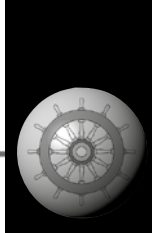


НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 004.656.224.072.4:656.1

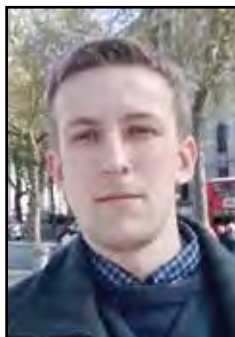
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-6>

Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 3 (94). С. 54–66

Оценка применимости Wi-Fi-аналитики в исследованиях пассажиропотоков городского общественного транспорта на примере Москвы



Николай АЛЕКСЕЕВ



Павел ЗЮЗИН

*Николай Юрьевич Алексеев¹,
Павел Владимирович Зюзин²*

^{1, 2} Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), Москва,
Россия.

✉ ¹ alekseev-trn@mail.ru.

АННОТАЦИЯ

Описаны преимущества и недостатки существующих инструментов подсчёта пассажиропотоков на примере Москвы.

Целью исследования являлась оценка возможности использования Wi-Fi-данных в качестве инструмента для анализа пассажиропотоков. Авторы использовали два вида Wi-Fi-сканеров для сбора данных и задействовали разработанный ими инструмент для их анализа. Приведены первичные результаты исследования, демонстрирующие возможность реального использования Wi-Fi-данных в области анализа пассажиропотоков.

Описанные эмпирические исследования, в частности данные, полученные от переносного Wi-Fi-сканера, показали, что более 20 % мобильных устройств в городском общественном транспорте и метрополитене используются с включённым Wi-Fi, что недостаточно для получения необходимых для всестороннего и детального анализа пассажиропотоков результатов. Вместе с тем за счёт накопления данных сохраняется возможность прогнозирования общего пассажиропотока.

Переносной Wi-Fi-сканер не даёт возможности обширно захватить большую область исследуемой территории в режиме реального времени (остановки городского общественного транспорта, места входа пассажиров в метрополитен и т.д.). Стационарные Wi-Fi-сканеры могли бы увеличить объём данных и, соответственно, существенно скорректировать полученные результаты. Этому также может служить расширение применения данного инструмента изучения пассажиропотока на городские железнодорожные линии, в случае Москвы, на МЦК и МЦД, на станциях и в вагонах которых также присутствуют Wi-Fi-сети.

Данные от Wi-Fi-сканеров могут быть дополнительным инструментом к другим источникам данных, таким как валидация, АСМПП и данные сотовых операторов. Дальнейшие исследования в области Wi-Fi-аналитики в совокупности с развитием технологий в области уже существующих источников данных по подсчёту пассажиропотока могут привести к более качественным результатам для расчёта пассажиропотоков.

Ключевые слова: транспорт, городской общественный транспорт, метро, пассажиропотоки, анализ данных, Wi-Fi-аналитика.

Для цитирования: Алексеев Н. Ю., Зюзин П. В. Оценка применимости Wi-Fi-аналитики в исследованиях пассажиропотоков городского общественного транспорта на примере Москвы // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 3 (94). С. 54–66. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-3-6>.

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.

ВВЕДЕНИЕ

Для правильного планирования городской транспортной инфраструктуры и организации общественных пространств, транспортно-пересадочных узлов, маршрутов городского общественного транспорта, каршеринга, такси и принятия соответствующих решений, вне зависимости от применения в дальнейшем различных методов анализа данных, требуются максимально точные и релевантные исходные данные. Этот вопрос особенно важен применительно к мегаполисам с учётом масштабов указанных задач планирования и организации.

На территории Московской агломерации действует огромное количество маршрутов, использующих разные виды городского общественного транспорта, таких как автобус, троллейбус, трамвай, электробус, и метрополитен, включающий московское центральное кольцо (далее – МЦК) и московские центральные диаметры (далее – МЦД), являющиеся неотъемлемой частью городского общественного транспорта.

ГУП «Московский метрополитен» за 2018 год было перевезено более 2,5 млрд пассажиров¹, в том числе, ГУП «Мосгортранс» – более 1,28 млрд пассажиров². Данная статистика демонстрирует высокую нагрузку на городской общественный транспорт и требует ежедневного анализа пассажиропотоков, а также матрицы корреспонденций.

В числе инструментов первичного сбора данных традиционно выделяются валидация, видеодатчики пассажиропотоков (АСМПП), видеонаблюдение и другие.

С развитием цифровизации появились новые инструменты, такие как анализ больших данных. Одним из самых перспективных направлений является применение Wi-Fi-технологий. В настоящее время тема применения Wi-Fi-технологий для анализа пассажиропотоков получила определённое развитие.

Статьи, относящиеся к тематике Wi-Fi-аналитики, в большинстве случаев, так или иначе, связаны не с пассажиропотоками, а с пешеходными потоками (например, в ТПУ или пассажирских терминалах аэропортов, их транзитных зонах). Для того, чтобы измерить

и проанализировать поток пешеходов и пути их перемещений (корреспонденции), существует возможность использовать сенсорные технологии, такие как Wi-Fi-сканеры, которые предоставляют возможность понимания не только объёмов перемещений, но мест начала и окончания корреспонденций (последний аспект представляет собой особенно сложную задачу).

В изученных источниках авторами были протестированы различные Wi-Fi-сканеры с целью определения максимально возможного количества электронных устройств, т.е. обезличенных пешеходов [1]. Показана применимость технических решений для исследования потока пешеходов в части сбора данных. Также разработаны некоторые алгоритмы для фильтрации и анализа данных, собранных с электронных устройств [2]. Таким образом, в изученных исследованиях уделялось внимание технической стороне реализации мониторинга, в частности, использованию фильтров для устранения шумов от различных электронных устройств, и оценивалось среднее время перемещения пешеходов в подземном переходе [3; 4]. Однако этот фильтр не позволяет точно рассчитать количество движущихся пешеходов. Другие исследователи разработали систему для анализа потока пешеходов с использованием пакетных датчиков Wi-Fi [5] и показали, как можно реализовать систему обнаружения Wi-Fi и каковы некоторые из трудностей проектирования и управления такой системой как в небольших, так и в больших масштабах [6]. Исследователи [7] представили использование данных MAC-адресов в качестве эффективного инструмента для отслеживания и анализа пространственно-временной динамики пешехода с точки зрения поведения при использовании общего пространства. Разработана и оценена производительность системы Bluetooth-Wi-Fi при решении задач обнаружения анонимных MAC-адресов устройств на коротких расстояниях в фиксированных местах [8]. Возможности выведения пешеходных потоков были также изучены путём анализа схем обнаружения окружающих устройств Bluetooth [9].

