



Выборочное обследование пассажиропотока методом анализа Wi-Fi данных в московском транспортном узле. Часть 2



Николай Юрьевич Алексеев
АО Ситроникс, Москва, Россия.
✉ alekseev-trn@mail.ru.

Николай АЛЕКСЕЕВ

АННОТАЦИЯ

В современных, быстро развивающихся городах мира для построения транспортной модели городов требуются данные о пассажиропотоках. Отсутствие таких данных не позволяет своевременно принимать управленческие решения на уровне их распределения, в том числе в рамках общих транспортных потоков.

На данный момент существуют различные методы и системы для подсчёта пассажиропотоков, такие как глазомерный, анкетный и талонный методы и различные автоматизированные системы. Однако известные методы имеют свои недостатки.

По этой причине актуальной является задача поиска альтернативных методов и источников данных для исследования пассажиропотоков.

Данная статья опирается на актуализированные результаты исследования, проведённого в рамках подготовки автором магистерской диссертации. В его процессе и в развитие более ранних работ автора, в качестве источника данных были выбраны данные о подключении пассажиров к Wi-Fi роутерам. Так как на данном этапе исследование проводилось на территории Московского транспортного

узла, в метрополитене и на Московском центральном диаметре, в вагонах которых установлено огромное количество Wi-Fi роутеров, при подключении к которым можно бесплатно получить доступ в Интернет, это значительно расширяет выборку Wi-Fi данных.

Целью данного исследования является изучение возможностей обработки Wi-Fi данных, полученных от Wi-Fi сканеров, в качестве инструмента анализа пассажиропотоков.

По результатам проведённого исследования было определено, что в среднем до 40 % пассажиров, находящихся в вагонах метрополитена и МЦД на обследованных линиях поездов, используют включённый Wi-Fi модуль в своём мобильном устройстве.

Результаты исследования подтвердили, что Wi-Fi данные могут быть использованы в качестве инструмента для анализа пассажиропотоков, но в то же время выявили необходимость сочетать их с другими источниками данных, также показали сильную зависимость результатов обработки Wi-Fi от технических характеристик Wi-Fi сканера и его расположения в транспортном средстве при проведении замеров.

В данном номере публикуется вторая часть статьи.

Ключевые слова: транспорт, городской общественный транспорт, метро, городская железная дорога, пассажиропоток, анализ данных, Wi-Fi аналитика.

Благодарности: автор выражает искреннюю признательность кандидату географических наук, старшему научному сотруднику Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ) Павлу Владимировичу Зюзину за его неоценимую помощь при проведении исследования и подготовке к публикации его результатов.

Для цитирования: Алексеев Н. Ю. Выборочное обследование пассажиропотока методом анализа Wi-Fi данных в московском транспортном узле. Часть 2 // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 4 (101). С. 39–60. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2022-20-4-4>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

Мировой опыт в области Wi-Fi аналитики

Учитывая растущее количество Wi-Fi устройств и Wi-Fi оборудования на территории Московской агломерации, необходимо решить задачу систематизации существующих методов сбора данных в области Wi-Fi аналитики.

Кейс Гонконгского политехнического университета

Одним из кейсов может быть пример Гонконгского политехнического университета (PolyU). Эмпирические данные были собраны автором в период учебной стажировки в период с августа по ноябрь 2018 года.

На территории университета было расположено двенадцать Wi-Fi/Bluetooth сканеров, предназначенных для мониторинга пешеходных потоков. Также помимо установленных стационарных Wi-Fi/Bluetooth сканеров были установлены видеокамеры. Для исследования были предоставлены доступы ко всем двенадцати Wi-Fi сканерам, а именно, к ежедневной выгрузке Wi-Fi и видеоданных.

Основная задача заключалась в исследовании пешеходных потоков до строительства пешеходного моста и после его строительства. На момент проведения исследования между основными зданиями университета и административным корпусом находился подземный пешеходный переход под автомобильной дорогой. Пешеходный мост стал бы альтернативным способом перемещения между основными зданиями и административным корпусом.

Суть исследования заключалась в обработке так называемых MAC-адресов. MAC-адрес, как известно, – это шестизначный код устройства (AA: BB: CC: DD: EE: FF), присваиваемый производителем данного устройства. Каждый производитель оборудования, который производит продукцию, предназначенную для использования в сети Интернет, присваивает уникальный MAC-адрес каждому выпущенному устройству. У каждого производителя существует разное количество MAC-адресов. По первым трём значениям любого MAC-адреса (AA: BB: CC: __: __: __) можно определить производителя оборудования. Следующие три значения (__: __: __: DD: EE: FF) очень разнообразны и уникальны для каждого устройства.

Первые два месяца исследования были посвящены анализу и обработке Wi-Fi данных. Для утверждения, что полученный MAC-адрес принадлежит к конкретному устройству, а конкретное устройство, соответственно, находится у потенциального пешехода, изучались временные отрезки и проводилось их сопоставление с данными видеокамер. На практике это происходило следующим образом: выбирались два Wi-Fi сканера, которые располагались, соответственно, в начале и конце пешеходного подземного перехода. Также, помимо расположенных Wi-Fi сканеров в непосредственной близости от них располагались две видеокамеры. Соответственно, анализировались 15–20-минутные отрезки времени и сопоставлялись Wi-Fi данные и видеоданные. В результате удалось вычислить *n*-количество пешеходов по их MAC-адресам. Пешеходы двигались в разные стороны: как в сторону административного здания, так и обратно. По итогам данного исследования были получены результаты, позволяющие утверждать, что по MAC-адресу устройства и полученной временной отметке можно определять потенциальные пешеходные потоки и их направления.

Иные источники

В статье [17] приводятся результаты исследования в столице Кении – Найроби, где были установлены 42 Wi-Fi сканера возле транспортно-пересадочного узла с целью сбора и анализа полученных Wi-Fi данных. Авторам удалось определить среднее число мобильных устройств с включённым Wi-Fi модулем, радиус обнаружения Wi-Fi устройств, оценить количество пешеходов (пассажиров) и их время ожидания на общественных остановках. Исходя из полученных данных, авторы предложили местным органам власти внести изменения в правила организации автобусных маршрутов.

По сведениям, полученным из открытых источников¹, в большинстве случаев Wi-Fi сканеры, также имеющие название Wi-Fi снифферы (анализаторы трафика) и Wi-Fi радары, на территории Российской Федерации используются в ритейле, а именно, в торговых центрах для анализа потенциальных покупателей. В торговой точке в центре зала

¹ Hot-wifi. Сайт производителей Wi-Fi радаров. [Электронный ресурс]: <https://hot-wifi.ru/radar/>. Доступ 10.04.2022.

Сравнительные характеристики Wi-Fi сканеров
[составлено автором на основе характеристик оборудования]³

	Meshlium Libelium Scanner	Wi-Fi роутер TP-LINK
Встроенное ПО	+	+
Встроенная антенна Wi-Fi	+	+
Встроенная антенна Bluetooth	+	—
Внешняя антенна Wi-Fi	+	—
Внешняя антенна Bluetooth	+	—
Доступ к интерфейсу оборудования	+	—
Встроенный PHP ADMIN	+	—
Доступ к исходным данным	+	—

устанавливается Wi-Fi «радар», который сканирует все вошедшие в данное помещение и вышедшие из него MAC-адреса устройств. Основой для этого является распространённость бесплатного Wi-Fi в торговых центрах и, соответственно, бесплатного доступа в Интернет, когда у потенциальных покупателей появляется возможность включения Wi-Fi модуля в своём устройстве (например, в телефоне, ноутбуке и т.д.).

В статье [18] авторы исследовали технические характеристики Wi-Fi сканеров, а именно влияние антенн на результат при сборе Wi-Fi данных. Полученные данные использовались с целью оценки времени в пути для пешеходов и велосипедистов.

В другой статье [19] авторами была проведена оценка времени ожидания пассажиров общественного транспорта на крупнейшем автовокзале Токио при помощи анализа Wi-Fi устройств. Ими был создан метод оценки времени пребывания пассажиров (пешеходов) и сделан вывод, что для получения более точных Wi-Fi данных требуется увеличение мест наблюдения и мест сбора Wi-Fi данных.

В статье [20] авторы утверждают, что лёгкий доступ в Интернет в пути следования имеет большой потенциал для изменения деятельности пассажира во время поездки. Соответственно, в больших городах количество пользователей Интернета возрастает. Также существует вероятность, что новые технологии могут улучшить качество жизни, но ухудшить экологию.

В статье [21] авторы рассмотрели полученные от Wi-Fi устройств данные с целью возможности их использования для расчёта пассажиропотока, был сделан вывод, что для данного расчёта требуется большее количество Wi-Fi устройств. По мнению авторов, Wi-Fi данные коррелируют с реальными данными о пассажирах, но Wi-Fi данных, по их мнению,

недостаточно для отображения полной картины конкретного пассажиропотока.

Таким образом, в изученных источниках не было найдено решений и методов по расчёту маршрутов перемещения потенциальных пассажиров общественного транспорта, получаемых на основе анализа Wi-Fi данных.

