

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Научная статья

УДК 621.336.3

DOI: 10.21780/2223-9731-2022-81-3-221-229

EDN: <https://elibrary.ru/czmqjs>



ВЛИЯНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОКОПРИЕМНИКА НА ТОКОСЪЕМ ПРИ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ДО 160 КМ/Ч

Н. В. Миронос¹✉, М. Н. Емельянова¹, Д. В. Тартынский²

¹Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ),
Москва, Российская Федерация

²Софрино Электротранспорт (С Электротранспорт),
Московская область, пос. Софрино, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье исследовано влияние аэродинамических параметров токоприемника на контактное нажатие. С этой целью определено их влияние в диапазоне скорости движения до 160 км/ч на качество токосъема, в частности на повышенный износ вставок токоприемника.

Материалы и методы. Была разработана методика расчета аэродинамических сил с применением математического моделирования методом вычислительной гидродинамики. Токоприемник можно условно разделить на три части: основание, механизм подъема и полоз. Основной характеристикой этого взаимодействия является значение силы, с которой полоз прижимается к контактному проводу, и стабильность обеспечения этой силы в динамически меняющихся внешних условиях.

Результаты. Проведенное моделирование показало, что при скорости около 140 км/ч возникают колебания полза, изменяющие контактное нажатие. Это позволило объяснить причину повышенного износа вставок при испытаниях и запуске в эксплуатацию электропоездов типа ЭС2Г и ЭТ4А, на которых используются однотипные токоприемники. Наличие вблизи полза токоприемника его держателя, представляющего собой трубу, расположенную вдоль всей длины полза на незначительном удалении, принципиально меняет картину обтекания. На основании проведенного математического моделирования были внесены изменения в конструкцию полза токоприемника с целью улучшения его аэродинамических свойств. Были использованы другие токосъемные элементы, позволяющие обеспечить стабильные аэродинамические свойства полза в заданном диапазоне скоростей.

Обсуждение и заключение. Внесенные изменения в конструкцию полза позволили решить проблему с повышенным износом вставок токоприемника при скорости движения до 160 км/ч. Проведенные исследования и внесенные на их основе изменения в ГОСТ 32204—2013 позволяют повысить надежность и долговечность работы устройств токосъема.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: токоприемник электроподвижного состава, аэродинамические силы токоприемника, аэродинамические характеристики

Благодарности: в память о коллеге Павле Георгиевиче Тюрнине (1959–2020) авторы выражают благодарность за идею и подготовленные материалы.

Для цитирования: Миронос Н. В., Емельянова М. Н., Тартынский Д. В. Влияние аэродинамических параметров токоприемника на токосъем при скорости движения до 160 км/ч // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2022. Т. 81, № 3. С. 221–229. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-3-221-229>.

✉ mironos.nikolai@vniizht.ru (Н. В. Миронос)

© Миронос Н. В., Емельянова М. Н.,
Тартынский Д. В., 2022



TECHNICAL MEANS OF RAILWAY TRANSPORT

Original article

UDK 621.336.3

DOI: 10.21780/2223-9731-2022-81-3-221-229

EDN: <https://elibrary.ru/czmqjs>



INFLUENCE OF AERODYNAMIC PARAMETERS OF CURRENT COLLECTOR ON CURRENT COLLECTION AT MOVEMENT SPEEDS UP TO 160 KM/H

Nikolay V. Mironos¹✉, Marina N. Emel'yanova¹, Denis V. Tartynskiy²

¹Railway Research Institute,
Moscow, Russian Federation

²Sofrino Electric Transport (S Electric Transport),
Moscow region, Sofrino, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. This article investigates the influence of the aerodynamic parameters of the current collector on the contact force. For this purpose, the influence in the speed range up to 160 km/h on the quality of the current collection, in particular on the increased wear of the current collector contact strips, was determined.

Materials and methods. A method for calculating aerodynamic forces was developed using mathematical modelling by the method of computational fluid dynamics. The current collector can be conditionally divided into three parts: the base, the current collector lifting mechanism and the current collector head. The main characteristic of this interaction is the force with which the head is pressed against the contact wire and the stability of this force in dynamically changing external conditions.

Results. The simulation performed showed that at a speed of about 140 km/h, head vibrations occur that change the contact force. This made it possible to explain the increased wear of the inserts during testing and commissioning of electric trains of the ES2G and ET4A types, which use the same type of current collectors. The presence of the current collector holder near its head, which is a pipe located along the entire length of the head at a slight distance, fundamentally changes the flow pattern. Based on the performed mathematical modelling, changes were made to the design of the current collector head in order to improve its aerodynamic properties. Other current-collecting elements were used to ensure stable aerodynamic properties of the head in a given speed range.

Discussion and conclusion. The introduced changes made it possible to solve the problem with increased wear of the contact strips at a speed of up to 160 km/h. The conducted studies and the introduction of changes in GOST 32204–2013 based on these studies will improve the reliability and durability of the current collection devices.

KEYWORDS: bow current collector of electric rolling-stock, current collector aerodynamic forces, aerodynamic characteristics

Acknowledgments: in memory of our colleague Pavel G. Tyurnin (1959–2020), the authors express their gratitude for the idea and prepared materials.

For citation: Mironos N. V., Emel'yanova M. N., Tartynskiy D. V. Influence of aerodynamic parameters of current collector on current collection at movement speeds up to 160 km/h. *Russian Railway Science Journal*. 2022;81(3):221-229. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-3-221-229>.