Также авторы нескольких исследований указывали на проблемы, связанные с методами фильтрации Wi-Fi-данных [10; 11]. Результаты части исследований не были убедительны из-за отсутствия количественных измере-

¹ Данные ГУП «Московский метрополитен». [Электронный ресурс]: <http://www.metro-msk.ru/stat/2018/>. Доступ 23.03.2021.

² Данные ГУП «Мосгортранс». [Электронный ресурс]: <https://mosgortrans.ru/>. Доступ 23.03.2021.



ний. В нескольких исследованиях было проведено сравнение методов наблюдения за пассажиропотоком, включая такие его параметры, как количество пассажиров на борту, посадку и высадку на каждой остановке, основанных на результате фильтрации [12–14]. Очевидные расхождения между данными от наблюдения и результатами фильтрации Wi-Fi-данных указывают на значительные ошибки, вызванные жесткими пороговыми методами фильтрации. Следовательно, точный и эффективный способ разделения данных MAC-адресов, принадлежащих пассажирам и не пассажирам, весьма необходим.

В соавторстве с профессором Гонконгского политехнического университета Уильямом Х. К. Ламом одним из авторов данной работы Н. Ю. Алексеевым была написана статья [15], в которой описывается исследование по подсчёту пешеходов на территории Гонконгского политехнического университета. По результатам исследования, примерно от 32 до 40 % активных Wi-Fi-устройств от реального количества проследовавших пешеходов было обнаружено при помощи Wi-Fi-сканеров. Выводом данной статьи явилось то, что для прогнозирования пешеходных потоков нужно получить больше данных с Wi-Fi-сканеров за разные периоды времени (лето/зима/осень/весна, рабочий день/выходной день).

Целью данной работы является анализ использования Wi-Fi-данных для уточнения матрицы корреспонденций между остановочными пунктами городского общественного транспорта. Задачей работы является создание и тестирование алгоритма подсчёта пассажиропотока на общественном транспорте с использованием нового метода сбора данных, а именно Wi-Fi-сканера.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Виды источников данных о пассажиропотоке в городе Москве

На данный момент в Московской агломерации работает АСКП (автоматизированная система контроля проезда) «Мосгортранс» и система контроля проезда в ГУП «Метрополитен». Данные системы включают контроль за проездом с помощью единых транспортных карт (например, таких как «Тройка»), позволяющих пользоваться услугами всего городского общественного транспорта и метрополитеном. Также граждане используют

социальные карты пенсионеров, студентов и школьников. Для оплаты проезда граждане прикладывают карты к валидаторам, установленным в салонах городского общественного транспорта и при входе в Московский метрополитен. Каждый валидатор и карта имеют свой уникальный идентификационный номер, что позволяет в дальнейшем рассчитывать количество пассажиров, ежедневно пользующихся городским общественным транспортом, и проводить аналитику их перемещения.

Учитывая глобальное использование единых транспортных и социальных карт, полученные данные можно использовать для расчёта пассажиропотока. Данные позволяют определить количество вошедших пассажиров в городской общественный транспорт, метрополитен и, в дальнейшем, проводить анализ и прогноз пассажиропотока в Московской агломерации. Минусом подсчёта пассажиропотока при помощи данных от валидаторов является отсутствие данных о выходе из общественного транспорта и метрополитена, а также о местах пересадок пассажиров (данная проблема относится именно к метрополитену). Существует возможность спрогнозировать точку выхода пассажира по новой точке входа в городской общественный транспорт и метрополитен, но есть вероятность погрешности, по причине того, что предполагаемый пассажир может выйти из одной станции метро, а войти в другую. Например, при помощи валидации определить перемещение курьеров, пользующихся метрополитеном в течение своей поездки, является непосильной задачей. Более того, учитывая массовое отключение «принудительного» входа в городской общественный транспорт, многие пассажиры не оплачивают проезд, т.е. не используют единую транспортную карту или социальную карту, что может приводить к еще большей погрешности при подсчёте пассажиропотока. Аналогичной системой и, соответственно проблемами, обладает АО «Центральная ППК».

Другим источником данных является АСМПП (автоматическая система мониторинга пассажиропотока). Данная система оснащена видеодатчиками, расположенными над дверными проемами общественного транспорта. Видеодатчики считают количество вошедших и вышедших пассажиров. Минусом данной системы является то, что система не идентифицирует пассажира и не

Таблица 1

Преимущества и недостатки существующих источников данных для подсчёта пассажиропотоков (составлено авторами)

Источник данных	Преимущества	Недостатки
Данные ГУП «Московский метрополитен» (валидация)	Достоверная информация о входе пассажиров в метро	Отсутствие информации о выходе пассажиров и их пересадки в метро
Данные АСКП «Мосгортранс» (валидация)	Достоверная информация о входе пассажиров в городской общественный транспорт	Отсутствуют данные о выходе пассажиров
Данные АСМПП «Мосгортранс»	Данные о входе/выходе пассажира без привязки к пассажиру	Отсутствие геопривязки данных с АСМПП, небольшая выборка данных
Данные АО «Центральная ППК» (валидация)	Данные о входе и выходе пассажиров на железной дороге	Недостаточное количество станций, оборудованных системой оплаты проезда
Данные ГЛОНАСС/GPS-треков НГПТ	Информация о местоположении городского общественного транспорта в любой момент времени	Отсутствие геопривязки данных с АСМПП
Данные операторов сотовой связи	Уточнение информации об объёмах перемещения граждан	Территориальная привязка с радиусом в 500 метров

даёт понимания, кто и когда вошел в общественный транспорт и где вышел. Более того, не все средства городского общественного транспорта оснащены АСМПП. Установка АСМПП производится на точечные рейсы и маршруты для определения примерного пассажиропотока. Также, существует проблема синхронизации данных АСМПП с ГЛОНАСС/GPS-треками городского общественного транспорта.