В результате анализа сайта государственных закупок был обнаружен заключённый контракт в октябре 2020 года на 152 млн рублей² на создание комплексной информационной системы мониторинга пассажиропотока (КИС МП) в рамках развития интеллектуальной транспортной системы г. Москвы. В рамках данного контракта поставщик обязан поставить 20 мобильных устройств мониторинга пассажиропотока и 200 стационарных Wi-Fi сканеров. Также, поставщик был обязан смонтировать данное оборудование, разработать программное обеспечение и проводить сервисное обслуживание как установленного оборудования, так и программного обеспечения. Также должен был быть создан модуль отчётности, включающий формирование тепловых карт и отчёта по количеству пользователей и др.

Методология исследования

Для получения результата, а именно данных о пассажиропотоках, требовалась самостоятельная разработка методологии исследования, в основу которой вошёл выбор Wi-Fi

² Создание комплексной информационной системы мониторинга пассажиропотока (КИС МП) в рамках развития интеллектуальной транспортной системы г. Москвы. Официальный сайт государственных закупок. [Электронный ресурс]: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/common-info.html?regNumber=0173200001420001132>. Доступ 10.04.2022.

³ Используется последовательная нумерация таблиц с учётом первой части статьи.



сканера и разработка программы для анализа Wi-Fi данных на базе Microsoft Excel. Составной частью методологии является выбор маршрутов (исследовательских случаев) и времени замеров.

В рамках исследования использовалось оборудование с параметрами, обозначенными в таблице 2.

В рамках исследования Wi-Fi сканер использовался как динамический. Динамический Wi-Fi сканер подразумевает использование переносного источника питания.

Выбранный Wi-Fi сканер имеет различные технические параметры, в частности, дополнительные Wi-Fi/Bluetooth антенны, позволяющие корректировать работу Wi-Fi сканера. В рамках данной работы анализировались только Wi-Fi данные, технические параметры Wi-Fi сканера настраивались в интересах исследования, проводились эксперименты для улучшения результатов. В данной работе Bluetooth данные не рассматриваются.

Wi-Fi сканер служил источником исходных, а Wi-Fi роутер – обработанных Wi-Fi данных.

Wi-Fi сканер имеет различные параметры, влияющие на конечный результат обработки данных. Первым параметром является временная метка (TimeStamp), то есть то время, в которое была произведена фиксация устройства, а именно определение его MAC-адреса. Используемый Wi-Fi сканер имеет несколько видов периодичности сканирования. До недавнего времени Wi-Fi сканер имел возможность сканирования каждые 15–90 секунд, но при обновлении программного обеспечения Wi-Fi сканера появилась возможность сканирования в режиме онлайн. Данный вид сканирования был выбран исходя из гипотезы его значительного влияния на результаты сбора данных.

Вторым параметром, получаемым от Wi-Fi сканера, является MAC-адрес. В рамках данной работы MAC-адрес являлся уникальным параметром, позволяющим определить конкретное Wi-Fi устройство, и соответственно, можно было вычислить потенциального пассажира.

В процессе исследования накопительным итогом собиралась база данных из MAC-адресов производителей оборудования, таких как, например, Apple, Samsung и т.д. Соответственно, учитывая, что данные

производители выпускают преимущественно мобильные устройства, ноутбуки и другие персональные гаджеты, был сделан вывод о том, что при обнаружении устройств с высокой долей вероятности данное устройство находится у пользователя, а именно, у потенциального пассажира. И соответственно, MAC-адрес данного Wi-Fi устройства можно считать признаком пассажира. База данных пополнялась MAC-адресами производителей сетевого оборудования, такого как роутеры, маршрутизаторы и т.д., например, такими как D-Link international, Cisco Systems и другие. В дальнейшем такие MAC-адреса идентифицировались как «шумы» и «очищались» в первой степени фильтрации, так как сетевое оборудование не может соотноситься с потенциальными пассажирами.

Одним из важнейших вопросов была «рандомизация» MAC-адресов^{4,5}. С определённого времени производители Wi-Fi устройств прописывают в программное обеспечение возможность «рандомизации» MAC-адреса. Данная технология направлена на защиту от Wi-Fi сканирования с целью дальнейшей обработки и для снижения эффективности анализа Wi-Fi данных. Но в результате изучения литературы [22] и проведения ряда экспериментов и анализа данных выяснилось, что существующая рандомизация используется далеко не на всех Android и iOS устройствах. Также многое зависит от программного обеспечения устройства и даты его выпуска. Точных сведений о том, какое устройство рандомизирует MAC-адреса, а какое не рандомизирует, нет. Более того, в рамках данного исследования был обнаружен уникальный MAC-адрес, точнее первые его три значения, характеризующие производителя оборудования, принадлежащие компании Google. Данные MAC-адреса не относились к конкретным производителям, но не изменяли своего адреса за весь период сканирования. В среднем, в течение 40–50 минут, пока собирались Wi-Fi данные, MAC-адрес, принадлежащий Google, не менялся. То есть, существующая рандомизация MAC-адресов несовершенна и существенно не влияет на результат.

⁴ Что на самом деле происходит с рандомизацией MAC-адресов. [Электронный ресурс]: habr.com/ru/post/375057/. Доступ 10.04.2022.

⁵ Всё, что вы хотели знать о MAC-адресе. [Электронный ресурс]: habr.com/ru/post/483670/. Доступ 10.04.2022.

Также, хотелось бы отметить, что MAC-адрес является тоническим параметром, никак не связанным с персональными данными и данными мобильного оператора. MAC-адрес назначается производителем, пользователь приобретает данное устройство с уже установленным MAC-адресом⁶. То есть, MAC-адрес никак не связан с номером мобильного телефона или номером транспортного средства. Более того, в случае выключения режима поиска Wi-Fi в мобильном устройстве устройство не будет обнаружено. Пользователь самостоятельно решает иметь ли ему включённый Wi-Fi модуль в собственном устройстве.

Третьим параметром является SSID. SSID (Service Set Identifier) – это название Wi-Fi устройства. По названию Wi-Fi устройства теоретически можно определить тип устройства, например, мобильный телефон или сканер. При каждой поездке с динамическим Wi-Fi сканером фиксировалось большое количество данных от сети с названием «MT_FREE», что по определению является названием Wi-Fi оборудования в сети городского общественного транспорта Москвы. Далее данные MAC-адреса удалялись и не обрабатывались.

Четвёртый параметр – RSSI (Received Signal Strength Indicator) – показатель уровня принимаемого сигнала. Данный параметр очень важен для анализа Wi-Fi данных по причине возможности определения примерного расстояния от Wi-Fi сканера до Wi-Fi устройства. В исследовании параметр RSSI был в диапазоне от -89 до -50 децибел. Эти показатели характеризуют то, что все потенциальные пассажиры находились в непосредственной близости от динамического Wi-Fi сканера.

Пятый параметр – это Vendor (производитель), описанный выше.

Разработка программы для анализа Wi-Fi данных на базе Microsoft Excel

Важнейшим элементом анализа Wi-Fi данных является программное обеспечение. В рамках данной работы в качестве основы для анализа и обработки Wi-Fi данных был выбран Microsoft Excel.

⁶ Meshlium Technical Guide. Документация Wi-Fi сканера. [Электронный ресурс]: <https://development.libelium.com/meshlium-technical-guide/general>. Доступ 10.04.2022.

Wi-Fi сканер собирал данные в режиме онлайн. Полученные временные отметки (TimeStamp) синхронизировались с отметкой открытия дверей в вагонах МЦД и метрополитена. Wi-Fi сканер фиксировал временную отметку с MAC-адресом. Далее она сопоставлялась со временем открытия двери вагонов. Данные об открытии дверей вагона заносились исследователем самостоятельно в таблицу по каждому маршруту движения. Также исследователь на каждой станции МЦД или метрополитена записывал количество пассажиров, находящихся в данный момент времени в вагоне. Таким образом исследователь вместе с Wi-Fi сканированием использовал глазомерный метод для подсчёта пассажиров и в дальнейшем сравнивал реальное количество пассажиров в вагоне с Wi-Fi данными.

Все исследования, а именно сбор и анализ Wi-Fi данных, проводились исключительно автором данной работы.

Фильтрация данных

Исследователем были созданы следующие этапы фильтрации данных и алгоритмы:

1. На первом этапе фильтрации «отсеивались» Wi-Fi данные от всех Wi-Fi роутеров и других стационарных Wi-Fi устройств.

2. На втором этапе фильтрации «отсеивались» Wi-Fi данные, имеющие одну временную отметку.

3. Далее происходил этап синхронизации временной отметки Wi-Fi со временем открытия двери вагона.

Также решалась задача отбора данных для определения различных свойств пассажиропотоков, таких как средняя дальность поездки и среднее время поездки пассажиров. Сбор данных производился в утренние часы пик.

Результаты эмпирического исследования

Период сбора данных: с февраля по май 2021 года. Участками проведения исследования являлись маршруты Московского метрополитена и МЦД.

Указанные в таблицах 3 и 4 маршруты были определены по следующим критериям.

Все четыре участка имеют разные вводные параметры, которые, по мнению автора, влияют на получаемые результаты.

1. Длина маршрута.

