

8. Shinkaruk A.S. Technical Preparation for Scheduled Preventive Maintenance of Double-Decker Rolling Stock / A.S. Shinkaruk // World of Transport and Transportation. – 2023. – Vol. 21. – Iss. 4. – P. 53-61.

9. Каммер, Р. Двухэтажные пассажирские вагоны железных дорог Германии / Р. Каммер // Железные дороги мира. – 2008. – № 12. – С. 34-39.

10. Kallee S.W. Trends in design and fabrication of rolling stock / S.W. Kallee, J. Davenport // European Railway Review. – 2007. – Vol. 1. – P. 75-79.

11. Галимова Ф.С. Анализ конструкций пассажирских вагонов увеличенной пассажировместимости / Ф.С. Галимова // Материалы третьей международной научно-технической конференции «Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы». – Т.: ТГТУ, 2024. – С. 103-118.

12. Рахимов Р.В. Новый пассажирский вагон купейного типа для железных дорог Узбекистана / Р.В. Рахимов // Известия ПГУПС. – 2010. – № 2. – С. 286-295.

13. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизированных вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – Введ. 01.10.1984. – М.: ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1983. – 260 с.

14. ГОСТ 34093-2017. Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Требования к прочности и динамическим качествам. – М.: Стандартинформ, 2017. – 45 с.

15. ГОСТ 33788-2016. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества. – М.: Стандартинформ, 2016. – 41 с.

УДК 629.4:004.94

ОСОБЕННОСТИ АЭРОДИНАМИКИ СЦЕПА ВАГОНОВ С РАЗМЕЩЕННЫМ ДЛИННОМЕРНЫМ ГРУЗОМ

М.Г. Гегедеш^{1,2}, А.В. Ворожун²

*¹Гомельский государственный технический университет имени
П.О. Сухого, г. Гомель, Республика Беларусь*

*²Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
Республика Беларусь*

***Аннотация.** Исследованы параметры обтекания воздушными потоками сцепа вагонов с размещенным длинномерным грузом с прикрытием и без прикрытия. Выполнено компьютерное моделирование влияния ветровых нагрузок, действующих на сцеп, на характер распределения воздушных потоков вокруг подвижного состава. Получены картины распределения давлений на наветренных и подветренных*

поверхностях подвижного состава, а также потоков воздуха относительно элементов подвижного состава и груза.

Ключевые слова: ветровые нагрузки, длинномерный груз, сцеп вагонов, компьютерное моделирование.

AERODYNAMIC FEATURES OF THE COUPLING OF CARRIAGES WITH LONG LOADS

M.G. Gegedesh^{1,2}, A.V. Vorozhun²

¹*Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Belarus*

²*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

Abstract. *The parameters of an air flow around the coupling of flatcars with a placed long cargo with and without cover cars are investigated. Computer modeling of the influence of wind loads acting on the coupling on the nature of air flow distribution around the rolling stock is performed. The pressure distribution patterns on the windward and leeward surfaces of the rolling stock, as well as air flows relative to the elements of the rolling stock and cargo are obtained.*

Keywords: *wind loads, long cargo, flatcar coupling, computer modeling.*

Под воздействием сильного ветра вагон испытывает дополнительные нагрузки на раму и тележки, что может привести к снижению устойчивости состава. Неровности поверхности вагона, стыки между вагонами, а также выступающие элементы оборудования создают зоны турбулентности и вихревые образования. Неправильное распределение аэродинамических сил при движении подвижного состава по мостам, эстакадам и открытым участкам пути с минимальными защитными барьерами способно привести к раскачиванию или даже сходу с рельсов, что требует разработки специальных систем стабилизации и усиления конструкции. Эффективное управление воздушными потоками вокруг подвижного состава позволяет снизить сопротивление воздуха, уменьшить энергозатраты и повысить безопасность движения.