✉ mironos.nikolai@vniizht.ru (N. V. Mironos)

© Mironos N. V., Emel'yanova M. N.,
Tartynskiy D. V., 2022

Введение. Токосъемник — один из элементов системы токосъема, обеспечивающий передачу электроэнергии от контактного провода на подвижной состав. От параметров токосъемника зависит надежность и долговечность работы всех элементов системы токосъема. Для скоростного и высокоскоростного движения определяющими становятся аэродинамические параметры токосъемника.

В соответствии с требованиями ГОСТ 32204–2013 [1] измерения аэродинамических показателей токосъемника (в части определения вертикальной составляющей аэродинамической силы) проводятся при скорости более 160 км/ч. Считалось, что аэродинамика не сильно влияет на взаимодействие токосъемника с контактной подвеской при скоростях ниже 160 км/ч.

Однако проведенные испытания электропоезда ЭТ4А по условиям токосъема показали, что уже в диапазоне от 60 до 120 км/ч среднее контактное нажатие изменялось в широких пределах до 70%. На рис. 1 приведены результаты измерений контактного нажатия, полученные при испытании электропоезда ЭТ4А. Испытания проводились для трех вариантов конструкции токосъемника: без аэродинамических экранов (АЭ) и при двух положениях АЭ под углом 22° и 11° к горизонту. Графики приведены для двух направлений движения электропоезда — соответственно у токосъемника это «коленом» вперед и «коленом» назад. Как видно из рисунка, контактное нажатие значительно изменяется с ростом скорости. Это означает, что на процесс токосъема уже на скорости движения от 60 км/ч заметно влияет вертикальная составляющая аэродинамической силы токосъемника. Такое значительное изменение может приводить к повышенному износу контактного провода и вставок токосъемника и в целом ухудшает токосъем.

В соответствии с п. 5.1.7 ГОСТ 32204–2013 для легкого токосъемника контактное нажатие в рабочем диапазоне, включая аэродинамическую силу, должно быть не менее 70 Н. Это означает, что аэродинамические характеристики токосъемника уже при скорости движения более 60 км/ч заметно влияют на качество токосъема.

Аэродинамические свойства токосъемника заметно влияют на контактное нажатие и, как следствие, это может приводить к повышенному механическому износу токосъемных элементов (вставок) токосъемников электропоезда [2], а это, в свою очередь, приводит к их износу и снижению срока эксплуатации. Например, в начальном периоде эксплуатации возникла проблема повышенного износа вставок токосъемников электропоезда ЭС2Г на участке Москва — Тверь. Пробег на линии по факту не превышал 5 тыс. км при скоростях движения до 160 км/ч. Нормативный показатель пробега токосъемных вставок — не менее 40 тыс. км.

Цель исследования и актуальность. Цель исследования — обоснование выбора аэродинамических свойств токосъемников и внесение соответствующих изменений в ГОСТ 32204–2013.

Для изучения вопроса были проанализированы различные работы по изучению влияния аэродинамических параметров токосъемника на токосъем.

В работах [3, 4] рассматривается теоретический метод расчета поведения токосъемника под воздействием аэродинамических сил различного происхождения, в том числе поля скоростей воздушных потоков в рабочей зоне токосъемника. Теоретические вопросы моделирования воздушного потока изучены в работе [5]. Совершенствование методов измерения аэродинамических параметров с учетом применения различных установок можно найти в исследованиях [6–10]. Много работ посвящено влиянию конструкции токосъемника и его отдельных элементов на аэродинамические характеристики [11, 12, 13], а также влиянию аэродинамического воздействия на токосъемник в зависимости от места его расположения и числа токосъемников на крыше электроподвижного состава [14, 15].

При этом в работах [16, 17, 18] детально изучена задача стабилизации контактного нажатия токосъемника посредством изменения аэродинамической составляющей за счет применения аэродинамического компенсирующего устройства.

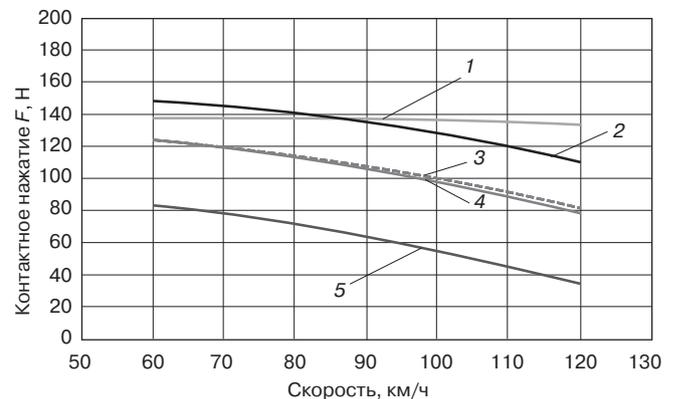


Рис. 1. Экспериментальные данные зависимости среднего контактного нажатия от скорости движения для трех вариантов конструкции токосъемника:
 1 — АЭ 22°, «коленом» вперед; 2 — АЭ 22°, «коленом» назад;
 3 — АЭ 11°, «коленом» вперед; 4 — АЭ 11°, «коленом» назад;
 5 — без АЭ, «коленом» вперед

Fig. 1. Experimental data on the dependence of the average contact pressure on the movement speed for three variants of the current collector design:
 1 — aerodynamic screen 22°, knee forward;
 2 — aerodynamic screen 22°, knee backward;
 3 — aerodynamic screen 11°, knee forward;
 4 — aerodynamic screen 11°, knee backward;
 5 — without aerodynamic screen, knee forward

