

УДК 656.225.073.4

О. С. КОЛОМНИКОВА

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ УПАКОВКИ И КРЕПЛЕНИЙ НА УСКОРЕНИЕ ГРУЗА ПРИ СОУДАРЕНИИ ВАГОНОВ

Представлена модель для определения параметров конструкции для крепления штучных грузов для их сохранной перевозки. Выполнен анализ результатов в зависимости от разных законов сил упругости, сил неупругого сопротивления и сил трения. На основе этого анализа определены значения параметров, обеспечивающих сохранность перевозимого груза.

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. В процессе перевозки при соударениях вагонов сама упаковка может деформироваться, а в некоторых случаях возможно ее повреждение. Поэтому возникает необходимость нахождения условий, при которых обеспечивается как сохранность грузов, так и целостность упаковки. Условия безопасной и сохранной перевозки грузов регламентируются Техническими условиями погрузки и крепления грузов и Правилами технической эксплуатации Белорусской железной дороги [1, 2]. Однако в этих документах нет методики по оптимальному выбору упаковки и креплений.

В работах зарубежных авторов [3–5] продолжительное время ведется разработка теории о границе повреждения, граничном ускорении и граничном смещении для определения параметров, соответствующих условию работы упаковочной системы без повреждений. Метод определения границы повреждения, основанный на снижении ускорения пакетированного груза, может быть дополнен путем введения критерия максимально допустимой деформации материала упаковки. Если же упаковка имеет небольшой коэффициент жесткости, то она сможет предохранить груз от высокого ускорения, но в этом случае деформация материала упаковки может превысить предельную.

При учете всех параметров область их значений, при которых обеспечивается сохранная перевозка груза в упаковке, оказывается значительно меньше, чем при использовании только одного из них. Также указывается, что метод определения границы повреждения, основанный на ускорении пакетированного груза, может быть улучшен при введении критерия максимально допустимой деформации материала упаковки. При небольшом коэффициенте жесткости упаковки она может предохранить груз от высокого ускорения. Но в этом случае

материал упаковки может достичь предела своей деформации. Оптимизации подлежат силы, действующие на груз, а также перемещение груза.

В представленной работе поставлена задача по определению влияния параметров крепления и свойств упаковочной тары на динамику системы «груз – упаковочная тара – вагон». При этом устанавливаются законы изменения сил, при которых ускорение и перемещение груза относительно вагона при ударе будет минимальным. Это дает возможности обеспечения сохранности груза при перевозке.

Для учета особенностей свойств различных материалов, из которых изготавливается упаковочная тара и средства крепления груза, нами разработана обобщенная расчетная схема (рисунок 1), включающая перевозимый груз 1, упаковку 2 и пол вагона 3. Между грузом и упаковкой, а также упаковкой и вагоном имеются упруго-вязкие связи. Кроме того, между полом вагона и упаковкой имеются силы сухого трения.

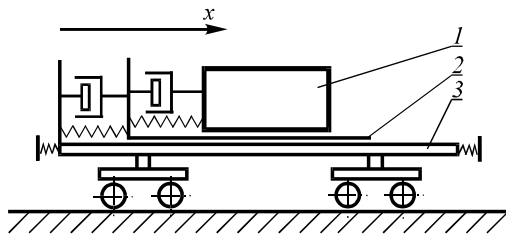


Рисунок 1 – Расчетная схема вагона с грузом

Представленная система послужила основой для разработки математической модели, расчетная схема которой представлена на рисунке 2. На ней цифрами 1 и 2 обозначены соответственно груз и упаковка. На груз действует сила упругости $F_{упр1}$, создаваемая креплениями между ним и упаковкой. На последнюю, в свою очередь, воздействуют груз и крепления упаковки к полу вагона $F_{упр2}$.

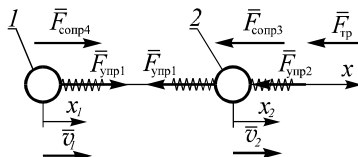


Рисунок 2 – Расчетная схема для записи математической модели

При разработке математической модели рассматриваемой системы с двумя степенями свободы принято, что силы упругости нелинейно зависят от относительного смещения тел, а силы неупругого сопротивления пропорциональны скорости изменения названного расстояния.