Участки № 1, 2, 4 имеют длину свыше 20 км, а участок № 3 – 8,8 км. Участок № 3 является полным маршрутом и имеет транс-



Таблица 3

Участки исследования [выполнено автором]

Участки	Линия метрополитена	Начальная станция исследования	Конечная станция исследования	Количество обработанных маршрутов в утренний час пик	Длина маршрута (км)	Среднее время прохождения маршрута
1	МЦД-2	Бутово	Москва Курская	3	29,2	00:48:00
2	Замоскворецкая линия	Алма-Атинская	Белорусская	3	27,9	00:41:46
3	Бутовская линия	Бунинская аллея	Битцевский парк	3	8,8	00:16:40
4	Таганско-Краснопресненская линия	Котельники	Баррикадная	3	25,1	00:38:00

Таблица 4

Особенности выбранных участков [выполнено автором]

Участки	Длина маршрута свыше 20 км	Преимущественное заложение линии	Характер сочленения подвижного состава	Расположение сканера: уровень пола/верхняя полка
1	+	Наземное	Сочленённый со сквозным проходом	Верхняя полка
2	+	Подземное	СМЕ (вагонные сцепки без прохода)	Уровень пола
3	–	Наземное/Подземное	СМЕ (двухвагонные секции)	Уровень пола
4	+	Подземное	Сочленённый со сквозным проходом	Уровень пола

портно-пересадочный узел на ст. улица Старокачаловская с переходом на ст. Бульвар Дмитрия Донского.

2. Преимущественное заложение линии.

Участки № 2, 4 являются подземными, участок № 1 наземным, а участок № 3 – и наземным, и подземным. Данные участки Бутовской линии метрополитена выбирались из-за их различных технических характеристик, которые могут влиять на передаваемый сигнал.

3. Характер сочленения подвижного состава.

Главной особенностью полученных результатов являлось то, что в сочленённых вагонах результат после обработки Wi-Fi данных оказывался лучше, чем в поездах без проходов. Это обусловлено спецификой работы Wi-Fi.

4. Расположение сканера: уровень пола/верхняя полка.

Расположение Wi-Fi сканера имеет определяющее значение для результата исследования. При расположении Wi-Fi сканера на

верхней багажной полке вагона (участок № 1) результат оказывался близким к идеальному, а, соответственно, при расположении Wi-Fi сканера на полу в поездах без проходов результат оказывался наихудшим, но только в закрытом вагоне.

В итоге из четырёх участков наилучшим по полученным и обработанным данным оказался результат при расположении Wi-Fi сканера на верхней полке (участок № 1) и при сочетании сочленённого вагона и расположения Wi-Fi сканера на полу (участок № 4). Соответственно, наихудшим результат был в поездах без проходов и при расположении Wi-Fi сканера на полу (участки № 2 и № 3).

Участок № 1. ст. Бутово (МЦД-2)–ст. Москва Курская (МЦД-2)

В период с 1 по 5 марта 2021 года был проведён сбор данных на участке № 1, а именно от ст. Бутово (МЦД-2) до ст. Москва-Курская (МЦД-2). Длина данного маршрута составила 29,2 км, а среднее время прохождения в пути – 48 минут.



Рис. 1. Изображение участка № 1. [Электронный ресурс]: https://yandex.ru/metro/moscow?scheme_id=sc34974011/. Доступ 10.04.2022.

На пути данного маршрута существует два транспортно-пересадочных узла – ст. Царицыно (МЦД-2) и ст. Текстильщики (МЦД-2). Конечной точкой была выбрана ст. Москва-Курская (МЦД-2), которая фактически является также транспортно-пересадочным узлом. Таким образом, на опытном участке исследованы особенности циркуляции данных в зонах транспортно-пересадочных узлов с высокой сменяемостью пассажиров. Помимо сбора Wi-Fi данных проводился визуальный замер количества пассажиров в вагоне в конкретный момент времени, а именно во время открытия и закрытия дверей вагона. Фиксировалось время открытия дверей и количество

пассажиров на момент закрытия дверей вагона, тем самым исключались вышедшие пассажиры.

Для равномерности исследования все замеры проводились в утренние часы пик, в промежуток с 07:00 до 08:30 в будние дни.

Для улучшения результата на участке № 1 дополнительно собирались Wi-Fi данные до прибытия поезда возле турникетов на вход на платформу МЦД-2 о пассажирах, вошедших именно на начальной станции исследования – Бутово (МЦД-2). Результат зависел от расположения Wi-Fi сканера и мощности антенны. Далее исследователь по прибытии поезда заходил в вагон, фиксировал время входа в вагон,



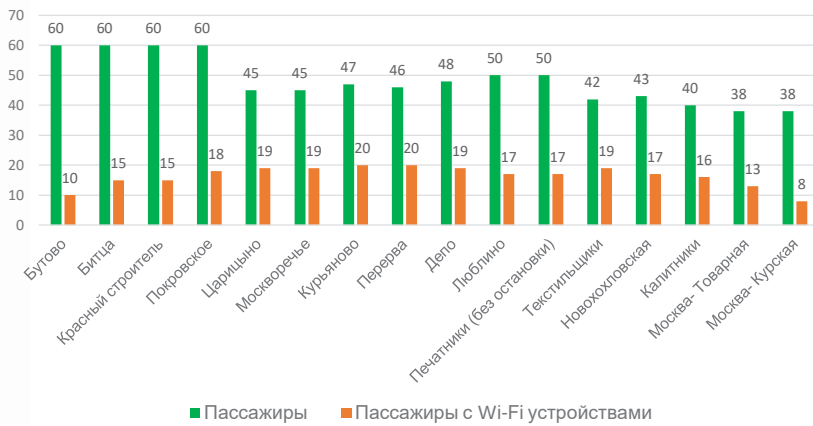


Рис. 2. Соотношение реального числа пассажиров с числом пассажиров с включённым Wi-Fi модулем (МЦД Бутово–Москва–Курская – утренний час пик) – 1 марта 2021 года [выполнено автором].



Рис. 3. Процентное соотношение доли пассажиров с включённым Wi-Fi модулем (серый/более светлый сектор) и доля пассажиров с выключенным Wi-Fi модулем (голубой/более тёмный сектор) [выполнено автором].

фиксировал количество пассажиров в вагоне и располагал динамический Wi-Fi сканер на верхней полке вагона, находясь примерно в середине вагона. Далее на протяжении всего пути фиксировалось количество пассажиров в вагоне и время открытия дверей вагона.

После сбора Wi-Fi данных исследователь переходил к их обработке. Используя выше-указанный алгоритм обработки данных и степени фильтрации, были получены показатели, указанные на рис. 2.

На рис. 3 представлено процентное соотношение между реальным числом пассажиров и расчётным числом пассажиров с включённым Wi-Fi модулем на их устройствах. Как показано на рис. 3, на таких станциях как Курьяново (43 %), Перерва (43 %) и Текстильщики (45 %) доля пассажиров с устройствами с включённым Wi-Fi модулем приближалась к 50 %, что является достаточно высоким результатом.

Далее анализировались маршруты потенциальных пассажиров. При помощи Wi-Fi

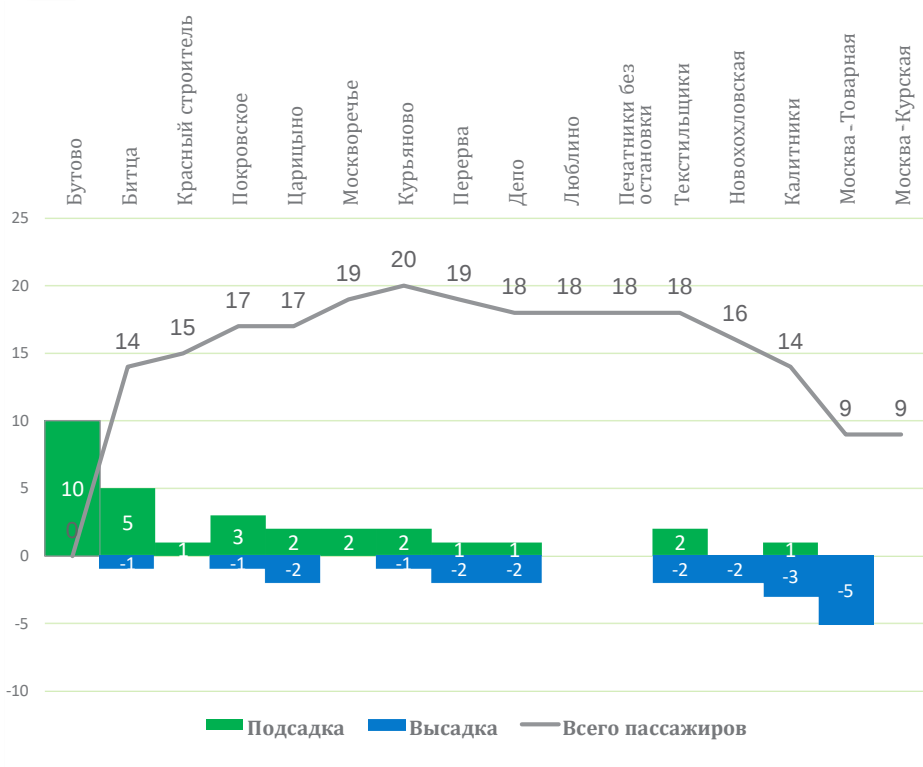


Рис. 5. Количество пассажиров на участке № 1 [выполнено автором].

