

Исследование влияния расстояния между остановочными пунктами на скорость движения трамвая

А.А. Мирончук, Ю.Ю. Добрынина

Донской государственной технической университет

Аннотация: Для повышения скорости сообщения трамвая в крупнейших городах актуальна проблема перехода от обычных линий к скоростным. Одним из условий организации движения скоростного трамвая является увеличение расстояния между остановочными пунктами. Анализ литературных источников показывает, что вопрос о влиянии расстояния между остановочными пунктами на скорость сообщения трамвая недостаточно изучен. В работе на основе имитационного моделирования определена зависимость между скоростью сообщения трамвая и расстоянием между остановочными пунктами с учетом разрешенной скорости движения, времени простоя на остановочных пунктах, задержки от регулируемых пересечений. Полученные в работе результаты представляют практическую ценность и могут быть включены в СП 98.13330.2018 «Трамвайные и троллейбусные линии», что должно повысить эффективность планирования и организации скоростного трамвайного движения в городах.

Ключевые слова: скоростной трамвай, скоростная трамвайная линия, организация движения трамваев, скорость сообщения, остановочный пункт, имитационное моделирование.

Из-за проблем с финансированием в крупнейших городах России остановилось или замедлилось развитие скоростных видов пассажирского транспорта. Метрополитен является наиболее производительным видом скоростного пассажирского транспорта. Тем не менее, необходимость развития метрополитена в городах не всегда является оправданной, из-за величины складывающихся пассажиропотоков и высокой стоимости его строительства. Выходом из сложившейся ситуации в условиях ограниченных бюджетов крупнейших городов России может стать строительство линий скоростного трамвая [1].

Скоростной трамвай имеет наибольшую провозную способность среди уличных видов транспорта, и должен обеспечивать сервис высокого качества привлекательный для пассажиров [2-4]. Однако статистические данные за последние 15 лет свидетельствуют о непрерывном падении показателей, характеризующих деятельность трамвайного вида транспорта в России. В

период с 2005 г. по 2017 г. годовой объем перевезенных пассажиров снизился на 67,8%, протяженность трамвайных путей сократилась на 12,4 %, а число трамвайных вагонов на 25,2%. [5].

Одной из основных причин негативной динамики является низкая привлекательность поездок на трамвае для населения. Во многих городах трамвай является самым ненадежным и медленным видом общественного транспорта. Например, в г. Ростове-на-Дону скорость сообщения трамвая в час-пик опускается ниже 10 км/ч. Исправить ситуацию возможно за счет повышения скорости сообщения трамвая. В настоящее время в России только 3 города из 61 имеют скоростной трамвай [5]. Поэтому вопрос возможности повышения скорости сообщения на уже существующих линиях до уровня скоростного трамвая очень актуален.

В своде правил «Трамвайные и троллейбусные линии» редакции 2012 года (СП 98.13330.2012) указано, что линии со скоростью сообщения более 24 км/ч считаются скоростным трамваем. Однако в своде правил редакции 2018 года (СП 98.13330.2018) появилось понятие «скоростная трамвайная линия», которой называют участок трамвайной линии протяженностью не менее 2 км, на котором достигается расчетная скорость сообщения в часы пик 21 км/ч и более. Поэтому в работе будем рассматривать скорость 21 км/ч как пороговое значение для скоростного трамвая.

Технология системы скоростного трамвая имеет следующие особенности:

- создание линий с обособленным или самостоятельным трамвайным полотном;
- обеспечение приоритетного проезда пересечений средствами светофорного регулирования;

- использование вагонов с низким уровнем пола и большим количеством дверей для увеличения скорости посадки и высадки пассажиров;

- оплата проезда при входе на остановочный пункт (аналогично метрополитену), для обеспечения посадки и высадки пассажиров через все двери подвижного состава;

- увеличенное расстояние между остановочными пунктами (по сравнению с обычными трамвайными линиями).

