

УДК 656.015

DOI 10.52928/2070-1616-2026-55-3-55-58

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ТРАМВАЙНЫХ ОСТАНОВОЧНЫХ ПУНКТОВ

А.А. КУСТЕНКО, д-р техн. наук, проф. Д.В. КАПСКИЙ
(Белорусский национальный технический университет, Минск)

Проведен сравнительный анализ двух основных типов трамвайных остановочных пунктов (ОП), применяемых в городской улично-дорожной сети г. Минска: ОП с посадкой с проезжей части (ОП-1) и ОП с огражденной посадочной площадкой на середине проезжей части при совмещенном движении трамвая и транспортного потока (ОП-2). На основе натурных экспериментальных исследований получена регрессионная модель времени простоя трамвая на ОП. Выявлены принципиальные различия в динамике посадки-высадки пассажиров, в том числе установлена зависимость времени простоя от соотношения потоков посадки и высадки для ОП-1. Разработаны дифференцированные коэффициенты корректировки нормативного времени простоя. Сформулированы рекомендации по выбору типа ОП с учетом градостроительных условий, требований безопасности и необходимости применения светофорного регулирования.

Ключевые слова: трамвай, остановочный пункт, время простоя, пассажирообмен, безопасность, светофорный объект, коэффициент корректировки, посадочная площадка.

Введение. Остановочный пункт является ключевым элементом трамвайной инфраструктуры, непосредственно определяющим как эксплуатационные показатели (скорость сообщения, соблюдение расписания), так и уровень безопасности пассажиров и участников дорожного движения. Конструктивное решение ОП обуславливает порядок посадки-высадки пассажиров, характер взаимодействия трамвайного вагона с окружающими транспортными потоками и, в конечном счете, время простоя подвижного состава.

Цель исследования – сравнительный анализ двух типов трамвайных остановочных пунктов г. Минска (ОП-1 и ОП-2) и разработка практических рекомендаций по их применению с учетом требований безопасности и эффективности движения.

Основная часть. Экспериментальные исследования проводились на ОП трамвайной сети г. Минска с применением метода видеофиксации. В исследовании рассматривались трамваи с тремя дверями (тип АКСМ-601): двумя двухпоточными и одной однопоточной. Фиксировалось суммарное количество вошедших и вышедших пассажиров; время отсчитывалось от момента полной остановки трамвая до начала трогания с места.

Объектом наблюдения служили все ОП трамвайной сети г. Минска. Суммарный объем выборки составил 1284 измерения. На основании данных регрессионного анализа получена линейная модель зависимости времени простоя трамвая на ОП от суммарного пассажирообмена [1–3]:

$$t_{\text{оп}} = 0,508 \cdot Q_{\text{пас.об}} + 9,96, \text{ с}, \quad (1)$$

где $t_{\text{оп}}$ – время простоя трамвая на ОП, с;

$Q_{\text{пас.об}}$ – суммарный пассажирообмен (вошедшие + вышедшие пассажиры), пасс.;

0,508 – коэффициент регрессии, с/пасс.;

9,96 – свободный член, соответствующий технологическому времени открытия и закрытия дверей, с.

Важный результат натурных наблюдений – выявление существенных различий в динамике посадки-высадки пассажиров в зависимости от типа ОП и соотношения интенсивности потоков посадки и высадки. Эти различия послужили основой для разработки дифференцированных коэффициентов корректировки, рассматриваемых ниже.

На трамвайной сети г. Минска при совмещенном движении трамвая и автотранспорта выделяются два основных типа ОП, различающихся конструктивным решением и способом организации посадки-высадки пассажиров:

тип 1 – ОП с посадкой с проезжей части (далее – ОП-1): пассажиры ожидают трамвай на тротуаре и выходят на проезжую часть непосредственно в момент остановки вагона;

тип 2 – ОП с огражденной посадочной площадкой на середине проезжей части при совмещенном движении трамвая и транспортного потока (далее – ОП-2): физически выделенная островковая платформа располагается на раздельительной полосе или специально организованном «кармане» в центре проезжей части.

ОП-1 – это обозначенная остановка без физически выделенной посадочной платформы. Пассажиры ждут трамвай на тротуаре или обочине и выходят на проезжую часть уже в момент остановки вагона. Там, где трамвайный путь совмещен с общим транспортным потоком, зоны ожидания пассажиров и движения автомобилей никак не разделены – отсюда характерные риски для всех участников дорожного движения.

