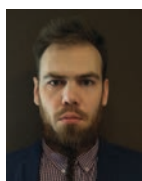


# Разработка методики для уточненного определения коэффициента тормозного нажатия и расчетной силы нажатия на ось по результатам ходовых испытаний



**Е. И. Артамонов,**  
зам. начальника отдела  
ходовых испытаний  
ООО «Тихвинский испытательный центр железно-  
дорожной техники»



**Д. В. Горский,**  
руководитель группы  
АО «Научно-исследовательский институт  
железнодорожного транспорта»



**А. Л. Ковязин,**  
руководитель отдела  
проектирования тормозных систем ООО «Центр  
транспортных технологий» (ООО «ВНИЦТТ»)



**Д. В. Шевченко,**  
зам. исполнительного директора по науке  
ООО «ВНИЦТТ»

В связи с разработкой новых стандартов, обеспечивающих выполнение требований технических регламентов Таможенного союза по безопасности железнодорожного транспорта, возникает необходимость сравнения подходов к определению расчетного тормозного нажатия на ось в пересчете на чугунные тормозные колодки по результатам ходовых тормозных испытаний.

В развитии конструкции современных инновационных грузовых вагонов можно отметить такие тенденции, как увеличение осевой нагрузки и увеличение количества осей одного вагона, в том числе появление шестиосных вагонов сочлененного типа. Эти вагоны отличаются новыми или усовершенствованными конструкциями основных систем, в том числе тормозной системой, которая полностью установлена на тележке [1]. Поэтому методы испытаний по определению ключевых показателей, приведенных в нормативной документации, в том числе показателей, нормирующих работу тормозной системы [2], требуют актуализации; необходимы и востребованы различные дополнительные исследования новых типов тормозных систем — для уточнения методик расчета их эффективности.

В статье приведена уточненная методика определения расчетного тормозного нажатия колодок на ось в пересчете на чугунные колодки. В этой методике учтено время наполнения тормозных цилиндров реальных вагонов.

## Определение расчетного тормозного нажатия на ось по результатам испытаний с учетом времени наполнения тормозных цилиндров

Один из важнейших показателей эффективности для работы тормозов грузо-

вых вагонов наряду с тормозным путем — расчетное нажатие тормозных колодок на ось в пересчете на чугунные колодки. Значения данного показателя для единицы подвижного состава регламентируются нормативными документами, в частности ГОСТ 34434–2018 [3], а для обеспечения поездов тормозами — Правилами технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава [4]. Расчетное нажатие тормозных колодок на ось, как и тормозной путь, в соответствии с ГОСТ 33597–2015 [5] определяется по результатам ходовых тормозных испытаний — принудительной отцепки опытной единицы от состава с разрывом тормозной магистрали и срабатыванием тормоза на экстренное торможение. При этом метод вычисления тормозного коэффициента, по которому определяют расчетное нажатие на ось, приведенный в [5], не учитывает время нарастания силы тормозного нажатия (наполнения тормозных цилиндров) у реальных вагонов, каковое для четырехосных вагонов составляет до 15 с [3], а для шестиосных вагонов сочлененного типа с одним воздухораспределителем может составлять до 25 с [6] (см. рис. 1 и 2 соответственно).

Основное отличие тормозной системы сочлененных вагонов от тормозной системы четырехосного вагона — наличие трех тормозных цилиндров суммарным объ-

емом в рабочих полостях и подводящем трубопроводе до 26 л при максимальном выходе штока, в то время как для типового четырехосного вагона данный объем составляет 10–11 л. Пневматические схемы шестiosного и четырехосного вагонов приведены на рис. 3.

Следует учесть, что время нарастания силы тормозного нажатия напрямую связано с изменением тормозной силы в процессе торможения [7], поэтому расчетное нажатие на ось, вычисленное для малых скоростей начала торможений, окажется гораздо меньше значений, определенных для конструкционной скорости. Данный эффект будет усиливаться для вагонов с большим временем наполнения цилиндров (рис. 4), поэтому разработать методику уточненного определения нажатия на ось как силовой характеристики для всего диапазона скоростей движения — особенно актуальная задача.

Методика определения расчетного нажатия на ось, приведенная в ГОСТ 33597–2015 [5], предусматривает подбор расчетного коэффициента тормозного нажатия, постоянного по значению за весь период торможения, до условия совпадения тормозного пути, полученного при испытаниях, с расчетным тормозным путем по подобранному коэффициенту.

