

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УПАКОВКИ МАССИВНЫХ ШТУЧНЫХ ГРУЗОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

*Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь*

При перевозке деталей машин железнодорожным транспортом их помещают в упаковку. По технологическим причинам часто невозможно осуществить жесткое крепление упаковочной тары к платформе (к полу вагона), а также грузов к упаковке. Сама упаковка также зачастую имеет высокую деформативность.

При соударении вагонов вследствие возникновения больших сил инерции грузов упаковка деформируется, а в некоторых случаях возможно ее повреждение. В связи с этим возникает необходимость определения параметров упаковки, при которых обеспечивается как сохранность грузов, так и целостность упаковки.

Как правило, при исследовании динамики системы «вагон – груз» используются расчетные схемы, в которых все тела системы являются абсолютно твердыми, а учет их взаимодействий осуществляется через введение связей между телами. Исследования показали, что в рассматриваемом случае этот подход не позволяет получить результаты, адекватно отражающие динамические процессы, проходящие в системе «вагон – груз» при соударении вагонов.

Поэтому для оценки принципиальной возможности оптимизации свойств упаковки рассмотрим расчетную схему, представленную на рис. 1. На ней цифрами 1 и 4 обозначены, соответственно, кузов вагона и перевозимый груз. С целью моделирования свойств упаковки она представлена в виде двух жестких тел 2 и 3 (аналогов поверхности упаковки), между которыми установлены упруго-вязкие связи, моделирующие деформативность упаковки.

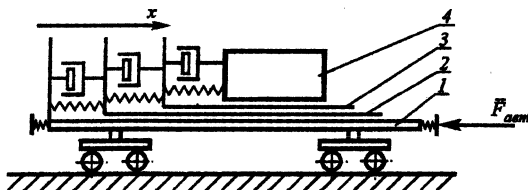


Рис.1. Расчетная схема вагона с грузом

Динамические уравнения движения каждого из тел системы имеют вид:

$$m_1 a_1 = F_{1-2} - F_{ам1}; \quad (1)$$

$$m_2 a_2 = F_{2-3} - F_{1-2}; \quad (2)$$

$$m_3 a_3 = F_{3-4} - F_{2-3}; \quad (3)$$

$$m_4 a_4 = -F_{3-4}, \quad (4)$$

где m_i , a_i – массы и ускорения каждого тела системы; $F_{амi}$ – сила, действующая на вагон со стороны автосцепки; F_{i-j} – внутренние силы взаимодействия тел с номерами i и j .

Сила, возникающая в автосцепке, определяется формулой [1]

$$F_{ам} = \frac{c\psi(\Delta x + x_0)}{C}$$

где c – коэффициент жесткости комплекта пружин поглощающего аппарата автосцепки; ψ – коэффициент передачи поглощающего аппарата; x – сжатие пружины поглощающего аппарата под действием внешней силы; x_0 – величина начальной затяжки пружины; C , D – коэффициенты, зависящие от геометрических параметров поглощающего аппарата; v – скорость относительного движения элементов поглощающего аппарата.

Силы взаимодействия между вагоном и упаковкой F_{1-2} и F_{3-4} складываются из сил сухого трения $F_{тр}$, сил упругости, в общем случае нелинейно зависящих от относительного смещения тел, и сил неупругого сопротивления, пропорциональных скорости изменения названного расстояния. Например,

$$F_{1-2} = F_{тр} + k_{1-2} x_2^n + \alpha_{1-2} \dot{x}_2,$$

где x_2 – обобщенная координата, характеризующая положение наружной оболочки упаковки по отношению к вагону; k_{1-2} и α_{1-2} – коэффициенты пропорциональности.

Сила взаимодействия слоев упаковки равна сумме сил упругого и неупругого сопротивления:

$$F_{2-3} = k_{2-3} x_3^n + \alpha_{2-3} \dot{x}_3,$$

где x_3 – относительное смещение внутреннего и наружного поверхностных слоев упаковки.

Масса упаковки значительно меньше масс вагона и груза, поэтому произведениями масс на ускорения в левых частях уравнений (2) и (3) можно пренебречь.