Из конструктивных особенностей ОП-1 стоит отметить: отсутствие физических ограждений и посадочной платформы; посадка и высадка происходят с уровня проезжей части; пассажирам приходится пересекать

полосы движения автотранспорта; наконец, попутные автомобили могут занимать пространство в зоне трамвайной остановки.

Экспериментальные исследования на ОП-1 показали, что время простоя трамвая принципиально зависит от соотношения потоков посадки и высадки. В этом его принципиальное отличие от ОП-2.

Здесь можно выделить три характерных сценария.

Сценарий 1: высадка преобладает над посадкой. В этом случае время простоя на ОП-1 оказывается меньше, чем на сопоставимой ОП-2. Это объясняется тем, что пассажиры, выходящие из трамвая, не ограничены размерами посадочной площадки и свободно расходятся по проезжей части, не создавая пробок у дверей. Отсутствие физического ограждения устраняет «бутылочное горлышко», которое возникает на ОП-2 там, где ширина платформы замедляет рассредоточение пассажиров. В итоге высадка завершается быстрее, а трамвай трогается раньше.

Сценарий 2: посадка преобладает над высадкой. Здесь картина обратная: время простоя на ОП-1 больше, чем на ОП-2. Пассажиры ожидают трамвай на тротуаре и выходят на проезжую часть только после того, как трамвай прекратил движение, – вагон простаивает, пока люди добираются от тротуара до дверей. Вместе с тем есть и компенсирующий момент: двигаясь к трамваю по проезжей части, пассажиры заранее видят, насколько загружена каждая дверь, и распределяются по ним равномернее. Это сокращает время посадки по сравнению с ситуацией, когда выбор двери происходит уже на платформе в условиях высокой плотности ожидающих.

Сценарий 3: посадка и высадка приблизительно равны. При сбалансированном пассажирообмене время простоя на ОП-1 статистически не отличается от времени простоя на ОП-2. Пока одна группа пассажиров выходит из трамвая, другая – те, кто ждал на тротуаре, – успевает выйти на проезжую часть и подойти к дверям вагона. Задержки посадки не возникает: процессы завершаются практически одновременно.

ОП-1 характеризуется наиболее высоким уровнем потенциальной опасности для пассажиров. Среди ключевых факторов риска:

- выход пассажиров на проезжую часть. И при посадке, и при высадке людям приходится пересекать полосы движения автотранспорта. Это создает конфликтные ситуации с попутным транспортом [4];

- высота ступеней при посадке в трамвай. Если подвижной состав не является низкопольным, пассажиры вынуждены преодолевать значительную высоту подъема при посадке с уровня проезжей части (ниже, чем уровень посадочной платформы), что повышает риск падения и создает барьеры для маломобильных групп населения (МГН).

Для ОП-1 необходимо применение дифференцированного коэффициента корректировки $K_{оп}$, учитывающего соотношение потоков посадки и высадки:

$$t_{оп} = K_{оп} \cdot (0,508 \cdot Q_{пос.об} + 9,96), \text{ с.} \quad (2)$$

Значение $K_{оп}$ принимается в зависимости от соотношения $Q_{пос}/Q_{выс}$ (таблица 1).

Таблица 1. – Коэффициенты корректировки времени простоя для ОП-1

Соотношение потоков	$K_{оп}$	Физическое обоснование	Примечание
$Q_{выс} > Q_{пос}$ (высадка преобладает)	0,90–0,95	Отсутствие ограждения ускоряет рассредоточение высаживающихся; нет «бутылочного горлышка»	Время простоя меньше, чем на ОП-2
$Q_{пос} \approx Q_{выс}$ (сбалансированный обмен)	1,00–1,10 (рек. 1,05)	Процессы посадки и высадки синхронизированы; подходящие пассажиры успевают занять место у дверей	Статистически не отличается от ОП-2
$Q_{пос} > Q_{выс}$ (посадка преобладает)	1,05–1,15 (рек. 1,10)	Трамвай ожидает пассажиров с тротуара; компенсируется лучшим распределением по дверям	Время простоя больше, чем на ОП-2

ОП-2 представляет собой физически выделенную островковую платформу, располагаемую на разделительной полосе или специально организованном «кармане» в центре проезжей части. Платформа ограждена бордюром или барьерным ограждением и обеспечивает пассажирам защищенную зону ожидания. Данный тип ОП применяется на улицах, где трамвайный путь проходит по оси проезжей части совместно с автомобильным движением, и ширина поперечного профиля позволяет разместить посадочный островок.

