

рудованы линейными тепловыми извещателями, а дымовые пожарные извещатели установлены в следующих зонах: кабины машиниста, служебные помещения, пассажирский салон, туалеты, технические помещения и электрические шкафы. Система пожарной сигнализации в случае возникновения пожара подает сигнал (акустический и оптический) в рабочую кабину машиниста. При этом на дисплее системы диагностики отображается зона, где расположен сработавший извещатель. При обнаружении пожара в зонах, где находятся пассажиры и персонал, автоматически отключаются системы вентиляции и кондиционирования воздуха, а также происходит автоматическое закрытие противопожарных дверей вагона, где выявлен пожар. Система пожарной сигнализации в машинных отсеках и электрических шкафах заблокирована с системой аэрозольного пожаротушения.

Анализ пожарной безопасности электропоезда «Штадлер» новой модели показал, что принятые в проекте решения соответствуют всем нормативным требованиям для данного подвижного состава.

УДК 629.4:004.94

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СДВИГА ЛОКОМОТИВОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО СОСТАВА, РАЗМЕЩЕННОГО НА СТАЦИОННЫХ ПУТЯХ

*А. О. ШИМАНОВСКИЙ, О. В. ДЕМЬЯНЧУК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Вагоны и специальный подвижной состав, стоящие на станционных путях без локомотива, должны быть надежно закреплены от ухода. На железных дорогах Китая, стран СНГ, Северной Америки, а также Европы в качестве средств закрепления подвижного состава на станционных путях применяются тормозные башмаки [1–3]. Для определения необходимого количества тормозных башмаков для закрепления подвижного состава на станционных путях станций Белорусской железной дороги используются Методические рекомендации по расчету норм закрепления подвижного состава тормозными башмаками, соответствующие требованиям Правил технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь и Инструкции по движению поездов и маневровой работе на железнодорожном транспорте в Республике Беларусь.

На станции Орша-Центральная научно-исследовательской лабораторией «Управление перевозочным процессом» БелГУТа были проведены испытания соответствия удерживающих сил, возникающих при закреплении подвижного состава тормозными башмаками, и влияющих факторов и условий для исключения возможности самопроизвольного ухода вагонов. Однако не все результаты испытаний удается адекватно описать с помощью простых аналитических моделей, что связано с неполнотой учета механических характеристик вагонов. Ранее нами выполнено моделирование наезда одной колесной пары на тормозные башмаки [4]. В представленной работе предлагается компьютерная модель, предназначенная для оценки динамики железнодорожного состава, сдвигаемого локомотивом при установленных тормозных башмаках.

При установке состава поезда на станционном пути, который состоит из участков с разными значениями уклона продольного профиля, изменяется сдвигающая сила, действующая на отдельные вагоны. Таким образом, динамическое уравнение движения состава имеет вид

$$\sum_{i=1}^n m_i a_i = m_i g \sin \alpha_j - W_i \pm R_i + T_i - T_{i+1}, \quad (1)$$

где  $m_i$  – масса брутто  $i$ -го вагона;  $a_i$  – его ускорение;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\alpha_j$  – уклон  $j$ -го участка пути;  $R_i$  – сила ветра;  $W_i$  – сила сопротивления движению;  $T_i$  и  $T_{i+1}$  – сила реакции межвагонных связей.

В среде программного комплекса MSC.ADAMS на основе данного уравнения разработана соответствующая проведенным натурным испытаниям модель железнодорожного состава, состоящего из 10 груженых и порожних вагонов различного типа (полувагоны, хопперы и цистерны), который расположен на станционном пути с переменным профилем (уклоны участков 3,1 и 2,8 ‰). Ее внешний вид представлен на рисунке 1. При расчете сил сопротивления с учетом работы [5] коэффициент трения между башмаком и колесной парой при сухих рельсах принят равным 0,25.