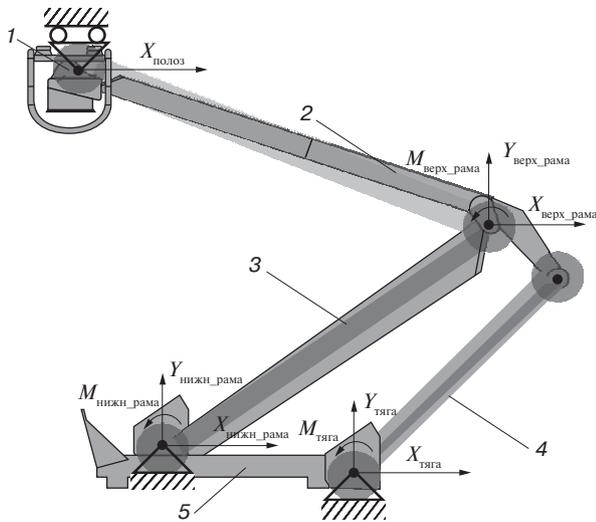


Рис. 2. Кинематическая схема механизма токоприемника и действующие на элементы механизма внешние силы и моменты: 1 — полоз; 2 — верхняя рама; 3 — нижняя рама; 4 — нижняя тяга; 5 — основание

Fig. 2. Kinematic diagram of the current collector mechanism and external forces and moments acting on the elements of the mechanism: 1 — head; 2 — upper arm; 3 — lower arm; 4 — lower thrust; 5 — base

Исследование аэродинамических свойств каждой части токоприемника приведено в работе [17].

В существующих нормативах, в частности для проектирования электропоездов, требования по аэродинамической составляющей контактного нажатия обычно приводятся для скорости движения более 160 км/ч.

Таким образом, анализ рассмотренных работ показал, что остались нерешенные вопросы с определением влияния аэродинамики на качество токосъема при скорости движения до 160 км/ч.

Постановка задачи и шаги по ее решению. Чтобы решить поставленную задачу, были выполнены следующие шаги:

- проведено математическое моделирование аэродинамических параметров элементов токоприемника типа ЛА 19 с использованием метода вычислительной гидродинамики с целью выявления их влияния на качество токосъема;
- внесены изменения в конструкцию токоприемника;
- определено влияние на износ токосъемных элементов изменений, внесенных в конструкцию токоприемника.

Моделирование аэродинамических сил токоприемника методом вычислительной гидродинамики. Токоприемник целесообразно разделить на три условные части: основание, механизм подъема и полоз. Конструкция токоприемника должна обеспечивать стабильный контакт между полозом токоприемника

и контактным проводом в различных условиях эксплуатации. Основной характеристикой этого взаимодействия является значение силы, с которой полоз прижимается к контактному проводу, и стабильность обеспечения этой силы в динамически меняющихся внешних условиях.

Заданное нажатие на контактный провод обеспечивается за счет подъемного механизма. На рис. 2 приведена кинематическая схема токоприемника, а на рис. 3 — поэлементная схема токоприемника, построенная средствами MatLab Sim-Scape/SimMechanics.

Для решения задачи по определению влияния сил и моментов на отдельные элементы в этой схеме присутствуют три подвижных тела, закрепленных шарнирно на неподвижном основании: нижняя рама, верхняя рама в сборе с полозом и нижняя тяга. Верхний свободный конец верхней рамы закреплен посредством призматического шарнира с одной степенью свободы вдоль оси x на высоте, соответствующей высоте раскрытия токоприемника, механизм — двумерный.

При решении задачи ко всем трем элементам прикладывались соответствующие аэродинамические силы и моменты (силы X , Y и момент M_z), также к свободному концу верхней рамы прикладывалась сила X , соответствующая продольной силе на сборке полоза (вертикальная сила Y на полозе компенсирована реакцией контактного провода). Из расчета определялась вертикальная сила реакции на свободном конце верхней рамы (горизонтальная соответственно была равна 0).

Конструкция токоприемника представляет собой фактически две последовательно соединенных подвесных системы: механизм подъема токоприемника и подвеску полоза. В общем случае силы, действующие в контакте полоз токоприемника — контактный провод, можно описать по формуле

$$F_{\text{под}} + F_{\text{аэрод.тп}} + F_{\text{аэрод.полоз}} + F_{\text{вес}} + F_{\text{дин}} + F_{\text{реак}} = 0,$$

где $F_{\text{под}}$ — сумма сил, действующих на полоз со стороны пружинных, пневматических элементов подъемного механизма, Н; $F_{\text{аэрод.тп}}$ — сила, действующая на полоз со стороны механизма токоприемника, обусловленная действием аэродинамических сил на элементы токоприемника с учетом кинематических связей между этими элементами, Н; $F_{\text{аэрод.полоз}}$ — аэродинамическая сила, действующая на полоз, Н; $F_{\text{вес}}$ — сумма сил веса элементов токоприемника с учетом кинематических связей между этими элементами, Н; $F_{\text{дин}}$ — силы, появляющиеся при перемещении токоприемника, включая силу трения, инерционную и др., Н; $F_{\text{реак}}$ — сила реакции контактной подвески (в нашем случае отражает силу контактного нажатия), Н.

