

# ОРГАНИЗАЦИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

## ORGANIZATION AND SAFETY OF ROAD TRAFFIC

УДК 62–192 + 656.1

DOI 10.21685/ 2307-4205-2018-2-13

Р. С. Литвиненко, П. П. Павлов, А. Э. Аухадеев

### ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ НАЗЕМНОГО ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА НА ЕГО ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ

R. S. Litvinenko, P. P. Pavlov, A. E. Aukhadееv

#### EVALUATION OF EFFECT RELIABILITY INFLUENCE ON CROSSING CAPACITY OF GROUND CITY ELECTRIC TRANSPORT

**Аннотация.** Описана методика оценки пропускной способности элементов наземной городской электротранспортной системы с учетом надежности ее инфраструктуры, основанная на использовании в качестве коэффициента надежности комплексного показателя – коэффициента оперативной готовности. Городская электротранспортная система с позиций системного подхода рассматривается как сложная техническая система, состоящая из большого числа элементов, объединенных в подсистемы (тяговых единиц, тяговых подстанций, контактной сети; рельсовой линии и подрельсового основания), непосредственно участвующие в передаче и превращении электроэнергии в механическую работу тяговых электродвигателей. Начиная с 2010 г. предложенный подход учета надежности элементов транспортной инфраструктуры был апробирован при расчетах наличной пропускной способности железнодорожного транспорта. Поэтому существует объективная необходимость адаптации подобных решений к современным условиям пассажироперевозок городским электротранспортом. Для решения этой задачи помимо введения коэффициента оперативной готовности оценивания пропускной способности элементов инфраструктуры маршрутных линий городского электротранспорта.

**Abstract.** The article describes the method of estimating the capacity of the terrestrial elements of urban electric transport system taking into account the reliability of its infrastructure. It is based on the use as a coefficient of reliability of a complex indicator – the coefficient of operational readiness. The city electric transport system from the viewpoint of the system approach is considered as a complex technical system. It consists of a large number of elements combined in a subsystem (traction units traction substations, catenary, rail and rail base line), which are directly involved in the transmission and transformation of electric energy into mechanical work traction motors. Beginning in 2010, the proposed approach taking into account the reliability of transport infrastructure elements was tested in the calculation of cash capacity of rail transport. Therefore, there is an objective need to adapt these solutions to modern conditions of passenger transportation by urban electric transport. To solve this problem in addition to the introduction of the coefficient of operational readiness assessment bandwidth infrastructures routing lines of urban electric transport is offered to produce in the daily interval of time, rather than in the time, as was done previously. The described method allows practically to estimate the predicted traffic figures, and the correspondence of transport line infrastructure el-

трического транспорта предлагается производить в суточном интервале времени, а не в часовом, как делалось ранее. При создании новых пассажирских маршрутов или модернизации старых описанная методика позволяет практически оценить прогнозируемые показатели дорожного движения и соответствие элементов инфраструктуры транспортной линии возможностям планируемых к использованию тяговых единиц.

**Ключевые слова:** надежность, городская электро-транспортная система, наземная, пропускная способность.

elements to the possibilities of traction units planned for use when creating new passenger routes or upgrading old ones.

**Key words:** reliability, urban public electric transportation system, overground, bandwidth capacity.

## Введение

Городской электрический транспорт (ГЭТ) предназначен для осуществления городских перевозок пассажиров и может включать такие виды городского транспорта с электрическим приводом колес, как трамвай, троллейбус, метрополитен, электробусы, монорельсовый электрический транспорт и т.д. Проектирование городской электротранспортной системы (ГЭТС) осуществляют с учетом обеспечения комфортабельной перевозки пассажиров к месту назначения в минимально короткие сроки. Основными преимуществами этого вида транспорта являются высокая производительность и экологичность.

Важнейшим параметром оценки транспортной линии является ее пропускная способность, а в совокупности с провозной способностью она определяет место транспортного комплекса в общей системе городского пассажирского транспорта.