сканера были определены начальные и конечные временные отметки MAC-адресов мобильных устройств, что позволило определить потенциальные начальные и конечные точки входа и выхода пассажира. Синхронизация временной отметки открытия дверей вагона сопоставлялась с временной отметкой от Wi-Fi сканера. В силу того, что временная отметка MAC-адреса устройства отличалась от временной отметки открытия двери, сопоставление данных отметок осуществлялось с погрешностью в 30–40 секунд. То есть, потенциальный пассажир, а именно MAC-адрес его мобильного устройства, мог быть определен как до входа в вагон, так и после. Но рассматривая первую и конечную временные отметки Wi-Fi устройства, стало ясно, что период постоянного определения Wi-Fi устройства между начальной и конечной точками мог составлять от 1,5 до 38 минут.

Таким образом были получены маршруты потенциальных пассажиров с их начальными и конечными временными отметками. Обнаружение временной отметки уникального MAC-адреса принималось точкой входа в вагон, а её исчезновение – точкой выхода из вагона.

Стоит отметить, что возможны случаи включения Wi-Fi модуля на устройстве как после входа в вагон, так и выключение его в любой момент времени. Исследователь счёл нужным рассматривать данные случаи как погрешность системы, так как в данной ситуации важную роль играл человеческий фактор. Но в случае, если потенциальный пассажир включал Wi-Fi модуль позже входа в вагон, расчёт производился с синхронизацией его с ближайшей временной отметкой открытия двери, а именно, с ближайшей станцией метро (МЦД).

При помощи созданного алгоритма удалось определить 29 маршрутов конкретных пользователей на участке № 1 в первом рассматриваемом случае на всём пути следования. Результаты отражены на рис. 4.

По каждому из 29 потенциальных маршрутов пассажиров были определены:

- время в пути;
- расстояние, которое проехал пассажир;
- начальная точка входа в вагон МЦД;
- конечная точка выхода из вагона МЦД.

По всем 29 маршрутам были определены: среднее время в пути, составившее 23 минуты 35 секунд из максимального времени проезда всего измеряемого участка в 48 ми-

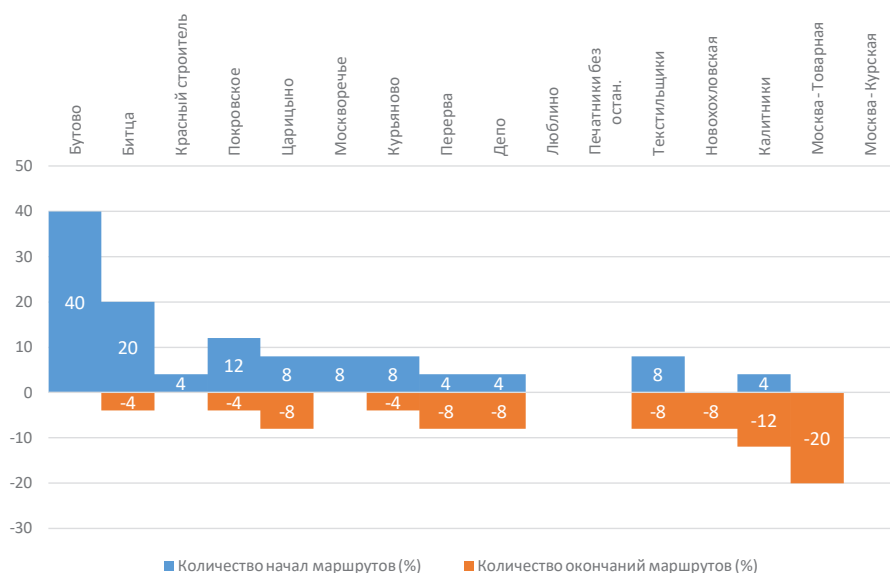


Рис. 6. Процентное соотношение количества начатых и завершённых на данной станции поездок пассажиров [выполнено автором].

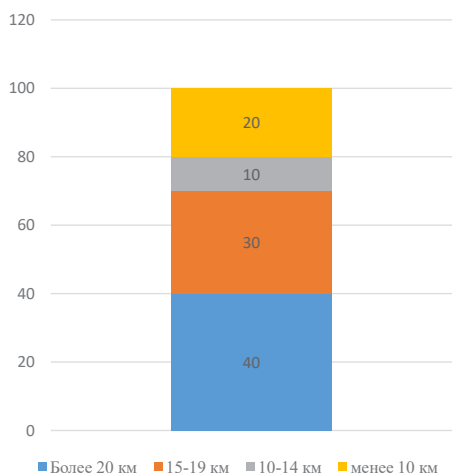


Рис. 7. Распределение маршрутов пассажиров с Wi-Fi устройствами от станции Бутово в зависимости от дальности их поездки (%) [выполнено автором].

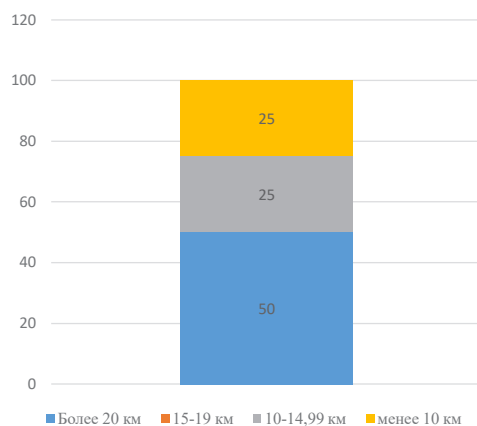


Рис. 8. Распределение длины маршрутов проезда пассажиров с Wi-Fi устройствами, доехавших до ст. Москва-Курская (конечной станции замера) (%) [выполнено автором].

нут, а также средняя дальность поездки, составившая 15,09 км (из общего километража, равного 29,2 км).

В связи с поставленной задачей определить, как можно большее количество характеристик (параметров) пассажиропотока, далее было проанализировано количество пассажиров, совершающих поездку на исследуемом участке. На рис. 5 отображено количество таких пассажиров, а также входящих и выходящих пассажиров.

По рис. 6 можно определить, что более 40 % пассажиров с включённым модулем Wi-Fi вошли на станции Бутово или до неё, так

как данная станция не является начальной, и 20 % – на станции Битца.

На рис. 7 представлена информация распределения маршрутов Wi-Fi устройств от станции Бутово в зависимости от дальности поездки в процентном соотношении. Как мы видим, более 40 % пассажиров с Wi-Fi устройствами из данной выборки проезжают более 20 км, а так как длина всего маршрута составляет 29,2 км, их путь близок к проезду полного маршрута, то есть до центра города.

На рис. 8 представлено распределение по длине маршрутов пассажиров с Wi-Fi устройствами, доехавших до конечной станции



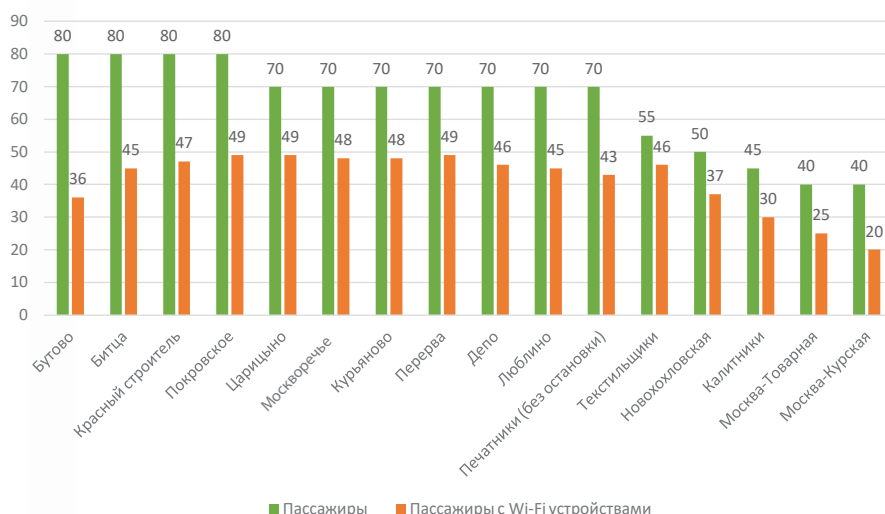


Рис. 9. Соотношение реальных пассажиров с пассажирами с включённым Wi-Fi модулем (МЦД Бутово–Москва-Курская – утренний час пик) – 4 марта 2021 г. [выполнено автором].

Москва-Курская. На нём показано, что более 50 % пассажиров из данной выборки проезжают более 20 км, что также является показателем близким к полному маршруту.

Ещё одним показателем, который можно получить из обработанных данных, – это доля Wi-Fi устройств, а именно пассажиров, проехавших весь участок, то есть процент самых длинных маршрутов через все станции от общего числа маршрутов всех протяжённостей, равный 3,45 %.

Таким образом, комбинируя данные, возможно получать различные параметры и свойства пассажиропотоков в зависимости от поставленных задач.

Далее проанализируем данные на вышеуказанном участке от станции Бутово (МЦД-2) до станции Москва-Курская (МЦД-2), полученные 4 марта 2021 года в утренний час пик (рис. 9).

В результате исследования 4 марта 2021 года с последующей обработкой и фильтрацией данных удалось обнаружить 83 маршрута потенциальных пассажиров (рис. 10).