Целью выбора конструкции токоприемника стало определение аэродинамической силы, действующей на полоз, аэродинамической силы, действующей от

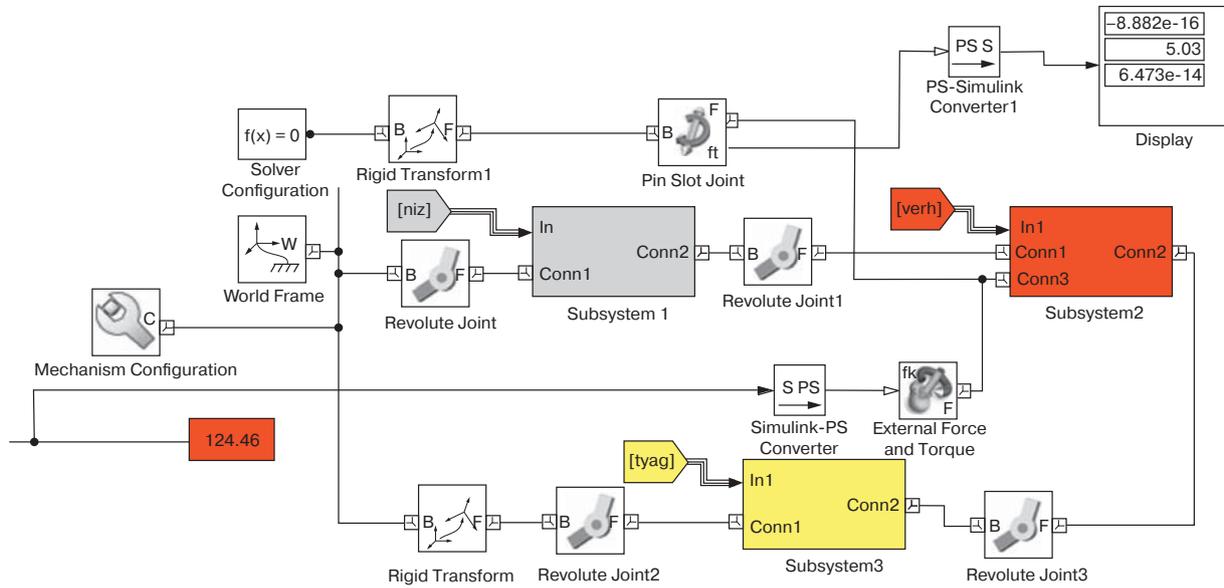


Рис. 3. Поэлементная схема кинематической модели токоприемника в среде Sim-Scape/SimMechanics

Fig. 3. Element-by-element diagram of the kinematic model of the current collector in the Sim-Scape/SimMechanics environment

рамы токоприемника, и силы подъемного механизма токоприемника, направленной вверх, для обеспечения заданного контактного нажатия.

Для вычисления аэродинамических сил и моментов, действующих на столь сложную, плохообтекаемую конструкцию, применяется современный метод вычислительной гидродинамики (computational fluid dynamics).

В данном исследовании для расчетов уравнений интегральных аэродинамических нагрузок использовался пакет STAR-CCM+ v10 с учетом следующих условий:

1) Исходя из требования обеспечения «идеальной» силы нажатия полоза к контактному проводу, равной 90 Н вне зависимости от скорости движения электроподвижного состава, расчетная точка — 40 м/с (144 км/ч). Именно при такой скорости обеспечивается $F_{\text{аэрод. полоз}} = 100 \text{ Н}$ и $F_{\text{аэрод. тп}} = -90 \text{ Н}$.

2) Обтекание потоком воздуха конструкции токоприемника должно быть смоделировано при скорости движения в диапазоне от 20 до 40 м/с.

3) Заданные характеристики выбранной конструкции токоприемника (ЛА 19) должны быть обеспечены вне зависимости от направления движения электроподвижного состава.

Каждый элемент токоприемника обладает индивидуальными аэродинамическими свойствами. В результате получим, что контактное нажатие — это суммарное значение аэродинамических и динамических сил, действующих на каждый элемент токоприемника, включая значения силы от подъемного механизма.

Полоз токоприемника ЛА 19 электропоезда ЭТ4А представляет собой замкнутую конструкцию из двух рядов вставок длиной 1200 мм, соединенных между собой изогнутыми трубами диаметром 12 мм. Общая длина конструкции составляет 2100 мм. Сборка каркаса полоза является плохообтекаемым телом. В составе сборки имеются тела прямоугольного, круглого сечения, пластины, расположенные поперек потока. При обтекании потоком воздуха таких тел говорят о нефиксированной точке схода, или отрыва потока. На рассматриваемых скоростях (20–40 м/с) обтекание подобных конструкций носит нестационарный характер. На рис. 4 приведена упрощенная сборка изолированного полоза (лишена внутренних полостей, несущественных для аэродинамики элементов, таких как крепежные элементы, облегчающие отверстия и пр.).



Рис. 4. Внешний вид изолированного полоза токоприемника упрощенной сборки для моделирования

Fig. 4. Appearance of the insulated current collector head of the simplified assembly for modelling

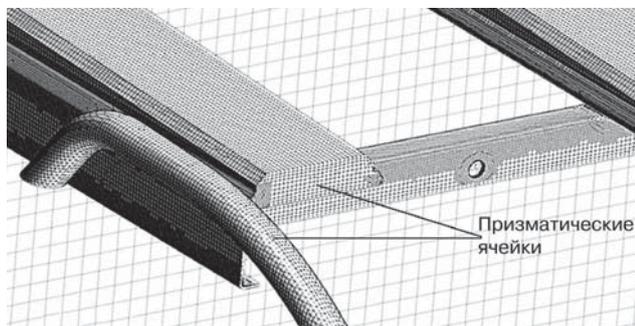


Рис. 5. Сеточное разрешение поверхности полоза

Fig. 5. Grid resolution of the head surface

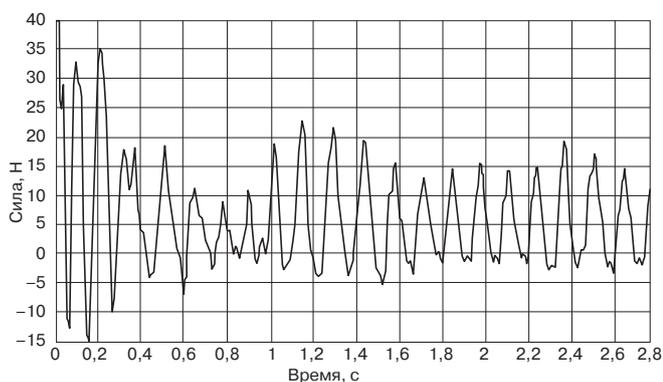


Рис. 6. Зависимость мгновенных значений вертикальной аэродинамической силы, возникающей на изолированном полозе, от времени при решении задачи в нестационарной постановке на скорости набегающего потока 40 м/с