Под пропускной способностью транспортной линии или полосы движения ГЭТ понимается наибольшее количество единиц подвижного состава, которое может быть пропущено через ее поперечное сечение в одном направлении в течение одного часа [1]. Пропускная способность представляет собой максимальную интенсивность движения  $J_{\max}$  транспортных средств [2]

$$J = \frac{N_{\text{дв}}}{t},$$

где  $N_{\text{дв}}$  – количество транспортных единиц (ТЕ), проходящих через поперечное сечение дороги или полосы движения в единицу времени  $t$ .

## Пропускная способность элементов инфраструктуры транспортной линии наземного ГЭТ

Пропускная способность зависит от частоты расположения транспортных узлов, пересечений на линиях и организации движения на них, а также от пропускной способности остановочных пунктов и принятой системы организации движения. Пропускная способность наземного ГЭТ может определяться для перегона, транспортного узла или перекрестка, остановочного пункта. На величину пропускной способности оказывают влияние скорость и состав транспортных потоков на отдельных участках (перегонах), интервал движения подвижного состава, количество пересекающихся направлений и конфигурация узлов пересечений, плотность пешеходного движения и другие факторы.

При определении практической величины пропускной способности ГЭТ необходимо учитывать следующие факторы, влияющие на пропускную способность транспортной линии: число остановочных пунктов, наличие пересечений с другими линиями и улицами на одном уровне; наличие крутых спусков и подъемов, влияющих на скорость движения; условия видимости на перекрестках и способ регулирования движения и др.

Пропускная способность перегона  $\Pi_{\text{п}}$  для одной полосы в одном направлении (ед./ч) теоретически определяется по формуле [3]

$$\Pi_{\Pi} = \frac{3600V}{t_p V + \frac{V^2}{2b} + l + l_0}, \quad (1)$$

где  $V$  – скорость движения на перегоне, м/с;  $t_p$  – время реакции водителя (до 1,5 с), с;  $b$  – замедление при экстренном торможении, м/с<sup>2</sup>;  $l$  – длина подвижного состава, м;  $l_0$  – зазор безопасности между следующими друг за другом транспортными единицами, обычно принимается равным длине поезда, м.

Значение 3600 в знаменателе необходимо, чтобы привести величину пропускной способности от единиц в секунду к единицам в час.

Расчет пропускной способности по формуле (1) ведется для однородного потока. В том случае, когда транспортный поток является разнородным, то ограничиваются величиной  $\Pi_{\Pi}$ , соответствующей подвижному составу с более низкими динамическими характеристиками. Такая пропускная способность является чисто теоретической и в значительной степени превосходит реальную, так как подразумевает непрерывное движение ГЭТ без остановок.

На рис. 1 представлена зависимость пропускной способности перегона, рассчитанной по формуле (1) от скорости ГЭ. В качестве исходных данных были взяты следующие параметры:  $t_p = 0,5$  с,  $b = 2$  м/с<sup>2</sup>;  $l = l_0 = 16,5$  м для трамвая 71-911; и  $l = l_0 = 12$  м для троллейбуса ПТ-6231.

