

КОЛЕБАНИЯ ПЕРЕВОЗИМОГО ГРУЗА В ДЕФОРМИРУЕМОЙ УПАКОВКЕ ПРИ СОУДАРЕНИИ ВАГОНОВ

О. С. КОЛОМНИКОВА

Белорусский государственный университет транспорта

Массивные грузы при транспортировке 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 предложена новая расчетная схема, в которой с целью учета особенностей свойств упаковки она представлена в виде двух жестких тел (аналогов поверхности упаковки), между которыми установлены упруго-вязкие связи, моделирующие деформативность упаковки.

Составлена математическая модель системы «вагон–упаковка–груз», в которой учтено, что силы взаимодействия между вагоном и упаковкой складываются из сил сухого трения, сил упругости, в общем случае нелинейно зависящих от относительного смещения тел, и сил неупругого сопротивления, пропорциональных скорости изменения названного расстояния.

При решении полученной системы нелинейных дифференциальных уравнений учитывалось наличие зоны застоя, смысл которой состоит в том, что относительное движение упаковки по отношению к вагону и груза относительно упаковки может начаться, только если сила сухого трения превышает значение, определяемое законом Кулона. С другой стороны, при уменьшении скорости относительного движения тел до нуля выполнялась проверка возможной относительной остановки тел.

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. Расчеты выполнены для различных масс соударяемых вагонов. Скорости соударения принимались равными 1; 3; 5; 9 км/ч, что соответствует нормативным значениям, применяемым на железнодорожном транспорте. 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, ускорение вагонов, а с ними и грузов может 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 математическая модель системы «вагон–деформируемая упаковка–груз» может быть использована для подбора параметров приспособлений для крепления грузов, обеспечивающих их сохранность в процессе доставки.