Fig. 6. Time dependence of the instantaneous values of the vertical aerodynamic force arising on an isolated head when solving the problem in a non-stationary formulation at a speed of the relative air flow of 40 m/s

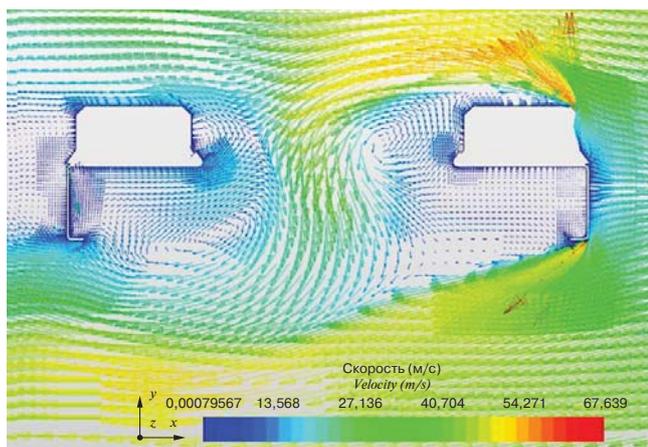


Рис. 7. Характерные векторные поля течения скорости набегающего потока в диапазоне от 20 до 40 м/с в плоскости симметрии полоза, приблизительно соответствующие наибольшим значениям вертикальной аэродинамической силы на полозе

Fig. 7. Characteristic velocity vector fields of the relative air flow in the range from 20 to 40 m/s in the plane of symmetry of the head, approximately corresponding to the largest values of the vertical aerodynamic force on the head

При моделировании полоза токоприемника решалась задача обтекания изолированного полоза в стационарной и нестационарной постановке со скоростью набегающего потока 40 м/с. В рассматриваемой области $5 \times 5 \times 10$ м построена расчетная гексагональная сетка размерностью около 7 млн ячеек, включающая дополнительное разрешение пограничного слоя с помощью слоя призматических ячеек (рис. 5). Применялась стандартная универсальная модель турбулентности « $k-\varepsilon$ », дающая приемлемую точность при решении подобных задач для расчета течения в свободном потоке. Характерный размер ячеек расчетной гексагональной сетки составил от 80 мм (далее поле течения) до 0,5 мм (на поверхности тела).

Рассматривалось поведение подъемной вертикальной аэродинамической силы, возникающей на полозе. Сходимость решения контролировалась поведением невязок уравнений газодинамики и значений исследуемого параметра (вертикальной силы).

Результатом решения задачи в нестационарной постановке стала зависимость мгновенных значений вертикальной аэродинамической силы от времени (рис. 6). Анализ показал, что на скорости набегающего потока 40 м/с аэродинамическая сила на изолированном полозе периодически меняется в диапазоне ± 20 Н с частотой 6–7 Гц после 1 с колебаний. На рис. 7 видны характерные векторные поля течения скорости в рассматриваемом диапазоне от 20 до 40 м/с в плоскости симметрии полоза, приблизительно соответствующие наибольшим значениям вертикальной аэродинамической силы на полозе. Поля воздушных потоков, показанных на рис. 7, могут иметь различное направление при одних и тех же начальных условиях, что объясняет изменение аэродинамической силы, действующей на полоз с частой 6–7 Гц.

Результатом решения задачи в стационарной постановке стало значение силы 20 Н при больших значениях невязок. В итоге получилось, что решение задачи в стационарной постановке привело к получению средней аэродинамической силы на элементе, но при значительно меньших вычислительных затратах. На этом этапе было принято решение дальнейшие расчеты полной компоновки токоприемника проводить именно в стационарной постановке.

Влияние на износ токосъемных элементов изменений, внесенных в конструкцию токоприемника. Таким образом, моделирование аэродинамических параметров элементов токоприемника типа ЛА 19 с использованием метода вычислительной гидродинамики показало, что при скорости движения около 140 км/ч (38,9 м/с) возникают колебания полоза, значительно изменяющие контактное нажатие. Это означает, что при движении возникают вертикальные колебания,

изменяющие силу нажатия от +35 до –15 Н с частотой 6–7 Гц, что приводит к повышенному механическому износу вставок. Математическое моделирование позволило объяснить причину повышенного износа вставок при запуске в эксплуатацию электропоезда ЭС2Г на участке Москва—Тверь. При нормативном пробеге токосъемных вставок 40 тыс. км их пробег на линии не превышал 5 тыс. км. Хотя в других условиях (более низких скоростях) пробег составлял требуемые 40 тыс. км.

Наличие держателя приводит к некоторой «стабилизации» течения в целом, амплитуда колебаний вертикальной силы значительно уменьшается, частота увеличивается, а усредненное по времени значение подъемной силы при скорости набегающего потока 40 м/с составляет от 45 до 55 Н в зависимости от направления движения.

На основании проведенного математического моделирования были внесены изменения в конструкцию полоза токоприемника с целью улучшения его аэродинамических свойств. Были использованы другие токосъемные элементы, позволяющие обеспечить стабильные аэродинамические свойства полоза в заданном диапазоне скоростей. Внесенные изменения позволили решить проблему с повышенным износом вставок при скорости движения более 120 км/ч и обеспечить требуемые показатели.