До настоящего времени не установлено влияние взаимных скоростей и направлений перемещений подвижного состава и ветровых потоков на тягу поездов. В Правилах тяговых расчетов [1] представлены лишь коэффициенты для увеличения дополнительного сопротивления, учитывающие скорость ветра, но не угол между вектором скорости движения поезда и направлением ветра, что приводит к заниженным значениям ветровых нагрузок на отдельных участках пути.

Дополнительная ветровая нагрузка оказывает влияние на аэродинамическую составляющую сопротивления движению, а также ухудшает условия взаимодействия подвижного состава и

железнодорожного пути, дополнительно прижимая гребни колесных пар к внутреннему по отношению к действующему ветру рельсу, создавая дополнительное сопротивление в подшипниках качения [1, 2].

Расчет ветровых нагрузок, на основе которых определяются аэродинамические параметры транспортных средств, выполняются в аэродинамической трубе на масштабируемых моделях при неподвижной поверхности [3]. Однако результаты существенно зависят от изменяющихся погодных условий и характеризуются большим разбросом данных, которые требуют дополнительной обработки. Для проведения подобных испытаний необходимо использовать полномасштабные модели реальных объектов, изготовленные с применением положений теории аэродинамического подобия.

Оценку влияния воздушной среды, в том числе ветровых нагрузок, на грузовой поезд также возможно выполнить с применением специализированных пакетов программ инженерного анализа, реализующих CFD-моделирование (CFD – Computational Fluid Dynamics) [4-8], которое может обеспечить высокую детализацию при исследовании обтекания воздушным потоком железнодорожного подвижного состава.

Несмотря на достаточно большое число работ, в которых рассматривается действие воздушного потока вдоль оси пути или на боковые стенки кузова одиночного вагона, работ, посвященных аэродинамике сцепа вагонов, найти не удалось. Поэтому целью данной работы является исследование влияния ветровых нагрузок, действующих на сцеп вагонов с размещенным длинномерным грузом, на характер распределения воздушных потоков вокруг подвижного состава.

Моделирование аэродинамики воздушного потока выполнялось в программном комплексе ANSYS CFX. Объектами моделирования являются:

– упрощенная конструкция сцепа, состоящего из 4-осных универсальных платформ базой 9720 мм с размещенным длинномерным грузом (рисунок 1) без вагонов прикрытия;

– упрощенная конструкция сцепа, состоящего из 4-осных универсальных платформ базой 9720 мм с размещенным длинномерным грузом и 2-х крытых вагонов базой 10000 мм в качестве вагонов прикрытия (рисунок 2).

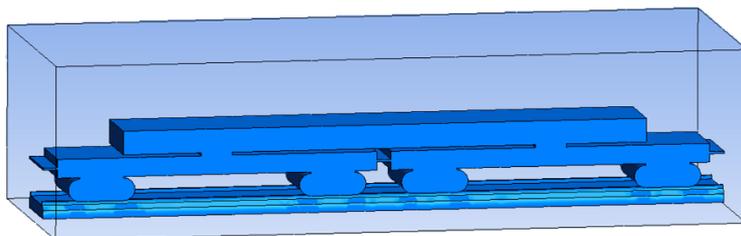


Рисунок 1 – Модель сцепа из двух четырехосных универсальных платформ с длинномерным грузом без вагонов прикрытия

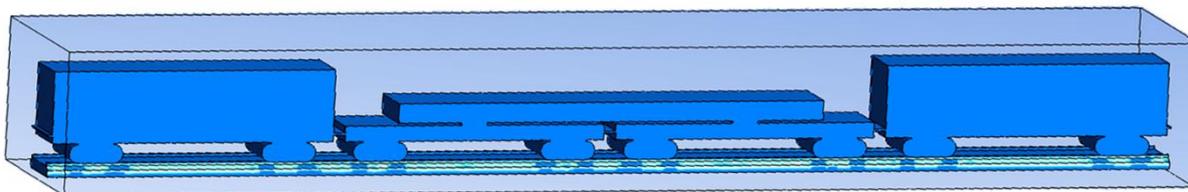


Рисунок 2 – Модель сцепа из двух четырехосных платформ с длинномерным грузом с универсальными крытыми вагонами в качестве вагонов прикрытия

