

УДК 656.073:621.798.017.4:539.4

О. С. ЧАГАНОВА, М. Г. КУЗНЕЦОВА

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ УПАКОВКИ И СРЕДСТВ КРЕПЛЕНИЯ ТАРНО-УПАКОВОЧНОГО ГРУЗА ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ В ВАГОНЕ

На основе моделирования в среде MSC.ADAMS динамики системы, включающей картонный упаковочный короб с установленными в нем катушками, определены силы, действующие на упаковку при соударении вагонов. На основе экспериментально определенных механических характеристик упаковочных материалов проведен анализ прочности упаковки в среде программного комплекса ANSYS. Представлены рекомендации, позволяющие обеспечить сохранность упаковки при соударениях вагонов.

Ключевые слова: упаковка, тарно-упаковочный груз, компьютерное моделирование, напряженно-деформированное состояние.

При движении вагонов по перегонам и производстве маневровых операций на тарно-упаковочные грузы действуют переменные силы, обусловленные неравномерностью движения железнодорожного подвижного состава. В большинстве случаев упаковка грузов такова, что допускает относительную подвижность груза внутри нее. В таких случаях наличие чрезмерных сил в средствах крепления приводит к значительным напряжениям и деформациям элементов упаковки и может привести к ее повреждению. Исследованиям свойств упаковки и помещенного в нее груза в процессе перевозки различными видами транспорта посвящен ряд статей отечественных и зарубежных авторов [1–6]. В связи с большим разнообразием физических и геометрических параметров грузов и транспортных пакетов в названных работах, как правило, рассматривались вопросы, связанные с транспортировкой конкретных объектов. Цель представленной работы состоит в установлении особенностей нагружения коробов с установленными в них катушками с проволокой.

Рассматриваемая система представляет собой цилиндрические катушки, которые расположены в несколько ярусов по высоте внутри картонных коробов. Количество ярусов и катушек в них зависит от размеров катушки и может быть различным. Между ярусами катушек установлены сепараторы, ограничивающие перемещения груза в горизонтальной плоскости. Масса короба с грузом составляет 1,5–2 тонны.

Разработаны компьютерные модели, описывающие динамику картонных коробов с размещенными в них катушками в среде программного комплекса виртуального моделирования MSC.ADAMS [7, 8] (рисунок 1). Учитывая, что при соударении вагонов продольное ускорение во много раз превышает поперечное, для уменьшения времени расчетов рассматривались перемещения одного ряда грузов, лежащего в продольной вертикальной плоскости. Рас-

смагтрывался случай торможения грузового места в случае удара, при котором поддон с грузом движется с ускорением 3,5g, которое принимается при расчете вагона на прочность [9].

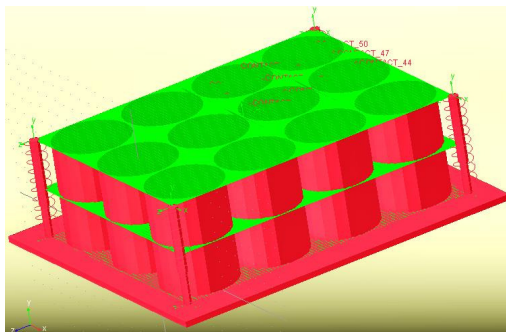


Рисунок 1 – Модель поддона с размещенными на нем катушками в среде программного комплекса MSC.ADAMS

В результате вычислений получены значения перемещений, скоростей и ускорений транспортируемого груза, а также найдены значения сил, действующих на груз и упаковку. Указанные результаты исследований показывают, что при движении поддона вследствие зазоров между катушками и сепараторами происходит их соударение, приводящее к повороту катушек. При этом на картонную оболочку действуют большие нагрузки со стороны катушек. При увеличении числа ярусов катушек схема их движения принципиально не изменяется. Увеличение высоты катушки ведет к росту значений этих сил.