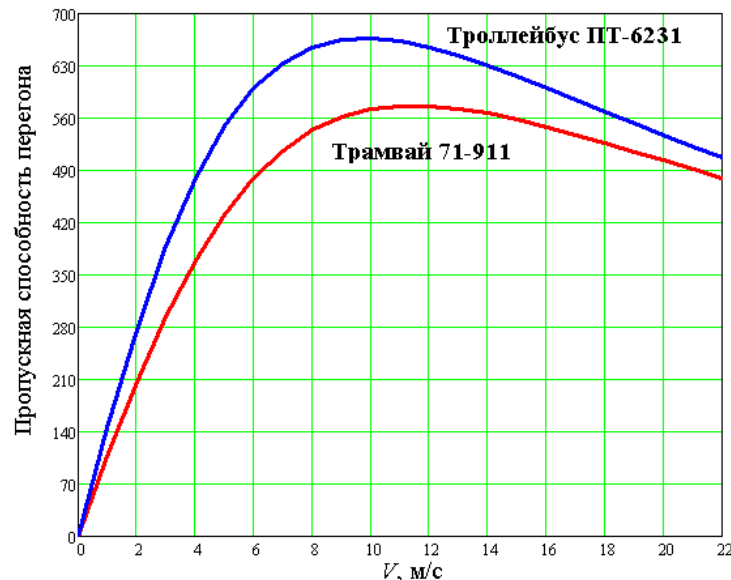


Рис. 1. Зависимость пропускной способности перегона от скорости подвижного состава

Из рисунка видно, что максимальная пропускная способность для трамвая 71-911 соответствует скорости равной 12 м/с (43,2 км/ч), которая значительно ниже конструкционной скорости, составляющей 75 км/ч. Для троллейбуса ПТ-6231 оптимальная скорость также значительно ниже конструкционной, поэтому дальнейшее повышение пропускной способности перегона будет возможно за счет увеличения тормозного замедления  $b$ , которое в реальных условиях эксплуатации зависит от сцепления колес с путевым устройством и ограничено требованиями безопасности. Изменение пропускной способности в зависимости от величины тормозного замедления представлено на рис. 2.

Анализ представленной зависимости показывает, что с увеличением величины тормозного замедления возрастает и оптимальная скорость подвижного состава, которой будет соответствовать максимальная пропускная способность перегона.

Пропускную способность линий ГЭТ обычно лимитирует пропускная способность остановочных пунктов  $\Pi_{\text{он}}$  [1, 4], которая определяется по формуле

$$\Pi_{\text{он}} = \frac{3600}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4},$$

где  $t_1$  – время, затрачиваемое ТЕ на подход к остановочному пункту, с;  $t_2$  – продолжительность высадки и посадки пассажиров, с;  $t_3$  – продолжительность объявления водителем о прекращении посадки и закрытии дверей (4...8 с);  $t_4$  – продолжительность освобождения остановочного пункта, с.

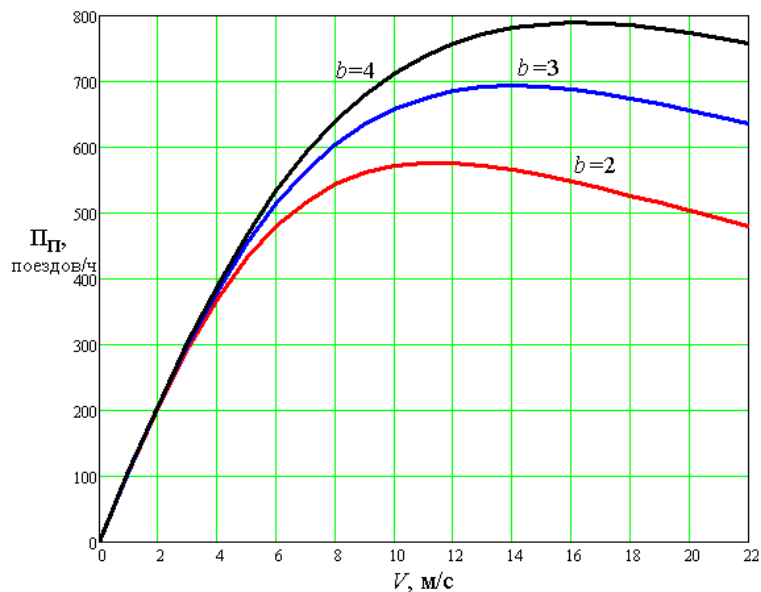


Рис. 2. Зависимость пропускной способности перегона от величины тормозного замедления подвижного состава

Так как надежность остановочных пунктов и промежуточных станций транспортных линий как инженерных сооружений при надлежащем содержании не оказывает значительного влияния на эффективность функционирования электрического транспорта, а также на его пропускную способность, в дальнейшем в рамках статьи эти элементы инфраструктуры рассматриваться не будут.