В качестве граничных условий были использованы: на входе (Inlet) постоянная скорость воздушного потока $v = 29$ м/с, которая была зафиксирована как максимальная скорость ветра в 2024 году по Республике Беларусь. На выходе (Outlet) – давление $p = 0$. Для боковых и верхней поверхностей расчетной области задано условие открытой границы (Opening), предполагающее, что воздух может втекать и вытекать из расчетной области, причем значение давления на этой границе принято $p = 0$. На поверхности расчетной области (поверхности вагона) использовано условие жесткой стенки (Wall), связанное с наличием непроницаемых границ для потока, для которых дополнительно задано условие прилипания (No Slip Wall), что соответствует равенству нулю скорости потока на границе $u = 0$. Интенсивность турбулентности обратного потока была установлена равной 5 %.

Расчеты производились для случаев действия ветровой нагрузки только в поперечном по отношению в оси сцепа направлении (рисунки 3, 4), только в продольном (рисунки 5, 6), а также при изменении направления ветра на угол 45° по отношению к продольной и поперечной осям сцепа (рисунки 7-10).

При воздействии поперечно направленных потоков ветра на сцеп платформ без прикрытия (рисунок 3, б) наибольшее давление наблюдается на боковых стенках платформы и тележках, достигая 749,8 Па. При добавлении вагонов прикрытия (рисунок 5, б) значение давлений на элементах сцепа и груза практически не изменяется. При этом в области между платформой сцепа и вагоном прикрытия возникают потоки (рисунок 3, б), скорость которых в среднем на 12 % выше по сравнению со сцепом без прикрытия (рисунок 3, а).

Результаты расчетов показывают, что при изменении угла, под которым направлены силы ветра, сцеп без прикрытия (рисунок 8) и торцевая поверхность вагонов прикрытия испытывает неравномерную нагрузку, часть из которой перераспределяется и воздействует на сцеп с длинномерным грузом (рисунок 10). При этом образуются завихрения воздушных потоков, которые могут повлиять на устойчивость как длинномерного груза, так и сцепа и состава в целом.

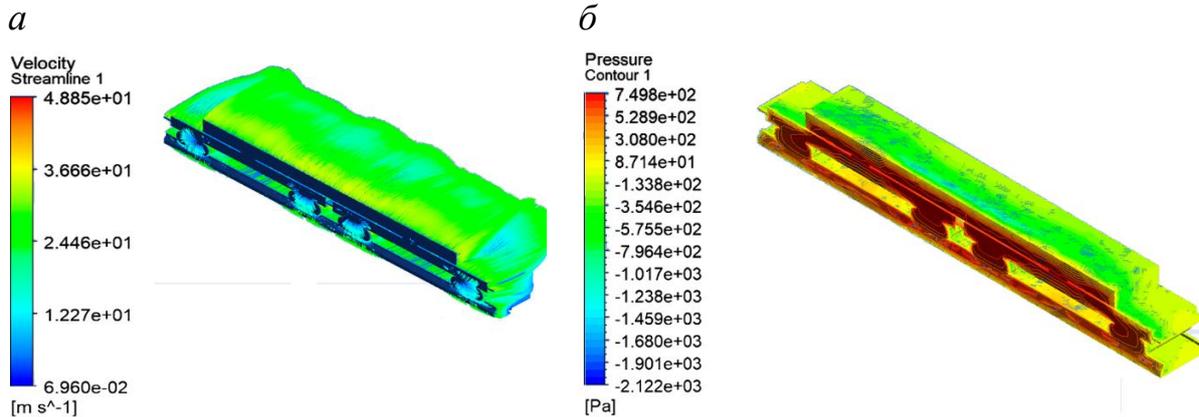


Рисунок 3 – Распределение воздушных потоков (а) и давлений (б) при действии ветровой нагрузки только в поперечном направлении на сцеп с длинномерным грузом без прикрытия