Еще одним источником данных о перемещении пассажиров являются данные от операторов сотовой связи. Существует проект «Геосоциальная аналитика» (ГСА) на базе данных операторов сотовой связи, целью которого является сбор данных о населении, о динамике его перемещений, о нагрузке на транспортную инфраструктуру путем анализа нагрузки на сотовую сеть операторов мобильной связи. При помощи данного проекта изучаются места концентрации населения и перемещения сотовых абонентов. Разброс данных составляет 500 м на 500 м, что является большим диапазоном при рассмотрении небольших перемещений населения.

В табл. 1 приведены преимущества и недостатки существующих источников данных по подсчёту пассажиропотоков.

Учитывая описанные выше источники данных о пассажиропотоках, авторы обращают внимание на факт отсутствия источника данных, который позволил бы определить точку выхода из городского общественного транспорта (из автобуса, трамвая, троллейбуса, электробуса) и из метрополитена, включая МЦД, МЦК. Именно по этой причине авто-

рами была рассмотрена возможность использования нового вида источника данных – данных, получаемых от Wi-Fi-сканеров.

Wi-Fi-аналитика как источник данных. Виды Wi-Fi-сканеров

В настоящее время утверждается, что более 80 % людей использовали хотя бы одно мобильное Wi-Fi-устройство в повседневной жизни [16]. Таким образом, оценка пассажиропотока на основе Wi-Fi-данных имеет большой потенциал, чтобы стать более надёжным методом по сравнению с рядом ныне применяемых.

На территории Московской агломерации с целью увеличения привлекательности городского общественного транспорта действует единая Wi-Fi-сеть под наименованием MT FREE. Данная Wi-Fi-сеть включает в себя Wi-Fi-роутеры, установленные во всех транспортных средствах, на остановках городского общественного транспорта и в вагонах метрополитена. Данная Wi-Fi-сеть является бесплатной для всех жителей и гостей Московской агломерации, но она имеет рекламный контент. Для отключения рекламного контента предполагаемому пользователю предлагается вносить ежемесячный платёж. Единственным условием для пользования данной бесплатной Wi-Fi-сети является регистрация в личном кабинете MT FREE.

Имея в виду наличие обширной Wi-Fi-сети в Московской агломерации, на основании имеющегося подобного опыта применительно к другим задачам и локациям, авторы предположили возможность использования





Рис. 1. Изображение Wi-Fi-сканера № 1 – Meshlium Xtreme.

Wi-Fi-данных для определения мест входа и выхода предполагаемых пассажиров.

В рамках работы авторами были проведены исследования по подсчёту пассажиропотока при помощи двух Wi-Fi-сканеров на общественном транспорте, в частности, на общественных остановках, в автобусах и вагонах метро.

Для исследования были использованы два Wi-Fi-сканера с функцией обнаружения электронных устройств. Каждый Wi-Fi-сканер имеет собственную зону обнаружения, которая зависит от мощности антенны Wi-Fi, измеренной в децибелах. Электронное устройство определяется по его уникальному MAC-адресу. MAC-адрес – это уникальный идентификатор, предоставляемый производителем

для каждого электронного устройства и имеющий шестибайтовый номер (LL: LL: LL: XX: XX: XX), в котором первые три байта определяют производителя электронного устройства (LL: LL: LL).

Wi-Fi-сканер имеет индикатор силы полученного сигнала (RSSI). Зона расположения электронного устройства может определяться силой сигнала. Поскольку, предположительно, электронное устройство с включенным Wi-Fi-используется пассажиром городского общественного транспорта, возможно определить треки перемещений (матрицу корреспонденций) предполагаемых пассажиров, а именно места начала перемещения и его окончания.

Первый Wi-Fi-сканер был получен для проведения тестовых испытаний у дистрибьютера на территории Российской Федерации (производитель: Libelium (Испания), модель: Meshlium Xtreme). Данное устройство имеет большие габариты и преимущественно предназначено для статического использования.

Принципом работы Wi-Fi-сканера является поиск активных Wi-Fi-устройств в радиусе его действия. Wi-Fi-сканер сканирует активные Wi-Fi-устройства (смартфоны, ноутбуки, планшеты, принтеры, МФУ и т.д.) в радиусе своего действия и в ответ получает MAC-адреса отсканированных устройств в режиме онлайн. Вместе с MAC-адресами Wi-Fi-сканер получает следующие данные:

- 1. ID_frame – номер строки.
- 2. Timestamp (отметка времени) – время полученной отметки.
- 3. Date – Дата.

Таблица 2

Пример исходных данных, полученных от Wi-Fi-сканера Meshlium Xtreme в процессе исследования

ID_frame	Timestamp	MAC	SSID	RSSI	Vendor	Type	AP	MeshliumID
1	18.10.2019 16:53	44:1C:A8:20:61:63	HP-Print-63	-74	Hon Hai Precision Ind. Co., Ltd.	A		17060143649518
2	18.10.2019 16:53	40:16:7E:C3:B4:68		-79	ASUSTek COMPUTER INC.	A		17060143649518
3	18.10.2019 16:53	78:8A:20:71:0E:78		-78	Ubiquiti Networks Inc.	A		17060143649518
4	18.10.2019 16:53	8A:8A:20:71:0D:7D	SDP-secure	-71	Unknown	A		17060143649518
5	18.10.2019 16:53	76:4D:28:0D:38:91		-60	Unknown	A		17060143649518
6	18.10.2019 16:53	76:4D:28:0D:38:8F		-60	Unknown	A		17060143649518
7	18.10.2019 16:53	74:4D:28:0D:38:8F		-61	Routerboard.com	A		17060143649518
8	18.10.2019 16:53	76:4D:28:0D:38:90	ENFORTA	-60	Unknown	A		17060143649518
9	18.10.2019 16:53	E0:E6:2E:55:17:BE	Mac Book Pro	-59	TCT Mobile, Ltd.	A		17060143649518

4. MAC – MAC-адрес отсканированного устройства.
5. SSID – «наименование» устройства (32-значный буквенно-цифровой код).
6. RSSI (received signal strength indicator) – показатель уровня принимаемого сигнала.
7. Vendor – производитель (продавец) обнаруженного устройства.
8. Type – тип устройства (A-C).
9. AP – устройство (роутер), к которому привязано обнаруженное устройство.
10. MeshliumID – номер Wi-Fi-сканера Meshlium Xtreme.