Как видно из табл. 5, на результат данных о количестве обнаруженных маршрутов пассажиров очень сильно влияет мощность антенны. При проведении первого замера (1 марта 2021 года) Wi-Fi сканер не имел внешней антенны. По этой причине результат в данный день был низким. В другие дни результат является достаточно высоким по

причине обнаружения большего количества обнаруженных маршрутов пассажиров. Также интересным фактом является то, что показатель по средней дальности поездки потенциальных пассажиров оказался в двух замерах почти равным, и соответственно, среднее время поездки пассажиров были очень близки по значениям.

Участок № 2: ст. Алма-Атинская–ст. Белорусская (Замоскворецкая линия метро)

Далее с применением отработанного метода были проанализированы данные на участке № 2 от станции метро Алма-Атинская до станции метро Белорусская на Замоскворецкой линии (также в утренний час пик).

На рис. 12 можно видеть, что процент обнаруженных Wi-Fi устройств, по которым можно построить маршруты, ниже, чем при анализе участка № 1. Причина в том, что вагоны Замоскворецкой линии метро закрыты, и при проведении анализа Wi-Fi сканер располагался на полу, что тоже снижало процент собранных данных. Также замер проводился в утренний период времени с 07:26 до 08:08 20 февраля 2021 года в субботу, являющуюся для большинства жителей города Москвы и прибывающих в город пассажиров выходным днём. Но и при анализе данных от 24 и 26 февраля 2021 года (рабочие дни) Wi-Fi данные потенциальных пассажиров в процентном соотношении

Бутovo	Битца	Красный строитель	Покровское	Царицыно	Москваречье	Курыново	Перерва	Депo	Лоблино	Печатики без ост.	Текстильщики	Новохоловская	Калитники	Москва-Товарная	Москва-Курская
7:21:00	7:25:00	7:28:00	7:31:00	7:36:50	7:41:20	7:43:45	7:46:00	7:48:30	7:50:30	нет	7:54:10	7:57:00	7:59:00	8:01:30	8:07:20
80	80	80	80	70	70	70	70	70	70	нет	55	50	45	40	0
		7:28:43	1	1	1	1	7:45:33								
			7:35:17	1	1	1	7:45:19								
				7:39:41	1	1	1	1	1	1	1	7:56:55			
7:20:54	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8:04:37
	7:25:50	7:28:13					7:46:17	1	1	1	1	1	1	1	8:08:35
7:21:36	1	1	1	1	7:38:35										
	7:27:22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:58:44		
7:22:14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:59:25		
					7:41:24	1	1	1	1	1	7:54:28				
7:21:09	1	1	1	1	1	1	1	1	7:49:41						
						7:42:44	1	1	1	1	1	7:57:25			
	7:24:30	1	1	1	1	1	7:45:28								
		7:27:50	1	7:36:50		1	1	1	1	1	1	1	1	8:01:15	
		7:27:35	1	1		1	1	1	1	1	1	1			
7:23:59	1	1	1	1	7:38:29										
7:20:53	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:59:45		
7:20:30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8:04:01
7:14:00	1	7:26:30													
			7:35:22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8:02:32
						7:44:50	1	1	7:50:59						
	7:25:58	1	1	1	1	1	7:46:10								
	7:25:04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8:00:42	
		7:28:50	1	1	1	1	1	1	1	1	7:54:18				
												7:58:14	1	1	8:09:16
				7:40:36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8:12:37
		7:28:27	7:30:06												
									7:53:15	1	1	1	1	1	8:11:37
											7:55:01	7:57:40			
						7:43:33	1	7:48:42							
7:21:28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8:02:21
7:20:24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:52:03				
								7:49:15	1	1	1	1	1	1	8:08:46
											7:53:49	1	1	1	8:06:33
						7:44:48	1	1	1	1	1	7:56:56			
7:22:41	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8:00:16	
				7:38:55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8:07:27
											7:54:33	1	7:58:10		
7:23:11	1	1	1	7:36:31											
7:24:15	1	1	7:30:39												
7:20:53	7:24:47														
7:21:21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:57:21			
7:22:07	1	1	1	7:37:22											
7:22:44	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8:03:53
														8:00:00	8:08:00
					7:41:51	1	1	7:47:10							
								7:48:27	1	1	7:54:31				
7:19:29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8:08:45
				7:37:22	1	1	1	7:48:42							
7:20:46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:57:15			
7:20:42	1	1	7:31:05												
	7:27:19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:58:27		
7:20:55	1	1	1	1	7:38:22										
7:21:28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:52:35				
7:21:19	1	1	1	7:33:01											
7:20:23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8:10:07
			7:30:52	7:36:28											
7:22:17	1	1	7:29:13												
7:20:46	7:23:06														
7:21:36	1	1	1	1	1	1	7:45:14								
				7:31:43	1	7:40:48									
				7:37:50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8:02:19	
7:20:24	1	7:28:45													
		7:26:39	1	7:32:22											
7:20:38	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:54:18				
7:21:02	1	1	7:31:30												
7:20:53	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:53:51				
			7:33:48	7:35:24											
	7:24:22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8:04:53
					7:41:12	1	1	1	1	1	7:54:52				
7:21:36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8:09:05
7:21:10	7:25:49														
7:20:55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:50:45				
						7:43:20	1	1	1	1	1	1	1	1	8:08:46
						7:38:24	7:42:15								
	7:25:30	7:27:58													
				7:37:36	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8:07:59
	7:26:01				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8:07:59
				7:33:13		7:38:51									
							7:47:20	1	1	1	1	1	1	8:01:19	
7:17:39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:57:42				
7:20:50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:52:28				



Рис. 10. Маршруты потенциальных пассажиров с включённым модулем Wi-Fi на участке от станции Бутovo (МЦД-2) до станции Москва-Курская (МЦД-2) – 4 марта 2021 года [выполнено автором].



Таблица 5

Результат исследований на участке от станции Бутово (МЦД-2) до станции Москва-Курская (МЦД-2) 4 марта 2021 года [выполнено автором]

Маршрут от станции Бутово (МЦД-2) до станции Москва-Курская (МЦД-2)	Количество обнаруженных маршрутов	Средняя дальность поездки пассажиров	Среднее время поездки пассажиров	Наличие внешней антенны
01 марта 2021 г. – утренний час пик	29	13,56 км	0:20:13	–
04 марта 2021 г. – утренний час пик	83	15,09 км	0:23:35	+
05 марта 2021 г. – утренний час пик	60	13,3 км	0:19:48	+
Общие средние значения	57,3	13,98 км	0:21:12	

оказались также ниже, чем на участке № 1. Из этого следует вывод, что расположение сканера на полу и высокая плотность людей в вагоне значительно снижает результативность исследования. Также на результаты могут влиять работающие в одном частот-

ном диапазоне⁷ Wi-Fi роутеры и маршрутизаторы.

⁷ Рекомендации от производителя Wi-Fi роутеров Keenetic. [Электронный ресурс]: <https://help.keenetic.com/hc/ru/articles/213968709-Что-влияет-на-работу-беспроводных-сетей-Wi-Fi-Что-может-являться-источником-помех-и-каковы-их-возможные-причины>. Доступ 10.04.2022.



Рис. 11. Изображение участка № 2. [Электронный ресурс]: https://yandex.ru/metro/moscow/?scheme_id=sc34974011/. Доступ 10.04.2022.

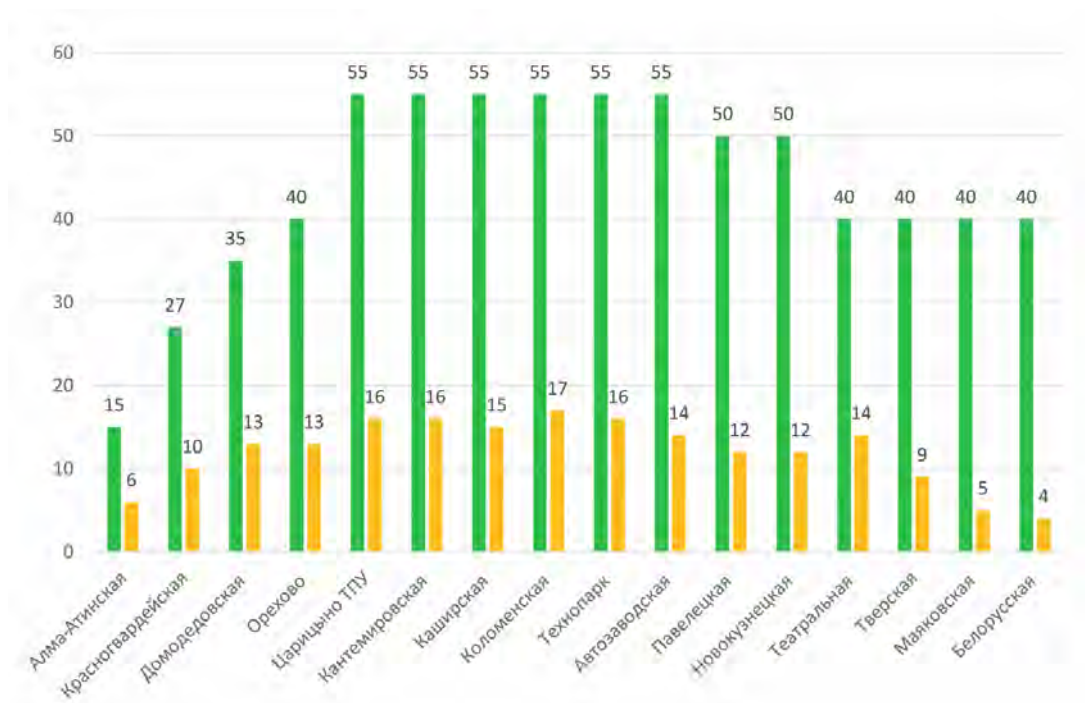


Рис. 12. Соотношение реальных пассажиров с пассажирами с включённым Wi-Fi модулем. Участок № 2 от станции метро Алма-Атинская до станции метро Белорусская – утренний час пик (Замоскворецкая линия) – 20 февраля 2021 года [выполнено автором].

