

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2023, Том 15, № 2 / 2023, Vol. 15, Iss. 2 <https://esj.today/issue-2-2023.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/27SAVN223.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Бигиримана, И. Особенности функционирования остановочных пунктов городского общественного пассажирского транспорта размещенных за регулируруемыми перекрестками / И. Бигиримана, А. Ю. Михайлов // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/27SAVN223.pdf>

For citation:

Bigirimana I., Mikhaylov A.Yu. Features of the functioning of urban public passenger transport stops located behind signalized intersections. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(2): 27SAVN223. Available at: <https://esj.today/PDF/27SAVN223.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 711.7

Бигиримана Инносент

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный архитектурно-строительный университет», Москва, Россия
Аспирант
E-mail: bigirinnocent37@gmail.com

Михайлов Александр Юрьевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный архитектурно-строительный университет», Москва, Россия
Профессор
Доктор технических наук, профессор
E-mail: 89148701840@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1946-0659>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=385530
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57193751842>

Особенности функционирования остановочных пунктов городского общественного пассажирского транспорта размещенных за регулируруемыми перекрестками

Аннотация. В настоящее время проектирование остановочных пунктов является актуальной задачей как транспортного, так и градостроительного проектирования. В последние десятилетия основные объемы пассажирских перевозок в городах Российской Федерации осуществляются автобусными маршрутами. Отмечается очень высокая интенсивность движения городского общественного транспорта на улицах городов, не имеющих метро, которая может превышать 100 ед./ч и более. Это вызывает высокие нагрузки на остановочные пункты городского общественного пассажирского транспорта, на которых образуются очереди автобусов, что приводит к дополнительным затратам времени и снижению скорости сообщения. В этой связи выполняется исследование особенностей функционирования остановочных пунктов городского общественного пассажирского транспорта. Исследованием охвачены города, находящиеся в разных регионах страны Российской Федерации. Особое внимание уделено функционированию остановочных пунктов, размещаемых за регулируруемыми перекрестками, для которых характерно неравномерное прибытие автобусов и троллейбусов, вызванное влиянием режимов регулирования. Выполненное исследование позволило получить: репрезентативную выборку статистических данных о функционировании остановочных пунктов городского общественного пассажирского транспорта размещаемых за регулируемым перекрестками. Получены зависимости характеристик функционирования

остановочных пунктов как функции интенсивности движения городского общественного пассажирского транспорта, количества обслуживаемых маршрутов, а также характеристик режимов регулирования перекрестков, за которыми размещены остановочные пункты. Предложена основанная на уровнях отказов упрощенная методика оценки необходимого количества остановочных мест в составе остановочного пункта, размещаемого за регулируемым перекрестком. Полученные данные и зависимости могут использоваться для расчета остановочных пунктов, выполняемых на стадиях градостроительного проектирования.

Ключевые слова: пропускная остановочного пункта; интенсивность движения городского общественного пассажирского транспорта; количество маршрутов; длительность занятия остановочного места; уровень отказов; коэффициент вариации; минимальный интервал

Введение

Задачами проектирования остановочных пунктов городского общественного пассажирского транспорта (ГОПТ) являются:

- обеспечение эффективности функционирования маршрутной сети ГОПТ;
- формирование мультимодальной среды городских улиц, обеспечивающих баланс интересов всех пользователей пространства улицы (пешеходов, велосипедистов и пользователей средств индивидуальной мобильности, ГОПТ, автомобильный транспорт);
- формирование ландшафта улиц (streetscape design).

В городах Российской Федерации основные пассажирские перевозки осуществляются автобусными маршрутами. В этой связи на практике часто встречаются случаи, когда на участке маршрутной сети могут размещаться более сорока маршрутов. В таких случаях критическими местами системы общественного пассажирского транспорта становятся остановочные пункты, которые являются важным элементом транспортной инфраструктуры городов и первой точкой контакта между пассажиром и городским пассажирским транспортом. Остановочные пункты, размещенные за регулируемыми перекрестками, имеют ряд особенностей функционирования. При высокой интенсивности движения ГОПТ в период горения запрещающего сигнала пассажирские транспортные средства скапливаются и в последствии выезжают с регулируемого перекрестка к остановочному пункту в так называемыми «пачками» [1–3], создавая циклическую неравномерность загрузки остановочных пунктов и снижая их пропускную способность. При этом же на остановочных пунктах требуются дополнительные места для их обслуживания и создаются дополнительные задержки ГОПТ. Кроме этого, на остановочных пунктах ГОПТ образуются очереди из пассажирских транспортных средств, что приводит к возникновению заторов на перекрестках и помех движению пешеходов и велосипедистов. Часто наблюдаются ситуации, когда пассажирские транспортные средства останавливаются на соседней полосе движения, снижая тем самым безопасность дорожного движения в зонах размещения остановочных пунктов ГОПТ. В условиях недостаточной пропускной способности остановочных пунктов ГОПТ улично-дорожная сеть испытывает дополнительные нагрузки, что оказывает негативное влияние на экологическую обстановку в городах.

В опубликованной авторами работе [4] отмечено, что в ряд городов РФ, очень высокую загрузку остановочных пунктов в пиковые часы. Часто наблюдается интенсивность движения ГОПТ более 100 ед./ч, что превышает интенсивности движения ГОПТ предусмотренные градостроительными и техническим нормам. Например, на остановочный пункт «Спортивная» в городе Уфа наблюдается в пиковые часы до 147 ед./ч и до 6–12 одновременно

обслуживаемых автобусов (рис. 2). При этом даже отмечаются интервалы менее 4–5 с., что рассматривается как признак возникновения связанной части транспортного потока [5]. Решение всех этих проблем предлагается путем обеспечения достаточной пропускной способности остановочных пунктов ГОПТ для повышения уровня обслуживания городского общественного пассажирского транспорта и снижения помех движению транспортных средств в зонах размещения остановочных пунктов ГОПТ.