Выше приведён пример исходных данных от Wi-Fi-сканера Meshlium Xtreme (табл. 2).
Данный Wi-Fi-сканер имеет встроенную память, что позволяет записывать полученные данные и, в дальнейшем, выгружать их на локальный сервер.



Рис. 2. Изображение Wi-Fi-сканера № 2 – TP-LINK в сборе.

Таблица 3

**Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 25 августа 2019 года
(маршрут автобуса № 906-экспресс)**

День недели	Дата	Время	Остановка	Количество пассажиров	Вошло в автобус	Вышло из автобуса	Wi-Fi-данные: Количество уникальных MAC-адресов (не менее 5 повторений)
Маршрут № 906 (ул. Б. Бутовская–Захарьино)							
Воскресенье	25.08.2019	16:07	Метро «Аннино»	19	10	0	3
Воскресенье	25.08.2019	16:14	Ул. Б. Бутовская	19	0	0	3
Воскресенье	25.08.2019	16:20	Поворот на Милицейский пос.	20	1	0	4
Воскресенье	25.08.2019	16:23	Ул. Марш. Савицкого	20	0	0	4
Воскресенье	25.08.2019	16:24	Ледовый дворец	20	0	0	4
Воскресенье	25.08.2019	16:25	Ул. Марш. Савицкого, 22	20	0	0	4
Воскресенье	25.08.2019	16:27	Центр госуслуг	17	0	3	4
Воскресенье	25.08.2019	16:29	Молодцовский пр.	11	0	6	3
Воскресенье	25.08.2019	16:31	Ул. Брусилова, 31	11	0	0	0
Воскресенье	25.08.2019	16:32	Ул. Брусилова, 21	6	0	5	0
Воскресенье	25.08.2019	16:34	Ул. Брусилова	6	0	0	0
Воскресенье	25.08.2019	16:35	Захарьино (конечная)	0	0	6	0
Маршрут № 906 (Захарьино–ул. Б. Бутовская)							
Воскресенье	25.08.2019	16:50	Захарьино (начальная)	1	1	0	0
Воскресенье	25.08.2019	16:51	Ул. Брусилова	1	0	0	0
Воскресенье	25.08.2019	16:52	Ул. Брусилова, 21	1	0	0	0
Воскресенье	25.08.2019	16:54	Ул. Брусилова, 31	1	0	0	0
Воскресенье	25.08.2019	16:55	Молодцовский пр.	3	2	0	0
Воскресенье	25.08.2019	16:56	Центр госуслуг	6	3	0	1
Воскресенье	25.08.2019	16:58	Ул. Марш. Савицкого, 22	6	0	0	1
Воскресенье	25.08.2019	17:00	Ледовый дворец	16	10	0	2
Воскресенье	25.08.2019	17:02	Ул. Марш. Савицкого	29	13	0	6
Воскресенье	25.08.2019	17:03	Поворот на Милицейский пос.	29	0	0	6
Воскресенье	25.08.2019	17:09	Ул. Б. Бутовская	29	0	0	6

Результат: в среднем, более 20 % предполагаемых пассажиров имеют включенный модуль Wi-Fi на мобильном устройстве.



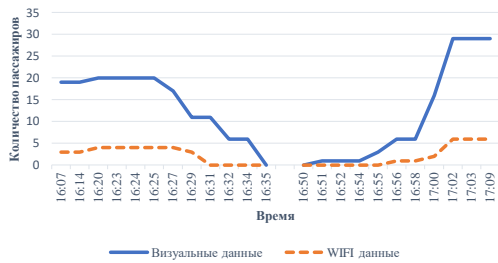


Рис. 3. Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 25 августа 2019 года (маршрут автобуса № 906-экспресс).

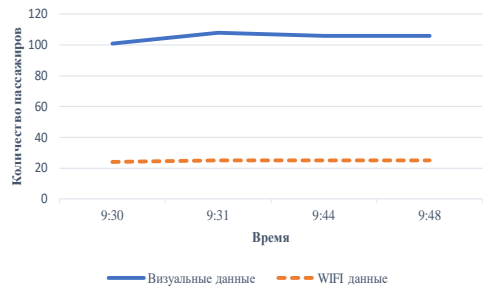


Рис. 4. Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 18 ноября 2019 года (маршрут автобуса № 802).

Таблица 4

**Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 18 ноября 2019 года
(маршрут автобуса № 802)**

День недели	Дата	Время	Остановка	Количество пассажиров	Вошло в автобус	Вышло из автобуса	Wi-Fi-данные: количество уникальных MAC-адресов (не менее 5 повторений)
Маршрут № 802							
Понедельник	18.11.2019	9:30	Большая Бутовская	101	15	0	24
Понедельник	18.11.2019	9:31	Варшавское шоссе, д. 190	108	7	0	25
Понедельник	18.11.2019	9:44	7-й В микрорайон Северного Бутова	106	0	2	25
Понедельник	18.11.2019	9:48	Старокачаловская, д. 1	106	0	0	25
Понедельник	18.11.2019	9:49	Метро Бульвар Дмитрия Донского	5	0	101	0

Результат: в среднем, более 23 % предполагаемых пассажиров имеют включенный модуль Wi-Fi на мобильном устройстве.

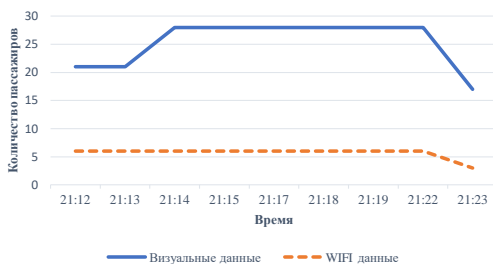


Рис. 5. Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 28 ноября 2019 года (маршрут автобуса № 249).

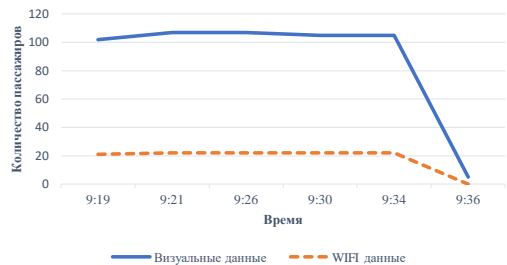


Рис. 6. Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 29 ноября 2019 года (маршрут автобуса № 737).