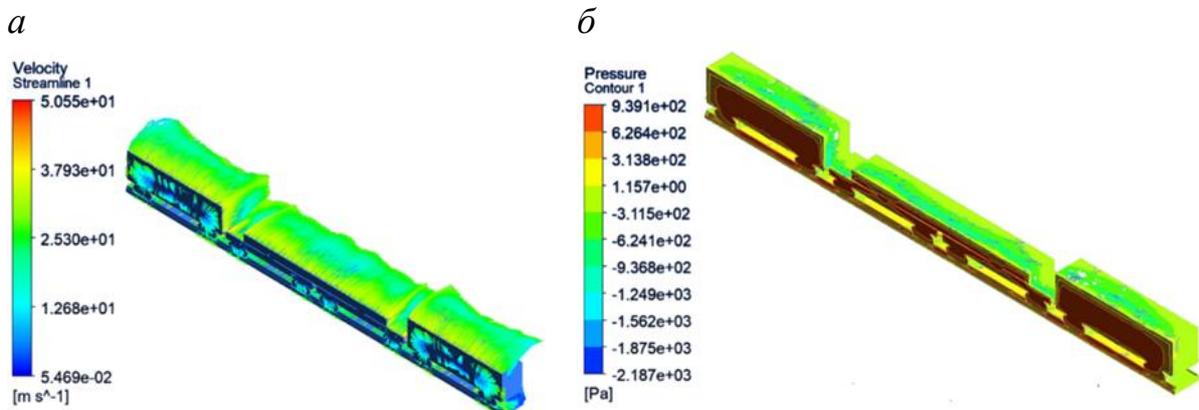


Рисунок 4 – Распределение воздушных потоков (а) и давлений (б) при действии ветровой нагрузки только в поперечном направлении на сцеп с длинномерным грузом с прикрытием их крытых вагонов

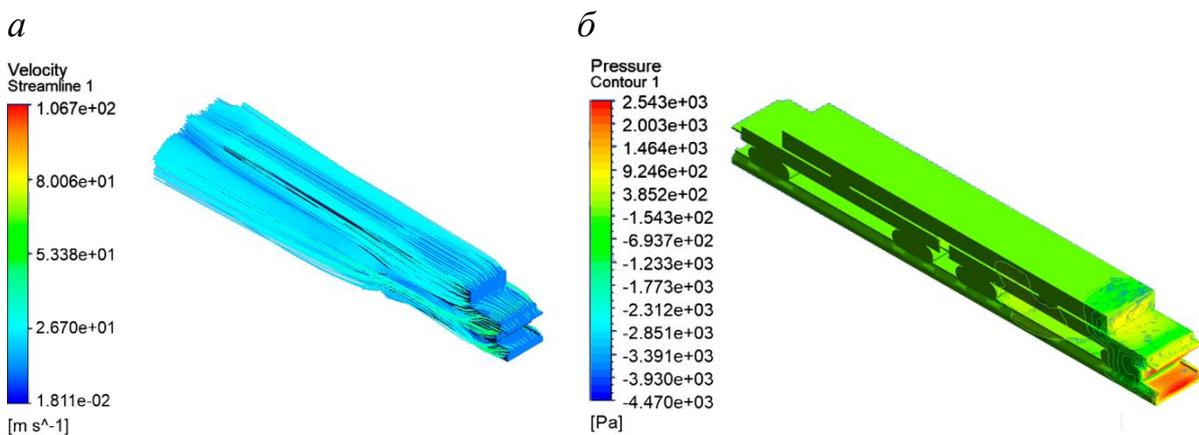


Рисунок 5 – Распределение воздушных потоков (а) и давлений (б) при действии ветровой нагрузки только в продольном направлении на сцеп с длинномерным грузом без прикрытия