Известно, что оптимизация расположения остановочных пунктов общественного транспорта позволяет уменьшить общее время поездки за счет повышения скорости сообщения и сокращения количества остановочных пунктов [5,6]. Однако анализ литературных источников показывает, что вопрос о влиянии расстояния между остановочными пунктами на скорость сообщения трамвая недостаточно изучен. Например, в своде правил «Трамвайные и троллейбусные линии» редакции 2012 указано, что расстояние между остановочными пунктами для скоростных линий в пределах застроенной территории должно быть от 800 до 1200, а в редакции 2018 года допустимые значения приняли более широкий диапазон от 500 до 1200. Учитывая такой разброс значений, возникает вопрос, как влияет расстояние между остановочными пунктами на скорость сообщения при условии обеспечения всех остальных требований для скоростных трамвайных линий. Достаточно ли расстояния между остановочными пунктами 500 метров, чтобы достичь скорости сообщения 21 км/ч и более.

Таким образом, предмет исследования – это организация движения скоростного трамвая, а объект исследования – влияние расстояния между остановочными пунктами на скорость сообщения трамвая.

Целью исследования является определение зависимости между скоростью сообщения и расстоянием между остановочными пунктами при

соблюдении всех особенностей технологии скоростного трамвая.

В качестве метода исследования применялось имитационное моделирование на микроуровне в программе Aimsun. При подготовке к моделированию были изучены технические характеристики следующих трамваев: 71-911 «City Star», 71-931 «Витязь», 71-631 (КТМ-31), Pesa Fokstrot (71-414). Для имитационной модели использовались параметры трамвая отечественного производства 71-931 «Витязь», как наиболее перспективного вагона для крупнейших городов России. В настоящее время в Москве и Санкт-Петербурге уже эксплуатируется 373 единицы данных вагонов.

Трамвай 71-931 «Витязь» представляет собой сочленённый шестиосный вагон с полностью низким уровнем пола, со следующими показателями: длина - 27,5 м, ширина - 2,5 м, высота - 3,5 м, максимальная скорость – 75 км/ч, время разгона до 40 км/ч – 14с, максимальное ускорение и замедление в штатном режиме эксплуатации не более 1 м/с^2 и 2 м/с^2 соответственно. Все перечисленные геометрические и динамические показатели были внесены в тип транспортного средства «трамвай» в имитационной модели.

Трамвайные линии в модели были заданы, как изолированные линейные участки с различным расстоянием между остановочными пунктами. Всего при моделировании использовалось 14 участков с расстоянием между остановочными пунктами от 200 до 1500 метров, на рис. 1 показан фрагмент модели.

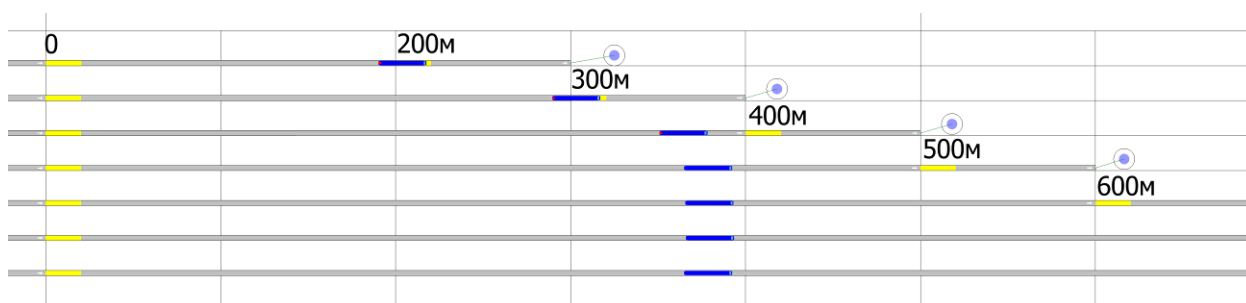


Рис. 1. – Фрагмент имитационной модели

Для достижения цели исследования для каждого из 14 участков было проведено 16 экспериментов при различных значениях переменных. В качестве переменных рассматривались:

- разрешенная скорость движения трамвая: 60 км/ч и 75 км/ч;
- время простоя трамвая на остановочных пунктах: 15 с, 30 с, 45 с, 60 с;
- наличие задержки от регулируемых пересечений на перегоне: задержка 0 с (отсутствует), задержка 30 с.