Выводы. Для определения влияния на качество токосъема аэродинамических показателей токоприемника в диапазоне до 160 км/ч была разработана методика расчета аэродинамических сил с применением математического моделирования методом вычислительной гидродинамики. Поскольку на изменение контактного нажатия влияет вертикальная составляющая, то при моделировании изучался именно этот параметр.

Проведенные исследования показали, что при скорости движения в диапазоне от 60 до 160 км/ч происходит повышенный износ токосъемных элементов. Причиной этого износа, как показало математическое моделирование, стали колебания полоза токоприемника в диапазоне скоростей от 76 до 144 км/ч.

Действующие нормативы не определяют требований к аэродинамическим параметрам токоприемника, регламентируется только среднее значение аэродинамического воздействия на токоприемник в целом. В связи с развитием высокоскоростного движения целесообразно проводить исследования по выбору аэродинамических свойств различных частей токоприемника. Проведенные исследования позволят обосновать выбор аэродинамических свойств токоприемников и внести соответствующие изменения в ГОСТ 32204–2013, что повысит надежность и долговечность работы устройств токосъема.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 32204–2013. Токоприемники железнодорожного электроподвижного состава. Общие технические условия: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 ноября 2013 г. № 1477-ст: дата введения 2014-06-01. М.: Стандартинформ, 2014. 24 с.
2. Купцов Ю. Е. Беседы о токосъеме, его надежности, экономичности и о путях совершенствования. М.: Модерн-А, 2001. 256 с.
3. Маслов Г. П., Кузнецов А. К. Теоретический метод оценки аэродинамических свойств токоприемников // Повышение качества токоснимания при высоких скоростях движения и в условиях БАМа: межвуз. темат. сб. науч. тр. Омск: ОмИИТ, 1981. С. 17–20.
4. Ikeda M., Mitsuhoji T. Numerical estimation of aerodynamic interference between panhead and articulated frame // Quarterly Report of RTRI. 2009. Vol. 50, no. 4. P. 227–232.
5. Широкова А. В. Приближенный метод аналитической оценки аэродинамических показателей полозов коробчатого сечения токоприемников подвижного состава магистральных электрических железных дорог: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. Омск: ОмГУПС, 2002. 16 с.
6. Теоретический метод оценки аэродинамических свойств токоприемников / В. П. Михеев [и др.] // Энергоснабжение электрических дорог: науч. тр. Омского ин-та инж. ж.-д. транспорта. Омск: ОмИИТ, 1974. Т. 162. С. 11–20.
7. Ли В. Н. Исследование аэродинамических свойств токосъемных устройств с помощью установок Омского полигона // Повышение качества токоснимания при высоких скоростях движения и в условиях БАМа: межвуз. темат. сб. науч. тр. Омск: ОмИИТ, 1983. С. 74–80.
8. Suzuki M., Ikeda M., Kooyama T. Flow control on pantograph with air intake and outlet // Quarterly Report of RTRI. 2007. Vol. 48, no. 4. P. 236–239.
9. Some Considerations on the Aerodynamics of High Speed Pantograph: CFD and Wind Tunnel Tests [Электронный ресурс] / R. Gregoire [et al.] // BBAA VI International Colloquium on: Bluff Bodies Aerodynamics & Applications. Milano, Italy, 20–24 July 2008. Milano, 2008. P. 1–4. URL: http://bbaa6.mecc.polimi.it/uploads/abstract_files/PST_PANTO_STAMPA99.pdf (дата обращения: 22.01.2021).
10. Совершенствование методики аэродинамических испытаний токоприемника путем учета плотности воздушной среды / А. Н. Смердин [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2016. Т. 75, № 6. С. 328–333. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-6-328-333>.
11. Aerodynamic Characteristics of High Speed Train Pantograph with the Optimized Panhead Shape [Электронный ресурс] / Y. Lee [et al.] // Proceedings of the 7th IASME/WSEAS International Conference on Fluid Mechanics and Aerodynamics. Moscow, Russia, 20–22 August 2009. [S. l.], 2009. P. 84–88. URL: <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2009/moscow/FMA/FMA11.pdf> (дата обращения: 28.07.2021).
12. Беляев И. А., Михеев В. П., Шиян В. А. Токосъем и токоприемники электроподвижного состава / под ред. И. А. Беляева. Изд. 2-е, переработ. и доп. М.: Транспорт, 1976. 184 с.
13. Yao Sh., Guo D., Yang G. The influence of pantograph aerodynamic characteristics caused by its shroud // Proceedings of the 1st LWHIR / Y.-Q. Ni and X.-W. Ye (Eds.). Berlin: Springer-Verlag, 2012. Vol. 2. LNEE 148. P. 41–52.
14. Вологин В. А. Взаимодействие токоприемников и контактной сети. М.: Интекст, 2006. 256 с.
15. Sebesan I., Arsene S. Study on aerodynamic resistance to electric rail vehicles generated by the power supply [Электронный ресурс] // INCAS Bulletin. 2014. Vol. 6, Special Issue 1. P. 151–158. URL: http://bulletin.incas.ro/files/sebesan_i_arsene_s_vol_6_spec_iss_1.pdf (дата обращения: 22.01.2021).

16. Стариков А. П. Повышение качества токосъема при воздействии многокомпонентного воздушного потока на токоприемники магистрального электрического подвижного состава: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. Омск: ОмГУПС, 2006. 16 с.

17. Чепурко А. В. Повышение качества токосъема при высоких скоростях движения путем обеспечения рациональной аэродинамической характеристики токоприемника электроподвижного состава: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. Омск: ОмГУПС, 2015. 19 с.

18. Ецков Т. А. Ассиметричный токоприемник с улучшенными динамическими показателями: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.01. Новочеркасск: НПИ, 2018. 20 с.