Несмотря на то, что пропускную способность транспортной линии, как правило, ограничивает пропускная способность остановочных пунктов [1, 2, 4], в городских условиях различные маршруты могут иметь общие направления (пересекаться), поэтому требуемая пропускная способность будет отличаться от наличной и должна определяться для всех элементов транспортной линии (перегоны, перекрестки и т.д.).

*Пропускная способность перекрестков.* Пропускная способность *регулируемых* перекрестков определяется по формуле

$$\Pi_{\text{пер}} = \frac{3600(t_3 - \Delta t)}{T_c t_p}, \tag{2}$$

где  $t_3$  – продолжительность зеленой фазы светофора, с;  $\Delta t$  – время между включением разрешающего сигнала светофора и пересечением стоп-линии первым транспортным средством (1...3 с);

$t_p = \frac{l_n + l_6}{V_y}$  – расчетный интервал прохождения транспортных средств через перекресток, с;

$V_y$  – установленная скорость движения ТЕ через перекресток;  $T_c$  – продолжительность цикла светофорного регулирования (обычно 40...75 с, при желтой фазе 3...5 с).

В формуле (2) показатель  $\frac{3600}{T_c}$  определяет число циклов светофорного регулирования в час, а

$\frac{t_3 - \Delta t}{t_p}$  – количество ТЕ, которое может быть пропущено за один цикл светофорного регулирования.

Таким образом, на величину пропускной способности регулируемого перекрестка основное влияние оказывают  $T_c$  продолжительность цикла светофорного регулирования и доля в нем разрешенного

сигнала  $t_3$ . Чем сложнее будет светофорный цикл, тем меньше будет отношение  $\frac{t_3}{T_c}$  и, соответственно, ниже пропускная способность [2].

Пропускная способность перекрестка с *принудительной* системой регулирования для троллейбуса

$$\Pi_{\text{пр.рег}} = \frac{\Pi_{\text{рег}}}{3}. \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что для троллейбуса пропускная способность перекрестка с принудительной системой регулирования в три раза меньше, чем у регулируемого перекрестка.

Пропускная способность перекрестка с принудительной системой регулирования для трамваев определяется произведением количества ТЕ, пропускаемых за один светофорный цикл, на количество циклов светофора в часе [5]

$$\Pi_{\text{пр.рег}} = \frac{3600K}{T_c}, \quad (4)$$

где  $K$  – количество ТЕ, пропускаемых за один цикл.

*Пропускная способность трамвайного узла* (ответвление или примыкание) определяется по формуле [1]

$$\Pi_{\text{уз}} = \frac{3600V}{(l_{\text{п}} + l_{\text{к}}) + t_{\text{в}}V_{\text{с.п}} + \frac{V_{\text{с.п}}^2}{2b}}, \quad (5)$$

где  $l_{\text{к}}$  – расстояние между серийным и шунтовым контактами (принимается 50 м);  $t_{\text{в}}$  – время реакции водителя (0,6...0,8 с) и срабатывания устройства (около 1 с);  $V_{\text{с.п}}$  – скорость прохождения участка со стрелочным переводом (при движении со стороны крестовины 15 км/ч, в сторону крестовины 5 км/ч).

Результативная пропускная способность ГЭТС формируется выбором, в зависимости от вида ТЕ, минимальной из совокупностей значений пропускных способностей элементов, соответствующих транспортных маршрутов. При этом необходимо предусмотреть наличие резерва между наличной и потребной пропускными способностями. В зарубежной литературе [6, 7] в этих целях использован показатель доступной пропускной способности – разницы между предельной пропускной способностью, реализуемой на практике, и фактическим объемом трафика ТЕ.