Последняя переменная учитывает наличие или отсутствие регулируемых пересечений, а также системы приоритетного проезда пересечений.

На основе результатов моделирования были построены графики изменения скорости сообщения в зависимости от расстояния между остановочными пунктами при различных значениях переменных, которые представлены на рис. 2,3,4,5.

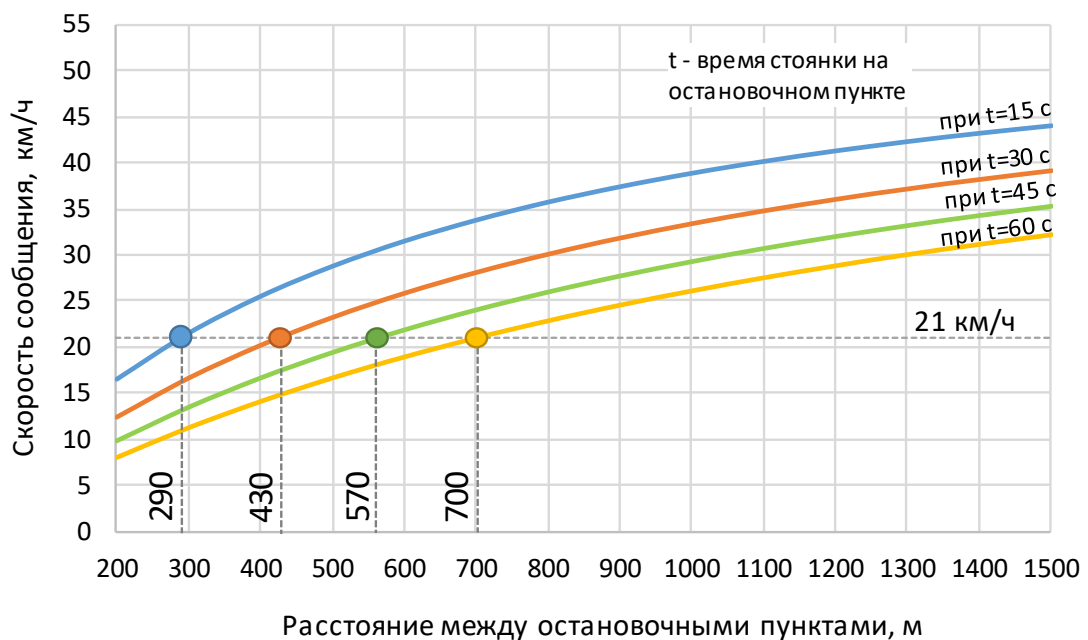


Рис. 2. – Изменение скорости сообщения трамвая в зависимости от расстояния между остановочными пунктами при разрешенной скорости движения 60 км/ч и отсутствии задержки от регулируемых пересечений

