. Часть пассажиров различает отдельные цвета хуже среднего, поэтому цветовую шкалу целесообразно дополнить вторичными признаками: пиктограммами, мягкой пульсацией, разной геометрией светового контура и дублирующим текстовым обозначением на информационных табло.

Поведенческая инерция также ограничивает эффект внедрения. Пассажир не всегда готов пройти дополнительные 10–20 метров по платформе ради менее загруженного вагона. Практическая результативность системы будет зависеть от

повторяемости сигнала, доверия к нему и заметности выигрыша в комфорте после нескольких поездок.

Практическая значимость и перспективы развития

Практическая ценность решения состоит в использовании существующей инфраструктуры станции и состава как основы для цифрового управления пассажиропотоком. По сравнению с капитальным расширением платформ, строительством новых переходов или изменением конструкции вагонов световая индикация относится к менее затратным и более гибким инструментам повышения эксплуатационной эффективности.

Перспективное развитие системы связано с интеграцией данных видеонаблюдения, расписания движения, прогноза прибытия поездов и аналитики пассажиропотока по времени суток. В такой конфигурации подсветка сможет работать в прогнозном режиме, учитывая текущую загрузку вагонов, ожидаемый приток пассажиров на платформу и характер следующего пересадочного узла.

Накопленные данные могут использоваться для последующего анализа работы станции. Постоянная перегрузка отдельных участков платформы станет основанием для решений более высокого уровня: корректировки схемы выходов и указателей, изменения расположения сервисных элементов, уточнения сценариев информирования и подготовки мероприятий по управлению пассажирскими потоками.

Заключение

Автоматизированная система световой индикации загруженности вагонов представляет собой прикладной инструмент повышения эффективности работы метрополитена. Ее достоинство заключается в простом пользовательском интерфейсе: пассажиру не требуется читать сложные сообщения, интерпретировать

числовые данные или открывать дополнительный сервис. Цветовой сигнал сразу связывается с конкретным местом на платформе и с ожидаемыми условиями посадки.

Предложенная архитектура объединяет четыре группы элементов: датчики пассажиропотока, локальные вагонные контроллеры, станционный сервер обработки данных и сегментированную LED-подсветку. Пятиуровневая шкала комфорта переводит численность пассажиров в навигационную подсказку, понятную в условиях ограниченного времени принятия решения. Ожидаемый эффект проявляется в более равномерной посадке, стабилизации времени стоянки, росте использования вместимости состава и повышении комфортности поездки.

Для перехода от проектной концепции к внедрению необходима опытная проверка. Требуется подтвердить точность детекции, подобрать алгоритмы коррекции, оценить восприятие пассажирами и обеспечить совместимость с требованиями безопасности. При корректной калибровке система может стать частью более широкой цифровой среды управления пассажиропотоками в городском рельсовом транспорте.

Библиографический список:

1. Авдеев, В. С. Распределение пассажиропотока на примере транспортной системы Московского метрополитена / В. С. Авдеев // Этносоциум и межнациональная культура. – 2020. – № 9(147). – С. 32-44. – EDN LKXRBN.
 2. Аверченков, Е. О. Функциональная структура комплекса систем управления движением поездов метрополитена / Е. О. Аверченков, Л. А. Баранов, М. А. Шевченко // Автоматика на транспорте. – 2021. – Т. 7, № 3. – С. 343-361. – DOI 10.20295/2412-9186-2021-7-3-343-361. – EDN XPGZQZ.
 3. Баранов, Л. А. Подходы к моделированию пассажиропотоков в рамках функционирования интеллектуальной системы управления городскими
- Дневник науки | www.dnevnika.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

рельсовыми транспортными системами / Л. А. Баранов, В. Г. Сидоренко, Л. Н. Логинова // Автоматика на транспорте. – 2021. – Т. 7, № 4. – С. 539-564. – DOI 10.20295/2412-9186-2021-7-4-539-564. – EDN XEYHJN.

4. Баталов, М. А. Оптимизация пассажиропотока в метро наземным транспортом / М. А. Баталов, Е. К. Егорова, А. В. Мокряков // Сборник научных трудов кафедры прикладной математики и программирования по итогам работы постоянно действующего семинара «Теория систем». – Москва : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)", 2022. – С. 289-296. – EDN RJLPYQ.

5. Егорова, Е. К. Оптимизация пассажиропотока на примере разделения потоков внутри пересадочных станций / Е. К. Егорова, А. В. Мокряков, В. Д. Орловская // Сборник научных трудов кафедры прикладной математики и программирования по итогам работы постоянно действующего семинара «Теория систем». – Москва : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)", 2022. – С. 302-309. – EDN OFJAYO.

6. Исследование, оптимизация и совершенствование общих характеристик, анализ зарождения, следования и погашения пассажиропотоков на ТПУ "Марьино" / Г. М. Лысов, А. А. Сеницын, А. С. Дружинин, С. П. Радчин // Кочневские чтения - 2023: современная теория и практика эксплуатационной работы железных дорог : труды II-й Международной научно-практической конференции, Москва, 19–20 апреля 2023 года. – Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2023. – С. 366-376. – EDN UBEELX.

7. Лаптев, Е. П. Имитационное моделирование как инструмент проектирования пассажиропотока в метро / Е. П. Лаптев, И. О. Яблочникова, С. Л. Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

Яблочников // Поколение будущего: взгляд молодых ученых - 2021 : сборник научных статей 10-й Международной молодежной научной конференции, Курск, 11–12 ноября 2021 года. Том 3. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – С. 82-85. – EDN SEPGTM.

8. Маханкин, А. В. Визуальный анализ данных пассажиропотоков московского метрополитена / А. В. Маханкин, Д. Е. Намиот // International Journal of Open Information Technologies. – 2022. – Т. 10, № 6. – С. 133-140. – EDN LWWTCL.

9. Меркелова, Т. В. Способы организации мониторинга пассажиропотоков общественного транспорта / Т. В. Меркелова, Ю. С. Коротких // Наука без границ. – 2021. – № 4(56). – С. 48-52. – EDN ERMKQA.

10. Петрова, Д. В. Современные подходы к организации мониторинга пассажиропотоков общественного транспорта городских агломераций / Д. В. Петрова // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8, № 1. – С. 47-57. – EDN XZKKSM.

11. Покусаев, О. Н. Дискретно-событийное моделирование для системы метро / О. Н. Покусаев, Д. Е. Намиот, А. Е. Чекмарев // International Journal of Open Information Technologies. – 2021. – Т. 9, № 7. – С. 107-113. – EDN AWAIUK.

12. Сергеев, С. С. Разработка многофункционального контроллера для управления адресной светодиодной лентой / С. С. Сергеев // Проблемы современной науки и её прикладные аспекты : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Чистополь, 14 мая 2025 года. – Санкт-Петербург: ООО Издательский дом "Сциентиа", 2025. – С. 450-455. – EDN OEWWWE.