

УДК 621.336.7

Анализ воздействия воздушных обтекателей на аэродинамические характеристики токоприемника при увеличенных скоростях движения

А. Д. Онофрийчук, В. Г. Жемчугов

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Онофрийчук А. Д., Жемчугов В. Г. Анализ воздействия воздушных обтекателей на аэродинамические характеристики токоприемника при увеличенных скоростях движения // Бюллетень результатов научных исследований. 2024. Вып. 2. С. 18–28. DOI: 10.20295/2223-9987-2024-02-18-28

Аннотация

Цель: анализ аэродинамического взаимодействия воздушного потока и токоприемника с учетом неравномерности распределения давления на боковых кромках обтекателей.

Методы: исследования проводились на основе теоретического подхода, который определяет методы механики воздушных масс с использованием математического моделирования на ЭВМ с применением программных продуктов, включающих в себя инструменты для вычисления гидрогазодинамики на основе метода CFD-анализа в модуле Flow Simulation программного обеспечения SolidWorks.

Результаты: разработана твердотельная модель токоприемника с интегрированными воздушными обтекателями, которая учитывает комплекс взаимодействий в системе «подвижной состав — обтекатель — токоприемник — узлы и элементы контактной подвески» в контексте влияния аэродинамического сопротивления.

Практическая значимость: разработана инновационная система, предназначенная для оптимизации аэродинамических характеристик токоприемника в процессе его движения в воздушной среде, — обтекателя, который способствует снижению негативного влияния аэродинамического сопротивления, уменьшению турбулентности воздушных масс и улучшению эффективности токосъема.

Ключевые слова: контактная сеть, токоприемник, обтекатели токоприемников, анализ аэродинамического взаимодействия от скорости движения, взаимодействие токоприемника с контактной сетью.

Повышение пропускной и провозной способностей электрифицированных железнодорожных линий является важнейшей социальной и экономической задачей, стоящей перед железнодорожной отраслью [1]. Наиболее уязвимым элементом электрифицированных магистралей является звено передачи энергии от контактной подвески к электроподвижному составу (ЭПС) через скользящий контакт токоприемник-контактный провод. Увеличение скоростей движения и масс поездов приводит к повышенному износу устройств токосъема и требует разработки новых конструкций токоприемников и модернизации существующих для предотвращения сбоев в графике движения поездов и повышении безопасности железнодорожных перевозок.

Увеличение скоростных параметров движения усиливает аэродинамическое взаимодействие токоприемников электроподвижного состава с воздушной средой, что приводит к изменению сил нажатия токоприемника на контактный провод. Данное явление ведет к снижению эффективности процесса токоотбора, что проявляется в увеличении степени износа контактных компонентов, ухудшении стабильности работы системы электроснабжения, усилении аэродинамического шума и турбулентности, а также провоцирует усиление вибраций и колебаний проводов в момент прохождения токоприемника [2].

Снижение аэродинамического взаимодействия воздушного потока с токоприемником и контактной подвеской является актуальной задачей, заключающейся в увеличении обтекаемости и уменьшении лобового сопротивления элементов конструкции токоприемника.

В научной литературе Российской Федерации представлены теоретические исследования и компьютерные модели, направленные на изучение аэродинамического воздействия на высокоскоростной электроподвижной состав, токоприемники и контактную подвеску. В работе [3] предлагается установка регулируемого аэродинамического устройства непосредственно в верхнем узле токоприемника для обеспечения оптимальной аэродинамической характеристики токоприемника электроподвижного состава при высоких скоростях движения. Данное приспособление оборудовано комплексом механизмов для управления с использованием шестерней и экранов, которые в зависимости от скорости перемещения изменяют угол поворота крыла. Показатели экономической эффективности данного устройства за год эксплуатации на подвижном составе «Сапсан» составили более 720 тыс. руб. Однако, несмотря на преимущества, устройство до сих пор не применяется на подвижном составе из-за сложностей эксплуатации в сложных погодных условиях.

Использование обтекателей с целью формирования аэродинамической тени для токоприемника позволяет снизить воздействие набегающего воздушного потока и турбулентности [4]. На основании представленных расчетов скорость воздушного потока снижается до 0,1–0,4 м/с, а также уменьшаются турбулентные явления у токоприемника. Однако, исходя из представленной конструкции обтекателя, не понятно, как производится раскрытие и опускание токоприемника, также нет оценки влияния отраженного потока на элементы контактной подвески.

Для уменьшения аэродинамического сопротивления и моделирования многофакторного характера изучаемого процесса эффективным является моделирование взаимодействия токоприемника с воздушной атмосферой при нормальных условиях [5].

При анализе аэродинамического взаимодействия токоприемника ЭПС с воздушной средой выполняется CFD-моделирование трехмерной пространственной задачи при заданных параметрах обтекающей среды [6, 7]. Давление воздуха принято равным 101 325 Па, а температура — 20 °С. Скорость воздушного

потока направлена перпендикулярно относительно модели и равняется 115 м/с (400 км/ч). Время моделирования принято равным 5 сек. Моделирование производилось с элементом крыши подвижного состава, токоприемник располагался коленом назад. Тип токоприемника ТА 09-СЭТ 1603200 (детализация исследуемой модели уменьшена для сокращения времени расчета) [8].

