

- 6 **Формалев, В. Ф.** Методика, алгоритм и программный комплекс по определению теплового состояния охлаждаемых микроракетных двигателей / В. Ф. Формалев, С. А. Колесник // Труды МАИ. – 2014. – № 78.
- 7 **Formalev, V. F.** Temperature-dependent anisotropic bodies thermal conductivity tensor components identification method / V. F. Formalev, S. A. Kolesnik // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2018. – Vol. 123. – P. 994–998.
- 8 **Формалев, В. Ф.** О волновом теплопереносе в окрестности начального момента времени при интенсивном конвективно-кондуктивном нагреве / В. Ф. Формалев, С. А. Колесник, Е. Л. Кузнецова // Теплофизика высоких температур. – 2018. – Т. 56. – № 3. – С. 412–416.
- 9 **Формалев, В. Ф.** Локально-неравновесный теплоперенос в анизотропном полупространстве под действием нестационарного точечного источника тепловой энергии / В. Ф. Формалев, С. А. Колесник, И. А. Селин // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Естественные науки. – 2018. – № 5. – С. 99–111.
- 10 **Формалев, В. Ф.** Теплоперенос в полупространстве с трансверсальной анизотропией под действием сосредоточенного источника теплоты / В. Ф. Формалев, С. А. Колесник // Инженерно-физический журнал. – 2019. – Т. 92. – № 1. – С. 55–63.

УДК 652.225.078

ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ СВЯЗЕЙ В СИСТЕМЕ «ГРУЗ – УПАКОВКА – ВАГОН» НА УСКОРЕНИЕ ГРУЗА ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ В КРЫТОМ ВАГОНЕ

О. С. ЧАГАНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Надежность крепления грузов на железнодорожном транспорте представляет собой один из важнейших факторов обеспечения безопасности движения поездов. В последнее время наблюдается тенденция переключения перевозок ценных грузов с железнодорожного на автомобильный транспорт, которая связана с несохранностью грузов, обусловленной ненадежным креплением. Напряжения и деформации в элементах упаковки и вагона, которые могут привести к несохранной перевозке груза, могут возникать вследствие движения вагонов и производства маневровых операций. Наличие недостатков в конструкции и содержании сортировочных горок также зачастую приводит к повреждению как вагонов, так и находящихся внутри тарно-упаковочных грузов, большинство которых относится к ценным и хрупким. Указанные обстоятельства наряду с постоянным увеличением номенклатуры тарно-упаковочных грузов вызывают необходимость совершенствования методик расчета креплений.

Обеспечение прочности креплений при осуществлении перевозки, проведении погрузочно-разгрузочных работ требует информации о значениях сил, действующих на груз при перевозке, в том числе низкочастотных, ударных и вибрационных нагрузок. На незакрепленный груз, находящийся в крытом вагоне, помимо сил тяжести и трения, действуют силы инерции в продольном, поперечном и вертикальном направлениях. Продольные инерционные силы возникают при переходных режимах движения поезда, во время маневров и роспуска с горок. Воздействие на груз поперечных и вертикальных сил инерции обусловлено колебаниями движущегося вагона, основными видами которых являются: подпрыгивание, галомирование или продольная качка, боковая качка, боковые колебания в поперечном направлении или поперечный относительный сдвиг и вилание.

Для анализа влияния параметров крепления и свойств упаковочной тары на динамику системы «груз – упаковка – вагон» разработана обобщенная расчетная схема, включающая перевозимый груз, упаковку и кузов вагона. Между грузом и упаковкой, а также упаковкой и вагоном имеются упруго-вязкие связи, моделирующие деформативность упаковки. Кроме того, между полом вагона и упаковкой имеются силы сухого трения. Также было учтено, что материалы, из которых изготовлена упаковка и средства крепления, могут иметь различные свойства. Помимо сил упругости, в общем случае нелинейно зависящих от относительного смещения тел (используется степенная зависимость с показателем n), также принимаются во внимание силы неупругого сопротивления движению груза относительно упаковки и упаковки относительно вагона. Силы неупругого сопротивления пропорциональны скорости изменения относительного смещения тел. С учетом подстановки выражений ускорений груза и ряда преобразований получена система дифференциальных уравнений второго порядка, описывающая движение груза и упаковки:

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 = \frac{k_1}{m_1}(x_2 - x_1)^{n_1} + \frac{\alpha_1}{m_1}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1), \\ \ddot{x}_2 = -\frac{k_1}{m_2}(x_2 - x_1)^{n_1} - \frac{k_2}{m_2}x_2^{n_2} - \frac{\alpha_1}{m_2}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - \frac{\alpha_2}{m_2}\dot{x}_2 - \frac{F_{\text{тр}}}{m_2}, \end{cases}$$

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

Чтобы обеспечить возможность сопоставления результатов для разных показателей степени n , значения коэффициента жесткости k были приняты исходя из условия, чтобы работы сил упругости при смещении груза на заданное расстояние (например, $x_{\text{max}} = 5$ см) были одинаковыми вне зависимости от показателя степени n . При этом условии обеспечивается преобразование одинаковой кинетической энергии в потенциальную для разных показателей степени при смещении груза, связанном с деформацией упаковки и креплений на величину x_{max} .

Связи с показателем степени $n < 0,3$ не позволяют креплениям адекватно обеспечивать сохранность груза при проведении маневровых и поездных работ. Для сравнения были приняты значения больше и меньше указанного. Связи со значениями $n \leq 1$ относят к связям с мягкими характеристиками, а со значениями $n > 1$ – с жесткими. Выполнено несколько вариантов расчета по полученной модели в соответствии с системой уравнений с применением программного комплекса MathCAD методом Рунге-Кутты четвертого порядка точности, отличающихся параметрами внутренних сил.

При учете только сил упругости установлено, что увеличение показателя степени n_1 в выражениях смещения ведет к росту ускорения груза и при $n_1 = n_2 = 4$ достигает величины 30g. Изменение коэффициентов жесткости практически не влияет на смещение груза относительно упаковки и ведет к перемещению упаковки относительно пола вагона. Увеличение показателя степени n_2 для связи между упаковкой и вагоном приводит к росту ускорения груза. Ускорение груза растет резко при значениях показателя степени n_2 от 0 до 1, далее на участке от 1 до 4 наблюдается монотонный характер роста ускорения. При наличии жесткой связи между упаковкой и грузом с показателем степени $n_1 = 4$ и постоянном значении k_1 появляется локальный минимум с ускорением, превышающим 13g. При увеличении значений k_1 в случае постоянного коэффициента жесткости k_2 на графиках ускорения сохраняется наличие локального минимума. Однако величина ускорения в нем возрастает с увеличением значений k_1 . Анализ показывает, что при увеличении значения коэффициента жесткости характер роста ускорения изменяется незначительно.

Анализ результатов расчета по варианту модели, где учитывалось действие только сил упругости, показал, что с точки зрения минимизации ускорения груза наиболее приемлема характеристика упругой связи, которая соответствует показателю степени n_1 от 0,3 до 1,0, обеспечивающая наименьшие значения ускорения груза при ударных нагрузках и создающая наилучшие условия для сохранной перевозки. Следует указать, что при увеличении жесткости связи между грузом и упаковкой ускорение груза растет значительно, чем при изменении жесткости связи между упаковкой и вагоном. Это следует учитывать при разработке упаковки грузов.

При учете не только сил упругости, но и сил сопротивления движению и силы трения, характер зависимостей остается схожим. Анализ результатов расчета показывает, что при увеличении показателя степени n увеличивается и максимальное ускорение груза.