Следует отметить, что отечественные работы функционирования остановочных пунктов ГОПТ¹ [6–11] не учитывают ряд параметров принципиально важны в случаях плотных транспортных потоков и оказывающих влияние на характеристики функционирования остановочных пунктов ГОПТ, в частности остановочных пунктов ГОПТ размещённых за регулируемыми перекрестками.

Таким образом, актуальным является вопрос исследований особенностей функционирования остановочных пунктов ГОПТ, учитывающая современные дорожные и экономические условия в городах РФ. Для этого прежде всего необходимо разработка моделей расчета всех характеристик функционирования остановочных пунктов ГОПТ размещённых за регулируемыми перекрестками, учитывающих разнообразие дорожных условий и условий функционирования общественного пассажирского транспорта в городах РФ. В этой связи, в данной работе особое место занимает разработка моделей расчета длительности занятия остановочного места t_d и его коэффициента вариации c_v , а также необходимо установить модель влияния интенсивности движения ГОПТ и количества обслуживаемых маршрутов на значения длительности занятия остановочного места t_d и его коэффициент вариации c_v . Следует отметить, что коэффициент вариации также характеризует качество организации движения на маршрутах и регулярности движения ГОПТ, что повышает конкурентоспособность ГОПТ по отношению к личному транспорту.

В предыдущих исследованиях [12; 13] авторы объясняли причину прибытия автобусов пачками на остановку. Если автобус случайно отстает от предыдущего автобуса, в него поедет гораздо больше пассажиров, что увеличивает время длительности занятия остановочного места. В конце концов, два автобуса (а иногда и больше) могут соединиться и образоваться группа автобусов и это снова происходит на других остановочных пунктах ГОПТ [14]. С одной стороны, это увеличивает среднее время ожидания пассажиров на каждом остановочном пункте. Действительно, многие пассажиры с большим временем ожидания садятся в первый автобус, в то время как мало пассажиров с коротким временем ожидания садятся во второй. Однако время ожидания на остановочных пунктах очень плохо воспринимается пассажирами [15]. С другой стороны, первый автобус пачки сильно опаздывает и встречает многих пассажиров, его пассажиропоток увеличивается. Таким образом, (многие) пассажиры, использующие его, едут в переполненном автобусе.

Многочисленные исследования как отечественные, так и зарубежные были сосредоточены на оценки времени длительности занятия остановочного места. Следует отметить, что характеристики функционирования остановочных пунктов ГОПТ исследуются, специалистами многих стран начиная с 1980 гг.² [16–21; 22]. В последние годы отмечается интерес китайских специалистов к данной тематике [23; 24]. В работе [25] представлена модель линейной регрессии для оценки времени длительности занятия остановочного места с учетом общего количества высаживаемых и осуществляющихся посадку пассажиров. Авторы [26] разработали модель натурального логарифма для оценки времени пребывания, используя

¹ Ефремов И.С. Теория городских пассажирских перевозок: учеб. пособие для вузов / И.С. Ефремов, В.М. Кобозев, В.А. Юдин. — М.: Высш. Школа, 1980. — 535 с.

² Transit Capacity and Quality of Service Manual, 3rd Edition URL: <https://www.nap.edu/download/24766>.

сумму посадки и высадки пассажиров в качестве переменной. В работе [27] исследователи предположили, что посадка пассажиров на каждом остановочном пункте оказывает более значительное влияние, чем высадка пассажиров во время пребывания автобуса на этой остановке, и модель относительна только для посадки пассажиров.

В условиях дорожного движения в городах Российской Федерации было сделано очень мало прогнозов прибытия автобусов и времени длительности занятия остановочного места. По сравнению с развитыми странами высокая плотность населения в крупных городах и нестабильный пассажиропоток приводят к тому, что в часы пик интенсивность движения ГОПТ превышает пропускную способность остановочных пунктов, высокая загруженность транспортных средств пассажирами увеличивает время посадки и высадки пассажиров, а вместимость ограничивает количество осуществляющихся посадку пассажиров. Таким образом, существует потребность в моделях, которые могут фиксировать специальный эффект с небольшими требованиями к данным. Данное исследование основано на использовании данных с веб-камер городов Российской Федерации с целью оценки времени длительности занятия остановочного места и интервалов прибытия автобусов на остановочные пункты ГОПТ.

Материалы и методы

Как выше сказано, основным показателем функционирования остановочных пунктов ГОПТ является его пропускная способность которая в значительной степени зависит от времени длительности занятия остановочного места t_d , складывающегося из времени подъезда пассажирских транспортных средств к остановочному пункту ГОПТ, времени, затрачиваемого на высадку и посадку пассажиров и времени затрачиваемого на выезд из кармана остановочного пункта t_c и интенсивности движения пассажирских транспортных средств (ПТС) через остановочный пункт ГОПТ. Следует отметить, что интенсивность движения пассажирских транспортных средств в значительной степени зависит от разнообразия используемого подвижного состава по их типам и видам, так и по вместимости [28].

Влияние регулируемого перекрестка на пропускную способность остановочного пункта ГОПТ может быть учтено отношением длительности разрешающего сигнала в рассматриваемом направлении к длительности цикла регулирования. В случаях размещения остановочного пункта ГОПТ вне зон влияния регулируемых перекрестков, в том числе и нерегулируемые перекрестков, отношение длительности разрешающего сигнала к длительности цикла регулирования принимают равным «1». Для оценки влияния регулируемых перекрестков на пропускную способность остановочного пункта ГОПТ, следует применять наиболее развитая математическая модель пропускной способности остановочного пункта ГОПТ, позволяющая учитывать широкий спектр факторов: типы подвижного состава (вместимость, количество дверей); регулярность движения (вариацию интервалов прибытия подвижного состава ГОПТ); способ оплаты проезда (затраты времени на обслуживание вход/выход); пассажирообмен остановочного пункта; интенсивность движения транспортного потока в зоне остановочного пункта ГОПТ и влияние светофорных объектов. В этой связи, для оценки пропускной способности остановочного пункта B_s , размещенного за регулируемым перекрестком, в международной практике рекомендуют выполнять с использованием уравнения².

$$B_s = N_{el} B_l = N_{el} \frac{3600(g/C)}{t_c + t_d(g/C) + Zc_v t_d}, \quad (1)$$

где N_{el} — эффективное количество остановочных мест; B_l — пропускная способность одного остановочного места, ед./ч; g — длительность зеленого сигнала, с.; C — длительность цикла

регулирования, с.; g/C — эффективное время зеленого сигнала на длительность цикла регулирования (для остановочных пунктов размещенных посредством нерегулируемых перекрестков $g/C = 1$); t_c — время убытия с остановочного места, с.; t_d — длительность занятия остановочного места, с.; z — коэффициент вероятности отказа заявке на обслуживание; c_v — коэффициент вариации длительности занятия остановочного места.