REFERENCES

1. GOST 32204–2013. Tokopriemniki zheleznodorozhnogo elektropodvizhnogo sostava. Obshchie tekhnicheskie usloviya [Current collectors of railway electric rolling stock. General specifications]. Int. standard. Introduced as Russian nat. standard on November 8, 2013 No. 1477-st: introduction date 2014-06-01. Moscow: Standartinform Publ.; 2014. 24 p. (In Russ.).

2. Kuptsov Yu. E. Besedy o tokos"eme, ego nadezhnosti, ekonomichnosti i o putyakh sovershenstvovaniya [Conversations about the current collection, its reliability, efficiency and ways to improve]. Moscow: Modern-A Publ.; 2001. 256 p. (In Russ.).

3. Maslov G. P., Kuznetsov A. K. Teoreticheskiy metod otsenki aerodinamicheskikh svoystv tokopriemnikov [Theoretical method for assessing the aerodynamic properties of current collectors]. Povyshenie kachestva tokosnimaniya pri vysokikh skorostyakh dvizheniya i v usloviyakh BAMA [Improving the quality of current collection at high speeds and under BAM conditions]. Омск: ОмИИТ Publ.; 1981. P. 17–20. (In Russ.).

4. Ikeda M., Mitsumoji T. Numerical estimation of aerodynamic interference between pantograph and articulated frame. *Quarterly Report of RTRI*. 2009;50(4):227-232.

5. Shirokova A. V. Priblizhenny metod analiticheskoy otsenki aerodinamicheskikh pokazateley polozov korobchatogo secheniya tokopriemnikov podvizhnogo sostava magistral'nykh elektricheskikh zheleznykh dorog [Approximate method of analytical evaluation of the aerodynamic performance of box-section heads of pantographs of the rolling stock of main electric railways]. Cand. of Sci. (Engineering) thesis synopsis: 05.22.07. Омск: ОмГУПС Publ.; 2002. 16 p. (In Russ.).

6. Mikheev V. P., Maslov G. P., Bryukhanov A. S., Kuznetsov A. K. Teoreticheskiy metod otsenki aerodinamicheskikh svoystv tokopriemnikov [Theoretical method for assessing the aerodynamic properties of current collectors]. Energosnabzhenie elektricheskikh dorog: nauch. tr. Омского ин-та инж. zh.-d. transporta [Energy supply of electric roads: Procs. of Omsk Institute of Engineering Railway Transport]. Омск: ОмИИТ Publ.; 1974. Vol. 162. P. 11–20. (In Russ.).

7. Li V. N. Issledovanie aerodinamicheskikh svoystv tokos"emnykh ustroystv s pomoshch'yu ustanovok Омского полигона [Study of the aerodynamic properties of current-collecting devices with the help of installations of the Omsk test site]. Povyshenie kachestva tokosnimaniya pri vysokikh skorostyakh dvizheniya i v usloviyakh BAMA [Improving the quality of current collection at high speeds and under BAM conditions]. Омск: ОмИИТ Publ.; 1983. P. 74–80. (In Russ.).

8. Suzuki M., Ikeda M., Koyama T. Flow control on pantograph with air intake and outlet. *Quarterly Report of RTRI*. 2007;48(4):236-239.

9. Gregoire R., Collina A., Resta F., Rocchi D. Some Considerations on the Aerodynamics of High Speed Pantograph: CFD and Wind Tunnel Tests. BBAA VI International Colloquium on: Bluff Bodies Aerodynamics & Applications. Milano, Italy, July 20–24, 2008. Milano, 2008. P. 1–4. URL: http://bbaa6.mecc.polimi.it/uploads/abstract_files/PST_PANTO_STAMPA99.pdf (access date: 22.01.2021).

10. Smerdin A. N., Chepurko A. E., Sidorov O. A., Mironos N. V. Sovershenstvovanie metodiki aerodinamicheskikh ispytaniy tokopriemnika putem ucheta plotnosti vozduшной среды [Improved methods of aerodynamic testing of current collector by considering ambient air density]. *Vestnik Nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta (Vestnik VNIIZhT) = Russian Railway Science*. 2016;75(6):328-333. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-6-328-333>. (In Russ.).

11. Lee Y., Rho J., Kwak M., et al. Aerodynamic Characteristics of High Speed Train Pantograph with the Optimized Panhead Shape. Proceedings of the 7th IASME/WSEAS International Conference on Fluid Mechanics and Aerodynamics. Moscow, Russia, August 20–22, 2009. [S. l.], 2009. P. 84–88. URL: <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2009/moscow/FMA/FMA11.pdf> (access date: 28.07.2021).

12. Belyaev I. A., Mikheev V. P., Shiyani V. A. Tokos"em i tokopriemniki elektropodvizhnogo sostava [Current collection and current collectors of electric rolling stock]. 2nd ed. Moscow: Transport Publ.; 1976. 184 p. (In Russ.).

13. Yao Sh., Guo D., Yang G., Ni Y.-Q. and Ye X.-W., eds. The influence of pantograph aerodynamic characteristics caused by its shroud. Proceedings of the 1st LWHIR. Berlin: Springer-Verlag; 2012. Vol. 2. LNEE 148. P. 41–52.

14. Volgin V. A. Vzaimodeystvie tokopriemnikov i kontaktной seti [Interaction of current collectors and contact networks]. Moscow: Intext Publ.; 2006. 256 p. (In Russ.).

15. Sebesan I., Arsene S. Study on aerodynamic resistance to electric rail vehicles generated by the power supply. *INCAS Bulletin*. 2014;6(1):151-158. URL: http://bulletin.incas.ro/files/sebesan_i_arsene_s_vol_6_spec_iss_1.pdf (access date: 22.01.2021).