### **Анализ существующего научно-методического аппарата оценки пропускной способности ГЭТ**

Анализ существующего научно-методического аппарата оценки пропускной способности ГЭТ и его сравнение с методологией расчета пропускной способности железных дорог [8] позволяют сделать ряд замечаний:

1. Существующие методы расчета пропускной способности транспортных линий ГЭТ достаточно устарели и не учитывают современного состояния элементов ГЭТС. Публикации по этой проблематике относятся к 60–80-м гг. прошлого века. Исследования пропускной способности железных дорог в отличие от ГЭТ были актуализированы в начале 2000-х гг., в частности, в 2010 г. была утверждена Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог [8].

2. В качестве временных единиц измерения пропускной способности транспортных линий ГЭТ приняты часы, а провозной способности – соответственно перевезенное количество пассажиров в час. Так как пассажиропотоки в сетях ГЭТС меняются по часам суток, дням недели, месяцам и сезонам года, брать в качестве временного интервала один час не корректно. Необходимо проводить оценивание этих показателей хотя бы для суточного периода, чтобы повысить точность и достоверность получаемых результатов.

3. Исследования, проведенные во ВНИИЖТе в 60–70 гг. прошлого века, показали, что на использование пропускной способности участков железной дороги влияет уровень надежности техни-

ческих средств (локомотивов, вагонов, путевых устройств, СЦБ и др.) [9]. Рост отказов привел к тому, что их стали учитывать при расчете пропускной способности соответствующим коэффициентом надежности  $\alpha_n$  [8, 10]

$$N_{\text{нал}} = \frac{(1440 - t_{\text{техн}}) \alpha_n}{I},$$

где  $t_{\text{техн}}$  – продолжительность свободного от поездов промежутка времени, предоставляемого для выполнения работ по текущему содержанию пути, устройств, сооружений и т.д.);  $I$  – межпоездной интервал.

Аналогично железнодорожному транспорту, отказы элементов ГЭТ и инфраструктуры транспортной линии оказывают значительное влияние на эффективность пассажирских перевозок [11, 12], поэтому возникает объективная необходимость учета влияния надежности на пропускную способность ГЭТС. Рассмотрение этого вопроса должно проводиться в комплексе с учетом взаимодействия и взаимного влияния всех составляющих процесса пассажироперевозок [13, 14].

### Подход к оценке пропускной способности элементов ГЭТС с учетом надежности

Таким образом, формулы (1)–(5) оценки пропускной способности элементов транспортной инфраструктуры ГЭТС в суточном интервале времени с учетом влияния отказов примут следующий вид:

– пропускная способность перегона наземной линии ГЭТ

$$\Pi_n^* = \frac{3600V(24 - t_{\text{техн}}) \alpha_n}{t_p V + \frac{V^2}{2b} + l + l_0};$$

– пропускная способность регулируемых перекрестков наземной линии ГЭТ

$$\Pi_{\text{рег}}^* = \frac{3600(t_3 - \Delta t)(24 - t_{\text{техн}}) \alpha_n}{T_c t_p};$$

– пропускная способность перекрестка с принудительной системой регулирования для троллейбуса

$$\Pi_{\text{пр.рег}}^* = \frac{1200(t_3 - \Delta t)(24 - t_{\text{техн}}) \alpha_n}{T_c t_p};$$

– пропускная способность перекрестка с принудительной системой регулирования для трамвая

$$\Pi_{\text{пр.рег}}^* = \frac{3600K(24 - t_{\text{техн}}) \alpha_n}{T_c};$$

– пропускная способность трамвайного узла

$$\Pi_{\text{уз}}^* = \frac{3600V(24 - t_{\text{техн}}) \alpha_n}{(l_n + l_k) + t_v V_{\text{с.п}} + \frac{V_{\text{с.п}}^2}{2b}}.$$