Формула (1) была предложена в конце 1990-х и последовательно вошла во все три издания руководства Transit Capacity and Quality of Service Manual². Поскольку параметры t_c , t_d и c_v имеют широкий диапазон значений, зависят от планировки остановочного пункта ГОПТ, условий размещения остановочного пункта ГОПТ установлению зависимостей, характеризующих их вариацию, посвящен целый ряд исследований [16; 29; 30]. Следует особо отметить предложения по модификации формулы (1) на основе учета взаимных помех, создаваемых подвижным составом на остановочных пунктах [30]. Все это подтверждает актуальность исследований особенностей функционирования остановочных пунктов ГОПТ. Согласно данным, приводимым в руководстве², время убытия с остановочного места t_c варьирует в диапазоне 9–20 с. В случае устройства остановочного кармана учитывается дополнительная задержка ожидания интервала в транспортном потоке на соседней полосе (re-entry delay).

Корректное применение формулы (1) предполагает использовать значения параметров t_c , t_d и c_v , установленных в условиях дорожного движения РФ. С целью установления значений параметров: время длительности занятия остановочного места t_d ; коэффициент вариации длительности занятия остановочного места c_v , а также влияния интенсивности движения подвижного состава ГОПТ и количества обслуживаемых маршрутов на значения времени длительности занятия остановочного места t_d и коэффициента вариации были проведены обследования остановочных пунктов ГОПТ, размещенных регулируемы за перекрестками (рис. 1) в целом ряде городов РФ (Белгород, Калуга, Челябинск, Липецк, Новгород, Москва, Владимир, Тюмень и Уфа).

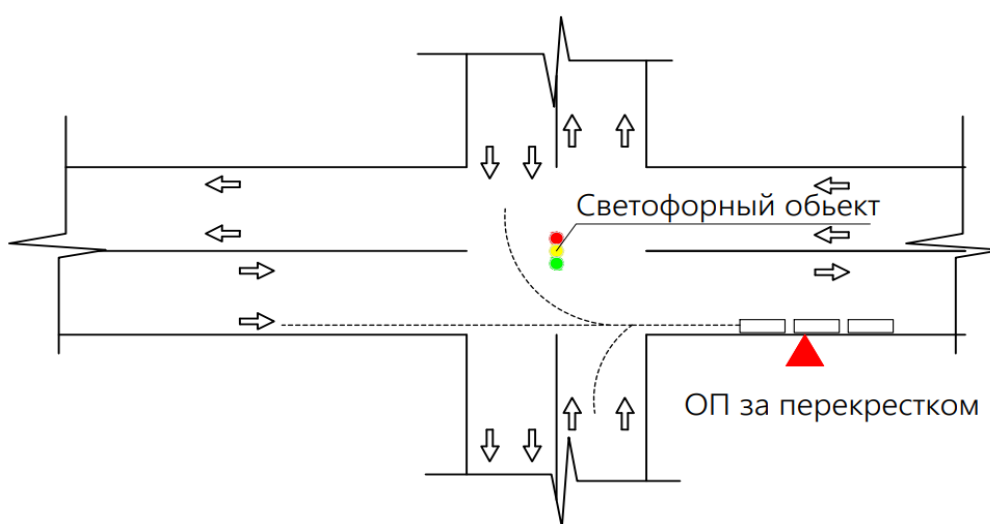


Рисунок 1. Схема размещения остановочного пункта ГОПТ за регулируемым перекрестком и направления движения ГОПТ к нему (разработано авторами)

С целью установления влияния интенсивности движения ГОПТ и количества обслуживаемых маршрутов на характеристики функционирования остановочных пунктов ГОПТ, размещённых за регулируемы перекрестками, было проведено в ряд городах РФ натурное исследование.



Рисунок 2. Очередь автобусов на остановочном пункте «Спортивная» в г. Уфа (фотография, сделанная авторами)

Обследования проводились в рабочие дни и особое внимание обращалось на утренние часы пик (7:00–9:00) и вечерние часы пик (17:00–19:00) с максимальной интенсивностью ГОПТ через остановочные пункты. Сбор данных осуществлялся с помощью программой Free cam копируя видео с веб-камер городов Российской Федерации с последующей обработкой применяя программное обеспечение (ПК СОДД), разработанной в Иркутском национальном исследовательском техническом университете (ИРНИТУ) и пакетом Statistica 6.0.

На данном этапе исследований фиксировались моменты прибытия подвижного состава ГОПТ на остановочные пункты и моменты убытия с них. При сборе данных учитывались виды подвижного состава ГОПТ: маршрутные такси и автобусы малой вместимости, автобусы средней вместимости, автобусы большой вместимости и троллейбусы, автобусы особо большой вместимости.

Результаты

Объем проведенных обследований позволил получить репрезентативные выборки данных для локализации формулы (1) к условиям городов Российской Федерации. По результатам выполненных обследований значения параметров функционирования остановочных пунктов ГОПТ, размещенных за перекрестками (табл. 1).

Установлено, что средняя длительность занятия остановочного места и коэффициент вариации длительности занятия остановочного места имеют значительный разброс (табл. 2), что указывает на необходимость определения закономерностей влияния интенсивности и количества ГОПТ на эти показатели.