В результате были выявлены 33 маршрута пассажиров с включённым Wi-Fi модулем (рис. 13).

В результате были получены следующие значения (табл. 6).

Участок № 3. ст. Бунинская аллея–ст. Битцевский парк (Бутовская линия)

Участок № 3 является самым коротким (8,8 км) по сравнению с другими обследованными участками. В данном исследовании Wi-Fi сканер так же, как и при сборе данных на участке № 2, находился на полу.

Полученные результаты показаны на рис. 15.

В результате было выявлено 18 маршрутов, используемых пассажирами (рис. 16).

В результате получились следующие значения (табл. 7).

Участок № 4. ст. Котельники–ст. Баррикадная (Таганско–Краснопресненская линия метро)

Данный участок № 4 характерен особенностью существующих транспортно-пересадочных узлов (ст. Лермонтовский проспект и ст. Выхино).

На рис. 18 представлена диаграмма проведённого сбора данных 18 мая 2021 года.

На рис. 19 представлен результат обработки 58 маршрутов пассажиров.

В результате были получены следующие значения (табл. 8).

Таблица 6

Результат исследования на участке № 2 от станции метро Алма-Атинская до станции метро Белорусская – утренний час пик (Замоскворецкая линия) [выполнено автором]

Маршрут № 2 от станции метро Алма-Атинская до станции метро Белорусская – утренний час пик (Замоскворецкая линия)	Количество обнаруженных маршрутов пассажиров	Средняя дальность поездки пассажиров	Среднее время поездки пассажиров
20 февраля 2021 г. – утренний час пик*	33	9,4 км	0:12:28
24 февраля 2021 г. – утренний час пик	35	8,7 км	0:11:46
26 февраля 2021 г. – утренний час пик	32	10,4 км	0:13:52
Общие средние значения	33,33	9,5 км	0:12:42

Примечание: *20 февраля 2021 года – суббота.



Алма-Атская	Красноярская	Домодедовская	Орехово	Царицыно ТПУ	Кантемировская	Каширская (без ост.)	Коломенская	Темляк	Автозаводская	Павелецкая	Новокузнецкая	Театральная	Тульская	Маяковская
7:26:29	7:33:02	7:34:06	7:36:28	7:39:25	7:41:57	нет	7:49:50	7:53:06	7:55:13	7:58:22	8:00:16	8:02:55	8:04:54	8:06:32
15 (4)	27	35	40	55	55		55	55	55	50	50	40	40	40
	7:32:28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:59:20	8:02:56	1	1
7:24:48	1	1	1	7:38:40								8:03:43	8:04:01	
	7:32:49	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8:04:44	
							7:50:51	7:53:24				8:03:56	8:04:32	
7:24:39	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7:31:00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7:24:06	1	1	1	1	1	1	1	1	7:56:12	7:57:30				
									1	1	8:00:25			
				7:39:47	1	1	1	1	1	7:58:50		8:03:46	8:04:48	
	7:32:37	1	0:00:00	7:37:44										
7:32:00	1	1	7:35:12	7:40:12	1	1	1	1	1	1	1	8:02:44		
7:25:25	7:32:52										8:01:52	8:02:15		
					7:42:05	1	7:48:47							
					7:43:52	1	7:45:25				8:00:41	1	1	1
7:32:36	1	1	1	1	1	1	1	7:52:24						
	7:34:37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8:03:26		
							7:50:56	7:51:42						
	7:35:24	1	1	1	1	1	1	1	1	7:57:31				
								7:52:27	7:54:32					
				7:39:45	7:40:16						8:00:56	8:05:05		
	7:35:14	1		7:38:01										
	7:35:03	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8:06:16
					7:46:42	1	1	1	7:54:05	7:56:43				
					7:46:12	1	1	1	7:54:25					
				7:40:02	1	1	1							

Рис. 13. Маршруты пассажиров с включённым модулем Wi-Fi на участке № 2 от станции метро Алма-Атинская до станции метро Белорусская – утренний час пик (Замоскворецкая линия) – 20 февраля 2021 года [выполнено автором].



Рис. 14. Изображение участка № 3. [Электронный ресурс]: https://yandex.ru/metro/moscow?scheme_id=sc34974011/. Доступ 10.04.2022.

Таблица 7

Результат исследования на участке № 3 от станции метро Бунинская аллея до станции Битцевский парк (Бутовская линия) – 09.02.2021 года [выполнено автором]

Участок № 3 от станции метро Бунинская аллея до станции Битцевский парк (Бутовская линия)	Количество обнаруженных маршрутов пассажиров	Средняя дальность поездки пассажиров	Среднее время поездки пассажиров
09 февраля 2021 г. – утренний час пик	18	3,9 км	0:05:15
10 февраля 2021 г. – утренний час пик	23	3,87 км	0:05:48
26 февраля 2021 г. – утренний час пик	11	4,4 км	0:07:14
Общие средние значения	17,33	4,06 км	0:06:06

Примечание: По полученным результатам можно сделать вывод, что средняя дальность поездок практически равна половине пути всего участка.

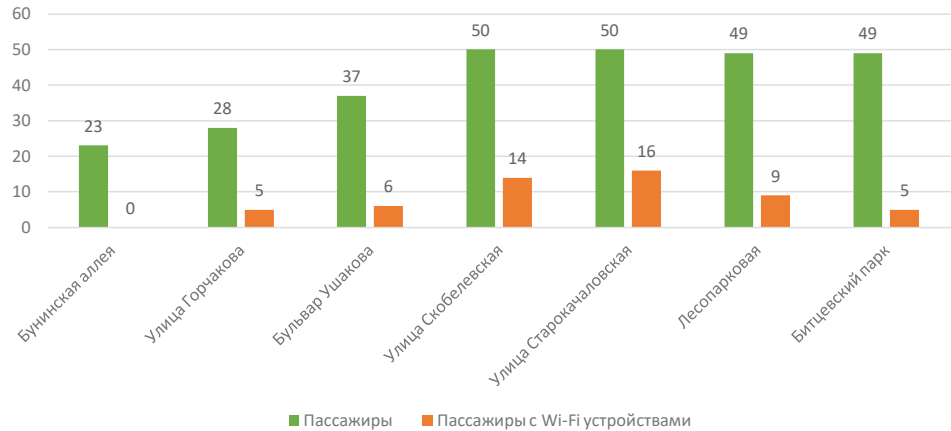


Рис. 15. Соотношение реальных пассажиров с пассажирами с включённым Wi-Fi модулем. Участок № 3 от станции метро Бунинская аллея до станции Битцевский парк (Бутовская линия) – 09.02.2021 года [выполнено автором].

Бунинская аллея	Улица Горчакова	Бульвар Ушакова	Улица Скобелевская	Улица Старокачаловская	Лесопарковая	Битцевский парк
8:17	8:19	8:21	8:22	8:28	8:31	8:33
23	28	37	50	50	49	49
			8:23:45	8:27:54		
				8:29:15	8:30:33	
			8:25:22	8:27:51		
	8:20:34	1	1	8:28:08		
	8:20:20	1	1	1	1	8:33:34
	8:20:23	1	1	8:27:32		
	8:19:50	1	8:21:55			
			8:23:58	1	1	8:32:48
			8:25:41	8:27:53		
	8:19:58	1	1	1	8:30:01	
		8:20:48		8:23:38		
					8:30:16	8:32:19
			8:26:20	1	1	8:34:05
			8:22:25	8:28:06		
			8:25:18	1	8:29:31	
			8:23:46	1	8:29:12	
			8:24:53	8:25:46		
				8:27:49	1	8:34:30

Рис. 16. Маршруты потенциальных пассажиров с включённым модулем Wi-Fi на Участке № 3 от станции метро Бунинская аллея до станции Битцевский парк (Бутовская линия) – 09.02.2021 год [выполнено автором].





Рис. 17. Изображение маршрута № 4. [Электронный ресурс]: https://yandex.ru/metro/moscow?scheme_id=sc34974011/. Досмун 10.04.2022.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам исследования были определены главные особенности полученных результатов и сделаны выводы по исследуемому методу сбора и анализа Wi-Fi данных.