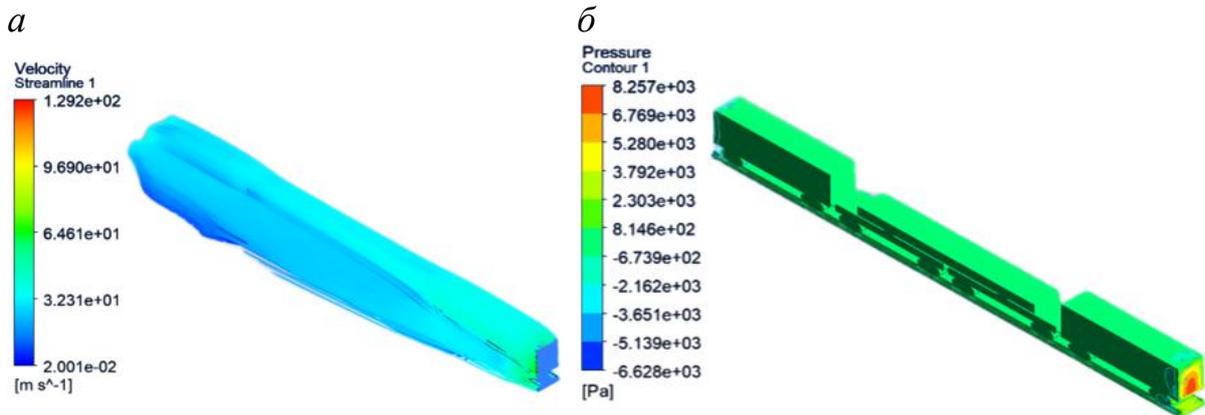


Рисунок 6 – Распределение воздушных потоков (а) и давлений (б) при действии ветровой нагрузки только в продольном направлении на сцеп с длинномерным грузом с прикрытием их крытых вагонов

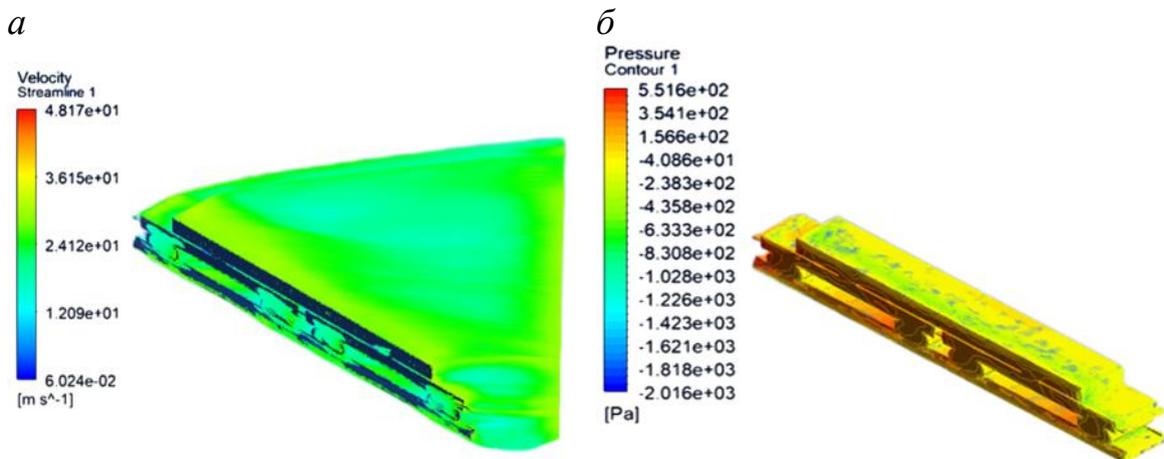


Рисунок 7 – Распределение воздушных потоков (а) и давлений (б) при действии ветровой нагрузки на сцеп с длинномерным грузом без прикрытия при направлении ветра под углом 45° к продольной и поперечной осям сцепа