16. Starikov A. P. Povyshenie kachestva tokos"ema pri vozdeystvii mnogokomponentnogo vozduшной potoka na tokopriemniki magistral'nogo elektricheskogo podvizhnogo sostava [Improving the quality of current collection under the influence of a multicomponent air flow on the current collectors of the main electric rolling stock]. Cand. of Sci. (Engineering) thesis synopsis: 05.22.07. Омск: ОмГУПС Publ.; 2006. 16 p. (In Russ.).

17. Chepurko A. V. Povyshenie kachestva tokos"ema pri vysokikh skorostyakh dvizheniya putem obespecheniya ratsional'noy aerodinamicheskoy kharakteristiki tokopriemnika elektropodvizhnogo sostava [Improving the quality of current collection at high speeds by providing rational aerodynamic characteristics of the current collector of electric rolling stock]. Cand. of Sci. (Engineering) thesis synopsis: 05.22.07. Омск: ОмГУПС Publ.; 2015. 19 p. (In Russ.).

18. Etskov T. A. Assimetrichny tokopriemnik s uluchshennymi dinamicheskimi pokazatelyami [Asymmetric pantograph with improved dynamic performance]. Cand. of Sci. (Engineering) thesis synopsis: 05.09.01. Novocherкасск: NPI Publ.; 2018. 20 p. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Николай Васильевич МИРОНОС,

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, отдел «Контактная сеть и токосъем», центр «Электрификация и теплоэнергетика», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10), Author ID: 384806, <https://orcid.org/0000-0002-1100-7326>

Марина Николаевна ЕМЕЛЬЯНОВА,

канд. техн. наук, старший научный сотрудник, отдел «Контактная сеть и токосъем», центр «Электрификация и теплоэнергетика», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10, emelyanova.marina@vniizht.ru), Author ID: 722686, <https://orcid.org/0000-0002-3956-3033>

Денис Викторович ТАРТЫНСКИЙ,

начальник испытательного центра, Софрино Электротранспорт (С Электротранспорт, 141270, Московская обл., пос. Софрино, ул. Патриарха Пимена, д. 77, tartynskiy@seltrans.ru), Author ID: 722708

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Nikolay V. MIRONOS,

Cand. of Sci. (Engineering), Leading Researcher, Contact Network and Current Collection Department, Electrification and Heat Power Engineering Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID : 384806, <https://orcid.org/0000-0002-1100-7326>

Marina N. Emel'yanova,

Cand. of Sci. (Engineering), Senior Researcher, Contact Network and Current Collection Department, Electrification and Heat Power Engineering Centre, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St., emelyanova.marina@vniizht.ru), Author ID: 722686, <https://orcid.org/0000-0002-3956-3033>

Denis V. TARTYNSKIY,

Head of the testing centre, Sofrino Electric Transport (141270, Moscow region, Sofrino, 77, Patriarkha Pimena St., tartynskiy@seltrans.ru), Author ID: 722708

ВКЛАД АВТОРОВ

Николай Васильевич МИРОНОС. Формирование направления исследования, формулировка цели и задач, методика расчета аэродинамических сил с применением математического моделирования методом вычислительной гидродинамики, обоснование влияния на износ токосъемных элементов изменений, внесенных в конструкцию токоприемника (40%).

Марина Николаевна ЕМЕЛЬЯНОВА. Анализ результатов испытаний, обзор основных направлений по изучению влияния аэродинамических параметров токоприемника на токосъем, анализ результатов математического моделирования методом вычислительной гидродинамики (30%).

Денис Викторович ТАРТЫНСКИЙ. Организация и проведение испытаний, измерение аэродинамических параметров, выбор конструкции полоза токоприемника с целью изменения его аэродинамических свойств (30%).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Nikolay V. MIRONOS. Formation of the direction of research, formulation of goals and objectives, calculating aerodynamic forces using mathematical modelling by the method of computational fluid dynamics, substantiation of the effect of changes made to the design of the pantograph on the wear of current collector elements (40%).

Marina N. Emel'yanova. Analysis of the test results, review of the main directions for studying the influence of the aerodynamic parameters of the pantograph on the current collection, analysis of the results of mathematical modelling by the method of computational fluid dynamics (30%).

Denis V. TARTYNSKIY. Organisation and conduct of tests, measurement of aerodynamic parameters, selection of the pantograph head design in order to change its aerodynamic properties (30%).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials and methods. There is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 21.10.2021, первая рецензия получена 21.10.2021, вторая рецензия получена 08.06.2022, принята к публикации 29.08.2022.

The article was submitted 21.10.2021, first review received 21.10.2021, second review received 08.06.2022, accepted for publication 29.08.2022.

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЕРСИИ СТАТЕЙ ЖУРНАЛА В ОТКРЫТОМ ДОСТУПЕ

На сайте www.elibrary.ru открыт доступ к электронным версиям статей, опубликованных в научно-техническом журнале «Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта».

Для работы с фондами библиотеки пользователю необходимо самостоятельно зарегистрироваться, заполнив регистрационную форму на главной странице eLibrary.ru. Доступ возможен по Вашему логину и паролю с любого компьютера, имеющего выход в интернет.

Материалы журнала, размещенные на сайте Научной электронной библиотеки для свободного использования, допускается использовать, копировать, цитировать исключительно в некоммерческих целях с соблюдением соответствующих положений действующего авторского законодательства (Гражданский кодекс РФ от 18.12.2006 № 230-ФЗ, Часть IV; Глава 70 «Авторское право») с обязательным указанием имени автора/ов произведения и источника заимствования.

На сайте журнала www.journal-vniizht.ru контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.