Моделирование осуществлялось в программном обеспечении Solidworks, при этом аэродинамический расчет проводился в рамках модуля Flow Simulation. Эксперименты проводились как при отсутствии, так и при наличии аэродинамических обтекателей. На рис. 1 представлена твердотельная модель фрагмента крыши ЭПС и токоприемника без обтекателя — *а* и с обтекателем — *б*.

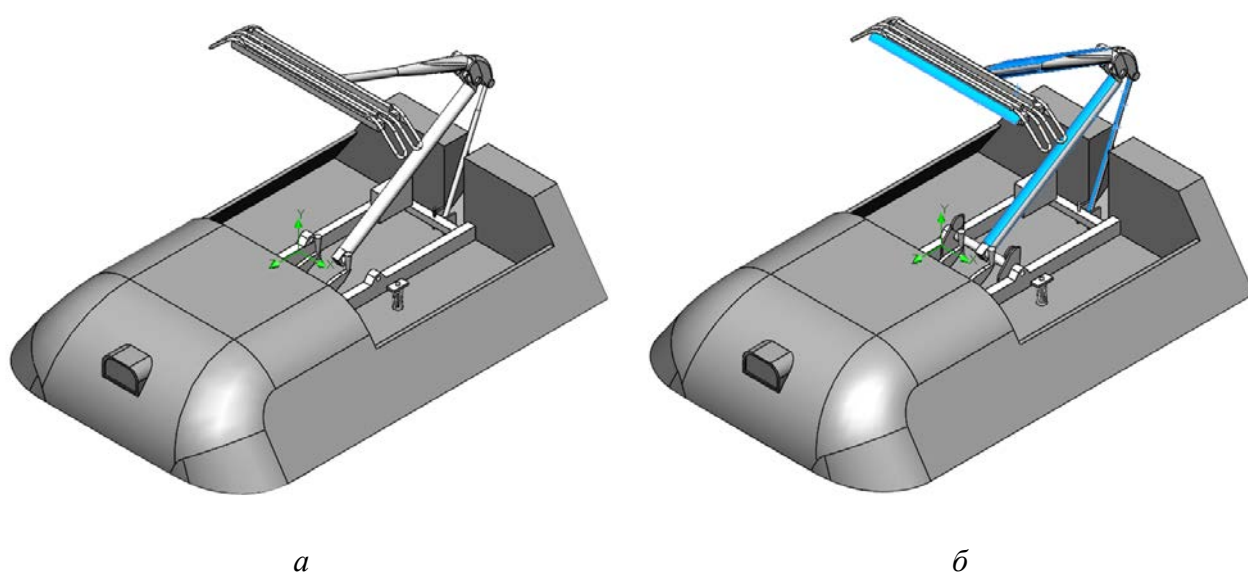


Рис. 1. Твердотельная модель фрагмента крыши ЭПС с токоприемником:
а — без воздушных обтекателей; *б* — с воздушными обтекателями

При детализированном рассмотрении эпюр воздушных потоков, представленных на рис. 2 и 3, не заметны различия в распределении градиента. Картины в сечении в плоскости YZ распределения скоростей воздушных потоков не показывает существенных изменений при отсутствии и наличии аэродинамических обтекателей.

Также в этом возможно убедиться в изометрии распределения воздушных потоков, приведенной на рис. 4 и рис. 5. Различия в распределении градиента не отличаются.