Для приведения часовой пропускной способности к суточному интервалу был введен множитель  $(24 - t_{\text{техн}})$ , где  $t_{\text{техн}}$  – продолжительность суточного бюджета времени, выделяемого для производства плановых работ по текущему содержанию пути, устройств и сооружений. Как правило, эти мероприятия выполняются во время ночного перерыва в работе ГЭТ и составляют от 4 до 6 ч. В отличие от железной дороги для проведения этих мероприятий в системе ГЭТ нет необходимости искать возможность предоставления технологических «окон» в графике движения поездов, что значительно облегчает работу ремонтных бригад. В то же время проведение неплановых ремонтов по устранению внезапных отказов инфраструктуры ГЭТ может привести к остановке процесса пасса-

жироперевозки на участке, тогда как железнодорожный транспорт имеет возможность в случае грузовых перевозок изменить маршрут либо ликвидировать отставания за счет последующего увеличения скорости.

Рассмотрим, какой физический смысл вкладывается в понятие коэффициента надежности  $\alpha_n$ . В Инструкции по расчету наличной пропускной способности железных дорог [8] под коэффициентом надежности  $\alpha_n$  понимается коэффициент, учитывающий надежность работы технических средств (инфраструктуры и подвижного состава), и даются фиксированные значения в зависимости от числа главных путей (однопутные или двухпутные линии) на перегоне и вида тяги (электрическая или тепловозная тяга). Автор [15] в качестве показателя надежности  $R(t)$  технических средств железнодорожного транспорта использует следующее выражение:

$$R(t) = K_r P(t), \quad (6)$$

где  $K_r$  – коэффициент готовности (вероятность того, что в произвольный момент времени техническая система исправна и готова к работе);  $P(t)$  – вероятность безотказной работы технической системы;  $t$  – длительность заданного интервала времени.

В терминах теории надежности техники нет такого показателя, как коэффициент надежности, но исходя из выражения (6) и ГОСТа [16], можно сделать вывод, что в качестве показателя надежности технических средств железнодорожного транспорта используется коэффициент оперативной готовности, так как при определенных условиях он представляет собой произведение коэффициента готовности и вероятности безотказной работы. Под коэффициентом оперативной готовности техники [16] понимается вероятность того, что изделие в данный момент времени  $t_1$  находится в работоспособном состоянии и, начиная с этого момента, выполнит требуемую функцию при данных условиях в интервале  $(t_1, t_2)$ . В связи с вышеизложенным под коэффициентом надежности  $\alpha_n$ , используемым при оценке пропускной способности транспортной линии ГЭТ, будем понимать коэффициенты оперативной готовности  $K_{o.g.}(t_1, t_2)$ , соответствующих элементов транспортной инфраструктуры ГЭТС.

В работах [11, 12] было предложено рассматривать ГЭТС с позиций системного подхода как сложную техническую систему, состоящую из большого числа элементов, объединенных в следующие подсистемы, непосредственно участвующие в передаче и превращении электроэнергии в механическую работу тяговых электродвигателей в условиях воздействия внешней среды:

- подсистема тяговых единиц (парк ТЕ);
- подсистема тяговых подстанций;
- подсистема контактной сети;
- подсистема рельсовой линии (для трамвая);
- подсистема подрельсового основания (для трамвая).

Предложенный системный подход к рассмотрению ГЭТС дает возможность решать задачи по повышению эффективности функционирования с учетом взаимодействия ее составляющих, так как, усовершенствуя только элементы тягового подвижного состава без модернизации обеспечивающей транспортной инфраструктуры, достигнуть повышения каких-либо количественных показателей дорожного движения не получится.

