МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ВАГОНОВ ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ

نمذجة تدفق الهواء حول السيارات

Демьянчук Ольга Владимировна
Аспирант
УО «БелГУТ»

Аннотация: *рассматривается обтекание воздушным потоком крытого вагона и вагона-хоппера. На основе расчетов в программном комплексе ANSYS CFX выполнено сравнение распределений давления на лобовой и боковой поверхностях транспортных средств. Получены значения коэффициента аэродинамического сопротивления рассматриваемых типов вагонов. Установлено, что аэродинамическое сопротивление движению вагона-хоппера выше по сравнению с крытым вагоном.*

Ключевые слова: *аэродинамика, воздушный поток, компьютерное моделирование, аэродинамический коэффициент*.

Научный руководитель

المشرف العلمي

Шимановский Александр Олегович
д.т.н, профессор, заведующий кафедрой «Техническая физика и теоретическая механика»
УО «БелГУТ»

أولجا فلاديميروفنا ديميانتشوك
طالبة دكتوراه في جامعة بيلاروسيا الحكومية للنقل

الخلاصة : يؤخذ في الاعتبار تدفق الهواء حول العربة المغطاة وعربة القادوس. بناءً على الحسابات في حزمة برامج ANSYS CFX، تم إجراء مقارنة بين توزيعات الضغط على الأسطح الأمامية والجانبية للمركبات. تم الحصول على قيم معامل السحب الديناميكي الهوائي لأنواع السيارات قيد الدراسة. لقد ثبت أن المقاومة الديناميكية الهوائية لحركة عربة القادوس أعلى من تلك الموجودة في عربة مغطاة.

الكلمات المفتاحية : الديناميكا الهوائية، تدفق الهواء، النمذجة الحاسوبية، معامل الديناميكا الهوائية.

أ.د. ألكسندر أوليجوفيتش شيمانوفسكي
برفسور، رئيس قسم الفيزياء التقنية والميكانيكا النظرية، بجامعة بيلاروسيا الحكومية للنقل

Введение

В настоящее время в связи с поступлением в эксплуатацию новых моделей железнодорожного подвижного состава существует необходимость определения сил сопротивления движению, в том числе аэродинамических сил, с учетом особенностей конструкции грузовых вагонов. Использование имеющихся в литературе формул для определения таких сил часто приводит к значительной погрешности. Большая часть исследований в данной области посвящена изучению аэродинамики высокоскоростных пассажирских поездов. В связи с необходимостью повышения энергоэффективности грузовых перевозок исследования, связанные с изучением аэродинамики грузовых поездов, имеют большое практическое значение[1].

المقدمة

في الوقت الحالي، فيما يتعلق بدخول نماذج جديدة من عربات السكك الحديدية حيز التشغيل، هناك حاجة لتحديد قوى مقاومة الحركة، بما في ذلك القوى الديناميكية الهوائية، مع الأخذ في الاعتبار ميزات تصميم عربات الشحن. إن استخدام الصيغ المتوفرة في الأدبيات لتحديد مثل هذه القوى يؤدي في كثير من الأحيان إلى أخطاء كبيرة. يخصص جزء كبير من الأبحاث في هذا المجال لدراسة الديناميكا الهوائية للقطارات عالية السرعة للركاب. نظرًا للحاجة إلى تحسين كفاءة الطاقة في نقل البضائع، فإن الأبحاث المتعلقة بدراسة الديناميكا الهوائية لقطارات الشحن لها أهمية عملية كبيرة [1].

Результаты и обсуждение

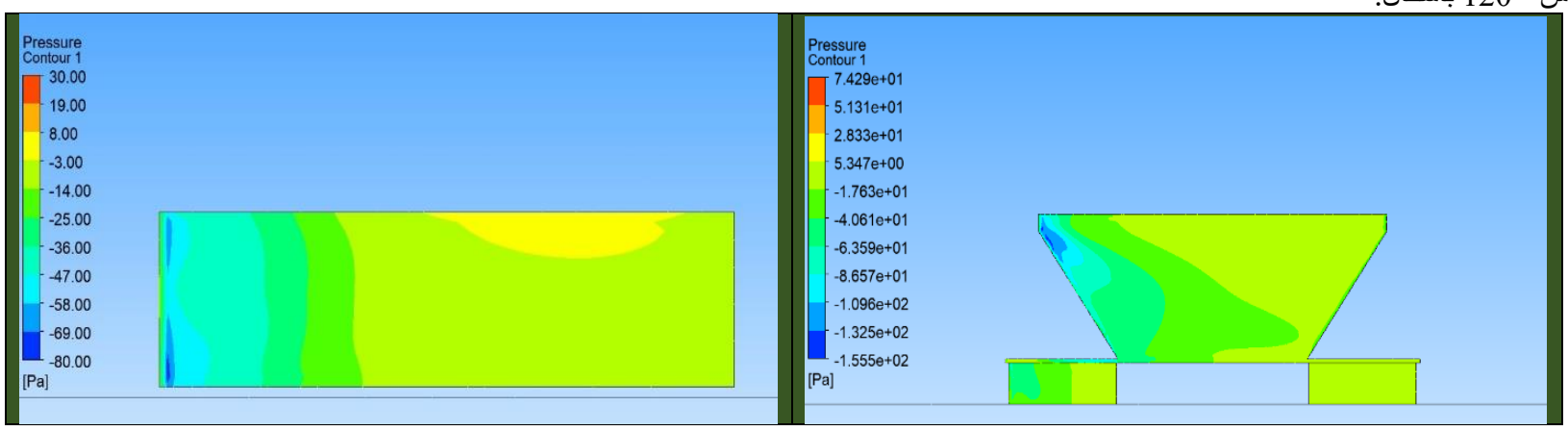
В программном комплексе ANSYS CFX выполнено моделирование обтекания воздушным потоком крытого вагона и вагона-хоппера упрощенной конструкции. Моделирование выполнялось при условиях, представленных в работе [2] (скорость воздушного потока составляла 10 м/с, давление на выходе – 0 Па). Стенки моделируемой расчетной области полагались проницаемыми. Численное решение выполнялось на основе решения системы дифференциальных уравнений неразрывности и изменения количества движения Навье–Стокса, осреднённых по Рейнольдсу, для замыкания которых использовалась модель турбулентности *k*–ε.