С целью установления влияния интенсивности движения ГОПТ и количество обслуживаемых маршрутов на значения времени длительности занятия остановочного места t_d и коэффициент вариации длительности занятия остановочного места c_v , были проведен регрессионный анализ (рис. 3–6). На рисунках 3 и 4 представлено корреляционное поле сгруппированных данных времени длительности занятия остановочного места t_d в зависимости от интенсивности движения ГОПТ (ед./ч) и количества обслуживаемых маршрутов.

Таблица 1

Характеристики функционирования
остановочных пунктов ГОПТ, размещенных за перекрестками

Название остановки — Город	Дата	Время суток	Интенсивность, ед./ч	Количество маршрутов	Интервал прибытия, с			Средняя длительность заятия остановочного места td	Коэффициент вариации	Доля интервалов % меньше td, с
					Минимальный	Средний	Максимальный			
Псковская — Новгород	20.04.22	17:24	26	8	2,98	135,23	363,71	24,43	0,79	24,00
Рабочая — Тюмень	28.01.22	7:55	30	9	2,72	116,40	396,73	23,94	0,99	34,48
Микрорайон — Челябинск	16.02.22	8:31	94	11	0,10	38,17	138,40	23,32	1,08	58,51
Пётр Столыпин — Тюмень	15.02.22	17:42	45	12	1,85	79,19	292,45	42,28	0,87	67,8
Ворошилова (1) — Челябинск	07.02.22	7:01	99	12	1,61	36,01	242,09	17,88	1,18	53,06
Ворошилова (2) — Челябинск	03.02.22	18:09	104	12	0,72	34,40	202,62	17,50	1,04	41,35
Спортивная (2) — Уфа	27.06.22	18:24	65	13	2,12	53,36	163,90	29,66	0,78	35,94
Драматический театр — Тюмень	01.02.22	8:18	58	16	2,30	61,58	304,93	42,83	1,01	49,12
Поликлиника (1) — Челябинск	04.02.22	7:55	128	17	1,24	27,15	115,39	19,80	0,90	50,00
Поликлиника (2) — Челябинск	08.02.22	7:05	128	17	1,02	28,05	124,23	19,24	1,09	60,94
Агроуниверситет (1) — Челябинск	10.02.22	8:11	133	17	0,85	26,97	175,37	19,06	0,97	67,80
Агроуниверситет (2) — Челябинск	15.02.22	8:27	95	18	1,64	37,10	186,23	20,15	1,00	47,87
Красный Урал — Челябинск	10.02.22	8:29	128	18	0,72	27,60	119,88	22,93	1,29	69,29
Юных натуралистов — Липецк	15.06.22	9:05	98	19	1,95	36,40	151,17	28,09	1,16	63,92
Площадь победы (2) — Владимир	01.02.22	7:31	68	22	2,24	52,80	181,20	25,96	0,96	42,65
Площадь победы (1) — Владимир	31.01.22	7:06	83	25	0,35	43,22	156,69	26,84	1,01	53,01
Спортивная (1) — Уфа	28.06.22	18:48	147	29	1,81	24,28	135,50	27,29	1,40	75,34
КФ МГТУ имени Баумана — Калуга	21.01.22	8:56	119	40	1,69	30,07	154,93	34,02	1,05	68,79
Попова — Липецк	20.04.22	17:16	19	7	2,19	180,55	552,67	14,64	0,75	10,53
Аллея Молодожёнов — Тюмень	27.01.22	18:10	48	12	2,14	70,53	265,69	27,25	1,03	47,92
10-й Микрорайон — Липецк	21.04.22	17:04	40	13	3,02	89,97	395,96	21,04	0,93	22,50
10-й Микрорайон (1) — Липецк	27.04.22	17:50	39	14	2,45	80,54	262,84	16,57	0,82	15,38
Дом актера имени Юсупова — Уфа	17.02.22	17:32	106	21	1,07	31,85	151,18	25,39	1,05	58,49

Составлено авторами на основе данных проведенного исследования

Таблица 2

Установленный диапазон значений t_d и c_v

Характеристика функционирования остановочного пункта	Значения		
	минимальное	среднее	максимальное
Средняя длительность занятия остановочного места t_d , с	13,47	25,23	71,02
Коэффициент вариации длительности занятия остановочного места c_v , с	0,15	0,52	1,13

Составлено авторами на основе данных проведенного исследования

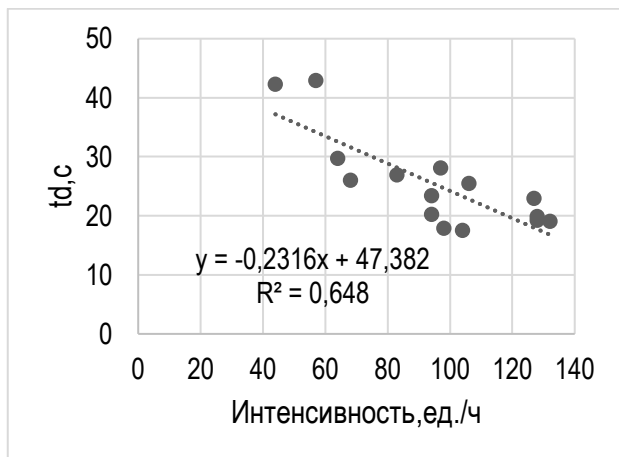


Рисунок 3. Зависимость длительности занятия остановочного места t_d от интенсивности движения ГОПТ (ед./ч)

(составлено авторами на основе данных проведенного исследования)

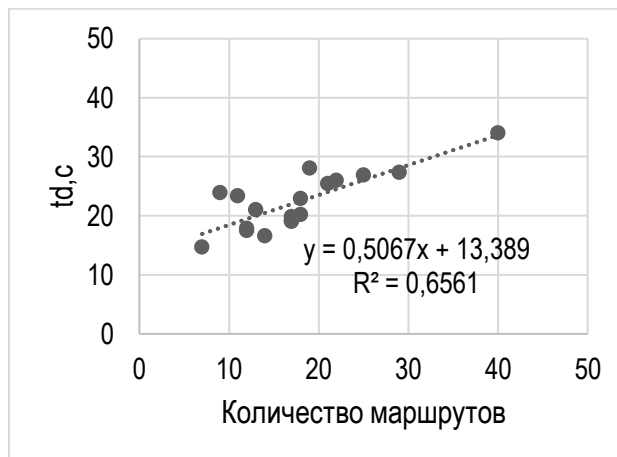


Рисунок 4. Зависимость длительности занятия остановочного места t_d от количества обслуживаемых маршрутов