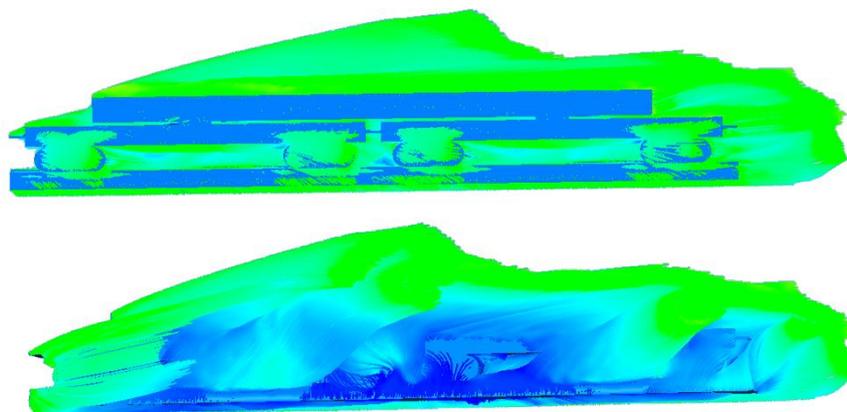


Рисунок 8 – Распределение воздушных потоков с наветренной и подветренной сторон при действии ветровой нагрузки на сцеп с длинномерным грузом без прикрытия при направлении ветра под углом 45° к продольной и поперечной осям сцепа

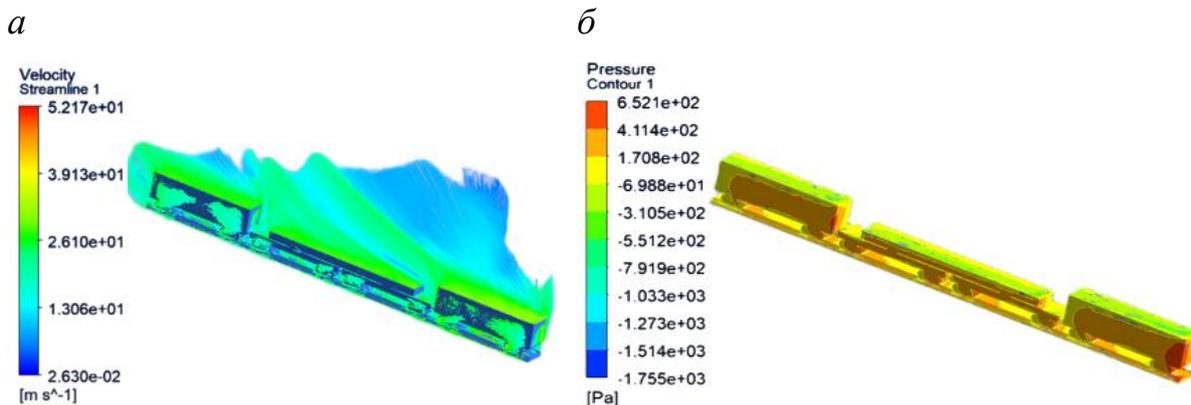


Рисунок 9 – Распределение воздушных потоков (а) и давлений (б) при действии ветровой нагрузки на сцеп с длинномерным грузом с прикрытием из крытых вагонов при направлении ветра под углом 45° к продольной и поперечной осям сцепа

