

зовых автомобилей. — М.: Машиностроение, 1972. — 308 с. 3. Лукинский В.С., Зайцев Е.И. Прогнозирование надежности автомобилей. — Ленинград: Политехника, 1991. — 224 с. 4. Капуста П.П. Надежность и ресурсное проектирование несущих систем и элементов машин// В кн. Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления. Сборник научных трудов. Вып. 1. В 3-х т. — Т. 1// Под общ. ред. П.А. Витязя. — Мн., 1992. — С. 97–108. 5. Капуста П.П. Ресурсное проектирование несущих деталей АТС// Автомобильная промышленность. — 2000. — № 2. — С. 24–26. 6. Капуста П.П. Математическая модель как инструмент ресурсного проектирования АТС// Автомобильная промышленность. — 2001. — № 11. — С. 15–18. 7. Почтенный Е.К., Капуста П.П. Прогнозирование случайного нагружения и построение нагрузочных блоков// В кн. Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления. Сборник научных трудов. Вып. 1. В 3-х т. — Т. 2// Под общ. ред. П.А. Витязя. — Мн., 1992. — С. 334–343. 8. Капуста П.П. Учет технологий изготовления и упрочнения деталей при ресурсном проектировании машин заданной надежности// Технология, оборудование, автоматизация, неразрушающий контроль процессов нагрева и упрочнения деталей на машиностроительных предприятиях: Сб. научн. трудов под. ред. П.С. Гурченко. — Мн.: УП «Технопринт», 2002. — 163 с.

УДК 656.225.073.4

О.С. Коломникова

КОЛЕБАНИЯ ТРАНСПОРТИРУЕМОГО ГРУЗА С УЧЕТОМ ДЕФОРМАЦИИ УПАКОВКИ

*Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь*

С целью обеспечения сохранности грузов при транспортировке к потребителю их помещают в упаковку. По технологическим причинам часто невозможно осуществить жесткое крепление упаковочной тары к платформе или 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 неко-

торых случаях возможно ее повреждение. Поэтому возникает необходимость нахождения условий, при которых обеспечивается как сохранность грузов, так и целостность упаковки.

В представленной работе поставлена задача по установлению влияния параметров крепления и свойства упаковочной тары на динамику системы «груз — упаковочная тара — вагон».

Чтобы учесть особенности различных материалов, из которых изготавливается упаковочная тара, нами разработана обобщенная расчетная схема [4], составные части которой представлены 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.

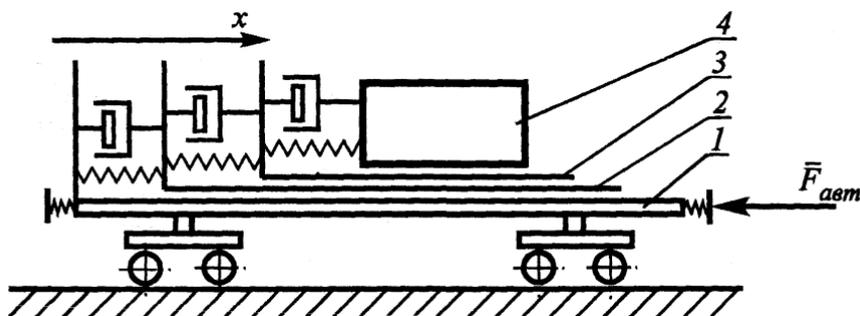


Рис. 1. Расчетная схема вагона с грузом

Сила, возникающая в автосцепке, определяется формулой [1]:

$$F_{авт} = \frac{c\psi(\Delta x + x_0)}{1 + \frac{C}{D}v}$$

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,

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

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.

С учетом приведенных выражений сил получена система дифференциальных уравнений второго порядка, описывающего движение тел системы:

$$m_1\ddot{x}_1 = F_{1-2} - F_{ам};$$

$$m_2\ddot{x}_2 = F_{2-3} - F_{1-2} - \frac{m_2}{m_1}(F_{1-2} - F_{ам});$$

$$m_3\ddot{x}_3 = F_{3-4} - F_{2-3} - \frac{m_3}{m_2}(F_{2-3} - F_{1-2});$$

$$m_4\ddot{x}_4 = -F_{3-4} - \frac{m_4}{m_3}(F_{3-4} - F_{2-3}),$$

где m_i , \ddot{x}_i — массы и ускорения каждого тела системы.