С учетом этих положений и с целью учета влияния уровня надежности различных компонентов транспортной инфраструктуры на пропускную способность транспортной линии ГЭТС формулы для определения коэффициента надежности по типам ЭТ примут следующий вид:

- для троллейбусной линии

$$\alpha_n^{\text{тролл}}(t_1, t_2) = K_{o.g.}^{\text{тролл}} = \prod_{i=1}^2 K_{o.g.i}(t_1, t_2);$$

- для трамвайной линии

$$\alpha_n^{\text{трам}}(t_1, t_2) = K_{o.g.}^{\text{трам}} = \prod_{i=1}^4 K_{o.g.i}(t_1, t_2),$$

где  $K_{o.r.1}(t_1, t_2)$  – коэффициент оперативной готовности тяговых подстанций;  $K_{o.r.2}(t_1, t_2)$  – коэффициент оперативной готовности участка контактной сети;  $K_{o.r.3}(t_1, t_2)$  – коэффициент оперативной готовности участка рельсовой линии;  $K_{o.r.4}(t_1, t_2)$  – коэффициент оперативной готовности участка подрельсового основания.

Используемые показатели надежности в настоящее время регламентированы для железнодорожного транспорта и его инфраструктуры [17–20], но с учетом особенностей эксплуатации могут быть использованы для ГЭТ. Таким образом, применяя коэффициент оперативной готовности в качестве коэффициента надежности соответствующих компонентов (контактной сети, тяговых подстанций, рельсовой линии и подрельсового основания) ГЭТС, находящихся в пределах занимаемых элементами транспортной линии (перегоны, перекрестки, узлы и т.д.), можно скорректировать величину наличной пропускной способности пассажирских маршрутов.

### Заключение

Таким образом, проанализировав влияние надежности всех подсистем в составе ГЭТС на пропускную и провозную способности, можно определить ее место в структуре городских пассажирских перевозок. Предложенный подход может быть использован для выявления наименее надежных элементов транспортной инфраструктуры, оказывающих влияние на процесс пассажироперевозок ГЭТС, и в случае необходимости принять меры по повышению их эффективности. При создании новых пассажирских маршрутов или модернизации старых описанная методика позволяет практически оценить прогнозируемые показатели дорожного движения и соответствие элементов инфраструктуры транспортной линии возможностям планируемых к использованию ТЕ.

### Библиографический список

1. *Коссой, Ю. М.* Организация движения и пассажирских перевозок на городском электрическом транспорте : учебник / Ю. М. Коссой, В. А. Поначугин, В. Н. Ширин. – М. : Академия, 2002. – 272 с.
2. *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.
3. *Самойлов, Д. С.* Городской транспорт : учебник для вузов / Д. С. Самойлов. – М. : Стройиздат, 1983. – 384 с.
4. *Фишельсон, М. С.* Городские пути сообщения : учеб. пособие для вузов / М. С. Фишельсон. – М. : Высш. шк., 1980. – 296 с.
5. *Томилин, А. И.* Организация движения трамваев и троллейбусов / А. И. Томилин. – М. : Стройиздат, 1969. – 243 с.
6. *Браништов, С. А.* Методы оценки пропускной способности железных дорог. Часть 1. Аналитические методы оценки и анализа использования / С. А. Браништов, А. М. Ширванян, Д. А. Тумченко // Информационно-управляющие системы. – 2014. – № 5. – С. 51–57.
7. *Браништов, С. А.* Методы оценки пропускной способности железных дорог. Часть 1. Аналитические методы оценки и анализа использования / С. А. Браништов, А. М. Ширванян, Д. А. Тумченко // Информационно-управляющие системы. – 2014. – № 6. – С. 68–74.
8. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог, утв. распоряжением ОАО «РЖД» № 128 от 16.11.2010. – 305 с.
9. *Горелик, А. В.* Модели и методы анализа надежности и эффективности функционирования объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта / А. В. Горелик, И. А. Журавлев, А. С. Веселова // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2014. – Т. 1. – С. 174–176.
10. *Левин, Д. Ю.* Расчет и использование пропускной способности железных дорог : монография / Д. Ю. Левин, В. Л. Павлов. – М. : ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. – 364 с.
11. *Литвиненко, Р. С.* Исследование технической надежности городской электротранспортной системы / Р. С. Литвиненко, А. Э. Аухадеев, О. А. Филина // Транспорт: наука, техника, управление. – 2017. – № 8. – С. 60–71.
12. *Павлов, П. П.* К вопросу оценки надежности электротранспортной системы города / П. П. Павлов, Р. Г. Идиятуллин, Р. С. Литвиненко // Бюллетень транспортной информации. – 2017. – № 5 (263). – С. 23–26.
13. *Кащеев, Н. А.* Некоторые закономерности процесса синтеза информационно-управляющих комплексов с позиций свойств сложных систем / Н. А. Кащеев, В. С. Чаплинский // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 4 (12). – С. 11–15.
14. *Андреев, К. П.* Совершенствование городской маршрутной сети / К. П. Андреев // Надежность и качество сложных систем. – 2017. – № 3 (19). – С. 102–106. – DOI 10.21685/2307-4205-2017-3-15.



