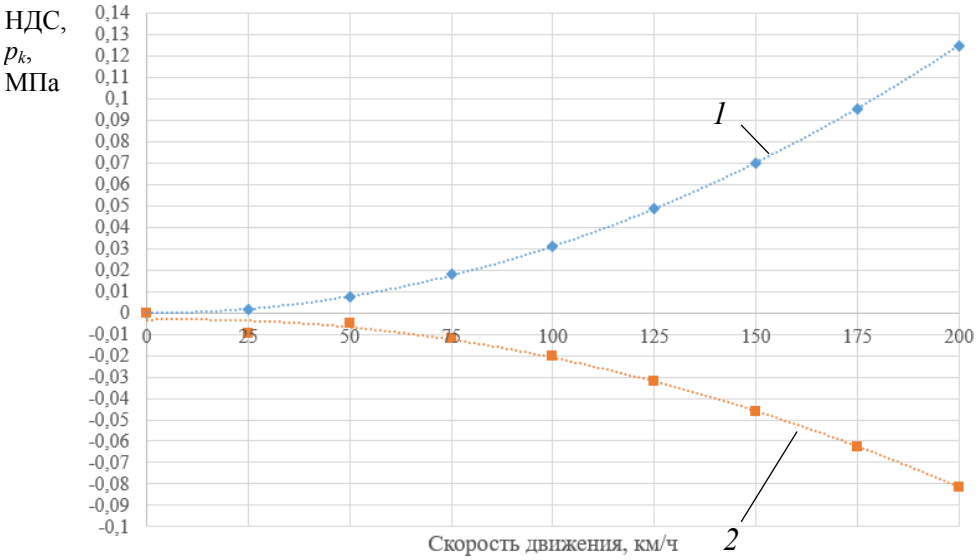


Рис. 2. Влияние скорости движения на НДС внутренних колец и прочность прессового соединения:
1 – НДС поверхности колец ($y = 0{,}000003x^2 - 0{,}000002x - 0{,}000037$);
2 – контактное давление в зоне сопряжения колец с осью ($y = -0{,}000002x^2 + 0{,}000036x - 0{,}003215$)

Следует отметить, что при принятых допущениях установленное снижение прочности не носит критического характера, однако влияние данного фактора необходимо учитывать при проведении дальнейших исследований с усложнением модели.

Литература

1. Оси колесных пар железнодорожного подвижного состава. Общие технические условия : ГОСТ 33200-2014. – Введ. 01.10.2016. – Москва : Науч.-исслед. ин-т ж.-д. трансп., 2014. – 50 с.
2. Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524) мм : РД ВНИИЖТ 27.05.01–2017 : утв. Советом по ж.-д. транспорту государств-участников Содружества 19–20 окт. 2017 г. № 67. – Введ. 01.01.2018. – Москва : НИИЖТ, 2018. – 253 с.
3. О контроле прочности соединений с гарантированным натягом колец подшипников с шейками осей колесных пар / И. Л. Чернин, Р. И. Чернин, Н. Г. Сенько, В. А. Руденок // Вестник Белорусского государственного университета транспорта. Наука и транспорт. – 2010. – № 1 (20). – С. 5–9.

УДК 533.6.011:004.94

ВЛИЯНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ НА РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБТЕКАНИЯ ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ВАГОНА

О. В. Демьянчук

Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Рассмотрено обтекание воздушным потоком железнодорожного вагона, моделируемого прямоугольным параллелепипедом. Приведены результаты компьютерного моделирования аэродинамики воздушного потока в программных комплексах ANSYS CFX и ANSYS FLUENT. Выполнено сравнение результатов определения давления потока воздуха на стен-

ки вагона и коэффициентов аэродинамического сопротивления для различных параметров граничных условий. Показано, что при моделировании обтекания воздушным потоком железнодорожного вагона возможно использование граничного условия открытой границы (Opening), а также жесткой стенки (Wall).