1. Расположение Wi-Fi сканера

При проведении исследования Wi-Fi сканер располагался либо на полу вагона (Бутовская линия метро, Замоскворецкая линия метро), либо на верхней полке вагона

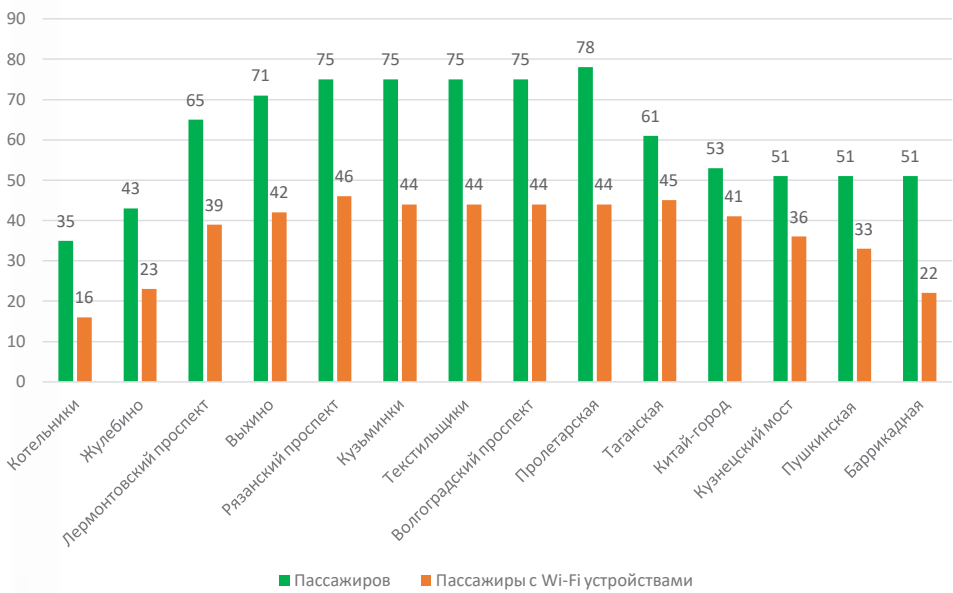


Рис. 18. Соотношение реального числа пассажиров и пассажиров с включённым Wi-Fi модулем. Участок № 4 от станции метро Котельники до станции метро Баррикадная (Таганско-Краснопресненская линия) – 18.05.2021 года [выполнено автором].

Котельники	Жулебино	Лермонтовский проспект	Выхино	Разанский проспект	Кузьминки	Текстильщики	Волгоградский проспект	Пролетарская	Таганская	Китай-город	Кузнецкий мост	Пушкинская	Баррикадная
6:56:00	6:59:00	7:03:00	7:08:00	7:10:00	7:13:00	7:15:50	7:19:30	7:22:00	7:24:00	7:27:00	7:28:20	7:30:20	7:32:40
45	43	65	71	75	75	75	75	78	61	53	51	51	51
6:56:25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:32:33
		7:02:31	1	1	1	1	1	1	7:24:07				
			7:07:19	1	1	1	1	1	1	1	1	7:30:35	
									7:26:11	1	1	1	7:31:50
									7:25:24	1	1	7:30:49	
	6:59:36	1	7:08:38										
				7:11:04	1	1	1	1	1	7:26:40			
	6:59:12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:29:35	
		7:03:04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:31:01
6:56:58	1	1	1	1	1	1	1	7:22:02					
				7:09:24	1	1	1	1	1	1	1	1	7:33:06
		7:02:58	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:32:50
		7:03:58	1	1	1	1	7:19:17						
6:59:09	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:32:25
				7:09:23	1	1	1	7:22:23					
								7:22:38	1	7:27:00			
								7:25:42	1	1	1	1	7:32:52
		7:03:50	1	1	1	1	1	7:22:08					
6:56:04	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:32:35
6:56:27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:29:19	
				7:12:08	1	1	1	1	1	7:27:07			
							7:20:03	1	1	1	1	7:30:17	
				7:10:26	1	1	1	1	1	1	1	7:30:31	
	7:01:17	1	1	1	1	1	1	1	7:24:32				
		7:04:06	1	1	1	1	1	1	7:23:35				
			7:07:06	1	1	7:14:05							
		7:03:18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:30:07	
	7:00:59	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:27:46		
									7:25:27	1	1	1	7:31:23
		7:03:47	1	7:09:57									
					7:13:02	1	1	1	1	1	1	1	7:31:51
		7:04:00	1	1	1	1	1	1	1	7:26:55			
						7:15:35	1	1	1	1	1	1	7:31:02
		7:05:33	1	1	1	1	1	7:22:08					
		7:04:14	1	1	1	1	1	1	1	1	7:28:33		
6:57:34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:30:00	
												7:30:22	7:32:50
										7:27:00	1	1	7:32:55
6:57:20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:25:43			
									7:24:56	1	1	1	7:32:39
		7:02:48	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:32:52
6:57:10	1	1	1	7:09:45									
			7:07:51	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:32:18
6:56:11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:29:14	
		7:03:18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:31:51
		7:03:43	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:31:03
6:54:29	1	1	1	1	1	1	1	1	7:22:53				
6:56:16	1	1	1	1	7:13:05								
		7:02:58	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:30:07	
6:56:15	1	1	1	1	1	1	1	1	7:25:39				
6:56:32	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:32:49
	7:01:16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:28:01		
6:56:40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:28:28		
	6:58:05	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:30:32	
	6:59:13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:32:19
6:56:07	1	1	1	7:10:26									
6:56:21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:32:52
		7:03:45	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7:32:50

Рис. 19. Маршруты пассажиров с включённым модулем Wi-Fi на Участке № 4 от станции метро Котельники до станции метро Баррикадная (Таганско-Краснопресненская линия) – 18.05.2021 года [выполнено автором].

(МЦД-2). Подтверждена информация производителя Wi-Fi роутеров о том, что для более стабильной работы Wi-Fi устройств рекомендуется располагать Wi-Fi устройства на высоте 1–2 метра⁸. Количество обнаруженных

⁸ Общие рекомендации по размещению в квартире Интернет-центра Keenetic для стабильной и качественной работы сети Wi-Fi. [Электронный ресурс]: <https://help.keenetic.com/hc/ru/articles/213968849>. Доступ 10.04.2022.

Wi-Fi устройств при расположении Wi-Fi сканера на верхней полке вагона выше, чем при расположении Wi-Fi сканера на полу вагона (табл. 9).

2. Наличие/отсутствие внешней антенны

По результатам исследования было выявлено, что наличие внешней антенны значительно увеличивает результат, но при условии



Таблица 8

Результат исследования на участке № 4 от станции метро Котельники до станции метро Баррикадная (Таганско-Краснопресненская линия) – 18.05.2021 года [выполнено автором]

Участок № 4 от станции метро Котельники до станции метро Баррикадная (Таганско-Краснопресненская линия)	Количество обнаруженных маршрутов пассажиров	Средняя дальность поездки пассажиров	Среднее время поездки пассажиров
17 мая 2021 г. – утренний час пик	26	11,07 км	0:14:30
18 мая 2021 г. – утренний час пик	58	15,95 км	0:21:31
19 мая 2021 г. – утренний час пик	59	12,47 км	0:18:06
Общие средние значения	47,67	13,16 км	0:18:02

Таблица 9

Сравнительная таблица обработанных Wi-Fi данных [выполнено автором]

	Среднее количество обнаруженных маршрутов пассажиров (ед.)		
Расположение Wi-Fi сканера	МЦД-2	Замоскворецкая линия	Бутовская линия
Уровень пола вагона	–	33,33	17,33
Верхняя полка вагона	57,3	–	–

расположения Wi-Fi сканера на верхней полке вагона.

3. Динамический / стационарный Wi-Fi сканер

Показано, что при помощи динамического Wi-Fi сканера возможно получать данные о маршрутах пассажиропотоков, и в частности его свойств, таких как:

- средняя дальность поездки потенциальных пассажиров;
- среднее время пути потенциальных пассажиров.

В данном исследовании использовался один динамический Wi-Fi сканер, но для более высокого результата необходимы стационарные Wi-Fi сканеры. Более того, при расположении Wi-Fi сканеров на выходе и входе из метрополитена и в самих вагонах метрополитена, возможность определения маршрутов потенциальных пассажиров значительно увеличится. Также большую роль будет

иметь накопительный эффект. Если Wi-Fi данных о пассажиропотоках будет больше, появится возможность анализировать полученные данные с дальнейшим их прогнозированием.

Для получения качественного результата о пассажиропотоках требуется внедрение и установка стационарных Wi-Fi сканеров. Одна из потенциальных схем указана на рис. 20.

По вышеуказанной схеме требуется установка одного Wi-Fi сканера на входе в метрополитен или на входе на платформу МЦД, установка по одному Wi-Fi сканеру в каждый вагон метро и установка одного Wi-Fi сканера на выходе из метрополитена или от платформы МЦД. Оснащение дополнительными Wi-Fi сканерами улучшит результаты и позволит собирать и накапливать данные Wi-Fi для их дальнейшей обработки и анализа.



Рис. 20. Схема расположения Wi-Fi сканеров [выполнено автором].

Таблица 10

Результат обработки Wi-Fi данных по всем четырём участкам [выполнено автором]

Участок	Линия метрополитена	Длина маршрута (км)	Среднее время прохода всего маршрута	Среднее количество обнаруженных Wi-Fi устройств к реальному количеству пассажиров (%)	Среднее количество потенциальных пассажиров, проехавших практически весь путь (%)	Средняя дальность поездки потенциальных пассажиров (км)	Среднее время пути потенциальных пассажиров
1	МЦД-2	29,2	0:48:00	53	32	13,98	0:21:12
2	Замоскворецкая линия	27,9	0:41:46	28	18	9,5	0:12:42
3	Бутовская линия	8,8	0:16:40	21	8	4,06	0:06:06
4	Таганско-Краснопресненская линия	25,1	00:38:00	41	24	13,16	0:18:02

На данный момент на территории Московской агломерации зона Wi-Fi увеличивается из года в год⁹. Данный фактор имеет огромное значение для увеличения возможности получения более качественных Wi-Fi данных и их обработки с целью получения данных о пассажиропотоках.