Конструктивное решение ОП-2 обеспечивает физическое разделение ожидающих пассажиров и транспортного потока, однако не исключает их взаимодействия: пассажиры вынуждены пересекать полосы движения при подходе к платформе и после высадки с нее.

Конструктивные особенности ОП-2: платформа физически отделена от проезжей части бордюром или металлическим ограждением; посадка и высадка происходят с уровня платформы, поэтому перепад высот при входе в вагон меньше. При этом площадь платформы ограничена, и чтобы добраться до нее или уйти после высадки, пассажирам приходится пересекать полосы движения, как правило, по пешеходному переходу или при светофорном регулировании.

Сам процесс посадки-высадки на ОП-2 более предсказуем, чем на ОП-1: пассажиры уже находятся на платформе и не тратят время, чтобы выйти с тротуара. Это дает стабильное время простоя, которое практически не зависит от соотношения $Q_{\text{пос}}/Q_{\text{выс}}$ – в отличие от ОП-1, где это соотношение играет принципиальную роль.

Однако у ОП-2 есть свой ограничивающий фактор: ширина посадочной платформы сдерживает скорость рассредоточения выходящих пассажиров. При интенсивной высадке ($Q_{\text{выс}} > Q_{\text{пос}}$) возникает эффект «бутылочного горлышка» в зоне выхода: пассажиры вынуждены двигаться по ограниченному пространству платформы и не могут быстро рассредоточиться. В результате время высадки на ОП-2 при доминировании выходящего потока оказывается больше, чем на ОП-1.

Дополнительным фактором задержки является скопление пассажиров вблизи дверей при высокой плотности ожидающих на ограниченной по площади платформе: посадочный пассажиропоток не всегда успевает оптимально распределиться по входным дверям, что увеличивает неравномерность нагрузки на отдельные двери и суммарное время посадки. Это принципиально отличает ОП-2 от ОП-1, где пассажиры имеют возможность заблаговременно выбрать наименее загруженную дверь при подходе к вагону.

Благодаря физическому ограждению зоны ожидания ОП-2 обеспечивает значительно более высокий уровень безопасности по сравнению с ОП-1. Пассажиры, находящиеся на платформе, защищены от бокового контакта с транспортными средствами. Посадка осуществляется с уровня платформы, что уменьшает перепад высот по сравнению с посадкой с проезжей части, снижая риск падения и облегчая доступ для МГН.

Тем не менее ОП-2 не лишен уязвимых точек с точки зрения безопасности. Конфликты с автотранспортом возникают в момент перехода пассажиров от тротуара к платформе и обратно. При отсутствии пешеходного перехода или светофорного регулирования в зоне подхода к ОП-2 пассажиры вынуждены пересекать потоки движущегося транспорта. Для ОП-2 вводится коэффициент корректировки K_2 , учитывающий специфику посадки-высадки с ограниченной платформы при совмещенном движении (таблица 2).

Таблица 2. – Составляющие коэффициента корректировки времени простоя для ОП-2

Составляющая $K_{\text{оп}}$	Значение	Обоснование
Влияние ширины платформы на скорость рассредоточения (при $Q_{\text{выс}} > Q_{\text{пос}}$)	1,00–1,05	Ограниченная площадь платформы замедляет высадку
Влияние уровня платформы (снижение высоты подъема)	0,97–1,00	Платформа уменьшает перепад высот при посадке
Доступность для МГН	1,00–1,03	Частичное повышение доступности по сравнению с ОП-1

Проведенный анализ позволяет систематизировать различия между двумя типами ОП в отношении времени простоя трамвая, уровня безопасности и условий доступности. Главный вывод здесь: однозначного «лидера» по времени простоя среди рассматриваемых типов нет. Какое решение окажется эффективнее, зависит от конкретного соотношения потоков посадки и высадки на конкретной остановке (таблица 3).