Ключевые слова: компьютерное моделирование, аэродинамика, граничные условия, аэродинамический коэффициент.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF BOUNDARY CONDITIONS ON THE RESULTS OF SIMULATION OF AIR FLOW MOVEMENT AROUND A CAR

V. U. Dzemyanchuk

Belarusian State University of Transport, Gomel

The air flow movement around a car modeled by a rectangular parallelepiped is considered. The results of computer modeling in the ANSYS CFX and ANSYS FLUENT software packages of air flow aerodynamics are given. The comparison of results of determining the air flow pressure on the car walls and the aerodynamic drag coefficients for various parameters of the boundary conditions is performed. It is shown that when modeling the air flow around a railway car, it is possible to use the boundary condition of an open boundary (Opening), as well as an rigid wall (Wall).

Keywords: computer modeling, aerodynamics, boundary conditions, aerodynamic coefficient.

В настоящее время для определения основного сопротивления движению железнодорожных вагонов, в том числе аэродинамического сопротивления, используются зависимости, полученные экспериментальным путем. Однако на сегодняшний день разработаны и эксплуатируются вагоны, особенности конструкции которых не учтены данными зависимостями, что требует дополнительных исследований. Высокая стоимость и сложность затрудняют проведение полномасштабных испытаний для определения ветровых нагрузок, а экспериментам на масштабируемых моделях в аэродинамической трубе необходима дополнительная обработка результатов для приведения их в соответствие с полномасштабными прототипами [1]. Получение достоверных аэродинамических характеристик вагонов возможно при использовании компьютерного моделирования аэродинамики железнодорожного подвижного состава, позволяющего обеспечить при сравнительно низких затратах быстрое получение результатов с высокой точностью [2]. Целью данной работы стал анализ влияния граничных условий на результаты компьютерного моделирования обтекания воздушным потоком железнодорожного вагона.

Моделирование обтекания воздушным потоком железнодорожного вагона выполнялось в программном комплексе ANSYS. Геометрическая модель, для создания которой использовалось приложение Design Modeler, включала упрощенную конструкцию полномасштабного крытого вагона в форме параллелепипеда и расчетную область, размеры которой установлены в ранее выполненных работах [3].

Генерирование расчетной сетки выполнялось с использованием метода «Hex Dominant Method», позволяющего строить сетки на основе гексаэдров. По результатам построения сетки количество элементов составило 700 тыс. ячеек при размере элемента 0,375 м и уменьшенном локальном размере в области вагона 0,187 м. Установлено, что дальнейшее измельчение сетки, вызывающее увеличение продолжительности расчета, не оказывает существенного влияния на точность получаемых результатов [3].

Моделирование течений жидкости и газа в применяемом программном комплексе возможно осуществлять с использованием широкого перечня модулей: Fluent, CFX, Icem CFD, TurboGrid и др. При выполнении моделирования обтекания воздушным потоком железнодорожного вагона применялись модули Fluid Flow CFX и Fluid Flow Fluent. Данные модули имеют близкий по содержанию функционал для решения задач гидродинамики и позволяют моделировать различные физические процессы газов и жидкостей.

Для замыкания осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье–Стокса, на основе решения которых выполнялось компьютерное моделирование, использована модель турбулентности *k*–ε. Данная модель представляет собой систему двух дифференциальных уравнений относительно кинетической энергии турбулентности *k* и скорости диссипации кинетической энергии ε.

При расчете используемые уравнения необходимо дополнить граничными условиями, задающими значения искомых параметров течения на границах расчетной области. Граничные условия классифицируются в зависимости от их типа и того, какие параметры заданы на границе. При моделировании нужно учитывать, что выбор параметров расчетной области и постановка граничных условий оказывают существенное влияние на получение достоверных результатов численного решения.

На первом этапе моделирование осуществлялось в модуле ANSYS CFX при следующих граничных условиях: постоянная скорость воздушного потока ($v = 10$ м/с) задавалась на входе (Inlet), давление ($p = 0$) – на выходе (Outlet). Условие открытой границы (Opening) при заданном значении давления $p = 0$ использовалось для боковых и верхней поверхностей расчетной области и предполагало, что воздух может втекать и вытекать из расчетной области. Непроницаемые границы для потока были заданы с использованием условия жесткой стенки (Wall) на поверхности вагона и нижней поверхности расчетной области, равенство нулю скорости потока на границе задано с помощью установки условия прилипания (No Slip Wall).