При решении системы нелинейных дифференциальных уравнений (1) – (4)

учитывались следующие особенности. Относительное движение упаковки по отношению к вагону и груза относительно упаковки может начаться только, если сила сухого трения $F_{\text{тр}}$ превышает значение, определяемое законом Кулона. С другой стороны при уменьшении скорости относительного движения тел до нуля выполнялась проверка возможной относительной остановки тел. Это позволило учесть наличие зон застоя, которые не проявляются при использовании алгоритма, основанного на применении функции $\text{sign } \dot{x}$ [2].

Рассмотрен процесс удара сцепа из некоторого числа вагонов (от одного до десяти) в стоящую на станционных путях и удерживаемую на них тормозными башмаками группу вагонов. На рис. 2 приведен типичный график зависимости перемещений вагона (линия 1) и груза (линия 2) при малом коэффициенте трения между поверхностями упаковки с грузом и вагоном.

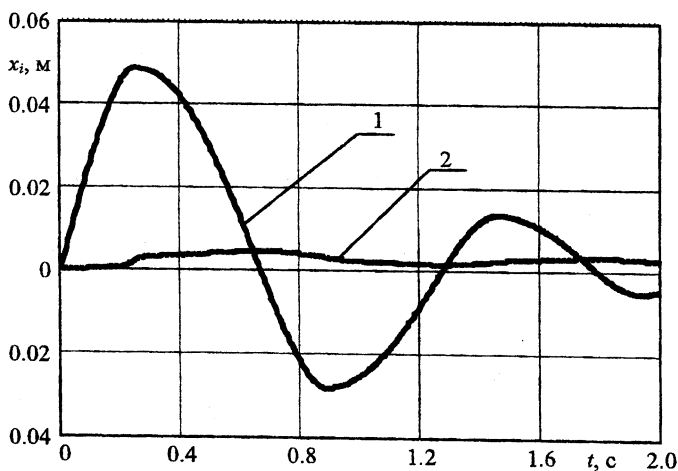


Рис. 2. Перемещение вагона и груза при соударении вагона

Расчеты выполнены для различных масс соударяемых вагонов. Скорости соударения принимались равными 1 км/ч, 3 км/ч, 5 км/ч, 9 км/ч, что соответствует нормативным значениям, применяемым на железнодорожном транспорте [3].

В результате вычислений оказалось, что ускорения грузов при названных скоростях не превышают $2g$ (g – ускорение свободного падения). В то же время при заклинивании автосцепок, что нередко наблюдается на практике, ускорения вагонов, а с ними и грузов могут превышать $4g$.

Результаты расчетов показали, что наибольшая сила взаимодействия при соударении групп вагонов определяется главным образом массами непосредственно соударяющихся вагонов, жесткостью связей между ними, скоростью набегания одной группы на другую и мало зависит от числа вагонов в этих группах.

При уменьшении жесткости связей между вагоном и перевозимым грузом происходит некоторое увеличение ускорения вагона. В то же время амплитуда ускорения груза уменьшается. Однако при этом существенно возрастают перемещения грузов, что может привести к повреждению упаковки.

В ходе вычислений при изменении коэффициентов жесткости и неупругого сопротивления упаковки получено, что силы, действующие на упаковку со стороны груза, существенно зависят от названных параметров. Причем при малых значениях коэффициента жесткости, что характерно, например, для картона возможны ее значительные деформации, что фактически соответствует его разрыву. Расчеты показали, что изменением параметров связей между вагоном и упаковкой можно значительно снизить этот эффект.

Таким образом, разработанная модель может быть использована для подбора параметров приспособлений для крепления грузов, обеспечивающих их сохранность в процессе доставки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блохин Е.П., Барбас И.Г., Манашкин Л.А. Расчет грузовых вагонов на прочность при ударах. – М.: Транспорт, 1989. – 230с.
2. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д. Динамика вагона. – М.: Транспорт, 1991. – 360с.
3. Правила технической эксплуатации Белорусской железной дороги. – М.: Транспорт, 1994. – 161 с.

УДК 629.113

А. О. Шимановский, И. Е. Кракова

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И РАСЧЕТ ДИНАМИКИ КОЛЕСНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь

Усовершенствование конструкций колесных транспортных средств, традиционно основывается на результатах их испытаний. Однако только применение численно-го эксперимента позволяет создать рациональную конструкцию транспортирующей машины, удовлетворяющей необходимым эксплуатационным требованиям к ней.

В современных транспортных средствах масса перевозимого груза, как правило, сопоставима с массой автомобиля. Поэтому в случае, когда перевозимый груз имеет