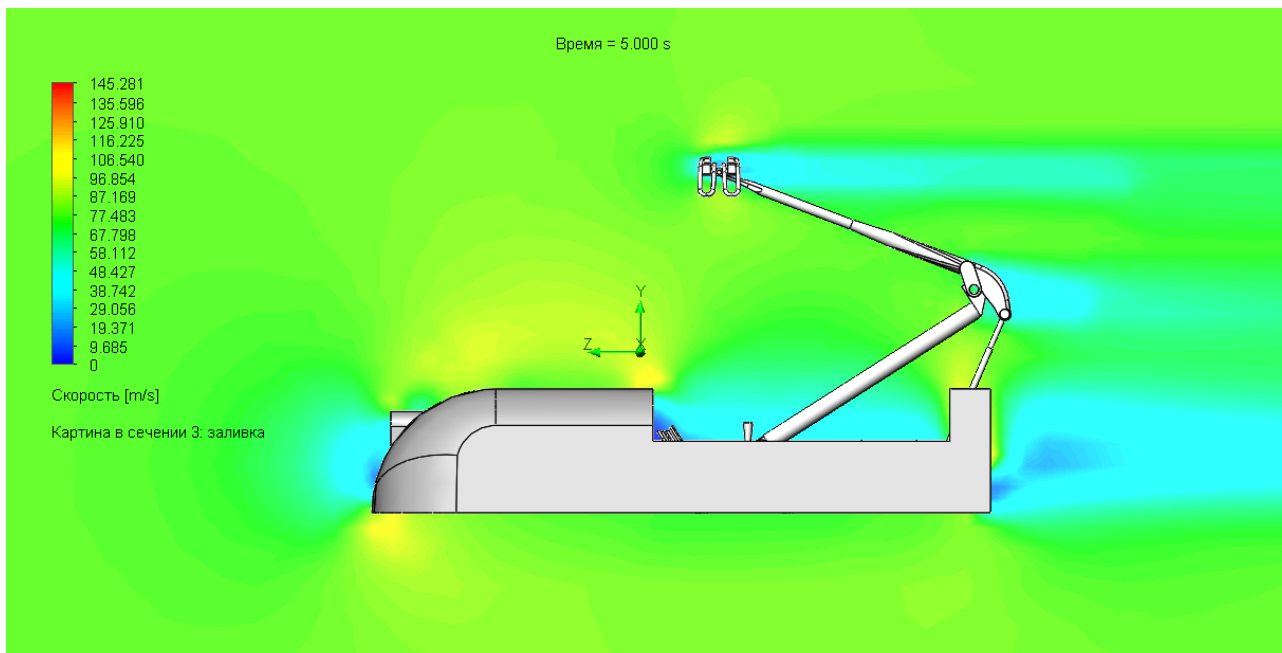


Рис. 2. Распределения скорости воздушного потока сборки без аэродинамического обтекателя

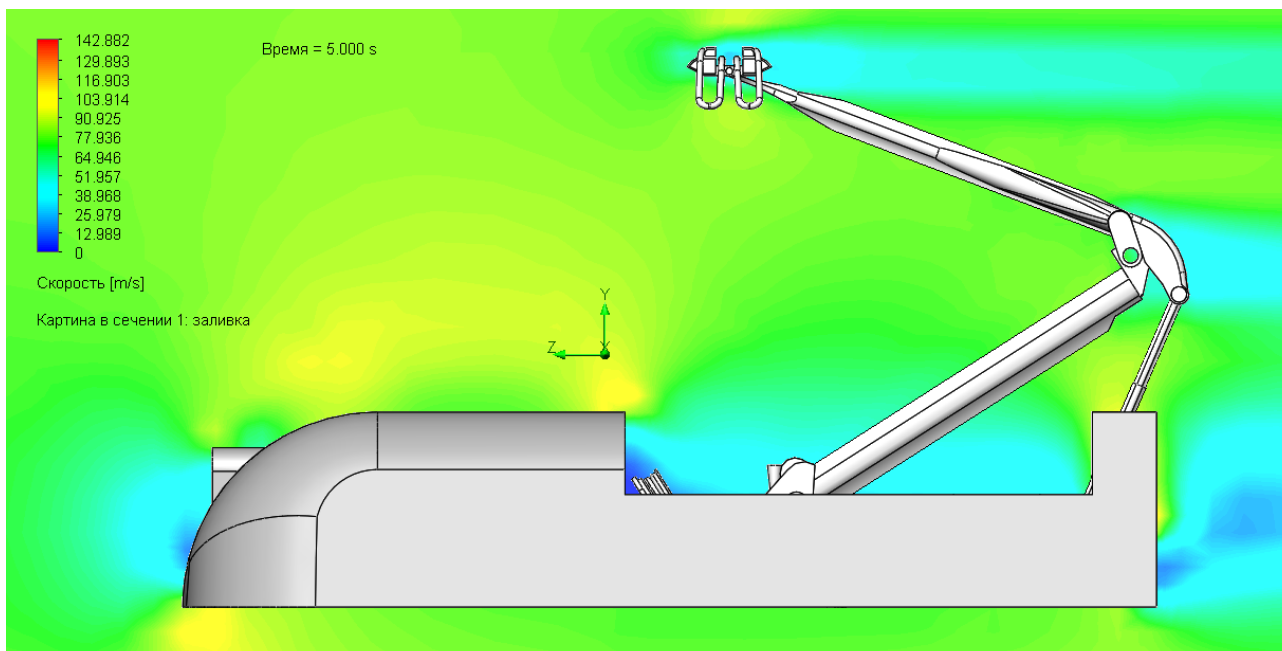


Рис. 3. Распределения скорости воздушного потока сборки с аэродинамическим обтекателем