В настоящей статье разработана методика определения расчетного нажатия на ось подбором действительного коэффициента тормозного нажатия, изменяющегося в течение торможения, до условия совпадения тормозного пути, полученного при испытаниях, с тормозным путем, рассчитанным по подобранному действительному коэффициенту.

Данными, полученными в результате тормозных ходовых испытаний для единицы подвижного состава, являются:

- скорость начала торможения,  $V_{НТ}$ , км/ч;
- измеренная величина тормозного пути,  $S_{ТН}$ , м;
- спрямленный уклон на участке торможения,  $i$ , % (на спуске  $i < 0$ );
- время наполнения тормозного цилиндра до максимального давления,  $T_{Н}$ , с.

Поэтому значение тормозного пути, определенное по полученным в ходе испытаний данным и приведенное к максимальной массе вагона, минимальному давлению в тормозном цилиндре и спрямленному уклону в соответствии с [5], можно представить в виде суммы двух путей — пути за время наполнения и пути с максимальным давлением в тормозных цилиндрах:

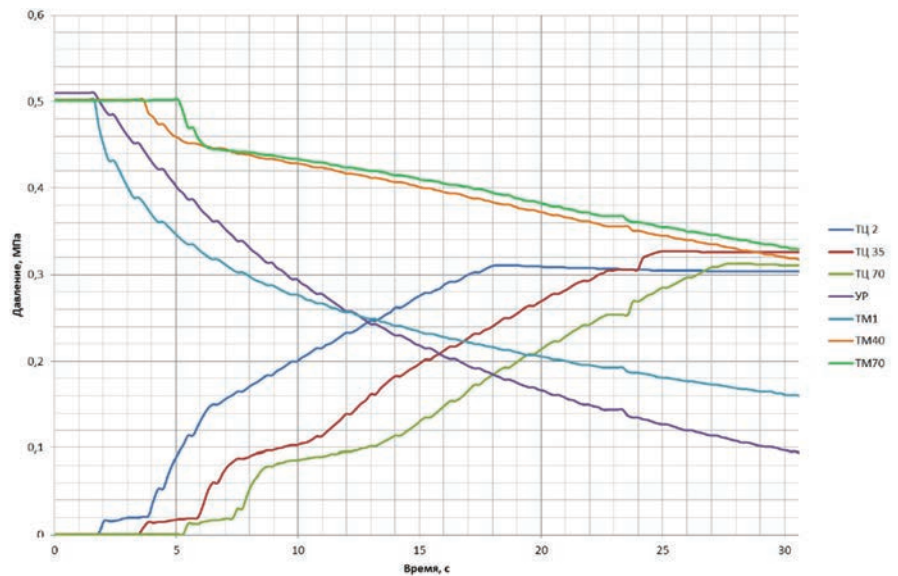


Рис. 1. Графики наполнения тормозных цилиндров в поезде, состоящем из четырехосных вагонов, при экстренном торможении. ТЦ 2, ТЦ 35, ТЦ 70 — давление во 2, 35 и 70-м вагонах соответственно; УР — давление в уравнительном резервуаре крана машиниста; ТМ 1, ТМ 40, ТМ 70 — давление в тормозной магистрали 1, 40 и 70-го вагонов соответственно