Установлено, что после удара максимальное смещение центра масс верхней катушки относительно поддона в продольном направлении может достигать 0,18 м (рисунок 2). Вследствие действия сил неупругого сопротивления смещение катушки окончательно устанавливается на значении 0,1 м. Однако названные перемещения слишком велики для сохранения целостности упаковки.

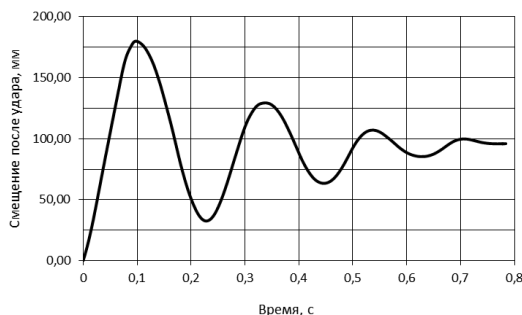


Рисунок 2 – Смещение центра масс верхней катушки диаметра 25 см и высоты 36 см относительно поддона в продольном направлении

На рисунке 3 показано изменение ускорения центра масс катушки верхнего ряда при соударении вагонов. Результаты расчета показывают, что значение ускорения изменяется в пределах от $-5g$ до $3,4g$. Действие соответствующих сил инерции может привести к повреждению упаковки и груза.

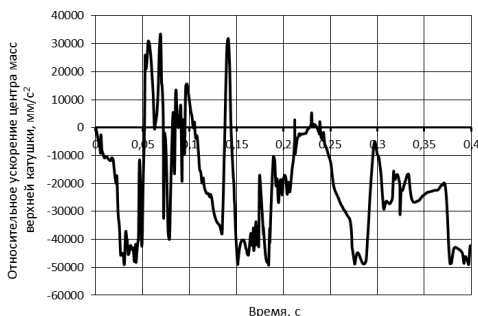


Рисунок 3 – Относительное ускорение центра масс катушки верхнего ряда

На рисунке 4 показано изменение значений сил, возникающих в пружинах, моделирующих деформирование стенок. Максимальное значение силы в них достигает $2,7$ кН в момент времени $0,1$ с. Большие амплитуды колебания этой силы также свидетельствуют о повышенных нагрузках, которые испытывают катушки, упаковка и средства крепления.



Рисунок 4 – Силы в пружинах, моделирующих деформирование упаковки

Значения сил, полученные с помощью программного комплекса MSC.ADAMS, использованы в качестве исходных данных для дальнейших исследований и компьютерного моделирования в программном комплексе ANSYS. Кроме того, для анализа прочности короба потребовалось экспериментально определить механические характеристики картона и обвязочной ленты.

Ранее нами были проведены эксперименты по определению механических характеристик картона марки П-35, используемого для изготовления упаковочных коробов и обвязочной ленты [10, 11]. Они показали, что для указанно-

го картона допустимо использование модели материала с изотропными свойствами с модулем упругости 525 МПа. Предел прочности обвязочной ленты при растяжении оказался равным 331 МПа. Также определено, что значение максимального относительного ее удлинения ленты составляет 21 %.

Кроме того, получены диаграммы растяжения ленты клейкой универсальной (упаковочный скотч) по направлению вдоль и поперек направления размотки ленты (рисунок 5). На начальном этапе растяжения в обоих случаях наблюдается близкая к линейной зависимость напряжений от относительной деформации. Здесь получены значения модуля упругости вдоль направления размотки $E = 1333,3$ МПа; поперек – $E = 1444,3$ МПа. В дальнейшем деформация увеличивается более быстро, чем напряжение, и в конечном счете наблюдается разрыв образца. Для случая растяжения вдоль ленты напряжение, соответствующее пределу прочности, составляет 60,25 МПа (см. рисунок 5, *a*), а при растяжении поперек ленты – 88,43 МПа (см. рисунок 5, *б*).

