

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ НА КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ КОНТАКТА

Ш. С. ФАЙЗИБАЕВ, Н. А. САМБОРСКАЯ, Ш. И. МАМАЕВ

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, Узбекистан

Ранее эти явления анализировались с использованием аналитических зависимостей теории контактных напряжений, базирующихся на исследованиях Герца [1, 2].

В данной статье предложены модели и аналитические зависимости для оценки импульсных контактных взаимодействий моделей двух упругих цилиндров [2, с. 602, 603], эквивалентных:

– колесу локомотива с радиусом кривизны R_k в вертикальной продольной плоскости его перекачивания по рельсам;

– головке рельса с радиусом кривизны R_p в вертикальной поперечной плоскости, перпендикулярной к первой.

Первый вариант решения этой задачи был выполнен в [3], новые данные включили следующие положения.

1 Для модели сжатого объема материала колеса уравнения в смешанных производных и соотношения теории наибольших относительных деформаций [3]

$$\frac{\gamma}{gE} \cdot \frac{\partial^2 U_0}{\partial t^2} - \beta \frac{\partial U_0}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 U_0}{\partial S^2} + \frac{\partial^2 U_0}{\partial y^2} \right) - \frac{\partial^2 U_0}{\partial z^2} = \frac{n_1}{ES_0} e^{-\beta z} \cos \frac{\pi S}{2a} \cos \frac{\pi y}{2b} \cos k\omega_c t, \quad (1)$$

где n_1 – амплитуда сил реакций основного материала колеса локомотива на модель ОС.

Решение этого уравнения было получено в виде

$$U_0(z, S, y, t) = U_0(z) \cos \frac{\pi S}{2a} \cos \frac{\pi y}{2b} \cos k\omega_c t \quad (2)$$

с функцией $U_0(z)$, удовлетворяющей краевым условиям

$$U_0(0) = U_0, \quad U_0'(0) = \frac{P_1}{S_0 E}, \quad U_0(h_k) = 0; \quad (3)$$

при дополнительном соотношении

$$U_2(h_k) = U_2(0) e^{-\beta_0 h_k}; \quad (4)$$

$$\frac{d^2 U_0}{dz^2} + \beta \frac{dU_0}{dz} + \lambda_0^2 U_0 = -n_1 e^{-\beta z}. \quad (5)$$

Решение однородного уравнения для (1) при $\frac{\partial^2 U_0}{\partial S^2} = \frac{\partial^2 U_0}{\partial y^2} = 0$ было получено в виде

$$U_{o1}(z) = \sum_{k=1}^n U_{ok} \cos \frac{\pi K z}{2h_k} \cos K\omega_c t \quad (6)$$

при $K\omega_c = \frac{K\pi U_{3в}}{2h_k}$ и $K = 1, 3, 5$.

Предварительные расчеты λ_0^2 для условий работы колесных пар локомотивов доказали устойчивость колебаний второй формы ($K = 3$) в виде

$$U_k \cos \frac{3\pi z}{2h_k} \cos \frac{3\pi U_{3в}}{2h_k} t, \quad U_k \cos \frac{3\pi z}{2h_k} \cos \frac{3\pi U_{3в}}{2h_k} t.$$

Поэтому была получена формула

$$\lambda_0^2 = \frac{\pi^2}{4} \left[\frac{9}{h_k^2} + \mu \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right) \right]. \quad (7)$$

Решение уравнения (5), выполненное методом операционного исчисления, было получено в виде

$$U_o(z) = -\frac{P_1 e^{-\beta_o z}}{\Psi_o S_o E} (tg \Psi_o h_k \cos \Psi_o z - \sin \Psi_o z) + \frac{n_1}{ES_o \lambda_o^2} \left[\frac{\cos \Psi_o z}{\cos \Psi_o h_k} \left(e^{-\beta_o h_k} + \frac{\beta_o}{\Psi_o} \sin \Psi_o h_k - \cos \Psi_o h_k \right) + \cos \Psi_o z - e^{-\beta_o z} - \frac{\beta_o}{\Psi_o} \sin \Psi_o z \right], \quad (8)$$

где $\Psi_o = \sqrt{\lambda_o^2 - \beta_o^2}$.