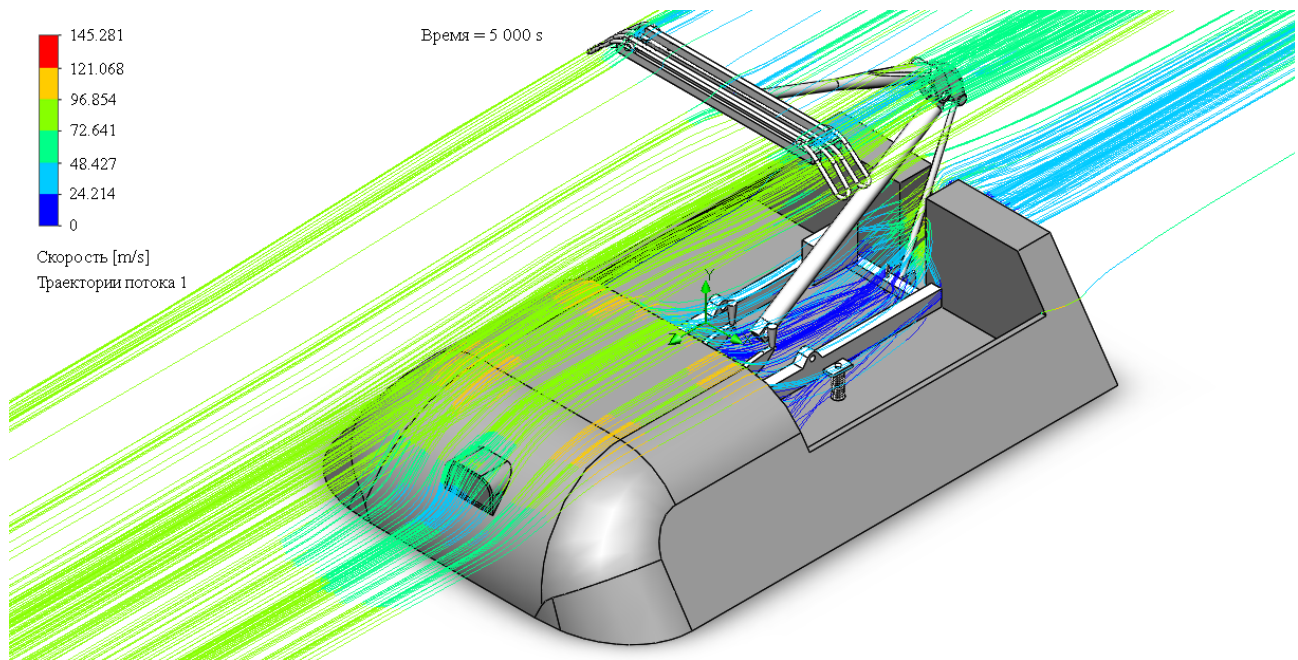


Рис. 4. Изометрия распределения скорости воздушного потока сборки без аэродинамического обтекателя

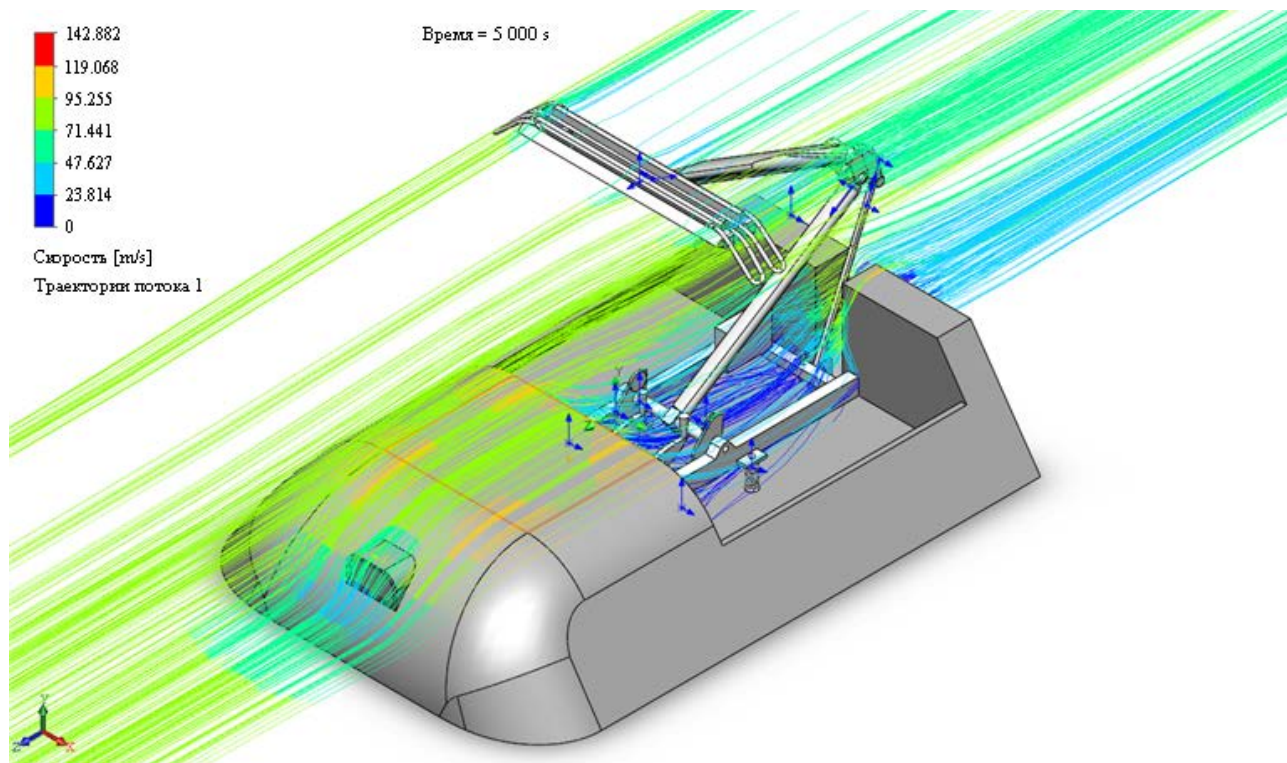


Рис. 5. Изометрия распределения скорости воздушного потока сборки с аэродинамическим обтекателем

