

В качестве расчетной модели принят сплошной тормозной диск с толщиной 20 мм и наружным диаметром 260 мм, находящийся в контакте с тормозной колодкой, которая касается диска полусферической поверхностью радиусом 15 мм. Материал модели – нержавеющая сталь с модулем упругости 200 ГПа, коэффициентом Пуассона 0,3. При создании конечноэлементной сетки использовался тетраэдральный 10-узловой элемент – SOLID187. В контактной паре «поверхность – поверхность» целевой поверхностью являлась дорожка контакта на сплошном диске, контактной – колодка. При моделировании закрепления диска запрещалось перемещение его продольной оси симметрии. К торцевой поверхности колодки было приложено равномерно распределенное давление.

Выполнен анализ влияния настроек свойств контактных пар на сходимость конечноэлементного решения задачи. Для контактных элементов «поверхность – поверхность» использован модифицированный метод Лагранжа, который по сравнению с методом «штрафов» приводит к лучшим результатам и менее чувствителен к величине коэффициента контактной жесткости. Проверено влияние на время расчета множителя FTOLN, который базируется на толщине элемента и указывает допустимое максимальное проникновение. Если программа определяет большее проникновение, чем это допускается, то глобальное решение считается несошедшимся, даже если остающиеся приращения сил и перемещений удовлетворяют критерию сходимости.

Все контактные задачи требуют задания жесткости между двумя контактными поверхностями. Очень высокое значение жесткости может привести к плохому состоянию матрицы жесткости и к трудностям сходимости. ANSYS по умолчанию вычисляет контактную жесткость, базируясь на свойствах материалов подстилающих элементов. Проведено изменение скалярного коэффициента FKN (абсолютное значение контактной жесткости) в интервале 0,01–10.

Численный эксперимент продемонстрировал, что лучше несколько недооценить абсолютное значение контактной жесткости, чем взять его слишком большим, так как проблемы с большим внедрением, вытекающие из низкой жесткости, легче решаются, чем трудности со сходимостью, которые вытекают из высокой твердости. С другой стороны при слишком больших внедрениях FKN следует увеличить, а FTOLN уменьшить. При больших значениях приложенного к колодке давления встречались ситуации, при которых глобальная сходимость требовала большого числа равновесных итераций для достижения заданных допусков сходимости остаточных сил и приращений перемещений. В таких случаях полезно было уменьшить FKN.

Проведенные расчеты позволили установить диапазон значений параметров настроек, при которых обеспечивается сходимость решения рассматриваемой контактной задачи. Полученные результаты дали возможность выработки рекомендаций по ускорению расчета контактного взаимодействия деталей дисковых тормозов транспортных средств.

УДК 629.421.2.62-592

ТОРМОЗНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГРУЗОВОГО ПОЕЗДА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДАХ РАСЧЕТА

А. М. ЯЦКОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Основной парк грузовых вагонов сети железных дорог оборудован композиционными тормозными колодками. Однако для оценки эффективности тормозов в эксплуатации в нормативных документах для различных типов вагонов приведены величины расчетных сил нажатия на ось композиционных колодок в пересчете на чугунные. При использовании этих значений сил нажатия в тормозных расчетах коэффициент трения также необходимо принимать для чугунных колодок. Известно, что зависимости коэффициентов трения для композиционных и для чугунных колодок в зависимости от скорости различны, а значит и значения длины тормозного пути при различных методах расчета будут различаться. Коэффициент трения чугунных колодок в большей степени уменьшается при снижении скорости движения.

Произведем тормозные расчеты двумя способами – по расчетным силам нажатия на ось композиционных колодок и по расчетным силам нажатия на ось композиционных колодок в пересчете на чугунные. По результатам вычислений построим кривые торможения. Для расчетов принимаем условный поезд, состоящий из 70 вагонов с тепловозом 2ТЭ116. Тепловоз имеет массу 274 т, 12 ва-

тормозных осей и расчетное нажатие чугунных тормозных колодок на ось 50 кН. Данные о составе поезда приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные о составе поезда

Количество вагонов	Масса, т	Расчетное нажатие на ось, кН *	
		в пересчете на чугунные колодки	композиционных колодок
20	22	35	17,5
5	40	35	17,5
45	90	70	30

* Силы нажатия взяты из справочника по тяговым расчетам.

Если представить поезд как материальную точку, то по второму закону Ньютона ускорение данной точки

$$a = \frac{F}{m}, \quad (1)$$

где F – сила, приложенная к точке, кН; m – масса точки, т.

Сила, приложенная к точке,

$$F = F_k - W, \quad (2)$$

где F_k – сила тяги локомотива, кН; W – общее сопротивление движению поезда, кН.

Масса точки

$$m = P + Q, \quad (3)$$

где P – масса локомотива, т; Q – масса состава, т.

Общее сопротивление движению поезда

$$W = W_n - W_b - W_i - B_r, \quad (4)$$

где W_n , W_b – основное сопротивление движению локомотива и вагонов, кН; W_i – сопротивление от уклона, кН; B_r – тормозная сила, кН.

Исходя из того, что ускорение a – это первая производная скорости v по времени t , а скорость v – это первая производная пути s по времени t , а также с учетом инерции вращающихся масс поезда и формул (1)–(4), получаем систему дифференциальных уравнений движения поезда

$$\begin{cases} \frac{dv}{ds} = \frac{1}{v} \cdot \frac{F}{(Q+P) \cdot (1+\gamma)}; \\ \frac{dt}{ds} = \frac{1}{v}, \end{cases} \quad (5)$$

где γ – коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся масс.

Существует множество численных методов решения системы дифференциальных уравнений вида (5): Эйлера, Рунге-Кутта, Адамса, линейной аппроксимации производной и др. Проведя сравнительный анализ этих методов, был сделан вывод о том, что наиболее точным для проведения тормозных расчетов является метод Рунге-Кутта. График зависимости скорости от пройденного пути $v = f(s)$ на уклоне пути 6 ‰ представлен на рисунке 1.

Как видно из графика, тормозной путь с начальной скорости торможения 90 км/ч при использовании расчетных сил нажатия композиционных колодок на 146 м (что составляет 10,8 %) короче, чем при использовании сил нажатия в пересчете на чугунные колодки.

Также расчеты показали, что на низких скоростях (до 50 км/ч) тормозной путь, определенный по расчетным силам нажатия в пересчете на чугунные колодки, незначительно меньше, но при скорости более 50 км/ч тормозной путь короче при расчетах по силам нажатия композиционных колодок. Учитывая оснащенность грузового подвижного состава композиционными колодками, расчеты целесообразно производить по расчетным нажатиям без пересчета на чугунные колодки.

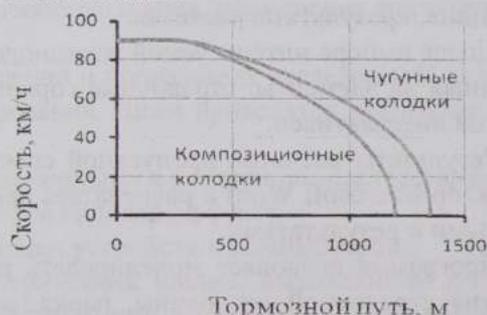


Рисунок 1 – Кривая торможения