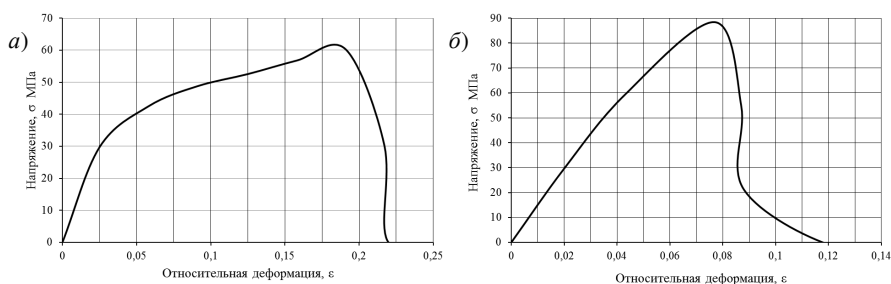


Рисунок 5 – Диаграммы растяжения ленты клейкой универсальной (упаковочный скотч): *a* – по направлению вдоль ленты; *б* – по направлению поперек ленты

На основании полученных значений характеристик картона, обвязочной ленты и ленты клейкой универсальной в программном комплексе ANSYS была выполнена разработка конечноэлементных моделей деформирования крышки картонного короба упаковки и сепараторов, расположенных между катушками. Результаты моделирования картонного короба в месте, где проходит обвязочная лента, показали, что наибольшие напряжения возникают в месте сгиба картона (рисунок 6). Продавливание картона происходит на ребре верхней части коробки в области соприкосновения ленты и упаковки из-за воздействия обвязочной ленты. Расчеты для различных значений ускорения вагона показали, что при ускорении 2,9g наступает повреждение короба, вызванное продавливанием картона, которое происходит в соответствии с ГОСТ 7376–89 для картона марки П-35 при значении напряжения 1,6 МПа, что значительно меньше максимального значения касательного напряжения, полученного в результате расчетов и составляющего 3,6 МПа. Наибольшие напряжения в обвязочной ленте также наблюдаются в области ребра верхней части короба (см. рисунок 6).

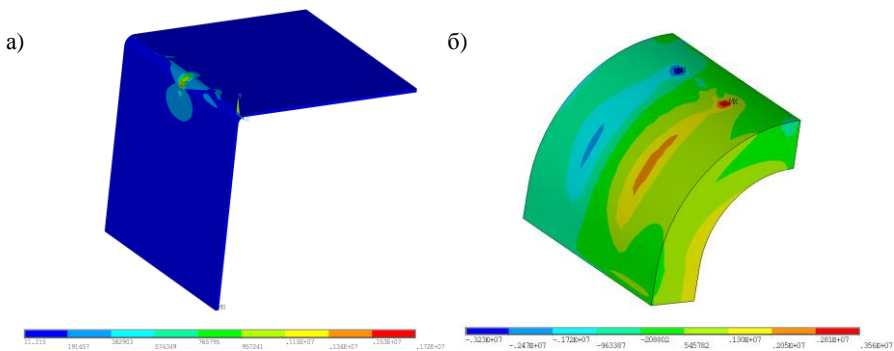


Рисунок 6 – Распределение эквивалентных по Мизесу напряжений на сгибе крышки короба (а) и касательных напряжений в обвязочной ленте (б)

Дополнительно выполненное моделирование напряженно-деформированного состояния мест взаимодействия катушек и сепараторов (рисунок 7) показало, что наибольшие напряжения в сепараторе, также как и деформации, наблюдаются по ободу углубления под катушку, и значительно меньше предела прочности. Максимальное напряжение, возникающее в сепараторе, не превышает 12,5 МПа. Аналогичные исследования были выполнены для случая, когда под обвязочную ленту на верхних углах картонного короба наклеивался скотч. При этом напряжения снижаются на 15–20 %, что позволяет обеспечить прочность конструкции при ударных нагрузках.