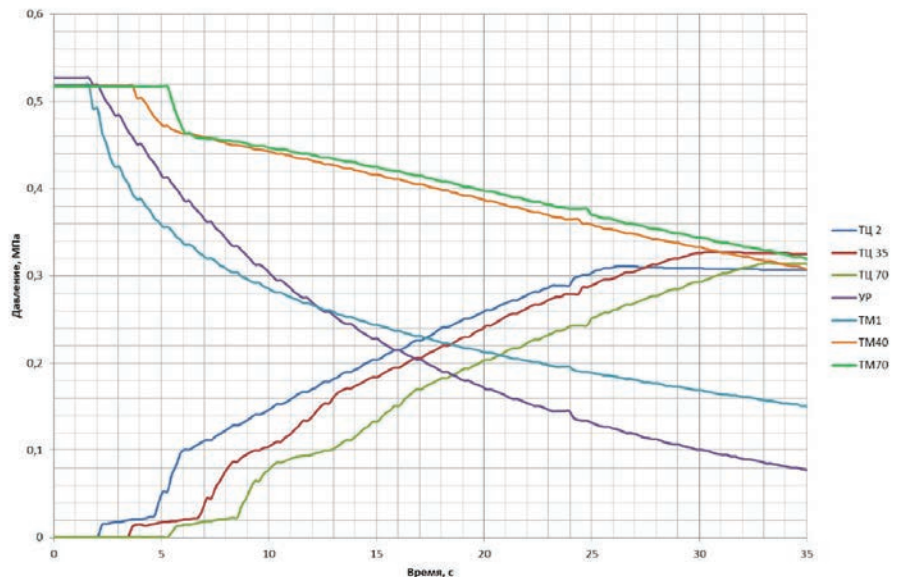


Рис. 2. Графики наполнения тормозных цилиндров в поезде, состоящем из шестiosных вагонов сочлененного типа, при экстренном торможении. ТЦ 2, ТЦ 35, ТЦ 70 — давление во 2, 35 и 70-м вагонах соответственно; УР — давление в уравнительном резервуаре крана машиниста; ТМ 1, ТМ 40, ТМ 70 — давление в тормозной магистрали 1, 40 и 70-го вагонов соответственно

$$S_{ДО} = S_{наполнения} + S_{пост.} \text{ [М].} \quad (1)$$

При вычислении тормозного пути за время наполнения тормозного цилиндра  $S_{наполнения}$  интервал времени  $[0; T_{Н}]$  разбивался на отрезки с шагом  $\Delta t = 0,1$  с:

$$t_j = j \cdot \Delta t, j = 0..N. \quad (2)$$

В соответствии с [8, 9] кривая наполнения тормозных цилиндров первого вагона в составе имеет вид нелинейной функции, однако для упрощения расчетов можно допустить, что при экстренных торможениях одиночного вагона на-

полнение происходит линейно. Поэтому принимается, что внутри интервала действительная сила нажатия на колодку изменялась линейно согласно формуле:

$$K(t) = \frac{t}{T_{Н}} \cdot 9,81 \cdot K = \frac{t}{T_{Н}} \cdot \vartheta \cdot 9,81 \cdot \frac{Q}{m}, \text{ [кН]}, \quad (3)$$

где  $Q$  — масса вагона, т;  
 $m$  — количество тормозных колодок на вагоне;  
 $\vartheta$  — действительный коэффициент тормозного нажатия чугунных колодок, тс/т;  
 $T_{Н}$  — время наполнения тормозного цилиндра, с.

Действительный коэффициент трения  $\phi_k$  вычислялся для среднего значения

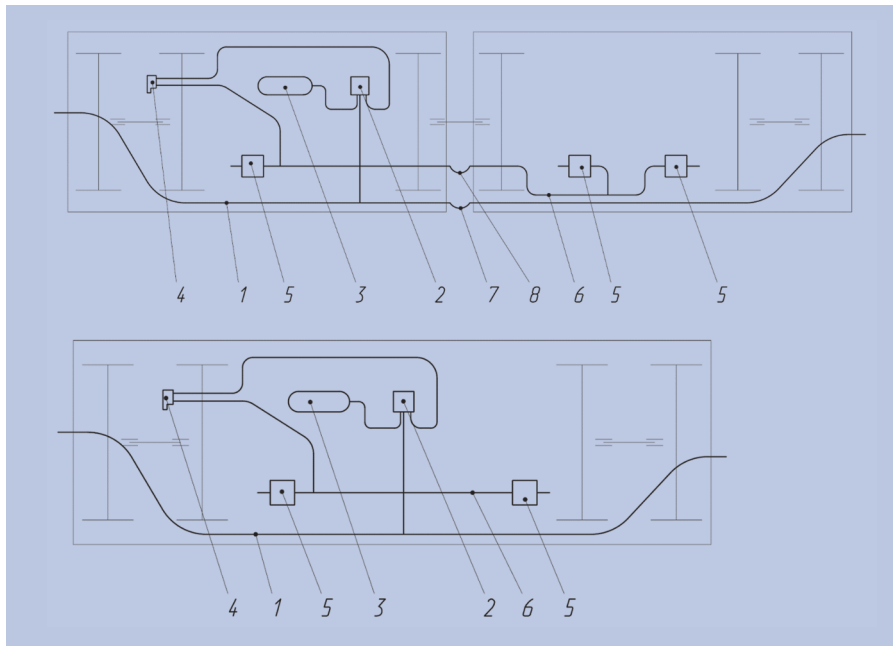


Рис. 3. Пневматическая схема тормозного оборудования шестиосного вагона сочлененного типа (вверху) и четырехосного вагона (внизу). На рисунке обозначены: 1 – тормозная магистраль; 2 – воздухораспределитель; 3 – запасной резервуар; 4 – авторежим; 5 – тормозные цилиндры; 6 – подводящая магистраль тормозных цилиндров; 7 – гибкий рукав тормозной магистрали; 8 – гибкий рукав подводящей магистрали тормозных цилиндров