Моделирование показало, что в отличие от крытого вагона [3] для хоппера распределения давлений на поверхности вагона существенно различаются (рисунок 1). Максимальное значение давления на поверхности крытого вагона не превышает 70 Па, на поверхности вагона-хоппера – 120 Па.

النتائج والمناقشة

تم استخدام حزمة برامج ANSYS CFX لمحاكاة تدفق الهواء حول عربة مغطاة وعربة هوبر بتصميم مبسط. تم إجراء المحاكاة في ظل الظروف الموضحة في [2] (كانت سرعة تدفق الهواء 10 م / ث، وكان ضغط المخرج 0 باسكال). افترض أن جدران المجال الحسابي المحاكى قابلة للنفاذ. تم إجراء الحل العددي على أساس حل نظام المعادلات التفاضلية للاستمرارية والتغير في زخم تدفق نافير-ستوكس، مع حساب متوسطه على رينولدز، والذي تم استخدامه لإغلاق نموذج الاضطراب k-ε.

أظهرت النمذجة أنه على النقيض من العربة المغطاة [3]، بالنسبة لعربة القادوس، فإن توزيعات الضغط على سطح العربة تختلف بشكل كبير (الشكل 1). لا تتجاوز قيمة الضغط الأقصى على سطح العربة المغطاة 70 باسكال، وعلى سطح عربة القادوس - 120 باسكال.



а *б*

а- крытого вагона, б- вагона-хоппера
Рис 1- Распределение давлений на боковой поверхности

أ- عربة مغطاة، ب- عربة هوبر

الشكل 1 - توزيع الضغط على السطح الجانبي

На боковых поверхностях максимальные значения давления наблюдаются в верхней части наклонной стенки (на высоте около 4,2 м от основания вагона). На высотах 3 и 1,5 м от основания вагона изменение давлений происходит более плавно, причем максимумы давлений отличаются незначительно.

Коэффициенты аэродинамического сопротивления при направлении воздушного потока вдоль железнодорожного пути составляют для крытого вагона и вагона-хоппера 0,867 и 0,880 соответственно. Таким образом, аэродинамическое сопротивление движению вагонов-хопперов несколько выше по сравнению с крытыми вагонами. Полученные результаты согласуются с достаточной степенью точности с данными натурных испытаний вагонов [4].

على الأسطح الجانبية، يتم ملاحظة أقصى قيم الضغط في الجزء العلوي من الجدار المائل (على ارتفاع حوالي 4.2 متر من قاعدة السيارة). على ارتفاعات 3 و 1.5 متر من قاعدة السيارة، يحدث تغير الضغط بسلاسة أكبر، وتختلف أقصى قيم الضغط بشكل طفيف.

معاملات السحب الديناميكي الهوائي لعربة مغطاة وعربة هوبر عندما يتم توجيه تدفق الهواء على طول مسار السكة الحديدية هي 0.867 و 0.880 على التوالي. وبالتالي، تكون المقاومة الديناميكية الهوائية لحركة عربات القادوس أعلى إلى حد ما مقارنة بالعربات المغطاة. وتتفق النتائج التي تم الحصول عليها بدرجة كافية من الدقة مع بيانات الاختبارات الكاملة للعربات [4].

Заключение

Разработанная методика моделирования обтекания потоком воздуха железнодорожных вагонов различного типа позволяет выполнять анализ аэродинамических характеристик и для иных транспортных средств, в том числе эксплуатируемых на автомобильном транспорте.

الخاتمة

إن المنهجية المتطورة لنمذجة تدفق الهواء حول عربات السكك الحديدية من مختلف الأنواع تسمح بتحليل الخصائص الديناميكية الهوائية للمركبات الأخرى، بما في ذلك تلك المستخدمة في نقل السيارات.

Литература المراجع والمصادر

1. Effect of the formation type with different freight vehicles on the train aerodynamic performance / X. Huo [et al.] //Vehicle System Dynamics. – 2022. – Vol. 60, is. 11. – P. 3868-3896.
2. 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. – DOI: https://doi.org/10.46864/1995-0470-2024-2-67-23-29.
3. Демьянчук, О. В. Моделирование обтекания потоком воздуха прямоугольного параллелепипеда / О. В. Демьянчук // Механика. Исследования и инновации. – 2023. – Вып. 16. – С. 64–72.
4. Луговцов, М. Н. Проектирование сортировочных горок / М. Н. Луговцов, В. Я. Негрей. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 170 с.