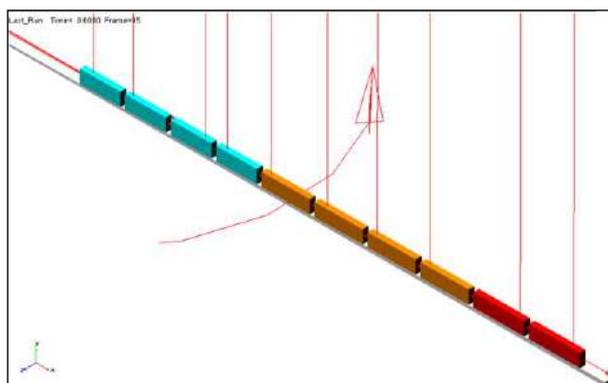


Рисунок 1 – Модель железнодорожного состава в среде MSC.ADAMS

В начале моделирования возникла необходимость обеспечить нахождение положения равновесия системы. Его автоматический поиск осуществить не удалось, что связано с наличием сил трения покоя. Поэтому к одному из вагонов состава была приложена сила, изменяющая свое значение от величины, которая необходима для удержания рассматриваемого состава на пути при отсутствии трения, до нуля, что обеспечивало получение координат вагонов и сил в автосцепках, соответствующих реальным условиям. Затем предполагалась выдержка состава без приложения дополнительных нагрузок с целью затухания продольных колебаний вагонов. Численные эксперименты показали, что длительность такой выдержки должна составлять не менее 10 с.

Третья стадия приложения нагрузок соответствовала сжатию состава с целью нахождения сил, необходимых для смещения состава вместе с удерживающими башмаками. На рисунке 2 представлен пример получающихся зависимостей скорости вагонов от времени.

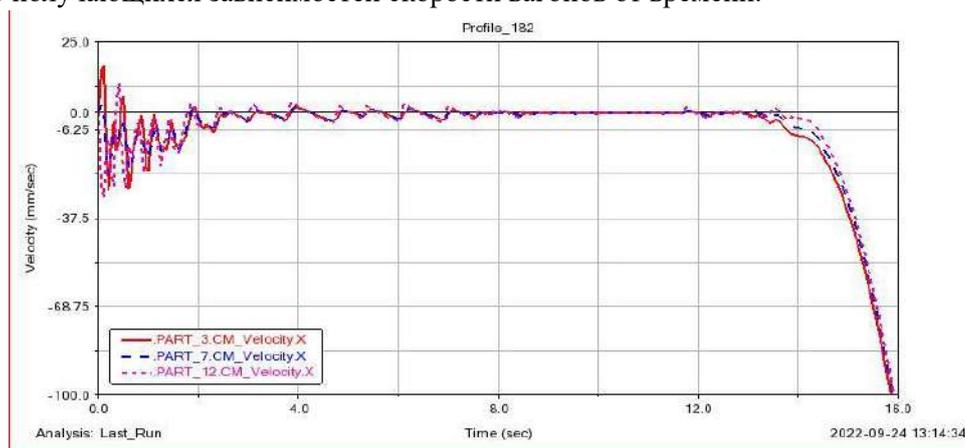


Рисунок 2 – Зависимости скоростей вагонов состава от времени

Результаты моделирования показали, что изменение коэффициентов жесткости автосцепок практически не оказывает влияния на сдвиг состава. Основными параметрами, влияющими на способность тормозных башмаков удержать состав, являются коэффициент трения и сила ветра.

Также установлено, что остановка состава при заданных параметрах моделирования, соответствующих отсутствию ветра, возможна только при укладке трех тормозных башмаков под груженные вагоны. При укладке одного тормозного башмака под груженный вагон остановка возможна только при увеличении коэффициента трения до 0,70.

Предполагается, что разработанная модель позволит установить возможные причины значительного разброса результатов, полученных в результате экспериментов.

#### Список литературы

- 1 Пасичный, А. Н. Обзор современных технических средств для закрепления подвижного состава на станционных путях / А. Н. Пасичный // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2013. – № 2. – С. 80–85.
- 2 Technical Bulletin MP&E 10-01, Enforcement Guidance Regarding Securement of Equipment with Title 49 Code of Federal Regulations Section 232.103(n) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://railroads.dot.gov/sites/fra.dot.gov/files/fra\\_net/1052/MP&E1001.pdf](https://railroads.dot.gov/sites/fra.dot.gov/files/fra_net/1052/MP&E1001.pdf). – Дата доступа : 05.10.2021.

3 Anti-Runaway Prevention System with Wireless Sensors for Intelligent Track Skates at Railway Stations / С. Jiang [et al.] // Sensors. – 2017. – Vol. 17, is. 12. – Article 2955. – P. 12.