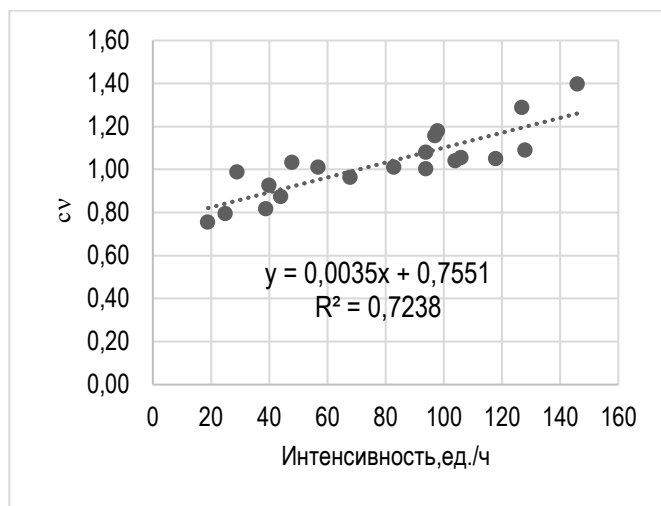


Рисунок 5. Зависимость коэффициента вариации длительности занятия остановочного места c_v от интенсивности движения ГОПТ (ед./ч)

(составлено авторами на основе данных проведенного исследования)

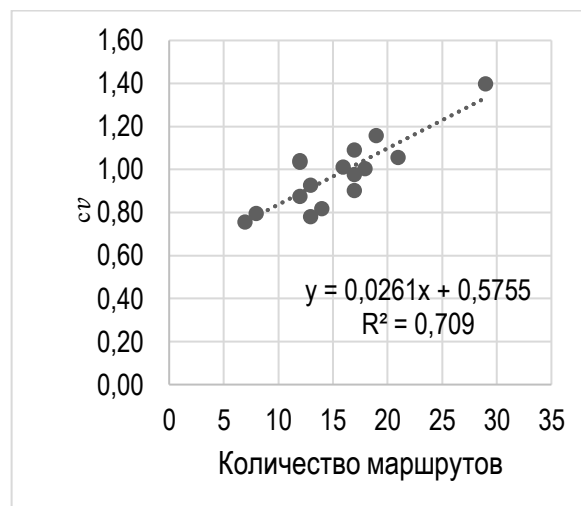


Рисунок 6. Зависимость коэффициента вариации длительности занятия остановочного места c_v от количества обслуживаемых маршрутов

Как видно, на рисунке 3 наблюдается линейная зависимость между временем длительности занятия остановочного места t_d и интенсивностью движения ГОПТ (ед./ч) с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,648$, а на рисунке 4 наблюдается линейная зависимость

между временем длительности занятия остановочного места t_d и количеством маршрутов с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,656$. Далее на рисунках 5 и 6 представлено корреляционное поле сгруппированных данных коэффициента вариации c_v как функции интенсивности движения ГОПТ (ед./ч) и количества обслуживаемых маршрутов. Как видно, на рисунке 5 наблюдается линейная зависимость между временем длительности занятия остановочного места t_d и интенсивностью движения ГОПТ (ед./ч) с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,724$, а на рисунке 6 наблюдается линейная зависимость между временем длительности занятия остановочного места t_d и количеством маршрутов с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,709$.

Далее был проведен регрессионный анализ с целью получения зависимостей влияния интенсивности движения и количества маршрутов ГОПТ, а также характеристик режимов регулирования на t_d и c_v .

Получено следующее уравнение множественной регрессии для оценки длительности занятия остановочного места t_d :

$$y = 104,180 - 0,256x_1 + 0,127x_2 + 0,860x_3 - 0,453x_4 - 107,894x_5, \quad (2)$$

где: y — длительность занятия остановочного места, с; x_1 — интенсивность движения ГОПТ, ед./ч; x_2 — количество обслуживаемых маршрутов; x_3 — длительность зеленого сигнала для движения, с; x_4 — длительность цикла светофорного регулирования, с; x_5 — эффективное время зеленого сигнала на длительность цикла регулирования.

Коэффициент множественной корреляции модели (3) $R = 0,844$, коэффициент детерминации $R^2 = 0,712$, значение коэффициента Фишера $F_{(5;9)} = 4,455$ ($p < 0, 041$), что доказывает высокое качество аппроксимации.

Для оценки коэффициента вариации c_v получено следующее уравнение множественной регрессии:

$$y = 3,9598 + 0,0035x_1 + 0,0003x_2 + 0,0371x_3 - 0,0226x_4 - 5,2772x_5, \quad (3)$$

где y — коэффициент вариации; x_1 — интенсивность движения ГОПТ, авт./ч; x_2 — количество обслуживаемых маршрутов; x_3 — длительность зеленого сигнала для движения, с; x_4 — длительность цикла светофорного регулирования, с; x_5 — эффективное время зеленого сигнала на длительность цикла регулирования.

Значение коэффициента корреляции $R = 0,908$ свидетельствует о тесноте линейной связи между c_v и рассматриваемыми факторами. Также можно отметить весьма высокое значение критерия Фишера ($F_{(5;14)} = 12,919$; $p < 0, 00008$) рассматриваемой модели, которое значительно больше критического.

В результате представленного выше этапа исследования установлены зависимости (регрессионные модели 3 и 4), на основе которых можно определять параметры t_d и c_v , входящие в уравнение (1). Таким образом, уравнение (1) получило локализацию на основе репрезентативной выборки данных, полученных по целому ряду городов Российской Федерации.