При построении боковой картины в сечениях, представленных на рис. 6 и 7, наблюдается заметное уменьшение турбулентного течения за ползцом токоприемника, что свидетельствует об уменьшении вибрации и последующего дребезга проводов контактной сети в общем и контактного провода, в частности. Снизить аэродинамическое влияние и турбулентность на верхнее колено и ползок токоприемника позволяет аэродинамический обтекатель. При отсутствии турбулентности после прохода токоприемника уменьшается дребезг и вибрации проводов, что положительно сказывается на токосъеме последующего проходящего токоприемника моторвагонного подвижного состава.

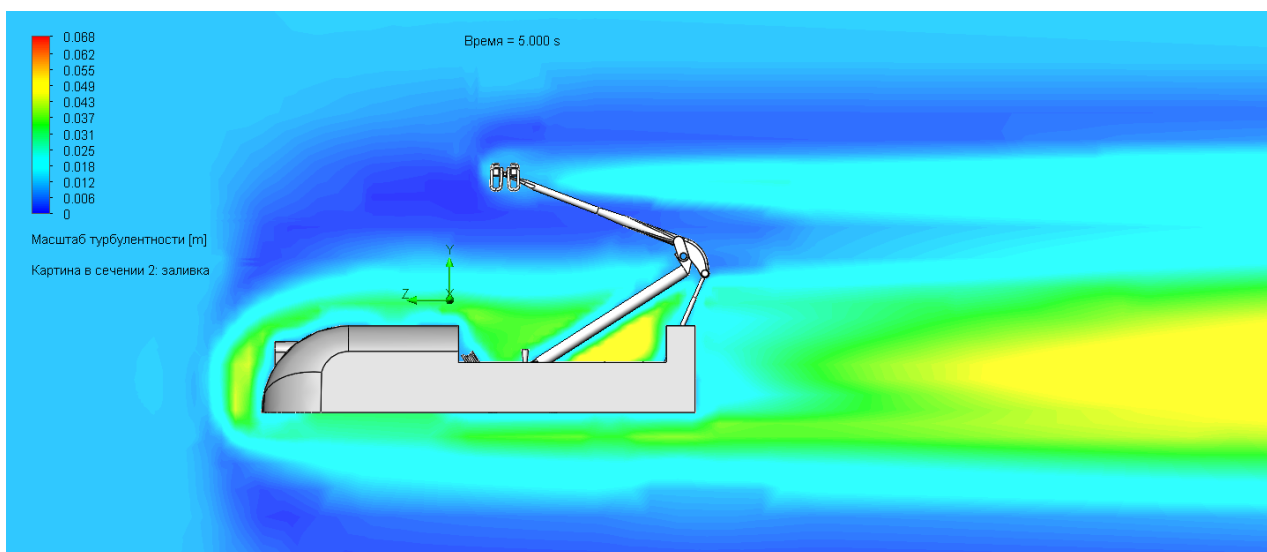


Рис. 6. Распределение турбулентности воздушного потока в сборке без использования аэродинамического обтекателя

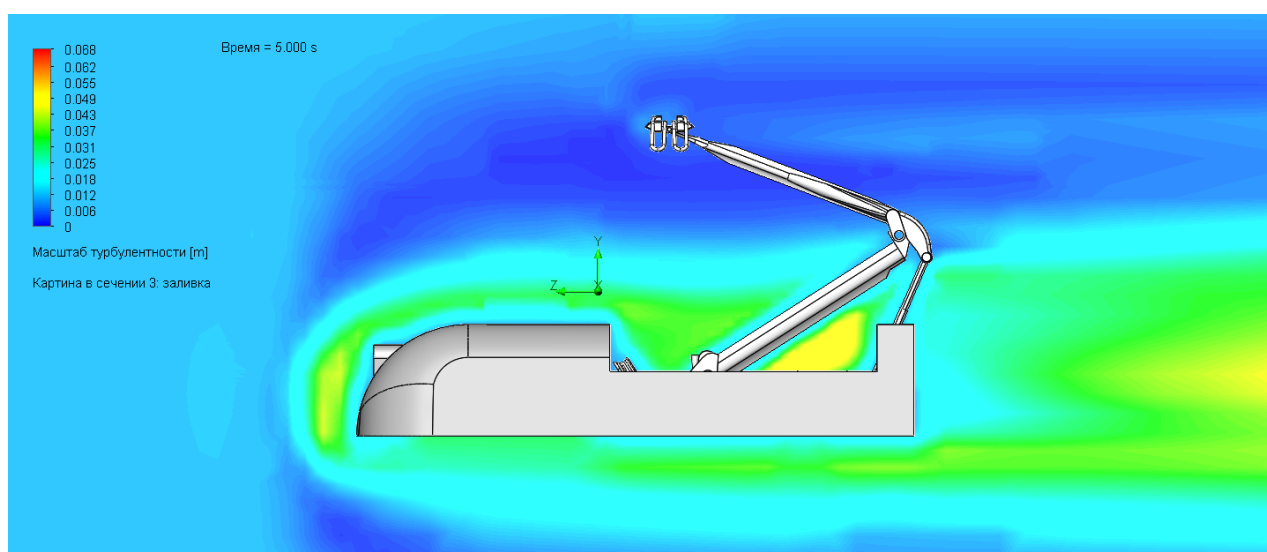


Рис. 7. Распределение турбулентности воздушного потока в сборке с использованием аэродинамического обтекателя