Также данный Wi-Fi-сканер имеет Bluetooth-сканер, но в рамках данной работы Bluetooth-сканер не использовался.

Второй Wi-Fi-сканер был приобретён у организации, занимающейся Wi-Fi-аналитикой на территории Российской Федерации, а именно, анализом поведения потенциальных покупателей в торговых центрах. В основном данная организация использует Wi-Fi-сканеры, стационарно установленные в торговых центрах.

Для решения поставленной исследователями задачи был создан «переносной» Wi-Fi-сканер. Данный «переносной» Wi-Fi-сканер состоит из следующих элементов:

1. TP-LINK TL-MR3020 v3.2 – Wi-Fi-роутер, перенастроенный на Wi-Fi-сканер.
2. Powerbank mi 20000 – переносной источник питания для Wi-Fi-сканера и GSM-модема.
3. Huawei E8231 – GSM-модем.

Таблица 5

Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 28 ноября 2019 года
(маршрут автобуса № 249)

День недели	Дата	Время	Остановка	Количество пассажиров	Вошло в автобус	Вышло из автобуса	Wi-Fi-данные: Количество уникальных MAC-адресов (не менее 5 повторений)
Маршрут № 249							
Четверг	28.11.2019	21:12	Метро Улица Академика Янгеля	21	21	0	6
Четверг	28.11.2019	21:13	Кирпичные Выемки	21	0	0	6
Четверг	28.11.2019	21:14	Метро Аннино	28	7	0	6
Четверг	28.11.2019	21:15	Метро Аннино (Южный вестибюль)	28	0	0	6
Четверг	28.11.2019	21:17	Варшавское шоссе (МКАД)	28	0	0	6
Четверг	28.11.2019	21:18	Северное Бутово (Варшавское шоссе)	28	0	0	6
Четверг	28.11.2019	21:19	Ботанический сад	28	0	0	6
Четверг	28.11.2019	21:22	Варшавское шоссе, д. 190	28	0	0	6
Четверг	28.11.2019	21:23	Большая Бутовская	17	0	11	3

Результат: в среднем, более 21 % предполагаемых пассажиров имеют включенный модуль Wi-Fi на мобильном устройстве.

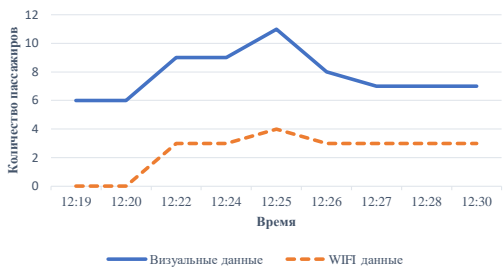


Рис. 7. Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 20 марта 2020 года (маршруты автобуса № 249).

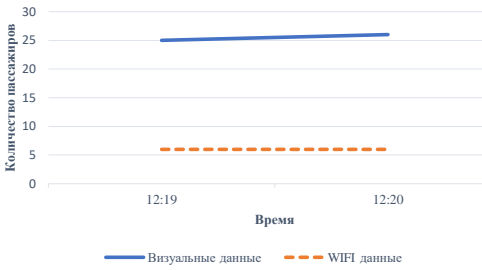


Рис. 8. Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 20 марта 2020 года (маршруты автобуса № 858).

4. Неисключительная лицензия на использование программного продукта «Shopster Analytics».

ОПИСАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Подсчёт пассажиров производился двумя способами:

- Натурный (визуальный подсчёт количества пассажиров в автобусе в точках входа/выхода в/из автобуса и входа/выхода пассажиров на конкретных остановках с привязкой ко времени).

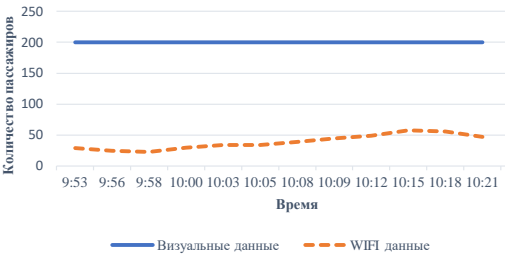


Рис. 9. Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 18 ноября 2019 года (участок Серпуховско-Тимирязевской линии метро).





Таблица 6

Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 29 ноября 2019 года
(маршрут автобуса № 737)

День недели	Дата	Время	Остановка	Количество пассажиров	Вошло в автобус	Вышло из автобуса	Wi-Fi-данные: Количество уникальных MAC-адресов (не менее 5 повторений)
Маршрут № 737							
Пятница	29.11.2019	9:19	Большая Бутовская	102	15	0	21
Пятница	29.11.2019	9:21	Варшавское шоссе, д. 190	107	5	0	22
Пятница	29.11.2019	9:26	7-й В микрорайон Северного Бутова	107	0	0	22
Пятница	29.11.2019	9:30	Грина, д. 20	105	0	2	22
Пятница	29.11.2019	9:34	Грина	105	0	0	22
Пятница	29.11.2019	9:36	Метро Бульвар Дмитрия Донского	5	0	0	0

Результат: в среднем, более 20 % предполагаемых пассажиров имеют включенный модуль Wi-Fi на мобильном устройстве.

Таблица 7

Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 20 марта 2020 года
(маршруты автобуса № 249, 858)

День недели	Дата	Время	Остановка	Количество пассажиров	Вошло в автобус	Вышло из автобуса	Wi-Fi-данные: Количество уникальных MAC-адресов (не менее 5 повторений)
Маршрут № 249							
Пятница	20.03.2020	12:19	Большая Бутовская	6	3	0	0
Пятница	20.03.2020	12:20	Школа (ул. Большая Бутовская)	6	0	0	0
Пятница	20.03.2020	12:22	Станция МЦД Бутово	9	3	0	3
Пятница	20.03.2020	12:24	2-я Мелитопольская	9	0	0	3
Пятница	20.03.2020	12:25	Поликлиника (ул. 2-я Мелитопольская)	11	2	0	3
Пятница	20.03.2020	12:26	Новоникольское	8	0	3	3
Пятница	20.03.2020	12:27	Варшавское шоссе, д. 261	7	3	4	3
Пятница	20.03.2020	12:28	Щербинка (Симферопольское шоссе)	7	0	0	3
Пятница	20.03.2020	12:30	Поворот на Милицейский пос.	7	0	0	3
Маршрут № 858							
Пятница	20.03.2020	12:19	Поворот на Милицейский пос.	25	1	0	6
Пятница	20.03.2020	12:20	1-я Мелитопольская	26	1	0	6

Результат: в среднем, более 23 % предполагаемых пассажиров имеют включенный модуль Wi-Fi на мобильном устройстве.