Стадии градостроительного проектирования городской транспортной инфраструктуры (т. е. на стадии проектов планировки и проектов планировки линейных объектов) предполагают использование упрощенных методик расчетов. В этой связи авторы сформулировали задачу разработки методики оценки необходимого количества остановочных мест в составе остановочных пунктов по данным прогнозируемой интенсивности ГОПТ и предполагаемой средней длительности занятия остановочного места. Предлагается оценивать количество интервалов прибытия к остановочному пункту, которое меньше средней длительности занятия

остановочного места и рассматривается как отказ на обслуживание (т.е. прибытие осуществляется на занятый остановочный пункт).

В ходе исследования интенсивности движения ГОПТ, была установлена высокая доля интервалов прибытия автобусов менее 2 с, 4 с и 10 с (табл. 3). Это может объясняться высокой интенсивностью движения ГОПТ, связанной с дублированием маршрутов и использованием транспортных средств малого и особо малого класса, а также несоблюдением расписаний движения ГОПТ. Также это может объясняться влиянием регулируемых перекрестков, так как после окончания запрещающего сигнала подвижной состав ГОПТ поступает с перекрестка к остановочному пункту группами («пачками»).

При этом отмечаются также высокая доля интервалов между автобусами меньше времени длительности занятия остановочного места. В этой связи, пребывающие к остановочному пункту автобусы получают отказ в немедленном предоставлении места для обслуживания пассажиров, что увеличивает время длительности занятия остановочного места t_d и создает дополнительные задержки автобусов на остановочном пункте. Вероятность отказа в заявке на обслуживание варьирует в диапазоне 20–76 %.

Таблица 3

Наличие связанного движения подвижного состава ГОПТ

Название остановки — город	Дата	Время суток	Интенсивность, ед./ч	Количество маршрутов	Доля интервалов, %		
					≤ 2 с	≤ 4 с	≤ 10 с
Псковская — Новгород	20.04.22	17:24	26	8	0,00	4,00	8,00
Рабочая — Тюмень	28.01.22	7:55	30	9	0,00	10,34	24,14
Микрорайон — Челябинск	16.02.22	8:31	94	11	6,38	21,28	36,17
Пётр Столыпин — Тюмень	15.02.22	17:42	45	12	1,69	17,80	38,14
Ворошилова (1) — Челябинск	07.02.22	7:01	99	12	6,12	25,51	46,94
Ворошилова (2) — Челябинск	03.02.22	18:09	104	12	4,81	12,50	25,96
Спортивная (2) — Уфа	27.06.22	18:24	65	13	0,00	7,81	14,06
драматический театр — Тюмень	01.02.22	8:18	58	16	0,00	8,77	15,79
Поликлиника (1) — Челябинск	04.02.22	7:55	128	17	7,03	18,75	37,50
Поликлиника (2) — Челябинск	08.02.22	7:05	128	17	2,34	10,94	35,16
Агроуниверситет (1) — Челябинск	10.02.22	8:11	133	17	1,69	17,80	38,14
Агроуниверситет (2) — Челябинск	15.02.22	8:27	95	18	3,19	18,09	28,72
Красный Урал — Челябинск	10.02.22	8:29	128	18	12,60	29,13	51,18
Юных натуралистов — Липецк	15.06.22	9:05	98	19	1,03	17,53	38,14
Площадь победы (2) — Владимир	01.02.22	7:31	68	22	0,00	13,23	26,47
Площадь победы (1) — Владимир	31.01.22	7:06	83	25	3,61	16,87	32,53
Спортивная (1) — Уфа	28.06.22	18:48	147	29	1,37	31,51	54,11
КФ МГТУ имени Баумана — Калуга	21.01.22	8:56	119	40	1,70	17,79	38,13
Пер. Попова — Липецк	20.04.22	17:16	19	7	0,00	10,53	10,53
Аллея Молодожёнов — Тюмень	27.01.22	18:10	48	12	0,00	16,67	31,25
10-й Микрорайон 2 — Липецк	21.04.22	17:04	40	13	0,00	5,00	15,00
10-й Микрорайон 1 — Липецк	27.04.22	17:50	39	14	0,00	2,56	10,26
Уфа-Дом актёра имени Юсупова — Уфа	17.02.22	17:32	106	21	10,38	25,47	37,74

Составлено авторами на основе данных проведенного исследования

С целью определения уровня отказов (т. е. вероятности отказа на обслуживание) была получена зависимость между минимальным интервалом Δ и интенсивностью движения ГОПТ q (рис. 7).

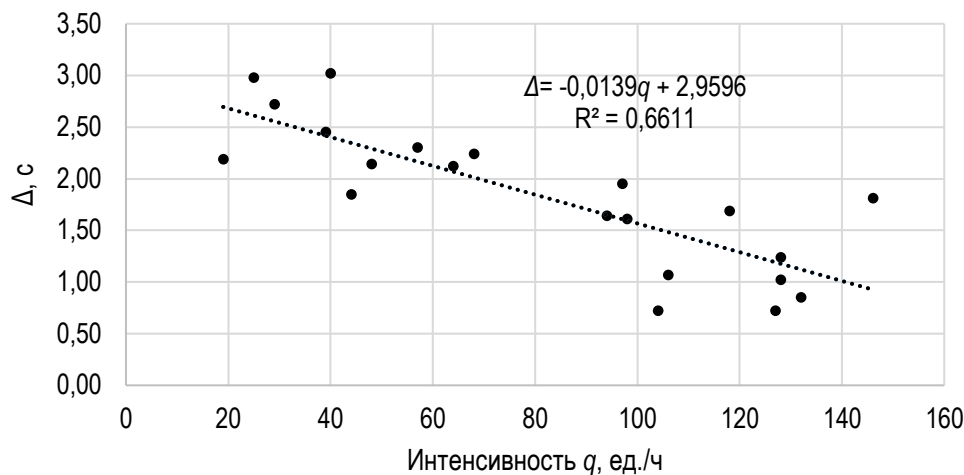


Рисунок 7. Зависимость влияния интенсивности движения ГОПТ q на минимальный интервал прибытия к остановочному пункту Δ (составлено авторами на основе данных проведенного исследования)

На основе зависимости, представленной на рис. 7 доля интервалов, меньших чем средняя длительность занятия остановочного места может определяться с использованием функции смещенного экспоненциального распределения $F(t)$:

$$F(t) = \begin{cases} 1 - e^{-(t-\Delta)} & \text{при } t \geq \Delta; \\ 0 & \text{при } t < \Delta, \end{cases} \quad (4)$$

где Δ — минимальный интервал (с), определяемый на основе зависимости представленной на рисунке 7; λ — параметр распределения смещенного экспоненциального распределения.