Для частного случая с $n_1 \neq 0$ условия (9) и (10) привели к уравнениям $\cos \Psi_o h_k = 1$ или $\Psi_o h_k = n2\pi$ ($n = 1, 2, 3 \dots$)

$$\mu \pi^2 h_k^2 \frac{a^2 + \sigma^2}{a^2 \sigma^2} = 7\pi + \ln [S_c(h_k) / S_o]^2$$

и формуле для расчета расстояния $Z = h_k$ до слоя модели ОС, которого достигают волны упругих деформаций сжатия,

$$h_k = a\sigma \sqrt{\frac{7\pi^2 + [\ln S_c(h_k) : S_o]^2}{\pi^2 \mu (a^2 + \sigma^2)}}. \quad (9)$$

2 Для модели ОС сжимаемого и сдвигаемого упругого стержня, нагружаемого одновременным воздействием вертикальных $P_1(P_c)$ сил и тяги $T_c(T_1)$ от колеса локомотива на рельсы. Такие условия нарушают симметрию импульсного цикла удельных давлений по координате S . Для оценки упругих деформаций сжатия и сдвига в материале моделей ОС использовались функции $U_c(Y, Z, S, t)$, $U_s(Y, Z, S, t)$ и уравнения в смешанных производных, учитывающие всестороннее сжатие материала этой модели

$$-\frac{\gamma}{gE} \cdot \frac{\partial^2 U_c}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 U_c}{\partial z^2} + \frac{\partial U_c}{\partial S^2} + \frac{\partial^2 U_c}{\partial y^2} = \frac{\pi P_1}{2h_k S_o E} \cos \frac{\pi y}{2\sigma} \sin \left(\frac{\pi z}{2h_k} + \frac{\pi U_{3B}}{2h_k} t \right) \cos \left(\frac{\pi S}{2l_k} + \frac{\pi U_{3C}}{2l_k} t \right); \quad (10)$$

$$-\frac{\gamma}{gG} \cdot \frac{\partial^2 U_s}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 U_s}{\partial z^2} + \frac{\partial U_s}{\partial S^2} + \frac{\partial^2 U_s}{\partial y^2} = \frac{T_1 \pi^2}{4l_k S_o G} \cos \frac{\pi y}{2\sigma} \sin \left(\frac{\pi z}{2h_k} + \frac{\pi U_{3B}}{2h_k} t \right) \cos \left(\frac{\pi S}{2l_k} + \frac{\pi U_{3C}}{2l_k} t \right), \quad (11)$$

где U_{3B} и U_{3C} – скорость движения волн упругих деформаций сдвига; $\pm l_k$ – расстояние по координате S от вектора P_1 до точек в материале модели ОС, нагружаемых волнами упругих деформаций сдвига, имеющих скорости движения U_{3C} .

Решения этих уравнений в [3] позволили получить формулы для расчетов:

$$h_k = \frac{4}{aC_1} \sqrt{\frac{G}{E}} \pm \sqrt{\frac{15}{4C_1} + \frac{16G}{a^2 C_1^2 E}}; \quad (12)$$

$$\text{при } C_1 = \frac{1}{a^2} \left(4 \frac{G}{E} + \frac{1}{4} \right) + \frac{1}{4\sigma^2}; \quad (13)$$

$$l_k = \frac{4}{h_k C_2} \sqrt{\frac{E}{G}} \pm \sqrt{\frac{16E}{h_k^2 C_2^2 G} + \frac{15}{4C_2}}; \quad (14)$$

$$C_2 = \frac{1}{h_k^2} \left(4 \frac{E}{G} - \frac{1}{4} \right) + \frac{1}{4\sigma^2}, \quad (15)$$

а также уравнения для определения коэффициентов форм колебаний с произведениями функций $\sin(A) \cos(B)$ и $\cos(A) \sin(B)$ из правых частей (10) и (11):

$$U_{c1} \left(\frac{3,75}{h_{k2}^2} - C_1 \right) + \frac{8U_{c2}}{h_{k2} a} \sqrt{\frac{G}{E}} = \frac{\pi^3 P_c}{32Eabh_k}, \quad \frac{8U_{c2}}{h_{k2} a} \sqrt{\frac{G}{E}} + U_{c2} \left(\frac{3,75}{h_{k2}^2} - C_1 \right) = 0; \quad (16)$$

$$U_{s1} \left(\frac{3,75}{l_{k2}^2} - C_2 \right) + \frac{8U_{s2}}{h_k l_{k2}} \sqrt{\frac{E}{G}} = \frac{\pi^3 T_c}{32Gl_k ab}, \quad \frac{8U_{s2}}{h_k l_{k2}} \sqrt{\frac{E}{G}} + U_{s2} \left(\frac{3,75}{l_{k2}^2} - C_2 \right) = 0. \quad (17)$$

При известных значениях h_k и l_k расчет параметров упругих колебаний и динамических напряжений материалов моделей ОС и ОС выполняется с использованием ЭВМ.