15. *Ивницкий, В. А.* Надежность технических средств железнодорожного транспорта и ее связь с пропускной способностью направлений / В. А. Ивницкий // Вестник ВНИИЖТ. – 2008. – № 1. – С. 6–9.
16. ГОСТ Р 53480–2009. Надежность в технике. Термины и определения. – Введ. впервые. – М. : Стандартинформ, 2010. – 33 с.
17. ГОСТ Р 55444–2013. Железнодорожное электроснабжение. Номенклатура показателей надежности и функциональной безопасности. – Введ. впервые. – М. : Стандартинформ, 2014. – 14 с.
18. ГОСТ Р 55443–2013. Железнодорожный путь. Номенклатура показателей надежности и функциональной безопасности. – Введ. впервые. – М. : Стандартинформ, 2014. – 12 с.
19. ГОСТ Р 54461–2011. Надежность железнодорожного тягового подвижного состава. Термины и определения. – Введ. впервые. – М. : Стандартинформ, 2012. – 20 с.
20. ГОСТ 32192–2013. Надежность в железнодорожной технике. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. впервые. – М. : Стандартинформ, 2014. – 32 с.

**Литвиненко Руслан Сергеевич**

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра электротехнических комплексов и систем,  
Казанский государственный  
энергетический университет  
(420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51)  
E-mail: litrus@km.ru

**Павлов Павел Павлович**

кандидат технических наук, доцент,  
заведующий кафедрой электротехнических  
комплексов и систем,  
Казанский государственный  
энергетический университет  
(420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51)  
E-mail: pavlov2510@mail.ru

**Аухадеев Авер Эрикович**

кандидат технических наук, доцент,  
кафедра электротехнических комплексов и систем,  
Казанский государственный  
энергетический университет  
(420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51)  
E-mail: auhadeevkgma@rambler.ru

**Litvinenko Ruslan Sergeevich**

candidate of technical sciences, associate professor,  
sub-department of electrotechnical complexes  
and systems,  
Kazan State Power Engineering University  
(420066, 51 Krasnoselskaya street, Kazan, Russia)

**Pavlov Pavel Pavlovich**

candidate of technical sciences, associate professor,  
head of sub-department of electrotechnical complexes  
and systems,  
Kazan State Power Engineering University  
(420066, 51 Krasnoselskaya street, Kazan, Russia)

**Auhadeev Aver Erikovich**

candidate of technical sciences, associate professor,  
sub-department of electrotechnical complexes  
and systems,  
Kazan State Power Engineering University  
(420066, 51 Krasnoselskaya street, Kazan, Russia)

УДК 62–192 + 656.1

Литвиненко, Р. С.

**Оценка влияния надежности элементов наземного городского электрического транспорта на его пропускную способность / Р. С. Литвиненко, П. П. Павлов, А. Э. Аухадеев // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 2 (22). – С. 95–103. – DOI 10.21685/ 2307-4205-2018-2-13**