Рассмотрим одно из основных уравнений аэродинамики, уравнение Бернулли, которое устанавливает взаимосвязь между давлением и скоростью в любой точке установившегося потока [9–10]. Иными словами, смысл данного закона заключается в том, что энергия не исчезает бесследно и не может возникнуть из ничего, но может переходить из одного вида в другой. В изолированной струе в соответствии с принципом сохранения энергии сумма статического и кинетического давления является константой. Из уравнения Бернулли следует, что в критической точке 1 давление является полным (максимальным), однако скорость равняется нулю (в точке 2 ламинарное течение воздушного потока). Давление возможно определить по формуле (1).

$$P_0 = P + \frac{\rho V^2}{2}. \quad (1)$$

На рис. 8 представлено распределение ламинарного течения и торможения воздушного потока в точке А, расположенного на переднем крае тела.

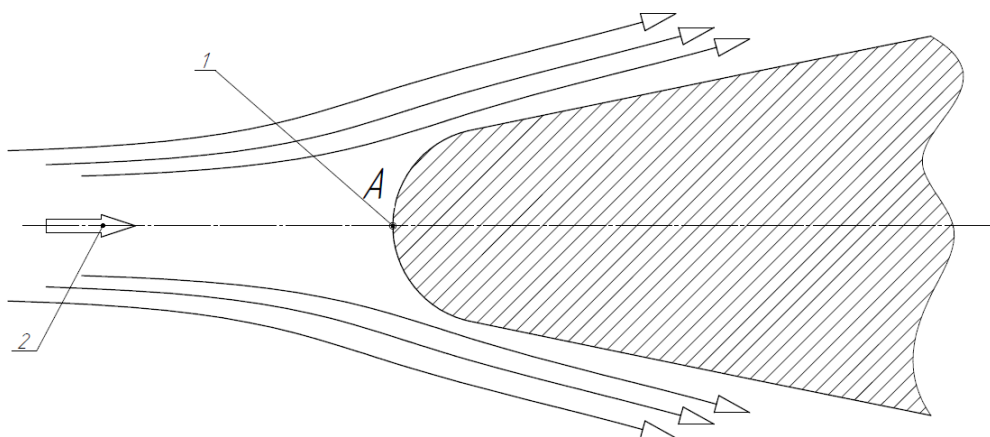


Рис. 8. Торможения воздушного потока

На рис. 9 представлено колесо с аэродинамическим обтекателем. График показывает, что в центральной части верхней тяги давления воздуха составляет 100 840 Па. При анализе кромки, аналогичной предыдущей, но без использования аэродинамических обтекателей, график демонстрирует схожие результаты по боковым поверхностям верхней тяги токоприемника. Однако в центральной части графика наблюдается увеличение давления до 101 080 Па, что свидетельствует о целесообразности применения обтекателя в практической деятельности на подвижном составе.

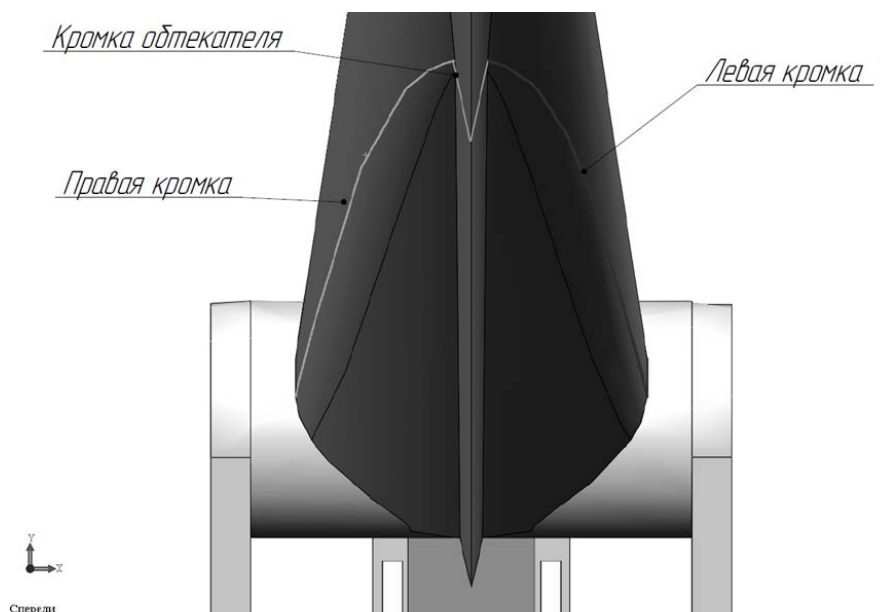


Рис. 9. Схематичное расположение кромок исследования

На рис. 10 построен график распределения давления по кромкам, представленным на рис. 9. Дальнейшее увеличение ширины аэродинамического обтекателя не привело к снижению давления при аналогичных условиях.