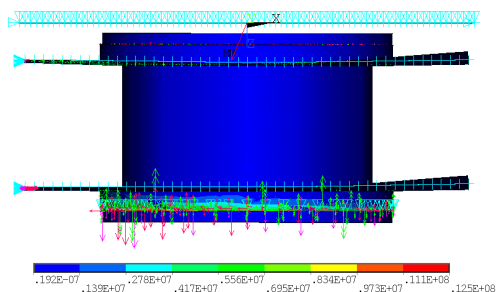


Рисунок 7 – Напряжения в сепараторе под действием сил инерции, приложенных к катушке

Таким образом, результаты проведенных расчетов показали, что при значениях ускорения вагона 3,5 g могут наблюдаться повреждения картонного короба, обусловленные действием сдвиговых напряжений. Напряжения и деформации, наблюдающиеся в сепараторе, не оказывают существенного влияния на прочность упаковки. Для снижения уровня напряжений в картоне в области опирания обвязочной ленты на картонный короб рекомендуется использовать упаковочный скотч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Некоторые вопросы защиты грузов от ударов и вибраций при транспортировке автомобильным транспортом / А. А. Глазунова [и др.] // Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической и прикладной механике. – Минск : УП «Техно-принт», 2001. – С. 118–122.

2 **Баннов, С. А.** Исследование воздействия мягких контейнеров на кузов вагона при соударении / С. А. Баннов, В. М. Монастырный // Обеспечение сохранности грузов и рациональное использование вагонов. – Новосибирск : НИИЖТ, 1982. – С. 52–58.

3 **Баннов, С. А.** К расчету нагрузки на торцевую дверь полувагона с сыпучим грузом в мягких контейнерах при соударении / С. А. Баннов // Вопросы рационального использования вагонов и обеспечения сохранности грузов. – Новосибирск : НИИЖТ, 1980. – С. 68–75.

4 **Wang, Z.** Damage boundary of a packaging system under rectangular pulse excitation / Z. Wang, C. Wu, D. Xi // Packaging technology and science. – 1998. – Vol. 11, No. 4. – P. 189–202.

5 **Xiang, M.** Modelling of the effects of continual shock loads in the transport process / M. Xiang, R. Eschke // Packaging Technology and Science. – 2004. – Vol. 17, No. 1. – P. 31–35.

6 **Chen, A.-J.** Resonance analysis for tilted support spring coupled nonlinear packaging system applying variational iteration method / A.-J. Chen // Mathematical Problems in Engineering. – 2013. – Vol. 2013, Paper 384251. – 4 p.

7 **Поляков, К. А.** Создание виртуальных моделей в пакете прикладных программ ADAMS : учеб. пособие // К. А. Поляков. – Самара: Самарск. ун-т, 2003. – 88 с.

8 **Марченко, Д. М.** Создание компьютерной модели вагона для динамического моделирования в MSC.ADAMS / Д. М. Марченко // Механика. Исследования и инновации. – 2017. – Вып. 10. – С. 148–156.

9 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) / ГосНИИВ-ВНИИЖТ. – М., 1996. – 319 с.

10 **Коломникова, О. С.** Анализ прочности упаковки штучного груза под действием нормативных эксплуатационных нагрузок при перевозке железнодорожным транспортом / О. С. Коломникова // Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки. – 2009. – Вып. 3. – С. 47–53.

11 **Chaganova, O. S.** Fastenings parameters determination for highly deformative cargo, taking into account its durability during transportation in cars and trains / O. S. Chaganova, I. A. Varazhun // International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. – 2018. – Vol. 7, No. 3. – P. 218–222.

O. S. CHAGANOVA, M. G. KUZNIATSOVA
Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus

STRENGTH ANALYSIS OF PACKAGING AND FASTENING FOR CONTAINERBOARD-PACKED CARGO AT TRANSPORTATION INSIDE A RAILWAY CAR

The forces acting on the cardboard packaging box with installed coils inside at the cars collision are determined based on the system dynamics simulation in the MSC.ADAMS environment. Using the experimentally determined packaging material's mechanical characteristics, an analysis of the package strength was carried out in the ANSYS software environment. There are presented the recommendations allowing to ensure the package safety, taking into account the collisions of cars.

Получено 01.11.2018