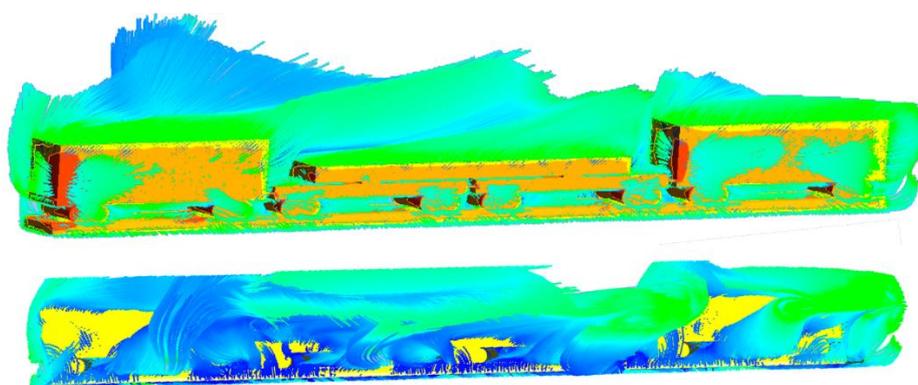


Рисунок 10 – Распределение воздушных потоков с наветренной и подветренной сторон при действии ветровой нагрузки на сцеп с длинномерным грузом с прикрытием из крытых вагонов при направлении ветра под углом 45° к продольной и поперечной осям сцепа

При изменении угла атаки потока ветра до 45° максимальное давление на сцеп с длинномерным грузом (рисунок 7, б) составляет 531 Па, что фиксируется на боковой части тележки и стенке платформы. В то же время максимальное давление для сцепа с длинномерным грузом и вагонами-прикрытиями (рисунок 9, б) составляет 380 Па. Скорость частиц воздушных потоков при угле атаки 45° превышают 42 м/с что в свою очередь на 1,55 раза превышают значения, полученные для продольного направления ветра.

При изменении угла атаки наблюдается синусоидальная форма завихрения, которая в свою очередь может вызвать неравномерные нагрузки на конструкцию подвижного состава, что может привести к возникновению вибраций и колебаний, а также синусоидальные завихрения могут влиять на устойчивость поезда, особенно при высоких скоростях движения поезда и перевозке несимметричных, негабаритных и имеющих сложную геометрию грузов. Нестабильные потоки воздуха могут вызывать отклонения от курса, что увеличивает риск аварийных ситуаций.

Список использованной литературы

1. Методические указания тяговых расчетов. – Введ. 11.11.2021, приказ № 949713. – Минск: 2021. – 275 с.
2. Чурков Н.А. Аэродинамика железнодорожного поезда: принципы конструирования подвижного состава, минимизирующие воздействия воздушной среды на железнодорожный поезд / Н.А. Чурков. – М.: Желдориздат, 2006. – 332 с.
3. Baker C. Cross-wind effects on road and rail vehicles / C. Baker et al. // Vehicle system dynamics. – 2009. – Vol. 47. – Iss. 8. – P. 983-1022. – DOI: 10.1080/00423110903078794.
4. Гребнев И.А. К оценке влияния ветровой нагрузки на грузовой поезд / И.А. Гребнев, О.Е. Пудовиков // Известия Транссиба. – 2022. – № 4 (52). – С. 13-22.
5. Алямовский А.А. Инженерные расчеты и SolidWorksSimulation / А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 464 с.
6. Baker C. A review of train aerodynamics Part 1–Fundamentals / C. Baker // The Aeronautical Journal. – 2014. – Vol. 118. – Iss. 1201. – P. 201-228. – DOI: 10.1017/S000192400000909X.
7. Ramlan I. Comparison between SolidWorks and Ansys flow simulation on aerodynamic studies / I. Ramlan, N. Darlis // Journal of Design for Sustainable and Environment. – 2020. – Vol. 2. – Iss. 1. – P. 1-9.
8. Демьянчук О.В. Влияние граничных условий на результаты моделирования обтекания воздушным потоком железнодорожного вагона / О.В. Демьянчук // Сборник научных трудов «Современные проблемы машиноведения». Ч. 1. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2025. – С. 113-117.

УДК 656.073

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЖИДКИХ ГРУЗОВ НА ПАРАМЕТРЫ ИХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ВО ФЛЕКСИТАНКАХ

М.Г. Гегедеш^{1,2}, А.А. Маркавцов^{2,3}

¹Гомельский государственный технический университет имени
П.О. Сухого, г. Гомель, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель,
Республика Беларусь

³Конструкторско-технический центр Белорусской железной дороги,
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе представлены результаты исследования влияния температуры жидких грузов на параметры их колебаний при