Динамические уравнения движения груза и упаковки имеют вид:

$$m_1 a_1 = F_{\text{сопр4}} + F_{\text{упр1}}; \quad (1)$$

$$m_2 a_2 = -F_{\text{упр2}} - F_{\text{упр1}} - F_{\text{сопр3}} - F_{\text{тр}}, \quad (2)$$

где m_i , a_i – массы и ускорения каждого тела системы; $F_{\text{упр}i}$ – силы упругости, возникающие между телами.

Силы, возникающие между грузом и упаковкой, а также упаковкой и вагоном, складываются из сил сухого трения $F_{\text{тр}}$, сил упругости, в общем случае нелинейно зависящих от относительного смещения тел, и сил неупругого сопротивления, пропорциональных скорости изменения названного расстояния. Например,

$$F_{\text{упр1}} = k_1 (x_2 - x_1)^n, \quad F_{\text{упр2}} = k_2 x_2^n,$$

$$F_{\text{сопр3}} = \alpha_3 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1), \quad F_{\text{сопр4}} = \alpha_4 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1),$$

где x_1 – обобщенная координата, характеризующая положение груза по отношению к вагону; x_2 – обобщенная координата, характеризующая положение упаковки по отношению к вагону; k_1 , k_2 , α_3 , α_4 – коэффициенты пропорциональности. Изначально высказывается предположение, что x_2 больше чем x_1 .

Исходя из того, что перемещение груза не должно превышать 0,05 м, для случая массы груза $m = 1000$ кг, начальной скорости соударения $v_0 = 2,5$ м/с [2] (конечная скорость $v = 0$), получено выражение ориентировочного значения коэффициента упругости в зависимости от показателя степени n :

$$k = 3125 \cdot \frac{n+1}{0,05^{n+1}}.$$

С учетом подстановки выражений ускорений груза и ряда преобразований выведена система дифференциальных уравнений второго порядка, описывающая движение груза и упаковки:

$$\ddot{x}_1 = \frac{k_1}{m_1} (x_2^{n_1} - x_1^{n_1}) + \frac{\alpha_1}{m_1} (\dot{x}_2 - \dot{x}_1);$$

$$\ddot{x}_2 = -\frac{k_1}{m_2} (x_2^{n_1} - x_1^{n_1}) - \frac{k_2}{m_2} x_2^{n_2} - \frac{\alpha_2}{m_2} (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - F_{\text{тр}},$$

где m_i , a_i – массы и ускорения каждого тела системы; k_i – коэффициенты жесткости; α_i – коэффициенты удельного сопротивления; $F_{\text{тр}}$ – сила сухого трения.

Решение указанной системы выполнено с применением системы Mathcad методом Рунге-Кутты четвертого порядка точности. Было рассмотрено несколько моделей. В модели, описанной в [6], учитывалось наличие только сил упругости. В ходе расчетов по этой модели было установлено, что:

- при увеличении показателя степени значение ускорения груза возрастает и при $n = 4$ достигает $20g$;
- изменение коэффициентов жесткости практически не влияет на смещение груза относительно упаковки и существенно влияет на перемещение упаковки относительно пола вагона (рисунок 3);
- на основании результатов расчета получено, что наиболее приемлема мягкая характеристика упругой связи с показателем степени n от 0,3 до 1;
- установлено, что наименьшие значения ускорения груза имеют при показателе степени $n_1 = 0,3$. Для этого случая построен график зависимости ускорения груза от показателя степени n_2 (рисунок 4).

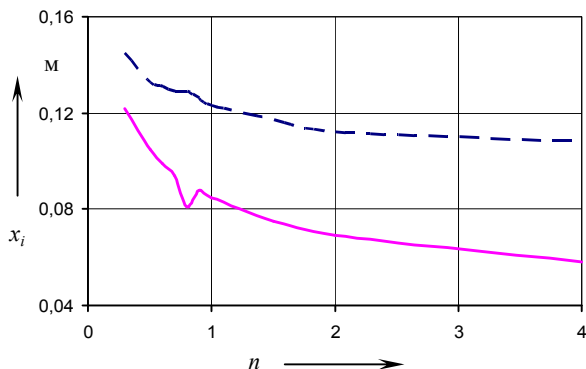


Рисунок 3 – Зависимость перемещений упаковки (сплошная линия) и груза (пунктир) от показателя степени n