Соответственно параметр λ определяемый как:

$$\lambda = \frac{q/3600}{1-\Delta q/3600}, \quad (5)$$

где q — интенсивность движения подвижного состава ГОПТ, ед./ч.

С учетом эффективного количества мест N_{el}^2 вероятность отказа на обслуживания (т. е. вероятность занятия всех остановочных мест в составе остановочного пункта) можно определять как:

- при одном остановочном месте $P = 1 - e^{-(t_a-\Delta)}$;
- при двух остановочных местах $P = (1 - e^{-(t_a-\Delta)})/1,8$;
- при трех остановочных местах $P = (1 - e^{-(t_a-\Delta)})/2,5$.

Условие необходимости устройства двух остановочных пунктов вместо одного (т. е. устройства «разнесенного» остановочного пункта) — отказ на обслуживание при наличии трех остановочных мест в составе остановочного пункта ГОПТ.

Обсуждение

В случаях выполнения проектов планировки и планировки линейных объектов наиболее доступная информация — прогнозируемые пассажиропотоки. Для использования формулы (1) и зависимостей влияния интенсивности движения на среднюю длительность занятия остановочного места, а также коэффициент вариации длительности занятия остановочного места можно использовать переход от величины пассажиропотока P (пасс/ч) к предполагаемой интенсивности движения подвижного состава ГОПТ

$$P = \sum_1^4 w_i q_i, \quad (6)$$

где w_i — вместимость подвижного состава ГОПТ малой, средней, большой и особо большой вместимости, пасс.; q_i — интенсивности движения ГОПТ малой, средней, большой и особо большой вместимости, ед./ч.

Соответственно суммарная интенсивность q определяется как сумма $\sum q_i$ на основании оценки которой можно определять с использованием зависимостей, представленных на рисунке 3 и 5. Условием необходимости устройства разнесенного остановочного пункта является получаемое расчетом количество остановочных мест более 3.

Альтернативой расчету необходимого количества остановочных мест на остановочном пункте ГОПТ является процедура оценки вероятности отказа на обслуживание (формулы 2 и 3). Для уменьшения трудоемкости выполнения этой процедуры представляется возможным построение регрессионных моделей $P = f(t_d)$.

Для полной локализации формулы (1) требуется проверить различие между значениями.

Выводы

Выполненный этап исследования позволил получить:

- репрезентативную выборку статистических данных о функционировании остановочных пунктов ГОПТ, размещаемых за регулируемые перекрестками;
- значения параметров и как функции интенсивности движения ГОПТ, количества обслуживаемых маршрутов ГОПТ, а также характеристики режима регулирования;
- упрощенную методику оценки необходимого количества остановочных мест в составе остановочного пункта ГОПТ, размещаемого за регулируемым перекрестком, основанную на уровне отказов.

В планируемом продолжении исследования предстоит получить зависимости, характеризующие функционирование остановочных пунктов ГОПТ, размещаемых на перегонах улиц вне зон влияния регулируемых перекрестков, а также остановочных пунктов, размещаемых перед регулируемыми перекрестками.

Требуется дополнительное исследование для усыновления потерь времени при убытии с остановочного места t_c для остановочных пунктов, расположенных в карманах.

Научный и практический интерес представляет специальное исследование характеристик функционирования остановочных пунктов ГОПТ г. Москвы. Применение электронных проездных билетов сокращает затраты времени на посадку и высадку пассажиров, что влияет на среднюю продолжительность занятия остановочного места t_d . В результате можно получить данные, которые будут характеризовать дополнительный эффект в виде сокращения затрат времени ГОПТ на остановочных пунктах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зедгенизов А.В., Лагерев Р.Ю. Влияние режима работы светофорной сигнализации на пропускную способность остановочных пунктов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2011. № 1(1). С. 38–44.
2. Капский Д.В., Самойлович Т.Н. Исследование влияния светофорного объекта на функционирование остановочных пунктов маршрутного пассажирского транспорта // Вестник Белорусско-Российского университета. 2013. № 2. С. 46–54.
3. Жуков И.А., Зварыч Е.Б., Корягин М.Е. Конкуренция операторов городского пассажирского транспорта в условиях регулирования уличного движения // Вопросы современной науки и практики. Университет имени В.И. Вернадского. 2009. № 1. С. 69–77.
4. Бигиримана И., Михайлов А.Ю. Особенности функционирования остановочных пунктов городского общественного пассажирского транспорта в городах Российской Федерации // Недвижимость: экономика, управление. 2022. Приложение к № 3. С. 61–64.
5. Akçelik, R. Calibration of the bunched exponential distribution of arrival headways. / R. Akçelik, E. Chung — Direct text. // Road and Transport Research. — 1994. — vol. 3(1). — Pp. 2–59.
6. Димова И.П. Повышение эффективности работы городского пассажирского транспорта на основе исследования показателей работы остановочных пунктов / И.П. Димова, Я.А. Борщенко // «Наука, техника и образование». — 2014. — № 5(5). — С. 62–65.
7. Пассажирские автомобильные перевозки / [Гудков В.А., Миротин Л.Б., Вельможин А.В., Ширяев С.А.]. — М.: Горячая линия — Телеком, 2004. — 448 с.
8. Исхаков М.М., Рассоха В.И. Комплексное исследование остановочных пунктов городского пассажирского транспорта г. Оренбурга // «Вестник Оренбургского государственного университета». — 2007. — № 9. — С. 207–214.
9. Фомин Е.В., Фадеев А.И. Методика определения пропускной способности остановочных пунктов городского пассажирского транспорта // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2012. — № 4(63). — С. 117–124.
10. Михайлов А.Ю., Зедгенизов А.В., Шаров М.И., Куприянова А.Б., Адаптация методов расчета остановочных пунктов маршрутного пассажирского транспорта к Российским условиям // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Матер. XII межд. научно-практической конференции. Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 2006. — С. 302–307.
11. Ларин О.Н. Оптимизация маршрутных сетей городов с учетом ограничений пропускной способности остановочных пунктов / А.А. Кажаяев, О.Н. Ларин // «Вестник Оренбургского государственного университета». — 2011. — № 10(129). — С. 26–32.
12. Newell, G.F., Potts, R.B. Maintaining a bus schedule. In: Proceedings of 2nd Australian Road Research Board (ARRB) Conference, Melbourne, Australia, 1964. — Vol. 2. — Pp. 388–393.
13. Newell, G.F. Control of pairing of vehicles on a public transportation route, two vehicles, one control point. Transportation Science. — 1974. — Vol. 8(3). — Pp. 248–264.

