

Заключение. 1 На основе теории колебаний предложены методы расчетного анализа моделей динамических взаимодействий контактирующих поверхностей при импульсном нагружении.

2 Показано, что упругие деформации в материале колес локомотивов при соударениях с рельсами достигают глубины 21–31,5 мм, а амплитуды динамических напряжений существенно превышают определяемые по формулам теории контактных напряжений.

Список литературы

1 Писаренко, Г. С. Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – Киев : Наукова думка, 1975. – 704 с.

2 Писаренко, Г. С. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – Киев : Наук. думка, 1971. – 369 с.

3 Глушенко, А. Д. Моделирование динамического нагружения в поверхностных слоях колесных пар локомотивов при соударении с рельсами / А. Д. Глушенко, Ш. С. Файзибаев, А. Н. Авдеева. – Ташкент : ФАН, 2000. – Проблемы механики. – № 2. – С. 45–49.

УДК 652.2

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА КРЕПЛЕНИЯ ГРУЗА В ВАГОНЕ НА ПРОЧНОСТЬ УПАКОВКИ

О. С. ЧАГАНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

При транспортировке железнодорожным транспортом грузы испытывают воздействие переменных нагрузок, которые обусловлены неравномерностью движения подвижного состава. Размещать и крепить тарно-упаковочные грузы в крытых вагонах необходимо с учетом обеспечения их сохранности, полного использования грузоподъемности или вместимости вагонов, безопасности движения поездов, производства маневровых и погрузочно-разгрузочных работ. В большинстве случаев упаковка штучных грузов не обладает высокой жесткостью, поэтому допускает относительную подвижность груза внутри грузового места. Вследствие движения вагонов и производства маневровых операций в элементах упаковки и вагона могут возникать напряжения и деформации, которые могут привести к несохранной перевозке груза.

В настоящее время наиболее часто при размещении груза в подвижном составе железных дорог колеи 1520 мм применяется крепление с помощью брусков и щитов. Такие стандартные средства крепления обладают высокой жесткостью. Из-за этого при действии динамических нагрузок, связанных с соударением вагонов при маневровой работе, возможно повреждение креплений и упаковки. Также нередки ситуации, при которых груз является жестким, а упаковка менее жесткой, вследствие того, что внутри нее имеются пустоты. В таких случаях может оказаться, что чрезмерные силы, действующие на упаковку со стороны средств крепления, приведут к повреждению упаковки и, как следствие, самого груза. В связи с этим выполнен анализ прочности упаковки груза, закрепленного в вагоне с помощью стандартных средств крепления, при соударении вагонов.

В среде программного комплекса MSC.ADAMS были разработаны компьютерные модели, описывающие динамику грузового места, включающего цилиндрические катушки, разделенные сепараторами и размещенные внутри картонной упаковки. Картонная коробка, в которой размещался груз, была промоделирована с помощью пружин. Рассматривались перемещения одного ряда грузов, лежащего в продольной вертикальной плоскости. Изучались модели с различным количеством грузов в горизонтальных рядах и разным количеством рядов. Установлено, что после удара максимальное смещение центра масс верхней катушки в рассматриваемой модели относительно поддона в продольном направлении может достигать 0,18 м. После ряда колебаний смещение катушки устанавливается на значении 0,1 м. Такое перемещение является слишком большим для сохранения целостности упаковки груза.

Также были определены значения сил, возникающих в упаковке штучного груза. Получено, что максимальное значение силы, которая действует в пружинах, описывающих упаковку груза, наблюдается в момент времени 0,1 с и равно 2,72 кН. Значительные амплитуды колебаний таких сил свидетельствуют о повышенных инерционных нагрузках, которые испытывают катушки, упа-

ковка и средства крепления, что может приводить к их повреждению в процессе транспортировки. К моменту времени 0,8 с значение силы устанавливается на уровне 1,83 кН.

Значения сил, полученные с помощью программного комплекса MSC.ADAMS, использованы в качестве исходных данных для дальнейших исследований и компьютерного моделирования в программном комплексе ANSYS. Выполнение уточненного анализа прочности упаковки потребовало определения реальных механических свойств упаковочных материалов, так как значительная их часть, необходимая для расчетов, отсутствует в нормативной документации.

Проведено экспериментальное определение свойств картона и обвязочной ленты. В результате проведенных на установке INSTRON 5567 испытаний обвязочной ленты установлено, что при реальных размерах поперечного сечения образца ленты предел прочности при растяжении равен 331,29 МПа, который соответствует разрывной силе 2435 Н. Таким образом, реальное значение разрывной силы обвязочной ленты оказалось меньше заявленных в документации 2670 Н, предоставленной производителем ленты и описывающей ее технические параметры. Это может быть одной из причин разрыва обвязочной ленты при соударении вагонов во время транспортировки. Также определено, что реальное значение максимального относительного удлинения ленты составляет 21 %, при том что в документации указано значение 12 %. Это может приводить к ослаблению натяжения обвязочной ленты при соударении вагонов и последующему нарушению целостности упаковки.