Ее решение выполнено с применением системы MathCAD методом Рунге-Кутты четвертого порядка точности. В отличие от работы [4] масса упаковки учитывалась. 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].

Анализ результатов многовариантных расчетов показал, что изменение коэффициентов α_i практически не влияет на максимальное смещение груза относительно упаковки, незначительно влияет на смещение слоев упаковки друг относительно друга и оказывает существенное влияние на смещение груза в упаковке относительно пола вагона. Также было выявлено, что изме-

нение значений коэффициентов жесткости k_i значительно влияет на смещение груза в упаковке относительно пола вагона и на смещение слоев упаковки относительно друг друга и не сказывается на смещении груза относительно упаковки. На рис. 2 показаны графики перемещения наружного слоя упаковки относительно пола вагона (линия 1) и перемещения внутреннего слоя упаковки относительно наружного (линия 2), полученные в результате оптимизации значений коэффициентов жесткости и демпфирования.

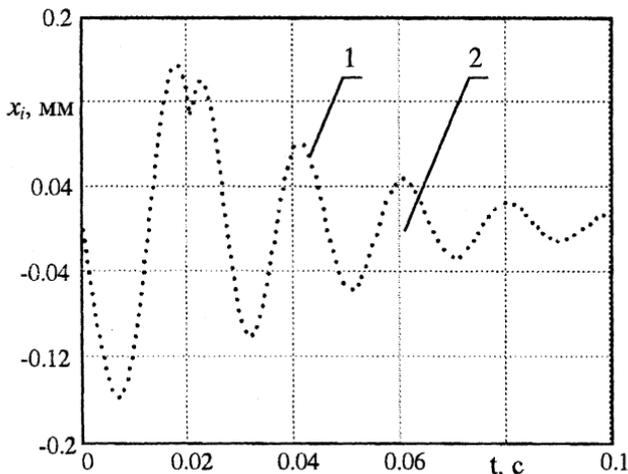


Рис. 2. Перемещение наружного и внутреннего слоя упаковки

На рис. 3 показана зависимость перемещения груза в упаковке относительно пола вагона. Установлено, что при значении коэффициента $\alpha = 147$ Н с/м наблюдается скачок значения x_{2max} , который обусловлен, по-видимому, особенностями действия сил сухого трения.

Выполненные исследования показали возможность оптимизации динамических качеств системы «вагон — упаковочная тара — груз». Полученные результаты могут быть использованы при подборе параметров приспособлений для крепления грузов, обеспечивающих их сохранность в процессе доставки.

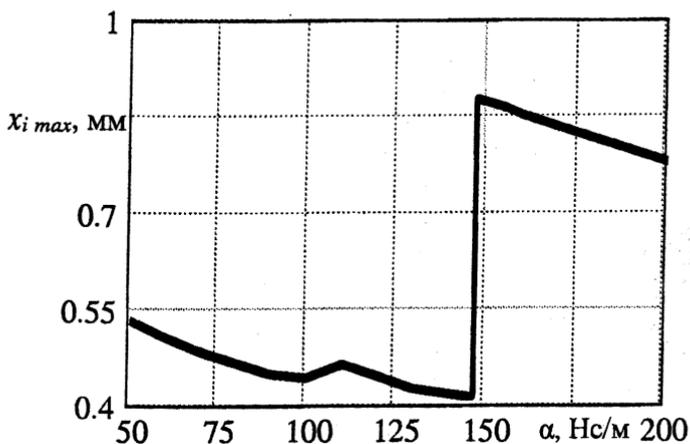


Рис. 3. Зависимость максимальных перемещений груза в упаковке относительно пола вагона

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.
4. Машиностроение. Сб. научных трудов. Вып. 19. — М.: Технопринт, 2003. — 793с.

УДК 621.833

М.Е. Лустенков, Д.М. Макаревич, С.Д. Макаревич, А.С. Захарьев

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ЭЛЛИПСНЫХ ШАРИКОВЫХ ПЕРЕДАЧАХ

*Белорусско-Российский университет
Могилев, Республика Беларусь*

Эллипсные шариковые передачи (ЭШП) относятся к классу планетарных передач с телами качения. Принцип действия однопериодных ЭШП изложен в литературных источниках [1, 2] и других. Многопериодные ЭШП