14. Potts, R.B., Tamlin, E.A. Pairing of buses. Proceedings of the 2nd Australian Road Research Board (ARRB) Conference, Melbourne, Australia, 1964. — Vol. 2. — Pp. 3–9.
15. Mohring, H., Schroeter, J., Wiboonchutikula, P. The values of waiting time, travel time, and a seat on a bus. The RAND Journal of Economics. — 1987. — Vol. 18(1). — Pp. 40–56.
16. Al-Mudhaffara A. Bus Stop and Bus Terminal Capacity / A. Al-Mudhaffara, A. Nissanb, K-L. Bangb // Transportation Research Procedia. — 2016. — Vol. 14. — Pp. 1762–1771.
17. Fernandez, R., A new approach to bus stop modeling. // Traffic Engineering and Control. — 2001. — Vol. 42(7). — Pp. 240–246.
18. Fernandez R., Planzer R. On the capacity of bus transit systems. // Transport Reviews. — 2002. — Vol. 22(3). — Pp. 267–293.
19. Fernández, R. Design of bus-stop priorities. // Traffic Engineering and Control. — 1999. — Vol. 40(6). — Pp. 335–340.
20. Fernandez, R. A new approach to bus stop modelling // Traffic engineering & control — 2001. 42(7). — Pp. 240–246.
21. Fernandez, R. PASSION 5.0-a model for microscopic simulation of multiple-berth bus stops // Traffic Engineering and Control. — 2007. — Vol. 48(7). — Pp. 324–328.
22. Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000) // Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., U.S.A. 2000, — 1134 p.
23. Luo T., Yang J Estimating the Capacity of a Curbside Bus Stop with Multiple Berths Using Probabilistic Models // Tehnički vjesnik. — 2020. — Vol. 27(5). — Pp. 1597–1606.
24. Wang, C., Ye, Z., Fricker, J.D., Zhang, Y., & Ukkusuri, S.V. Bus Capacity Estimation using Stochastic Queuing Models for Isolated Bus Stops in China. // Transportation Research Record. — 2018. — Vol. 2672(8). — Pp. 108–120. <https://doi.org/10.1177/0361198118777358>.
25. Levinson, H.S. Analyzing Transit Travel Time Performance. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. — 1983. — Vol. 915. — Pp. 1–6.
26. Guenther, R.P., and K.C. Sinha. Modeling bus delays due to passenger boardings and alightings. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. — 1983. — Vol. 915. — Pp. 7–13.
27. Shalaby, A., and A. Farhan. Prediction Model of Bus Arrival and Departure Times Using AVL and APC Data. Journal of Public Transportation. — 2004 — Vol. 7. — Pp. 41–61.
28. Peña C., Moreno E. Delay at Bus Stops of Transmilenio Transport System According to Parameters Measured “in situ”. Case Study Bogotá-Colombia // Procedia-Social and Behavioral Sciences. — 2014. — Vol. 160. — Pp. 121–129.
29. Gu, W., Li, Y., Cassidy, M.J., & Griswold, J.B. On the capacity of isolated, curbside bus stops. / Direct text. // Transportation Research Part B: Methodological. — 2011. — Vol. 45(4). — P. 714–723.
30. Hisham, F. Development of a modified bus stop capacity model / Hisham F., J.M. Bunker, A. Bhaskar — Direct text. // Transportation Research Record Ume. — 2019. — Vol. 2673. — Issue 1. — P. 269–278.

Bigirimana Innocent

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia
E-mail: bigirinnocent37@gmail.com

Mikhaylov Aleksandr Yur'evich

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia
E-mail: 89148701840@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1946-0659>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=385530

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57193751842>

Features of the functioning of urban public passenger transport stops located behind signalized intersections

Abstract. The design of bus stops is a task of both transport and urban planning. Currently, the main of passenger flows in cities of the Russian Federation are served by bus transport. The study has established a large volume of urban public transport traffic on the streets of cities without a metro, which can exceed 100 units per hour or more. This forms a large volumes of public transport traffic and queues at public transport stops, which leads to additional lost time and reduces the travel speed. In this regard, a study of features of bus stops functioning is carried out. The study covered cities located in different regions of the Russian Federation. Particular attention is paid to the functioning of bus stops located behind the signalized intersections, which characterized by non-uniform arrival of buses and trolleybuses. The study made it possible to obtain: a representative sample of statistical data on the functioning of bus stops located behind signalized intersections. The bus stops performance parameters were determined as a functions of the public transport volumes and number routes, as well as signalized intersections traffic control timing. Simplified methodology based on failure rate was also developed for estimating the number of stop places at bus stop located behind signalized intersection. The resulting data and dependencies can be used to bus stops preliminary design at the stage of urban planning.

Keywords: bus stop capacity; bus traffic volume; number of routes; dwell time; failure rate; coefficient of variation of the dwell time; minimum interval