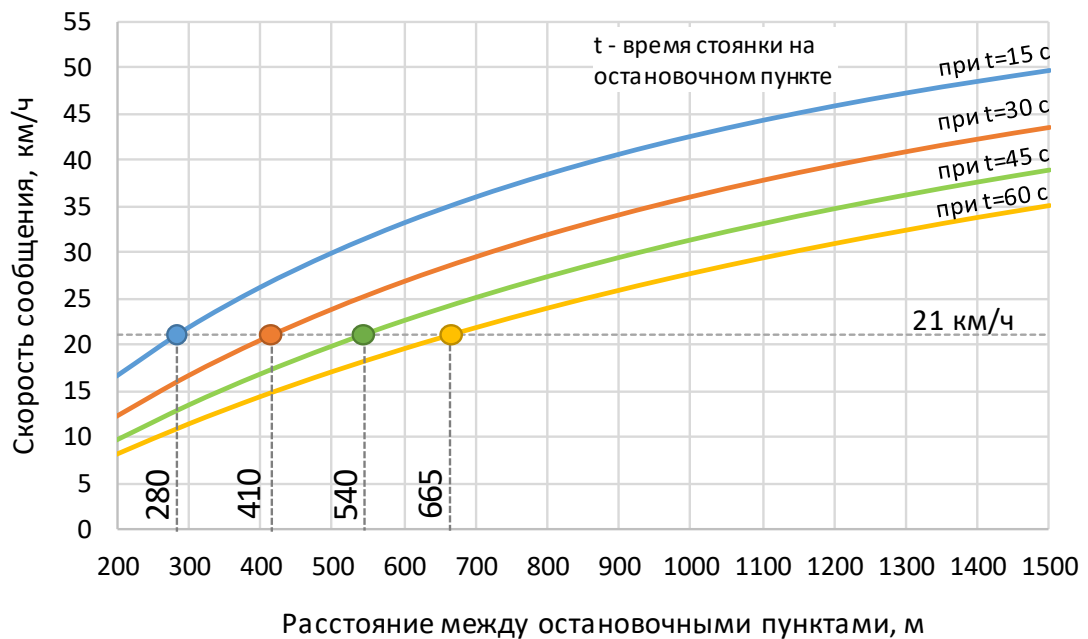


Рис. 3. – Изменение скорости сообщения трамвая в зависимости от расстояния между остановочными пунктами при разрешенной скорости движения 75 км/ч и отсутствии задержки от регулируемых пересечений

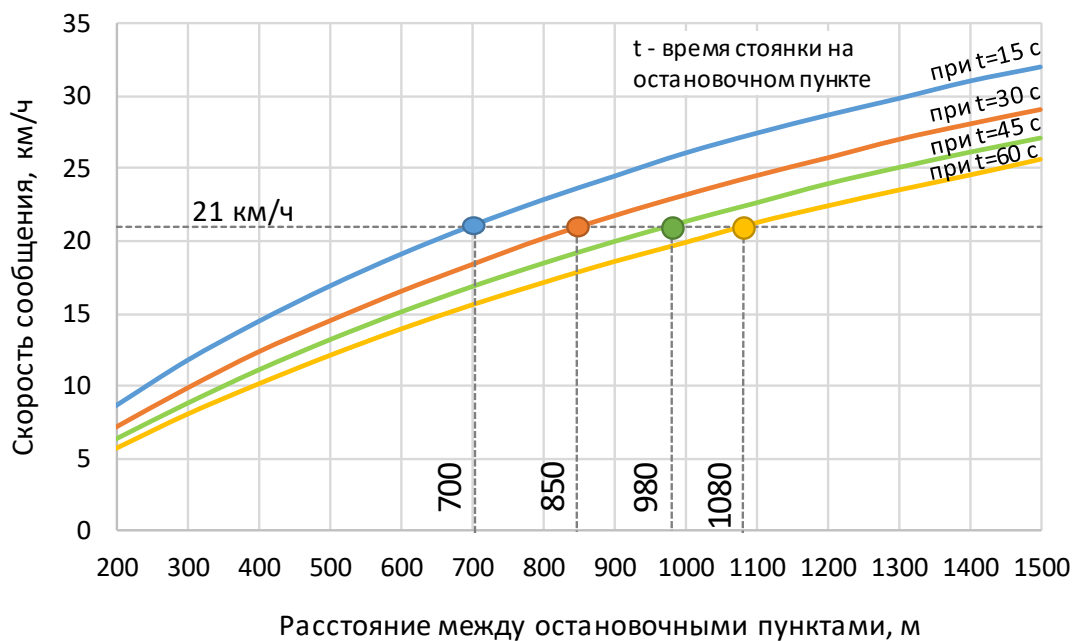


Рис. 4. – Изменение скорости сообщения трамвая в зависимости от расстояния между остановочными пунктами при разрешенной скорости движения 60 км/ч и наличия задержки от регулируемого пересечения 30 с.