Таблица 3. – Сравнительная характеристика типов ОП по времени простоя и безопасности

Сценарий пассажирообмена	Преимущество
Высадка > Посадки	ОП-1 по времени простоя. ОП-2 по безопасности
Посадка ≈ Высадке	Равноценны по времени. ОП-2 по безопасности
Посадка > Высадки	ОП-2 по времени простоя. ОП-2 по безопасности
Безопасность (риск)	ОП-2 по безопасности

ОП-1 показывает наименьшее время простоя, когда пассажиры в основном выходят: отсутствие ограждения дает им возможность свободно разойтись по проезжей части, процесс идет быстрее. Когда преобладает посадка, ОП-1 уступает ОП-2: пассажирам сначала нужно выйти с тротуара на проезжую часть, что добавляет время ожидания, хотя частично потери компенсируются тем, что люди лучше распределяются по дверям вагона. В сбалансированном режиме время простоя на ОП-1 и ОП-2 статистически неразличимо.

ОП-2 обеспечивает наиболее стабильное и предсказуемое время простоя, что важно для планирования расписания. При доминировании высадки ОП-2 проигрывает ОП-1 вследствие эффекта «бутылочного горлышка» на платформе.

Заключение. Динамика посадки-высадки на ОП-1 зависит от соотношения $Q_{\text{пос}}/Q_{\text{выс}}$. При доминировании высадки время простоя на ОП-1 оказывается меньше, чем на ОП-2, вследствие свободного рассредоточения пассажиров по проезжей части. При доминировании посадки – больше из-за ожидания выхода пассажиров с тротуара, хотя частично компенсируется улучшенным распределением по дверям. В сбалансированном режиме показатели ОП-1 и ОП-2 статистически не отличаются.

При совмещенном движении трамвая и автотранспорта оптимальным решением является ОП-2 с огражденной посадочной площадкой. Рекомендуется применять ОП-2 на всех магистральных улицах, где ширина поперечного профиля позволяет разместить посадочный островок.

В исторически сложившейся застройке или в случаях, когда технические и градостроительные условия не позволяют разместить посадочную платформу, допускается применение ОП-1. Для обеспечения безопасности пассажиров при ОП-1 обязательным условием является временное разделение трамвайного и автомобильного движения с применением светофорного регулирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кустенко А.А., Капский Д.В., Ларин О.Н. Исследование влияния светофорного регулирования на эффективность трамвайного движения // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2025. – № 2. – С. 26–33. DOI: 10.52928/2070-1616-2025-52-2-26-33
2. Кустенко А.А., Капский Д.В., Ларин О.Н. Моделирование движения транспортных средств в местах посадки пассажиров в трамвай с проезжей части // Транспорт Урала. – 2025. – № 2(85). – С. 22–28. DOI: 10.20291/1815-9400-2025-2-22-28
3. Методика расчета задержек транспортного потока перед остановочным пунктом трамвая с посадкой с проезжей части / А.А. Кустенко, Д.В. Капский, Н.А. Филиппова и др. // Современные системы и технологии на транспорте: проблемы и перспективы: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 95-летию ВГЛУ им. Г.Ф. Морозова / Воронеж (24–25 апр. 2025 г.). – Воронеж, 2025. – С. 171–184. DOI: 10.58168/MSTT2025_171-184
4. Кустенко А.А., Капский Д.В., Чикишев Е.М. Современные технические решения в организации трамвайного движения // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2025. – № 6. – С. 52–59. DOI 10.36535/0236-1914-2025-06-8

Поступила 17.07.2026

COMPARATIVE ANALYSIS OF TRAM STOP DESIGNS

A. KUSTENKO, D. KAPSKI
(*Belarusian National Technical University, Minsk*)

The article presents a comparative analysis of two main types of tram stops used in the urban street-road network of Minsk: stops with boarding from the roadway (Stop Type 1) and stops with an enclosed boarding platform in the middle of the roadway under mixed tram and traffic flow conditions (Stop Type 2). Based on field experimental studies, a regression model of tram dwell time at stops was developed. Fundamental differences in passenger boarding and alighting dynamics were identified, including an established dependency of dwell time on the ratio of boarding and alighting passenger flows for Stop Type 1. Differentiated correction coefficients for the standard dwell time were developed. Recommendations for selecting the stop type were formulated, taking into account urban planning conditions, safety requirements, and the need for traffic signal regulation.

Keywords: tram, stop, dwell time, passenger exchange, safety, traffic signal, correction coefficient, boarding platform.