Таблица 8

Данные от визуального осмотра и Wi-Fi-сканера 18 ноября 2019 года
(Участок Серпуховско–Тимирязевской линии метро)

День недели	Дата	Время	Станция метро	Количество пассажиров (примерное)	Количество уникальных тас-адресов (не менее 5 повторений)	% Обнаруженных Wi-Fi-устройств от общего количества пассажиров
Серпуховско–Тимирязевская линия метро						
Понедельник	18.11.2019	9:53	ст. Бульвар Дмитрия Донского	200	29	14,5
Понедельник	18.11.2019	9:56	ст. Аннино	200	25	12,5
Понедельник	18.11.2019	9:58	ст. Улица Академика Янгеля	200	23	11,5
Понедельник	18.11.2019	10:00	ст. Пражская	200	30	15
Понедельник	18.11.2019	10:03	ст. Южная	200	34	17
Понедельник	18.11.2019	10:05	ст. Чертановская	200	34	17
Понедельник	18.11.2019	10:08	ст. Севастопольская	200	39	19,5
Понедельник	18.11.2019	10:09	ст. Нахимовский проспект	200	45	22,5
Понедельник	18.11.2019	10:12	ст. Нагорная	200	49	24,5
Понедельник	18.11.2019	10:15	ст. Нагатинская	200	58	29
Понедельник	18.11.2019	10:18	ст. Тульская	200	56	28
Понедельник	18.11.2019	10:21	ст. Серпуховская	200	47	23,5

Результат: в среднем, более 20 % предполагаемых пассажиров имеют включенный модуль Wi-Fi на мобильном устройстве.

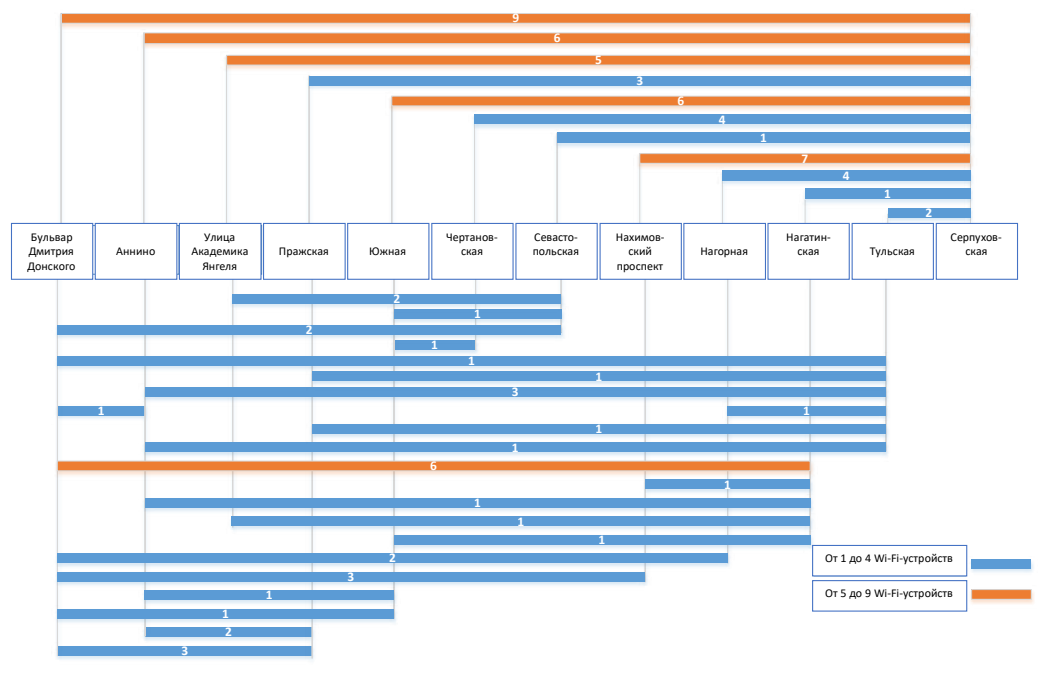


Рис. 10. Матрица корреспонденций Wi-Fi-устройств («потенциальных» пассажиров) между ст. Бульвар Дмитрия Донского и ст. Серпуховская (18.11.2019 г., с 9:53 до 10:21).



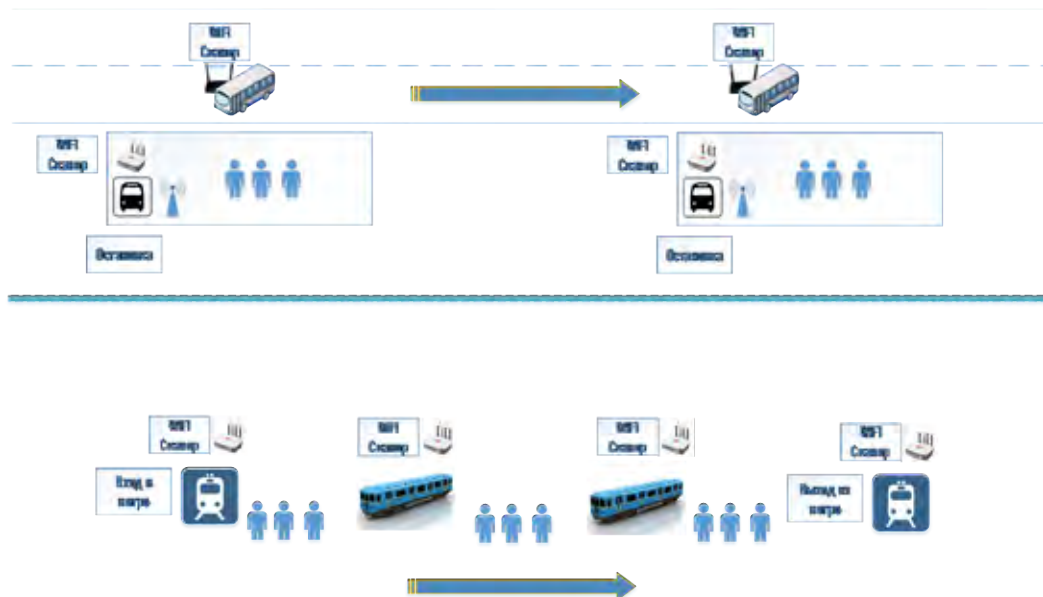


Рис. 11. Блок-схема размещения Wi-Fi-сканеров.