4 Шимановский, А. О. Компьютерное моделирование динамики взаимодействия колесных пар вагонов с тормозными башмаками / А. О. Шимановский, М. Г. Кузнецова, О. В. Демьянчук // Механика машин, механизмов и материалов. – 2021. – № 4 (57). – С. 48–55.

5 Экспериментальные исследования характеристик сцепления в контакте «колесо-рельс» при наличии промежуточной среды / А. И. Костюкевич [и др.] // Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ»: сб. науч. тр. Темат. вып. : Автомобиле- и тракторостроение. – 2011. – № 56. – С. 56–62.

УДК 539.3:4

## ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ЦЕЛЬНОКАТАНЫХ КОЛЕС С КОНИЧЕСКИМИ ДИСКАМИ И УЧЕТОМ ОСТАТОЧНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

К. С. ШОКУЧКОРОВ, Р. В. РАХИМОВ, Я. О. РУЗМЕТОВ, Ш. Б. ДЖАББАРОВ, С. Г. ИНАГАМОВ  
Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Причинами появления усталостных трещин в дисковой части колес служат неравномерный прокат или ползун на поверхности катания, создающие повышенные динамические нагрузки на дисковую часть колеса, усталость металла и внутренние остаточные напряжения, образовавшиеся в результате изготовления.

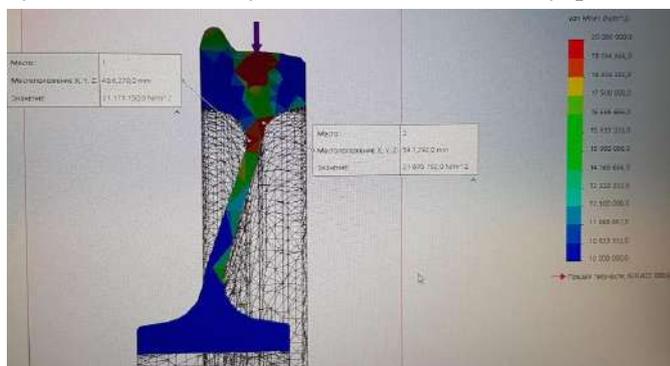


Рисунок 1 – Объекты анализа (исследования)

Объект для расчета в состоянии поставки с завода изготовителя (рисунок 1) – колесо цельнокатаное с плоскоконическим диском, диаметром по кругу катания 957 мм, изготовленное по ГОСТ 10791–2011, сталь марки 2.

Отметим, что в нормативах [1, 2] расчет прочности колес грузовых и пассажирских вагонов выполняется с учетом различных значений толщины ободьев (в результате обточек после определенного пробега), а также вероятного появления ползунов на поверхности катания или неравномерного проката.

Таблица 1 – Напряжения Мизеса в расчетной зоне колеса, возникающие за срок службы

Номер блока нагрузок $j$	Состояние вагона	Действующие нагрузки, кН	Доля движения $\lambda$	Среднее напряжение Мизеса $\bar{\sigma}$ в расчетной зоне колеса при $n$ обточке, МПа				
				$n = 0$	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$
1	Груженое	$\bar{P} = 142,8$	0,2514	45	50	55	57	60
2		$\bar{P}_2 = 196,9$	0,045	55	60	65	72	77
3		$\bar{P}_3 = 273,8$	0,0036	75	85	90	100	110
4	Порожнее	$\bar{P}_1 = 37,3$	0,1676	10	11	12	15	16
5		$\bar{P}_2 = 51,4$	0,03	15	18	19	21	22
6		$\bar{P}_3 = 182,7$	0,0024	50	55	60	70	75
7	Груженое	$\bar{P}_1 = 142,8$ $Q = 21,7$	0,2514	48	53	60	64	69
8		$\bar{P}_2 = 196,9$ $Q = 21,7$	0,045	60	70	78	82	92
9		$\bar{P}_3 = 273,8$ $Q = 21,7$	0,0036	80	90	100	110	120
10	Порожнее	$\bar{P}_1 = 37,3$ $Q = 5,67$	0,1676	10	12	15	17	18
11		$\bar{P}_2 = 51,4$ $Q = 5,67$	0,03	15	19	21	22	24
12		$\bar{P}_3 = 182,7$ $Q = 5,67$	0,0024	55	60	67	73	76

Примечание –  $\bar{P}_1$  – для колеса без дефекта на поверхности катания;  $\bar{P}_2$  – для колеса с ползуном;  $\bar{P}_3$  – для колеса с неравномерным прокатом.