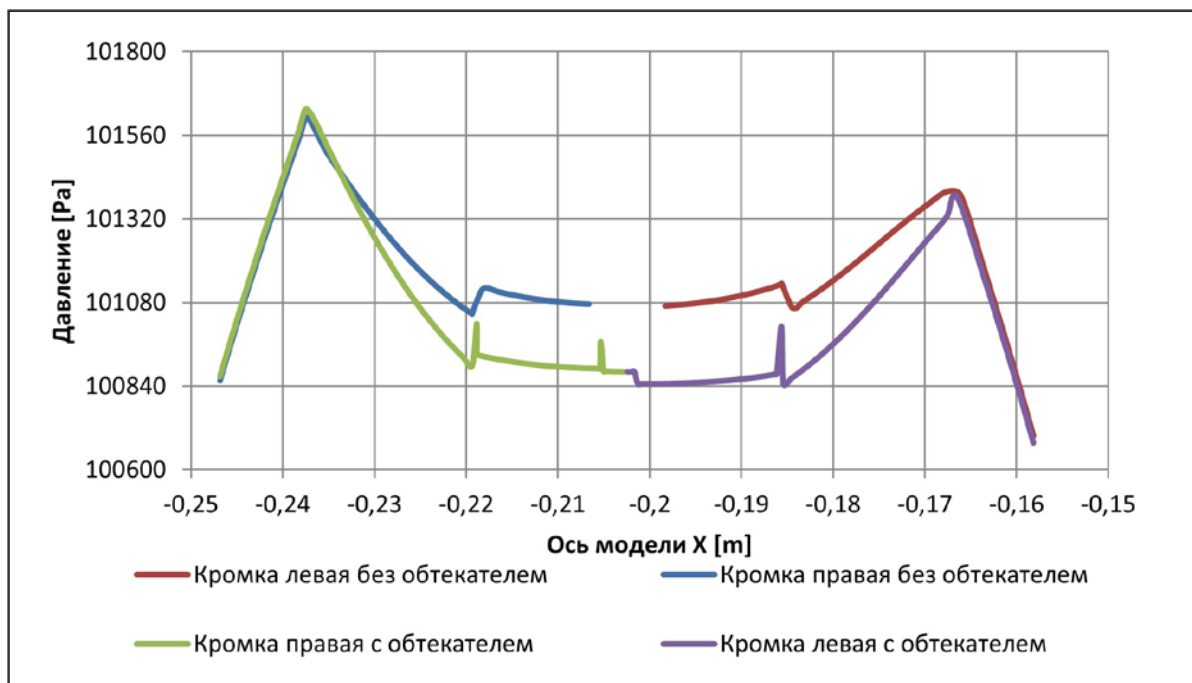


Рис. 10. График распределения давления по кромкам верхней тяги токоприемника

На основании представленных выше зависимостей и распределений турбулентности можно заключить, что применение аэродинамического обтекателя может способствовать снижению турбулентных явлений и давления, которые оказывают влияние на токосъем последующих токоприемников при эксплуатации моторвагонного подвижного состава (МВПС), где используется несколько токоприемников.

Полученные имитационные модели позволяют проводить исследования с целью уточнения аэродинамического взаимодействия в системе «подвижной состав — обтекатель — токоприемник — узлы и элементы контактной подвески», а также формулировать научно обоснованные рекомендации по компенсации перепадов давления воздушных масс у токоприемника для улучшения взаимодействия системы токосъема.

Библиографический список

1. Строительство ВСМ // Интернет-ресурс ТАСС. URL: https://tass.ru/ekonomika/18577385?utm_source=uxnews&utm_medium=desktop.
2. Высокоскоростное железнодорожное движение. Мировой опыт и перспективы в России: учебное пособие / В. А. Родченко, Д. С. Зандарашвили. М.: МГУПС (МИИТ), 2015. 116 с.
3. Повышение качества токосъема при высоких скоростях движения путем обеспечения рациональной аэродинамической характеристики токоприемника электроподвижного состава / А. Е. Чепурко. ОмГУПС, 2015. 178 с.
4. Каримов Д. Д. Снижение воздействия воздушного потока на токоприемное устройство скоростного поезда с помощью аэродинамического обтекателя // Известия ПГУПС. 2022. № 4. С. 793–799.
5. Маслов Г. П., Дятлова М. А. Аэродинамические показатели токоприемников скоростного электрического подвижного состава // Известия Транссиба. 2010. № 1.
6. Компьютерное моделирование и инженерный анализ в конструкторско-технологической подготовке производства: учебное пособие / С. В. Лукинских. М-во науки и высш. обр. РФ. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020. 168 с.
7. Инженерные расчеты в SolidWorksSimulation / А. А. Алямовский. М.: ДМК Пресс, 2019. 464 с.
8. Интернет-ресурс: <https://eva.tools/ps/elektrovozy/2es6/tokopriemnik-ta-160-3200-ta-09-se-t-160-elektrovoza-2es6/>.
9. Аэродинамика и самолетостроение: учеб. пособие / В. В. Бирюк и др. Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. 180 с.
10. Основы аэродинамики летательного аппарата: учеб. пособие / Ю. Н. Стариков, Е. Н. Коврижных. Ульяновск: УВАУ ГА, 2004. 151 с.