нажатия в интервале скорости и действительной силы по формуле (для чугунных тормозных колодок) [5, 10]:

$$\varphi_k(t) = 0,6 \cdot \frac{1,6K(t)+100}{8K(t)+100} \cdot \frac{V(t)+100}{5V(t)+100}, \quad (4)$$

где  $K(t)$  – действительная сила нажатия для среднего времени в интервале, кН;

$V(t)$  – скорость для среднего времени в интервале, км/ч.

Удельная тормозная сила  $b_T$  вычислялась для среднего в интервале значения

времени и скорости по формуле [2]:

$$b_T(t) = 1000 \cdot \frac{t}{T_H} \cdot \frac{K(t) \cdot m}{Q} \cdot \varphi_k(t), \quad [\text{Н/т}]. \quad (5)$$

Основное удельное сопротивление движению для среднего в интервале значения скорости вычислялось по формуле [2]:

$$w_{ox}(t) = a + \frac{a_0 + a_1 V(t) + a_2 V^2(t)}{q_0}, \quad [\text{Н/т}], \quad (6)$$

где  $a, a_0, a_1, a_2$  – коэффициенты уравнения движения, выбираемые в зависимости от типа вагона, загрузки вагона и количества осей [2];

$q_0$  – осевая нагрузка, т.

Скорость в момент времени  $t_{(j+1)}$  вычислялась по формуле:

$$V(t_{j+1}) = V(t_j) - \zeta \cdot (b_T(t_j) + w_{ox}(t_j) + w_{oi}) \Delta t, \quad (7)$$

где  $V(0)$  – скорость начала торможения, км/ч;

$\zeta$  – удельное замедление подвижного состава под действием единичной замедляющей силы, (км·т)/(ч<sup>2</sup>·Н);

$w_{ox}$  – основное удельное сопротивление движению подвижного состава, Н/т;

$w_{oi}$  – удельное сопротивление движению подвижного состава за счет уклона, Н/т.

Тогда тормозной путь за интервал времени:

$$S(t_{j+1}) = \frac{V(t_j) + V(t_{j+1})}{2 \cdot 3,6} \Delta t, \quad [\text{м}]. \quad (8)$$

Тормозной путь за время наполнения тормозного цилиндра составил:

$$S_{\text{наполнения}} = \sum S(t_j). \quad (9)$$

При вычислении тормозного пути при постоянном давлении в тормозном цилиндре  $S_{\text{пост}}$  интервал скоростей  $[V(T_H); 0]$  разбивался на отрезки с шагом  $\Delta V = 1$  км/ч:

$$V_{p+1} = V_p - p \cdot \Delta v. \quad (10)$$

Тормозной путь на каждом интервале скорости вычислялся по формуле:

$$S_p = \frac{500}{\zeta} \cdot \frac{V_{p+1}^2 - V_p^2}{b_T + w_{ox} + w_{oi}}, \quad (11)$$

а суммарный тормозной путь при торможении с постоянным давлением в цилиндрах:

$$S_{\text{пост}} = \sum S_p. \quad (12)$$

Удельная тормозная сила для среднего в интервале значения скорости вычислялась по формуле:

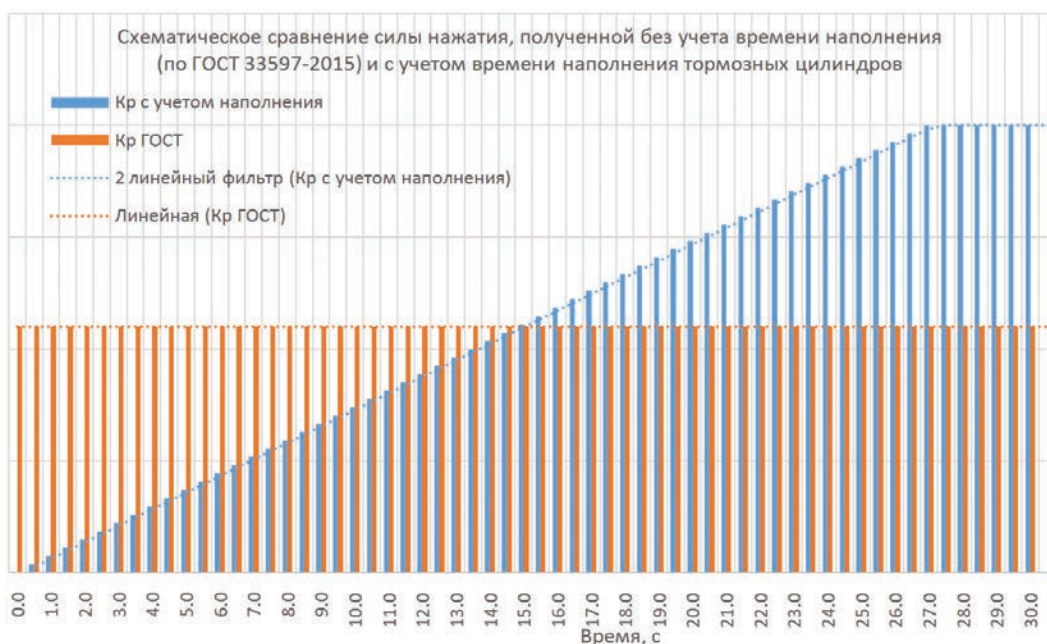


Рис. 4. Схематическое обозначение максимальной расчетной силы (КР) нажатия на ось в пересчете на чугунные тормозные колодки, полученной по методике ГОСТ 33597–2015 и по методике, описанной в данной статье



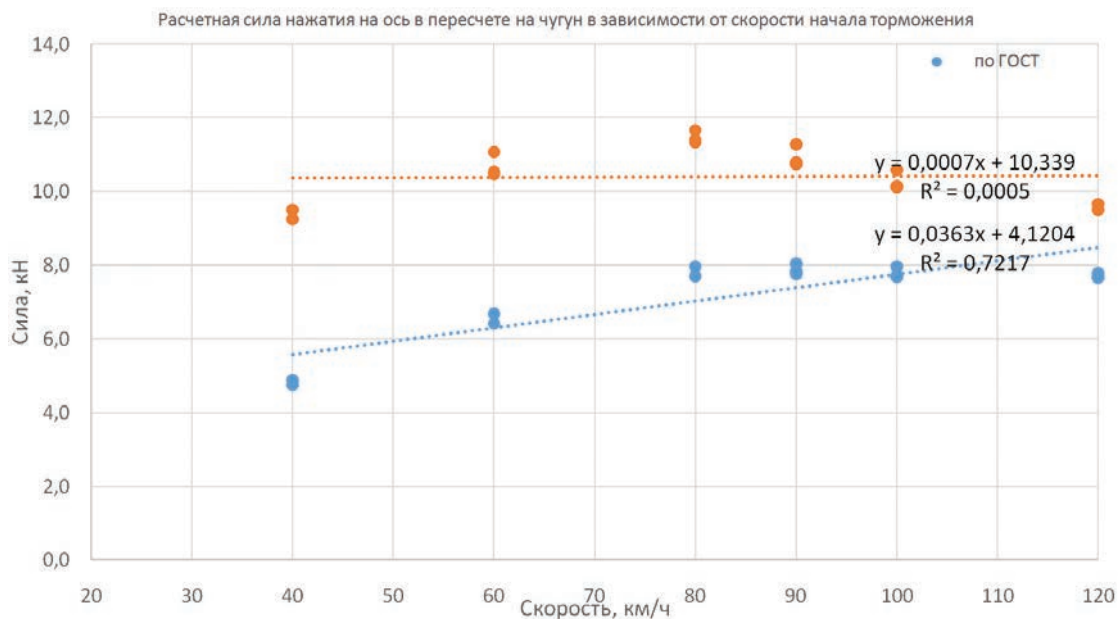


Рис. 5. Значение расчетной силы нажатия на ось в пересчете на чугунные колодки

$$b_T = 1000 \cdot \vartheta \cdot \varphi_k, \quad (13)$$

где  $\varphi_k$  — действительный коэффициент трения — вычислялся для среднего в интервале значения скорости и постоянной силы нажатия по формуле (4), аналогично основное удельное сопротивление движению  $w_{ос}(t)$  вычислялось для среднего в интервале значения скорости по формуле (6).