На следующем этапе с целью рассмотрения случая нахождения железнодорожного вагона не на открытом пространстве для боковых поверхностей расчетной области применялось условие жесткой стенки (Wall).

На рис. 1 приведены графики зависимости коэффициента аэродинамического сопротивления вагона от угла атаки воздушного потока в диапазоне от 0 до 40°.

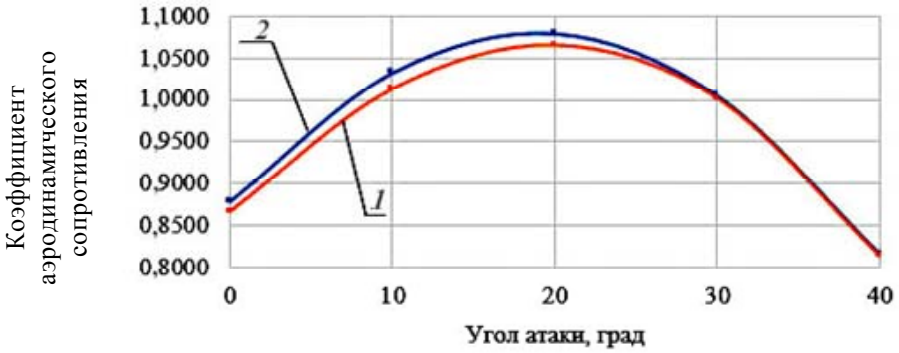
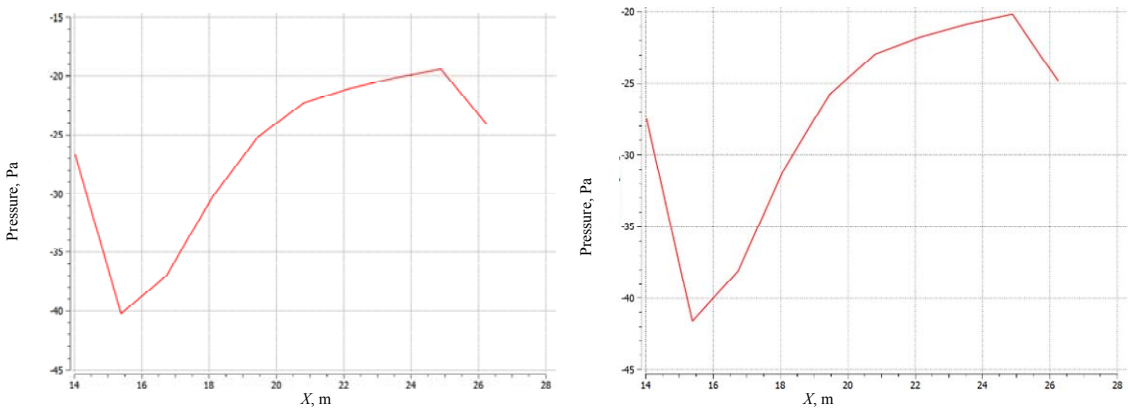


Рис. 1. Графики зависимости коэффициента аэродинамического сопротивления вагона от угла атаки воздушного потока:
1 – граничное условии Opening; *2* – граничное условие Wall

Из рис. 1 следует, что коэффициенты аэродинамического сопротивления для вариантов граничных условий на боковых стенках Opening и Wall отличаются незначительно. Значения при использовании граничного условия Wall превышают значения при граничном условии Opening не более чем на 2 %.

Анализ графиков распределения давления на лобовой поверхности вагона, соответствующих приведенным в ранее выполненных работах [3, 4], показал, что изменение граничных условий не оказывает существенного влияния на результаты расчета. Однако при величине угла атаки, равного 20°, использование граничного условия Wall вызывает увеличение значений давления на боковой поверхности вагона, что видно из представленных графиков (рис. 2).