Также рассмотрен вариант модели, в котором помимо сил упругости учитывается наличие сил сопротивления движению. В этом случае установлено, что наиболее приемлемые свойства упругой связи между вагоном и упаковкой обеспечиваются при наличии мягкой характеристики и показателя степени $n = 0,3$, соответствующей наименьшему значению ускорения груза при ударных нагрузках и создающей наилучшие условия для сохранной перевозки. При увеличении жесткости связи между вагоном и упаковкой тарно-упаковочного груза ускорение груза растет более резко, чем при изменении жесткости связи между грузом и его упаковкой. Полученные зависимости ускорения от коэффициентов удельного сопротивления показали, что при увеличении коэффициента удельного сопротивления между грузом и упаковкой скорость груза растет монотонно и при значении коэффициента $\alpha_1 = 50$ кН·с/м составляет 7,7g. При дальнейшем увеличении коэффициента α_1 ускорение груза стремительно растет. Аналогичная картина наблюдается при изменении коэффициента удельного сопротивления между упаковкой и вагоном.

Далее рассмотрен вариант модели, учитывающей наличие сил упругости, сил сопротивления движению и сил сухого трения между полом вагона и упаковкой груза. Исходные данные для этого варианта аналогичны предыдущим вариантам модели. Принятое значение коэффициента трения составляет $f = 0,4$. Анализ результатов этого расчета показал, что ускорение груза при наличии мягкой характеристики связи между упаковкой и грузом возрастает несущественно и, достигнув значения $5,1g$, остается почти постоянным при увеличении жесткости крепления упаковки к полу вагона. В соответствии с результатами расчета зависимости ускорения груза от коэффициента сухого трения между полом вагона и упаковкой груза при наличии связей между ними с мягкими характеристиками определено, что ускорение груза возрастает с увеличением значений коэффициента трения. Однако наличие сухого трения приводит к еще более существенному уменьшению ускорения груза, относительно моделей расчета, где этот параметр не учитывался.

Анализ полученных результатов расчётов по всем трем вариантам расчетной модели показал, что наиболее приемлемыми видами крепления грузов в крытом вагоне являются крепления с мягкими характеристиками при показателях степени n от 0,3 до 1,0. При наличии таких креплений ускорения возрастают не так интенсивно, как при более жестких креплениях. Одним из вариантов крепления, обеспечивающих такой вид характеристики связи, являются пневмооболочки.

УДК 629.4.082:536.581

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ УТЕЧКИ ТЕПЛА ИЗ ТЕРМОСТАТА ОТ ВНУТРЕННЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

А. А. ЧИКМАРЕВА, В. И. ПОРТНОВ

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Термос – один из наиболее востребованных в пассажирском транспорте бытовых аксессуаров. Поэтому экспериментальное исследование способности термосов сохранять тепло очень актуально. Особенно при огромном количестве различных моделей.

Целью работы являлось экспериментальное подтверждение теории о том, что зависимость утечки тепла из подобной ёмкости от времени нелинейна. В данной работе в качестве теплоизолированного сосуда для горячей воды был взят термос объёмом 1 л.

Работа проходила в следующие этапы:

1) в изолированном помещении включался кондиционер, который непрерывно на протяжении эксперимента поддерживал температуру в комнате постоянной ($+26\text{ }^{\circ}\text{C}$) при относительной влажности воздуха 23 %;

2) термос предварительно нагревался изнутри;

3) нагретая до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ вода заливалась в термос, который плотно закрывался;

4) по истечении заданного времени Δt термостат открывался, и с помощью спиртового термометра измерялась температура воды;

5) эксперимент (начиная с пункта 2) повторялся для другого промежутка времени Δt .

Всего было проведено 16 измерений, в общей сложности занявших одну неделю.

Мы пришли к выводу, что зависимость потока тепла от разницы температур внутри и вне термостата имеет нелинейный характер, причём при малой разнице температур поток тепла заметно уменьшается.

Причины такого уменьшения могут заключаться в следующем:

– уменьшение температуры влечёт за собой уменьшение внутреннего давления, и пробка термоса сильнее прижимается к корпусу;

– уменьшение температуры влечёт за собой снижение вязкости воды, следовательно, конвекция воды внутри термоса ослабевает;

– изменение температуры может приводить к небольшим изменениям физических параметров корпуса, что также может повлиять на его теплопроводность.

По результатам измерений был построен график зависимости температуры воды T внутри термостата от времени t (практические данные представлены на рисунке кружочками, теоретические – линией).