• Сканирование Wi-Fi-устройств на остановках и внутри общественного транспорта с привязкой ко времени при помощи «переносного» Wi-Fi-сканера.

Полученные исходные данные переносились в созданный Framework на базе Excel. Framework имеет следующие степени фильтрации:

1. Удаление «шума». Под шумом подразумеваются все Wi-Fi-устройства, обнаруженные в радиусе действия Wi-Fi-сканера, которые являются роутерами, маршрутизаторами и т.д. То есть подразумевается, что роутеры и другие аналогичные устройства не могут рассматриваться в качестве предполагаемого пассажира.

2. Удаление MAC-адресов, имеющих одну-две отметки. Данное устройство Wi-Fi даёт возможность сканировать зону в режиме реального времени. На практике для обнаружения перемещения предполагаемых пассажиров необходимо от 5 обнаружений в разные периоды времени.

Далее проводится анализ полученных данных. Исследования были проведены в следующие даты:

25 августа 2019 года (маршрут автобуса № 906-экспресс);

18 ноября 2019 года (маршрут автобуса № 802 + Участок Серпуховско-Тимирязевской линии метро);

28 ноября 2019 года (маршрут автобуса № 249);

29 ноября 2019 года (маршрут автобуса № 737);

20 марта 2020 года (маршруты автобуса № 249, 858).

Полученные данные из городского общественного транспорта (автобуса) приведены в таблицах 3–7 и изображены на рис. 3–8, а из метрополитена в таблице 8 и рис. 9.

Данные в вышеуказанных таблицах демонстрируют, что в среднем более 20 % предполагаемых пассажиров имеют включенный модуль Wi-Fi на мобильных устройствах, что позволяет определить матрицу корреспонденций некоторого количества «пассажиров» как в городском общественном транспорте, так и в метрополитене.

На рис. 10 приведён график матрицы корреспонденций, полученный в результате анализа данных, поступивших от Wi-Fi-сканера в вагоне метрополитена. Данные результаты были получены исключительно от «переносного» Wi-Fi-сканера.

Сопоставляя визуальные данные (обзор количества пассажиров в вагоне) и данные Wi-Fi, в результате исследования было выявлено, что в среднем более 20 % от присутствующих пассажиров в вагоне перемещаются с включенным Wi-Fi на мобильном устройстве.

Еще одной особенностью Wi-Fi-сканера является то, что для получения данных мобильному устройству не нужно подключаться к сети MT FREE, достаточно иметь включенный Wi-Fi на мобильном устройстве.

По результатам первичного анализа результатов исследования можно сделать вывод, что данных может быть недостаточно, по этой причине исследователи предполагают, что для улучшения полученных результатов необходимо использовать следующую схему установки Wi-Fi-сканеров, изображенную на рис. 11.

В идеальных условиях необходимо установить 1 Wi-Fi-сканер в автобус, 1 Wi-Fi-сканер на остановку городского общественного транспорта, 1 Wi-Fi-сканер на входе в метро, 1 Wi-Fi-сканер в вагон метро, 1 Wi-Fi-сканер на выход из метро. Данное расположение позволит в значительной степени улучшить результат по исследованию пассажиропотока.

Также для исключения «натурного» способа необходимо использовать данные от АСМПП и навигационных терминалов, установленных в городском общественном транспорте, что позволит определить дату и время заезда на остановку городского общественного транспорта и реальное количество вошедших и вышедших пассажиров.

В результате мы получим данные о дате, времени и MAC-адресе устройства и данные от навигационного терминала. Обработав полученную информацию, мы сможем определить, в какой конкретный момент времени и на какой конкретной остановке устройство (MAC-адрес) осуществило вход и выход. Это позволит более детально проводить анализ пассажиропотока.

Исследователи подтверждают, что все полученные данные использовались исключительно в рамках исследовательской деятельности, без привязки к конкретным пассажирам. MAC-адреса устройств не являются персональными данными. MAC-адреса устройств являются техническими данными. Все полученные данные с Wi-Fi-сканеров использовались исключительно для определения точек входа и выхода конкретных MAC-адресов на остановках общественного пользования. Все данные

анонимны. Анонимный характер связан с использованием MAC-адресов в качестве идентификаторов. MAC-адреса не связаны ни с какой конкретной учётной записью пользователя или мобильным телефоном, даже с каким-либо конкретным транспортным средством. Кроме того, режим «активного» поиска Wi-Fi-сети на мобильном устройстве является выбором каждого конкретного предполагаемого пассажира.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты демонстрируют перспективу развития Wi-Fi-технологий. В Москве и Московской области все большее количество предполагаемых пассажиров будет использовать городской общественный транспорт, пересекаясь с личными автомобилями на общественный транспорт. Этот факт учитывается введением новых инструментов, направленных на увеличение привлекательности городского общественного транспорта, таких как адаптивное управление светофорами, т.е. приоритет проезду общественного транспорта. И, соответственно, можно предположить, что пассажиров, пользующихся городским общественным транспортом, метрополитеном, будет значительно больше. Соответственно, все большее количество пассажиров будет подключаться к бесплатным Wi-Fi-сетям. Исследователи наблюдают все большее количество пассажиров, потребляющих контент на мобильных устройствах из интернета в своих ежедневных поездках на общественном транспорте, используя мобильный интернет (GPRS) или Wi-Fi-сети.

На данный момент из полученных данных от «переносного» Wi-Fi-сканера можно сделать предварительный вывод, что более 20 % мобильных устройств в городском общественном транспорте и метрополитене используются с включённым Wi-Fi, что в явном виде недостаточно. Но существует вероятность прогнозирования пассажиропотока при помощи накопленных данных.