а) *б*)

Рис. 2. Распределение давления на боковой поверхности вагона при значении угла атаки воздушного потока 20° при граничных условиях Opening (*а*) и Wall (*б*)

Также было выполнено аналогичное моделирование с использованием модуля Fluent, в котором для расчета применялся решатель Pressure-Based, разработанный для несжимаемых и слабо сжимаемых течений. Для решения были заданы граничные условия, аналогичные применяемым в модуле CFX, за исключением боковых и верхней поверхностей расчетной области, для которых задавалось условие жесткой стенки (Wall). Для сокращения продолжительности решения при моделировании был использован гибридный метод инициализации, который предполагает задание начальных данных всем расчетным величинам, а заданные граничные условия линейно интерполируются внутрь расчетной области. Моделирование выполнялось только для угла атаки, равного нулю градусов. Результаты моделирования показали, что значение коэффициента воздушного сопротивления превышает полученное с использованием модуля CFX на 7 %.

Таким образом, при моделировании обтекания воздушным потоком железнодорожного вагона возможно применение различных граничных условий, таких как Opening и Wall. Существенное различие в результатах моделирования наблюдается только для значений давления воздушного потока на боковой поверхности вагона. При использовании модуля Fluent для решения приведенной задачи значения коэффициента аэродинамического сопротивления увеличиваются на 7 % по сравнению со значениями, полученными в модуле CFX.

Литература

1. High-speed Rail Aerodynamic Assessment and Mitigation Report: technical report / P. Derkowski, S. Clark, R. Sturt [et al.]. – Washington : Transportation Technology Center, 2015. – 258 p.
2. Baker, C. J. A review of train aerodynamics. Part 1 – Fundamentals / C. J. Baker // The Aeronautical Journal. – 2014. – Vol. 118, iss. 1201. – P. 201–228. – DOI 10.1017/ S000192400000909X
3. Демьянчук, О. В. Моделирование обтекания потоком воздуха прямоугольного параллелепипеда / О. В. Демьянчук // Механика. Исследования и инновации. – 2023. – Вып. 16. – С. 64–72.
4. Шимановский, А. О. Аэродинамика модели железнодорожного грузового вагона при разных углах атаки воздушного потока / А. О. Шимановский, О. В. Демьянчук // Механика машин, механизмов и материалов. – 2024. – № 2 (67). – С. 23–29.

УДК 004.891:338.242

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ЦИФРОВИЗАЦИИ БИЗНЕС-ОПЕРАЦИЙ

О. Н. Сапарова, М. Ч. Курбансахатов

Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары

Рассмотрены ключевые аспекты использования искусственного интеллекта (ИИ) в процессе цифровизации бизнес-операций. Особое внимание уделено преимуществам, вызовам и перспективам внедрения ИИ в различных отраслях.

Ключевые слова: искусственный интеллект, цифровая трансформация, роботизация бизнес-процессов, анализ изображений.

PECULIARITIES OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DIGITALIZATION OF BUSINESS OPERATIONS

O. N. Saparova, M. Ch. Gurbansahedov

State Energy Institute of Turkmenistan, Mary

This paper discusses the key aspects of using artificial intelligence (AI) in the digitalization of business operations. Special attention is paid to the benefits, challenges and prospects of AI implementation in various industries.

Keywords: artificial intelligence, digital transformation, robotization of business processes, image analysis.

Цифровизация бизнес-операций представляет собой интеграцию цифровых технологий во все аспекты деятельности компании. Искусственный интеллект (ИИ) играет ключевую роль в этом процессе, обеспечивая автоматизацию, улучшение качества обслуживания клиентов и повышение эффективности.

Преимущества использования искусственного интеллекта включают:

1. ***Повышение эффективности***: искусственный интеллект позволяет автоматизировать рутинные задачи, что снижает затраты времени и ресурсов при цифровизации бизнес-операций. Это освобождает сотрудников от выполнения однообразных действий и дает возможность сосредоточиться на более сложных задачах, требующих творческого подхода. ИИ анализирует большие объемы данных и выявляет закономерности, что помогает принимать обоснованные решения и прогнозировать