Заключение. 1 На основе теории колебаний предложены методы расчетного анализа моделей динамических взаимодействий контактирующих поверхностей при импульсном нагружении.

2 Показано, что упругие деформации в материале колес локомотивов при соударениях с рельсами достигают глубины 21–31,5 мм, а амплитуды динамических напряжений существенно превышают определяемые по формулам теории контактных напряжений.

Список литературы

1 Писаренко, Г. С. Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – Киев : Наукова думка, 1975. – 704 с.

2 Писаренко, Г. С. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – Киев : Наук. думка, 1971. – 369 с.

3 Глушенко, А. Д. Моделирование динамического нагружения в поверхностных слоях колесных пар локомотивов при соударении с рельсами / А. Д. Глушенко, Ш. С. Файзибаев, А. Н. Авдеева. – Ташкент : ФАН, 2000. – Проблемы механики. – № 2. – С. 45–49.

УДК 652.2

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА КРЕПЛЕНИЯ ГРУЗА В ВАГОНЕ НА ПРОЧНОСТЬ УПАКОВКИ

О. С. ЧАГАНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

При транспортировке железнодорожным транспортом грузы испытывают воздействие переменных нагрузок, которые обусловлены неравномерностью движения подвижного состава. Размещать и крепить тарно-упаковочные грузы в крытых вагонах необходимо с учетом обеспечения их сохранности, полного использования грузоподъемности или вместимости вагонов, безопасности движения поездов, производства маневровых и погрузочно-разгрузочных работ. В большинстве случаев упаковка штучных грузов не обладает высокой жесткостью, поэтому допускает относительную подвижность груза внутри грузового места. Вследствие движения вагонов и производства маневровых операций в элементах упаковки и вагона могут возникать напряжения и деформации, которые могут привести к несохранной перевозке груза.

В настоящее время наиболее часто при размещении груза в подвижном составе железных дорог колеи 1520 мм применяется крепление с помощью брусков и щитов. Такие стандартные средства крепления обладают высокой жесткостью. Из-за этого при действии динамических нагрузок, связанных с соударением вагонов при маневровой работе, возможно повреждение креплений и упаковки. Также нередки ситуации, при которых груз является жестким, а упаковка менее жесткой, вследствие того, что внутри нее имеются пустоты. В таких случаях может оказаться, что чрезмерные силы, действующие на упаковку со стороны средств крепления, приведут к повреждению упаковки и, как следствие, самого груза. В связи с этим выполнен анализ прочности упаковки груза, закрепленного в вагоне с помощью стандартных средств крепления, при соударении вагонов.

В среде программного комплекса MSC.ADAMS были разработаны компьютерные модели, описывающие динамику грузового места, включающего цилиндрические катушки, разделенные сепараторами и размещенные внутри картонной упаковки. Картонная коробка, в которой размещался груз, была промоделирована с помощью пружин. Рассматривались перемещения одного ряда грузов, лежащего в продольной вертикальной плоскости. Изучались модели с различным количеством грузов в горизонтальных рядах и разным количеством рядов. Установлено, что после удара максимальное смещение центра масс верхней катушки в рассматриваемой модели относительно поддона в продольном направлении может достигать 0,18 м. После ряда колебаний смещение катушки устанавливается на значении 0,1 м. Такое перемещение является слишком большим для сохранения целостности упаковки груза.

Также были определены значения сил, возникающих в упаковке штучного груза. Получено, что максимальное значение силы, которая действует в пружинах, описывающих упаковку груза, наблюдается в момент времени 0,1 с и равно 2,72 кН. Значительные амплитуды колебаний таких сил свидетельствуют о повышенных инерционных нагрузках, которые испытывают катушки, упа-