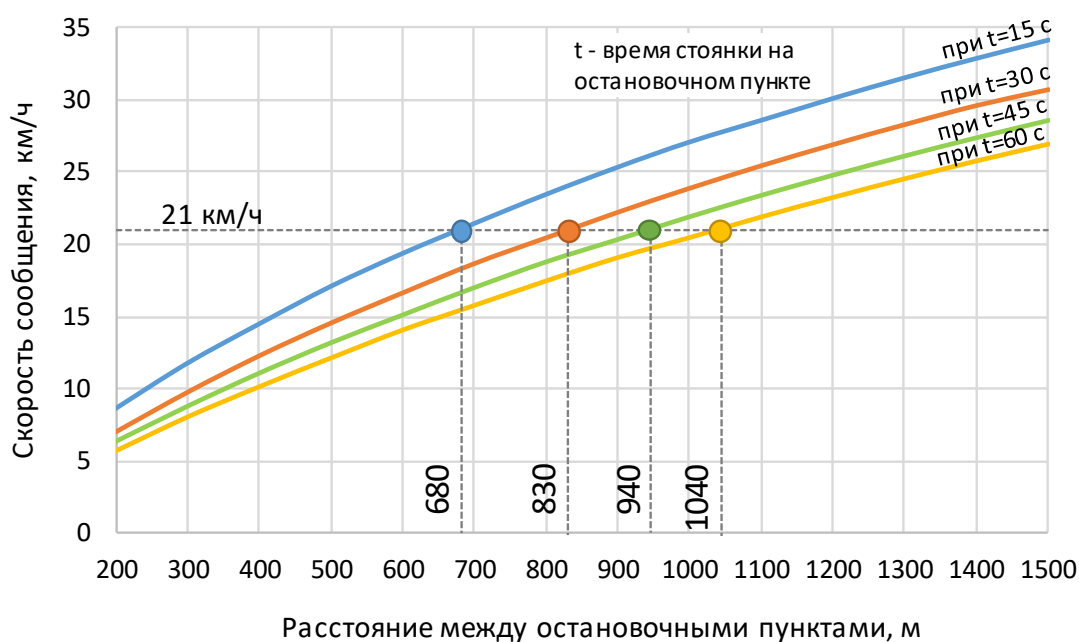


Рис. 5. – Изменение скорости сообщения трамвая в зависимости от расстояния между остановочными пунктами при разрешенной скорости движения 75 км/ч и наличия задержки от регулируемого пересечения 30 с.

На полученных графиках пунктиром обозначены пороговые значения скорости сообщения 21 км/ч, и значения расстояний между остановочными пунктами, при которых указанная скорость может быть достигнута. Анализируя полученные графики можно сделать следующие выводы:

- увеличение разрешенной скорости движения с 60 км/ч до 75 км/ч дает наибольший эффект для повышения скорости сообщения только при большом расстоянии между остановочными пунктами и отсутствии задержек регулирования;

- минимальные расстояния между остановочными пунктами, при которых достигается скорость сообщения 21 км/ч, равны 290 м и 280 м, при условии, что отсутствуют задержки регулирования, время простоя на остановочном пункте 15 с и разрешенная скорость 60 и 75 км/ч соответственно;

- если трамвай получает 30 с задержку на регулируемом пересечении, то минимальные расстояния между остановочными пунктами, при которых достигается скорость сообщения 21 км/ч, увеличиваются более чем в два раза и равны 700 м и 680 м, при условии, что время простоя на остановочном пункте 15 с и разрешенная скорость 60 и 75 км/ч соответственно;

- для того чтобы обеспечить скорость сообщения для трамвая 21 км/ч на перегоне 500 м необходимо чтобы трамвайная линия была полностью изолирована от основного транспортного потока и не имела задержек от регулируемых пересечений, при этом время простоя на остановочном пункте должно быть менее 40,5 и 37,5 с при разрешенной скорости 60 и 75 км/ч соответственно.

На основе результатов моделирования и методов статистического анализа [8-10] была определена зависимость между скоростью сообщения трамвая и расстоянием между остановочными пунктами:

$$v = as^b \quad (1)$$

где v – скорость сообщения трамвая; s – расстояние между остановочными пунктами; a и b коэффициенты учитывающие разрешенную скорость, время простоя на остановках и задержки регулирования (таблица 1)