Расчетный коэффициент нажатия определялся по величине действительного коэффициента нажатия по формуле (для чугунных тормозных колодок) [11]:

$$\vartheta_p = 2,22 \cdot \vartheta \cdot \frac{16 \cdot \vartheta Q / m + 100}{80 \cdot \vartheta Q / m + 100}, \quad [\text{тс/т}]. \quad (14)$$

Расчетное нажатие на ось в пересчете на чугунные колодки определяли как:

$$K_p = \vartheta_p \cdot \frac{Q}{n} \cdot 9,81, \quad [\text{Н}], \quad (15)$$

где  $n$  — число осей в вагоне.

Вышеприведенная методика была опробована при обработке результатов, полученных в процессе ходовых испытаний шестисосного полувагона сочлененного типа. Время наполнения тормозных цилиндров такого вагона в грузе до давления 0,32 МПа составляет 25 с, что существенно снижает актуальное значение расчетной силы нажатия на ось в пересчете на чугунные колодки. На рис. 5 показаны графики значений расчетной силы нажатия, вычисленной по результатам ходовых тормозных испытаний методом «бросания» по алгоритму, приведенному в [5], и алгоритму, приведенному в данной статье. Анализируя зависимости на рис. 5, можно отметить, что значения, полученные при помощи алгоритма, приведенного

в ГОСТ 33597–2015, растут с увеличением скорости и имеют меньшие значения во всем диапазоне скоростей. Значения, полученные при помощи методики (изложенной в данной статье), учитывающей время наполнения, которое для малых скоростей начала торможения составляет существенную часть (вплоть до самой остановки), — выше, а также более равномерны по всему диапазону. Кроме того, стоит отметить снижение величины нажатия для скоростей начала торможения от 100 до 120 км/ч, определенное обеими методиками. По всей видимости, это связано со снижением коэффициента трения колодки о колесо (и, как следствие, реализуемой тормозной силы) из-за температурной перегруженности на высоких скоростях.

В статье представлена методика уточненного определения расчетной силы тормозного нажатия на ось в пересчете на чугунные тормозные колодки, учитывающая время наполнения тормозных цилиндров грузовых вагонов. Данная методика особенно актуальна при определении расчетной силы тормозного нажатия для многоосных вагонов, в том числе сочлененного типа. ■

**Литература**

1. Артамонов, Е. И. Тормозные системы, интегрированные в тележку грузовых вагонов / Е. И. Артамонов, А. Л. Ковязин, А. М. Орлова [и др.] // Транспорт РФ. — 2018. — № 6 (79). — С. 50–55.
2. Рудакова, Е. А. Результаты ходовых испытаний сочлененного вагона-платформы модели 13-470-01 / Е. А. Рудакова, Е. И. Артамонов, П. В. Козлов //

Тезисы VI Международной научно-технической конференции «Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты». — Санкт-Петербург : ПГУПС, 2009. — С. 161–162.

3. ГОСТ 34434–2018. Тормозные системы грузовых железнодорожных вагонов. Технические требования и правила расчета. — Москва: Стандартинформ, 2018.
4. Правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава. — Москва : Совет по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества, 2014.
5. ГОСТ 33597–2015. Тормозные системы железнодорожного подвижного состава. Методы испытаний. — Москва : Стандартинформ, 2016.
6. СТО-ОВК-1–2016. Полувагон сочлененного типа. Технические условия.
7. Водяников, Ю. Я. Исследования дисковой системы пассажирского вагона / Ю. Я. Водяников, С. В. Кукин, А. Е. Нищенко // Подвижной состав XXI века : идеи, требования, проекты. — 2007. — Вып. 4. — С. 113–120.
8. Крылов, В. В. Автоматические тормоза подвижного состава / В. В. Крылов, В. И. Крылов. — Москва : Транспорт, 1973. — 360 с.
9. Тормозное оборудование железнодорожного подвижного состава а: справочник / В. И. Крылов, В. В. Крылов, В. Н. Ефремов [и др.]— Москва : Транспорт, 1989.
10. Методика типового расчета тормоза грузового вагона. — Москва : ВНИИЖТ, 2014.
11. Типовой расчет тормоза грузовых и рефрижераторных вагонов. — Москва : ВНИИЖТ, 1996.