Более того, Wi-Fi аналитику можно использовать в качестве дополнительного инструмента для анализа пассажиропотоков, наряду с такими как валидация, автоматизированная система мониторинга пассажиропотоков, видеоаналитика и др.

4. Программа для обработки данных. Рандомизация

Важнейшим элементом получения результатов данных о пассажиропотоке является обработка данных. Для анализа данных в рамках данного исследования использовались возможности программы Microsoft Excel, но при масштабировании обработки данных программы Microsoft Excel будет недостаточно. Потребуются программы, основанные на языках программирования, таких как Python, My SQL и т.д.

Также в работе была определена «проблема» рандомизации данных. Были сделаны следующие выводы: рандомизация как таковая не мешает обрабатывать полученные данные, так как рандомизация MAC-адресов происходит ни ежеминутно, ни ежедневно, а ежедневно, еженедельно. В рамках периода исследования в течение 1–2 часов рандомизация не влияет на результат.

⁹ Московскому Wi-Fi исполнилось семь лет // Москва 24. [Электронный ресурс]: <https://www.m24.ru/news/mehr-Moskvy/27092020/134649>. Доступ 10.04.2022.

5. Эмпирические результаты

Промежуточные эмпирические итоги исследования показали, что в среднем 20–45 % от реального количества пассажиров используют определяемые описанными методами Wi-Fi устройства. Это может свидетельствовать о том, что не все пассажиры используют включённый Wi-Fi модуль на Wi-Fi устройстве, кроме того, в раннее время суток многие пассажиры спят, соответственно, выборка получаемых данных снижается и уменьшается число обнаруживаемых маршрутов поездок пассажиров. Но положительным моментом является то, что полученные данные в целом возможно использовать для анализа пассажиропотоков.

В табл. 10 указан результат обработки Wi-Fi данных по всем четырём участкам.

По всем четырём участкам процент среднего количества обнаруженных Wi-Fi устройств к реальному количеству пассажиров составил 35,75 %, а среднее количество пассажиров, проехавших практически весь путь, – 20,5 %.

Существующие технологии позволяют различными методами собирать данные о пассажиропотоках. Но для качественного, то есть близкого к реальному, а не прогнозируемому результату по выборке данных, требуется использование комбинированных систем подсчёта пассажиропотоков, система сбора и анализа всех возможных данных на территории Московского транспортного узла.

Также требуется сбор и анализ Bluetooth-данных, которые в будущем тоже могут дать интересные результаты в области исследования пассажиропотоков.





СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пашина А. С., Кравчук И. С. Инновации в инфраструктуре Московского метрополитена // Сб. трудов конференции «Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки». – М.: Перо, 2019. – С. 330–335. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39227779>. Доступ 10.04.2022.
2. Долматеня Ю. В., Трандина Е. В. Особенности метрополитена, как площадки для организации и развития туристических мероприятий // Санкт-Петербургский государственный экономический университет. – 2019. – С. 135–139. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42476132>. Доступ 10.04.2022.
3. Подхалюзина В. А. Анализ пассажиропотока на наземном общественном транспорте Москвы // Вызовы глобального мира. Вестник ИМТП. – 2015. – № 2 (6). – С. 31–34. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24245177>. Доступ 10.04.2022.
4. Алексеев Н. Ю., Зюзин П. В. Оценка применимости Wi-Fi аналитики в исследованиях пассажиропотоков городского общественного транспорта на примере Москвы // Мир транспорта. – 2021. – № 3 (94). – С. 54–66. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-6>.
5. Петрова Д. В. Современные подходы к организации мониторинга пассажиропотоков общественного транспорта городских агломераций // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – № 1. – С. 47–57. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42340332>. Доступ 10.04.2022.
6. Боровиков А. В. Анализ пассажиропотока городского автобусного маршрута // Международный студенческий научный вестник. – 2019. – № 3. – С. 46. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38318095>. Доступ 10.04.2022.
7. Новиков А. Н., Радченко С. Ю., Севостьянов А. Л. [и др.]. Исследование пассажиропотоков и транспортной подвижности населения в г. Орле // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – С. 69–77. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17280343>. Доступ 10.04.2022.
8. Рубцова К. А. Особенности учёта пассажиропотока на наземном городском пассажирском транспорте общего пользования // Экономика предпринимательства, организация и управление предприятиями, отраслями, комплексами. – 2015. – С. 168–172. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24866446>. Доступ 10.04.2022.
9. Berlingiero, M., Calabrese, F., Lorenzo, G., Nair, R., Pinelli, F., Sbodio, M. AllAboard: A System for Exploring Urban Mobility and Optimizing Public Transport Using Cellphone Data. Mobile phone Data for Development, 2013, pp. 397–411. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-40994-3_50.
10. Намиот Д. Е., Некраплённая М. Н., Покусавев О. Н., Чекмарёв А. Е. Матрицы корреспонденций и анализ пассажирских потоков // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8. – № 4. – С. 25–30. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42748922>. Доступ 20.09.2022.
11. Поматиллов Ф. С., Намиот Д. Е. Об анализе пассажиропотоков Московского метрополитена // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2019. – Т. 15. – № 2. – С. 375–385. DOI: [10.25559/SITITO.15.201902.375-385](https://doi.org/10.25559/SITITO.15.201902.375-385).
12. Брусаянин Д. А., Вихарев С. В., Попов В. Ю., Горбенко А. А., Шека А. С. Интеллектуальная система мониторинга пассажиропотока транспортного комплекса региона // Инновационный транспорт. – 2012. – № 2 (3). – С. 41–43. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18225474>. Доступ 10.04.2022.
13. Щетинин Н. А., Коряков В. Б., Семикопенко Ю. В. Методика обследования пассажиропотоков // European Journal of Natural History. – 2020. – № 3. – С. 105–108. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43172623>. Доступ 10.04.2022.
14. Степанченко И. В., Крушель Е. Г., Панфилов А. Э., Лютая Т. П. Алгоритм имитации пассажиропотока на остановках транспортной сети мегаполиса // Математические методы в технике и технологиях. – 2019. – Т. 10. – С. 19–23. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41261453>. Доступ 10.04.2022.
15. Сытник Р. А. К вопросу об исследовании пассажиропотока в городских транспортно-логистических системах // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2016. – № 7 (186). – С. 43–48. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26322476>. Доступ 10.04.2022.
16. Янков К. В., Лавриненко П. А., Фадеев М. С. Опыт прогнозирования пассажиропотоков и социально-экономических эффектов при ускорении железнодорожного сообщения в Самаро-Тольяттинской агломерации // Научные труды: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. – 2016. – Т. 14. – С. 622–646. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27633857>. Доступ 10.04.2022.
17. Nakagawa, Y., Nishida, J., Asao, H., Mukoko, B., Tamura, K. Application of AMP Collectors in Nairobi CBD for Transport Planning. Transportation Research Procedia, 2018, Vol. 34, pp. 107–114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.11.020>.
18. Abedi, N., Bhaskar, A., Chung, E., Miska, M. Assessment of antenna characteristic effects on pedestrian and cyclists travel-time estimation based on Bluetooth and Wi-Fi MAC addresses. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2015, Vol. 60, pp. 124–141. DOI: [10.1016/j.trc.2015.08.010](https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.08.010).
19. Kusakabe, T., Yaginuma, H., Fukuda, D. Estimation of bus passengers' waiting time at a coach terminal with Wi-Fi MAC addresses. Transportation Research Procedia, 2018, Vol. 32, pp. 62–68. DOI: [10.1016/j.trpro.2018.10.012](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.10.012).
20. Hong, J., Thakuriah, P. Examining the relationship between different urbanization settings, smartphone use to access the Internet and trip frequencies. Journal of Transport Geography, 2018, Vol. 69, pp. 11–18. DOI: [10.1016/j.jtrangeo.2018.04.006](https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2018.04.006).
21. Oransirikul, T., Nishide, R., Piumarta, I., Takada, H. Measuring Bus Passenger Load by Monitoring Wi-Fi Transmissions from Mobile Devices. Procedia Technology, 2014, Vol. 18, pp. 120–125. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.11.023>.
22. Martin, J., Mayberry, T., Donahue, C. [et al.]. A Study of MAC Address Randomization in Mobile Devices and when it Fails. US Naval Academy, Proceedings on Privacy Enhancing Technologies, March 2017, 23 p. [Электронный ресурс]: <https://www.semanticscholar.org/reader/abae19306dfe311a2301d4cd015003414513e72a>. Доступ 10.04.2022. DOI: [10.1515/popets-2017-0054](https://doi.org/10.1515/popets-2017-0054). ●

Информация об авторе:

Алексеев Николай Юрьевич – магистр по транспортному планированию НИУ ВШЭ, руководитель проектов АО «Ситроникс», Москва, Россия, alekseev-tm@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 21.06.2022, одобрена после рецензирования 11.07.2022, принята к публикации 13.09.2022.