Дата поступления: 06.05.2024

Решение о публикации: 26.05.2024

Контактная информация:

ОНОФРИЙЧУК Андрей Дмитриевич — студент факультета «Автоматизация и интеллектуальные технологии»; 11lisov11@gmail.ru

ЖЕМЧУГОВ Валерий Григорьевич — доцент; zhem@mail.ru

Analysis of the impact of air deflectors on the aerodynamic characteristics of the current collector at increased speeds of movement

A. D. Onofriychuk, V. G. Zhemchugov

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

For citation: *Onofriychuk A. D., Zhemchugov V. G. Analysis of the impact of air deflectors on the aerodynamic characteristics of the current collector at increased speeds of movement // Bulletin of scientific research results. 2024. Iss. 2. P. 18–28. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2024-02-18-28*

Abstract

Objective: investigation of the aerodynamic interaction of the airflow and the pantograph, taking into account the uneven distribution of pressure on the side edges of the fairings.

Methods: the research was conducted based on a theoretical approach that defines the methods of air mass mechanics using mathematical modeling on a computer with the use of software products that include tools for calculating hydrodynamics based on the method of CFD analysis in the Flow Simulation module of the SolidWorks software.

Results: a solid-state model of the current collector with integrated air deflectors has been developed, which takes into account the interaction complex in the system “moving structure — deflector — current collector — nodes and elements of the contact suspension” in the context of aerodynamic resistance influence.

Practical importance: an innovative system has been developed to optimize the aerodynamic characteristics of the current collector during its motion in the air environment, an air deflector that contributes to reducing the negative impact of aerodynamic resistance, reducing the turbulence of air masses and improving the efficiency of current collection.

Keywords: contact network, current collector, current collector fairings, analysis of aerodynamic interaction from the speed of movement, interaction of the current collector with the contact network.

References:

1. Stroitel'stvo VSM//Internet-resurs TASS. — URL: https://tass.ru/ekonomika/18577385?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop. (In Russian)

2. Vysokoskorostnoe zheleznodorozhnoe dvizhenie. Mirovoj opyt i perspektivy v Rossii: uchebnoe posobie / V.A. Rodchenko, D.S. Zandarashvili. M.: MGUPS (MIIT), 2015. 116 s. (In Russian)
3. Povyshenie kachestva tokos#ema pri vysokih skorostyah dvizhenija putem obespechenija racional'noj ajerodinamicheskoy harakteristiki tokopriemnika jelektropodvizhnogo sostava / A. E. Chepurko. OmGUPS, 2015. 178 s. (In Russian)
4. Karimov D. D. Snizhenie vozdeystvija vozdušnogo potoka na tokopriemnoe ustrojstvo skorostnogo poezda s pomoshh'ju ajerodinamicheskogo obtekatelja // Izvestija PGUPS. 2022. № 4. S. 793–799. (In Russian)
5. Maslov G. P., Djatlova M. A. Ajerodinamicheskie pokazateli tokopriemnikov skorostnogo jelektricheskogo podvizhnogo sostava // Izvestija Transsiba. 2010. № 1. (In Russian)
6. Komp'juternoe modelirovanie i inzhenernyj analiz v konstruktorsko-tehnologicheskoy podgotovke proizvodstva: uchebnoe posobie / S.V. Lukinskih. M-vo nauki i vyssh. obr. RF. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2020. 168 s. (In Russian)
7. Inzhenernye raschety v SolidWorksSimulation / A.A. Aljamovskij. M.: DMK Press, 2019. 464 s. (In Russian)
8. Internet-resurs: <https://eva.tools/ps/elektrovozy/2es6/tokopriemnik-ta-160-3200-ta-09-set-160-elektrovoza-2es6/>. (In Russian)
9. Ajerodinamika i samoletostroenie: ucheb. posobie / V.V. Birjuk i dr. Samara: Izd-vo Samarskogo universiteta, 2018. 180 s. (In Russian)
10. Osnovy ajerodinamiki letatel'nogo apparata: ucheb. posobie / Ju. N. Starikov, E. N. Kovrizhnyh. Ul'janovsk: UVAU GA, 2004. 151 s. (In Russian)

Received: 06.05.2024

Accepted: 26.05.2024

Author's information:

Andrey D. ONOFRIYCHUK — Student; 11lisov11@gmail.ru

Valery G. ZHEMCHUGOV — Associate Professor; zhem@mail.ru