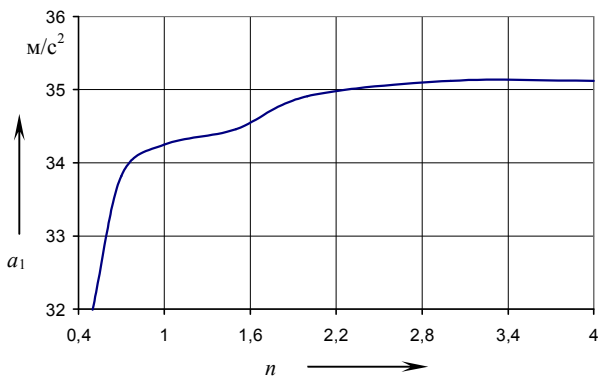


Рисунок 4 – Зависимость ускорения груза от показателя степени n_2 при $n_1 = 0,3$ без учета сил сопротивления

Изменение значения показателя степени n_2 при постоянном показателе степени $n_1 = 1,5$ выявило минимум ускорения груза, равный $59,8 \text{ м/с}^2$, при $n_2 = 0,6$.

При изменении значения силы взаимодействия между грузом и упаковкой ускорение груза монотонно возрастает по мере увеличения показателя степени n (рисунок 5).

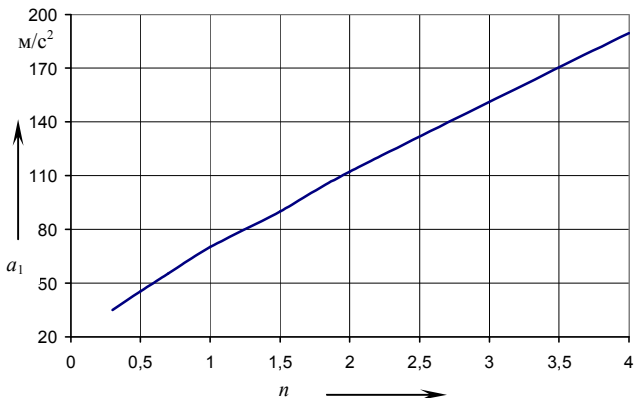


Рисунок 5 – Зависимость ускорения груза от показателя степени n_1 при $n_2 = 3$ без учета сил сопротивления

При расчете с помощью модели, в которой кроме сил упругости учтено влияние на систему сил сопротивления движению, наименьшее значение ускорения груза в упаковке достигается при $n_1 = 0,3$ (рисунок 6) и равно $2,5g$.

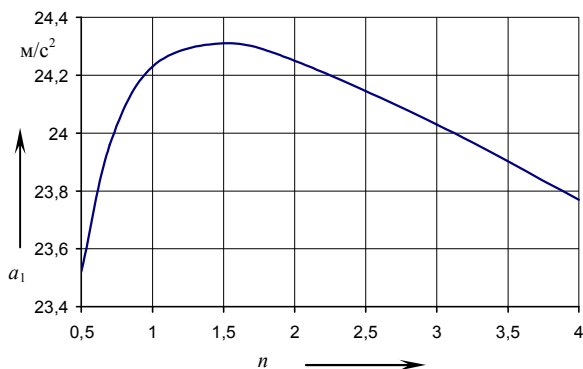


Рисунок 6 – Зависимость ускорения груза от показателя степени n_2 при $n_1 = 0,3$ (при учете сил сопротивления)

Наименьшие значения ускорения груза были получены при расчетах с помощью модели, в которой кроме сил упругости и пропорциональных скорости сил сопротивления движению, были учтены силы сухого трения. В ходе расчетов установлено:

– при увеличении коэффициента сухого трения происходит значительно более резкое возрастание ускорения груза;

– наименьшие значения ускорения груза достигаются при показателях степени $n_1 = 0,3$ и $n_2 = 0,5$ и соответственно равны $24,7 \text{ м/с}^2$. При этом коэффициент сухого трения между упаковкой и вагоном равен $0,2$;

– наиболее приемлема мягкая характеристика упругой связи с показателем степени n от $0,3$ до 2 .