Исследователи считают, что «переносной» Wi-Fi-сканер не даёт возможности обширно захватить большую область исследуемой территории в режиме реального времени (остановки городского общественного транспорта, места входа пассажиров в метрополитен и т.д.). Стационарные Wi-



Fi-сканеры могли бы увеличить объём данных и, соответственно, существенно скорректировать полученные результаты.

Также исследователи предполагают, что помимо изучения пассажиропотока в городском общественном транспорте, исследования требуется проводить на станциях и в вагонах МЦК и МЦД, в которых тоже присутствуют Wi-Fi-сети.

Исходя из полученных результатов, исследователи делают вывод, что для полной картины пассажиропотока данные от Wi-Fi-сканеров могут быть дополнительным инструментом к другим источникам данных, таким как валидация, АСМПП и данных сотовых операторов. По этой причине, исследователи считают, что дальнейшее исследование в области Wi-Fi-аналитики в совокупности с развитием уже существующих источников данных по подсчёту пассажиропотока могут привести к более качественным результатам для расчёта пассажиропотоков.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. 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, Iss. 60, pp. 124–141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.08.010>.
2. Kurkcu, A., Ozbay, K. Estimating Pedestrian Densities, Wait Times, and Flows with Wi-Fi and Bluetooth Sensors. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2017, Vol. 2644. DOI: 10.3141/2644-09.
3. Li, Z., Lam, W. H. K., Wepulanon, P., Qin, Z. Estimating Pedestrian Walking Time on Campus Based on Wi-Fi-Detection Data. *Proceedings of the 22nd International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies*, Hong Kong, 9–11 December 2017, pp. 233–240. ISBN (Electronic) 9789881581464.
4. Wepulanon, P., Lam, W. H. K., Sumalee, A. Pedestrian Facility Usage Monitoring Using Multiple Sources of Data. *Proceedings of the 22nd International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies*, Hong Kong, 9–11 December 2017, pp. 117–124. ISBN (Electronic) 9789881581464.
5. Fukuzaki, Y., Mochizuki, M., Nishio, N., Murao, K. A Pedestrian Flow Analysis System using Wi-Fi-Packet Sensors to a Real Environment. *Conference: The Second workshop for Human Activity Sensing Corpus and its Application*, Seattle, USA, 13–17 September 2014, pp. 721–730. DOI: 10.1145/2638728.2641312.
6. Petre, A. C., Chilipirea, C., Baratchi, M., Dobre, C., Steen, van M. Wi-Fi-tracking of pedestrian behavior. *Smart Sensors Networks Communication Technologies and Intelligent Applications Intelligent Data-Centric Systems 2017*, pp. 309–337. DOI: 10.1016/B978-0-12-809859-2.00018-8.
7. Abedi, N., Bhaskar, A., Chung, E. Tracking spatio-temporal movement of human in terms of space utilization using Media-Access-Control address data. *Applied Geography*, 2014, Vol. 51, pp. 72–81. DOI: 10.1016/j.apgeog.2014.04.001.
8. Lesani, A., Miranda-Moreno, L. F. Development and Testing of a Real-Time Wi-Fi-Bluetooth System for Pedestrian Network Monitoring and Data Extrapolation. *Proceedings of the 95th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, 21 January 2016. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2018, pp. 1–13. DOI: 10.1109/TITS.2018.2854895.
9. Nishide, R., Takada, H. Detecting Pedestrian Flows on a Mobile Ad Hoc Network and Issues with Trends and Feasible Applications. *International Journal on Advances in Networks and Services*, 2013, Vol. 6, Iss. 1-2, pp. 108–117.
10. Dunlap, M., Li, Z., Henrickson, K., Wang, Y. Estimation of Origin and Destination Information from Bluetooth and Wi-Fi-Sensing for Transit. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2016, Vol. 2595, pp. 11–17. DOI: 10.3141/2595-02.
11. Mishalani, R. G., McCord, M. R., Reinhold, T. Use of Mobile Device Wireless Signals to Determine Transit Route-Level Passenger Origin-Destination Flows: Methodology and Empirical Evaluation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2016, Vol. 2544, pp. 123–130. DOI: 10.3141/2544-14.
12. Hidayat, A., Terabe, S., Yaginuma, H. WiFi Scanner Technologies for Obtaining Travel Data about Circulator Bus Passengers: Case Study in Obuse, Nagano Prefecture, Japan. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2018, Vol. 2672, pp. 036119811877615. DOI: 10.1177/0361198118776153.
13. Ji, Yuxiong; Zhao, Jizhou; Zhang, Zhiming; Du, Yuchuan. Estimating Bus Loads and OD Flows Using Location-Stamped Farebox and Wi-Fi Signal Data. *Journal of Advanced Transportation*, 2017, pp. 1–10. DOI: 10.1155/2017/6374858.
14. 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: 10.1016/j.protcy.2014.11.023.
15. Alekseev, N., Lam, W. H. K. Estimation of Pedestrian Flow Based on Wi-Fi Data and Video Cameras. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2019, Vol. 13, pp. 93–101. DOI: <https://doi.org/10.11175/easts.13.93>.
16. Global mobile phone internet user penetration 2019. Statistic. [Электронный ресурс]: <https://www.statista.com/statistics/284202/mobile-phone-internet-user-penetration-worldwide/>. Доступ 22.03.2021.
17. Solanki, M. J., Umrigar, F. S., Zala, L. B., Amin, A. Application of Moving Car Observer Method for Measuring Travel Time, Delay & Vehicle Flow under Heterogeneous Traffic Condition of C.B.D. Area: Case Study of Surat-Rajmarg (Chowk to Delhi Gate). *International Journal of Current Engineering and Technology*, 2016, pp. 799–803. [Электронный ресурс]: <http://www.metro.tokyo.jp/ENGLISH/ABOUT/HISTORY>. Доступ 22.03.2021. ●

Информация об авторах:

Алексеев Николай Юрьевич – магистр, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), Москва, Россия, alekseev-tm@mail.ru.

Зюзин Павел Владимирович – кандидат географических наук, старший научный сотрудник Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), Москва, Россия, zyuzin86@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 09.04.2021, одобрена после рецензирования 25.06.2021, принята к публикации 05.07.2021.