Таблица 1 – Значения коэффициентов a и b зависимости (1) для определения скорости сообщения трамвая

| Время простоя на ост. пункте, с | Разрешенная скорость 60 км/ч | | Разрешенная скорость 75 км/ч | |
|--|------------------------------|--------|------------------------------|--------|
| | a | b | a | b |
| задержка от регулируемых пересечений отсутствует | | | | |
| 15 | 1,4794 | 0,4716 | 1,0424 | 0,5354 |
| 30 | 0,6706 | 0,5639 | 0,4905 | 0,6205 |
| 45 | 0,3777 | 0,6279 | 0,2851 | 0,6785 |
| 60 | 0,2427 | 0,6751 | 0,1879 | 0,721 |
| задержка от регулируемых пересечений 30 с. | | | | |
| 15 | 0,2955 | 0,6464 | 0,2429 | 0,6803 |
| 30 | 0,188 | 0,6952 | 0,1549 | 0,7283 |
| 45 | 0,1453 | 0,7203 | 0,122 | 0,7502 |
| 60 | 0,1239 | 0,7338 | 0,1058 | 0,761 |

Зависимость (1) представляет собой степенную функцию и позволяет прогнозировать скорость сообщения трамвая при различных значениях переменных, которые приведены в таблице 1.

Полученные в работе результаты представляют практическую ценность и могут быть включены в свод правил СП 98.13330.2018 «Трамвайные и троллейбусные линии», что уменьшит время для принятия решения, повысит эффективность разработки и обоснования скоростных трамвайных линий.

Литература

1. Ваксман С.А., Цариков А.А. Стратегия развития скоростного транспорта в крупных и крупнейших городах России // Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния. Минск: БИТУ, 2018. С. 97-104.
2. Вучик В.Р. Транспорт в городах, удобных для жизни. М.: Территория будущего, 2011. 574 с.
3. Urban Street Design Guide, 2013. Washington: Island Press, P. 192.
4. Transit Street Design Guide, 2016. Washington: Island Press, P. 236.
5. Транспорт в России. М.: Росстат, 2018. 101 с.
6. Горев А.Э., Солодский А.И., Попова О.В., Оспанов Д.Т. Формирование коридоров приоритетного движения городского пассажирского транспорта // Безопасность колёсных транспортных средств в условиях эксплуатации. Иркутск: ИРННТУ, 2019. С. 618-628.
7. Спирин И. В. Перевозки пассажиров городским транспортом. М.: Академкнига, 2006. 415 с
8. Зырянов В.В. Методы оценки адекватности результатов моделирования // Инженерный вестник Дона, 2013, №2. - URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1707
9. Зырянов В. В. Моделирование при транспортном обслуживании мега-событий // Инженерный вестник Дона, 2011, №4. – URL:



ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/709

10. Зырянов, В.В. Мирончук, А.А. Приоритетное движение общественного транспорта: развитие методов организации // Транспорт Российской Федерации. 2012. №3-4 (40-41). С. 22-25.

References

1. Vaksman S.A., Tsarikov A.A. Strategiya razvitiya skorostnogo transporta v krupnykh i krupneyshikh gorodakh Rossii [The development strategy of high-speed transport in large and largest cities of Russia]. Sotsial'no-ekonomicheskie problemy razvitiya i funktsionirovaniya transportnykh sistem gorodov i zon ikh vliyaniya. Minsk: BITU, 2018. pp. 97-104.

2. Vuchik V.R. Transport v gorodakh, udobnykh dlya zhizni [Transport in cities suitable for life]. M.: Territoriya budushchego, 2011. P. 574.

3. Urban Street Design Guide, 2013. Washington: Island Press, P. 192.

4. Transit Street Design Guide, 2016. Washington: Island Press, P. 236.

5. Transport v Rossii [Transport in Russia]. M.: Rosstat, 2018. P. 101.

6. Gorev A.E., Solodskiy A.I., Popova O.V., Ospanov D.T. Bezopasnost' kolesnykh transportnykh sredstv v usloviyakh ekspluatatsii. Irkutsk: IRNITU, 2019. pp. 618-628.

7. Spirin I. V. Perevozki passazhirov gorodskim transportom. [Transportation of passengers by public transport]. M.: Akademkniga, 2006. P. 415

8. Zyryanov V.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1707

9. Zyryanov V. V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2011, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/709

10. Zyryanov, V.V. Mironchuk, A.A. Transport Rossiyskoy Federatsii. 2012. №3-4 (40-41). pp. 22-25.