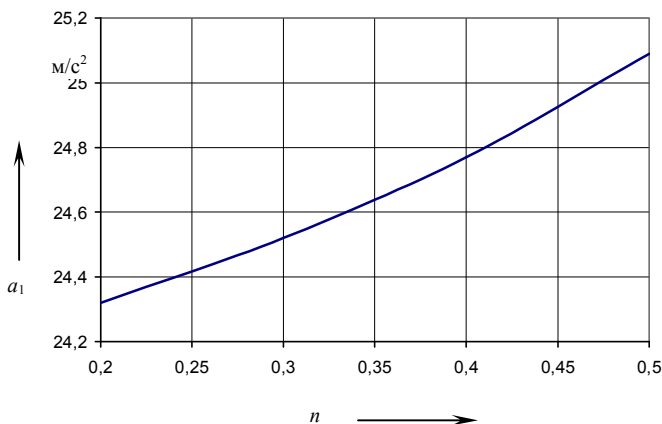


Рисунок 7 – Зависимость ускорения груза от коэффициента сухого трения f_2 между упаковкой и вагоном (при $n_1 = 0,3$, $n_2 = 0,5$ и $f_1 = 0,2$)

Таким образом, анализ результатов расчета по различным исходным данным позволил подобрать наиболее рациональные параметры крепления, при которых перемещение груза относительно вагона при ударе не превышает допустимого значения, а его ускорение при этом минимально. Тем самым будет обеспечиваться сохранность груза при перевозке. Полученные результаты могут быть применены для разработки упаковки, обеспечивающей безопасность транспортировки грузов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Технические условия погрузки и крепления грузов. – М. : Транспорт, 1990. – 408 с.

2 Правила технической эксплуатации Белорусской железной дороги. – М. : Транспорт, 1994. – 161 с.

3 Wang, Z. Damage boundary of a packaging system under rectangular poise excitation / Z. Wang, C. Wu, D. Xi // Packaging technology and science. – 1998. – № 11. – P. 189–202.

4 **Kornhauser, M.** Prediction and evaluation of transient accelerations / M. Kornhauser // Journal of Applied Mechanics. – 1954. – № 21. – P. 371–380.

5 **Hundal, M. S.** Response of shock isolators with linear and quadratic damping / M. S. Hundal // Journal of Sound and Vibration. – 1981. – № 76. P. 273–281.

6 **Коломникова, О.С.** Влияние свойств связей в системе «груз – упаковочная тара – вагон» на ускорение груза при ударе / О.С. Коломникова // IV Международная научно-практическая конференция «Проблемы безопасности на транспорте». – Гомель: УО «БелГУТ», 2007. – С. 26–28.

Получено 20.12.2007

**ISBN 978-985-468-405-5. Механика. Научные исследования
и учебно-методические разработки. Вып. 2. Гомель, 2008**

УДК 629.463.321/36

М. Г. КУЗНЕЦОВА, А. О. ШИМАНОВСКИЙ

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ АНАЛИЗА ТОРМОЖЕНИЯ ЦИСТЕРНЫ

С помощью генетического алгоритма выполнен анализ тормозного пути цистерны в зависимости от начальных параметров движения. При решении задачи использована модель, предполагающая, что свободная поверхность жидкости остается плоской при колебаниях. Определено значение начального угла наклона жидкости, при которой имеет место наименьший тормозной путь.

Большая часть научных и технических задач относится к классу оптимизационных, т.е. к задачам, в которых решается проблема поиска оптимальных решений. Часть оптимизационных задач относится к классу комбинаторных, имеющих в большинстве случаев не одно, а множество решений, способом нахождения которых является полный либо сокращенный перебор подмножеств решений. Переборы различных подмножеств решений занимают длительный период времени, поэтому для повышения скорости решения задач предлагаются новые принципы перебора вариантов.

В начале 60-х годов XX в. Джон Холланд предложил использовать при решении оптимизационных задач основные законы эволюции живых организмов, которые были к тому времени уже исследованы генетикой, а также предложенную Чарльзом Дарвином теорию естественного отбора. Отсюда появилось и название данного метода – “генетический алгоритм”. Первым данный термин ввел в обиход Д. Багли (США) в 1967 г. в ходе выполнения своей диссертации [1].