Также были проведены эксперименты по определению механических свойств картона марки П-35, используемого для изготовления упаковочных коробов. Испытания проводились для образцов картона при изгибе вдоль и поперек гофры картона. Был проведен анализ результатов испытаний картона, снятых с диаграммы деформации, на которой значения прогиба при изгибе вдоль и поперек гофры картона для начального этапа деформации совпадают. На этом участке силовое воздействие на картон еще невелико и средний слой картона, содержащий гофрированный элемент, не оказывает на свойства образца деформироваться существенного влияния. Однако при увеличении значения силового воздействия средний гофрированный слой начинает оказывать существенное влияние на изгиб образца. Результаты эксперимента были использованы для определения модуля упругости для картона марки П-35.

Кроме того, были получены диаграммы растяжения ленты клейкой универсальной (упаковочный скотч) по направлению вдоль и поперек ленты. При малых приложенных силах относительная деформация незначительно растет пропорционально напряжениям для обоих вариантов деформации скотча. При дальнейшем увеличении напряжения деформация растет более стремительно и достигает значения напряжения, соответствующего пределу прочности, т.е. наибольшему значению напряжения, которое может выдержать материал без разрушения. Для образца, растягиваемого вдоль ленты, это напряжение равно 60,25 МПа, а для образца, растягиваемого поперек ленты, – 88,43 МПа. После этого происходит утончение образца и разрыв в месте утончения.

На основании полученных значений свойств обвязочной ленты, ленты клейкой универсальной и картона далее было произведено моделирование поддона с упакованными катушками для анализа деформаций и напряжений, возникающих в частях этой системы. С помощью метода конечных элементов на основе программного комплекса ANSYS было выполнена разработка расчетных моделей и на их основе конечноэлементных моделей деформирования крышки картонного короба упаковки и сепараторов, расположенных между катушками.

Результаты расчетов картонного короба в месте, где проходит обвязочная лента, показали, что наибольшие напряжения возникают в месте сгиба картона. Зонами, в которых возникает повреждение коробки, являются области соприкосновения ленты с местами перегиба картона. Расчеты, выполненные для различных значений ускорения вагона, показали, что при значении ускорения 2,9g наступает повреждение короба, вызванное продавливанием картона, которое происходит в соответствии с ГОСТ 7376–89 для картона марки П-35 при значении напряжения продавливания 1,6 МПа, что значительно меньше максимального значения касательного напряжения, полученного в результате расчетов и составляющего 3,56 МПа. Таким образом, упаковка будет разрушаться, что наблюдается на практике. Выполнен анализ целесообразности увеличения прочности и жесткости угловых ребер картонных упаковочных коробов наклеиванием полосок скотча.

Моделирование напряженно-деформированного состояния мест взаимодействия катушек и сепараторов показало, что максимальное напряжение, возникающее в сепараторе, равно 12,5 МПа. И наблюдаются по ободу углубления под катушку. Значения этих напряжений не оказывают существенного влияния на прочность сепаратора. Результаты исследования показали, что давление на короб со стороны сепаратора также относительно невелико и не приводит к повреждению упаковки.

В связи с тем, что способ крепления с помощью стандартных средств не обеспечивает в полной мере сохранность перевозимого груза, предложено использовать пневмооболочки. Указанный вид крепления позволяет распределить силы, действующие на упаковку по большей площади по сравнению с брусками, и обладает мягкими характеристиками, следовательно, его использование обеспечивает лучшую сохранность грузов. Также при использовании пневмооболочек возможно заполнение ими всего свободного пространства для предотвращения как продольных, так и поперечных перемещений. Однако использование пневмооболочек связано с необходимостью учета не только выдерживаемой нагрузки и ширины заполняемого пневмооболочкой пространства, но и размера пневмооболочки по отношению к размерам грузового места, возле которого он устанавливается. Предложена методика крепления грузов в вагоне с помощью пневмооболочек, учитывающая влияние их расстановки на продольные и поперечные силы, которые действуют на крепления, при различных параметрах движения вагона.

УДК 539.373

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОМОДИФИКАЦИИ УГЛЕПЛАСТИКА НА ОСТАТОЧНОЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОСЛЕ ФОРМОВАНИЯ

ЧЖО АУНГ ЛИН, Л. Н. РАБИНСКИЙ

Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

В работе проводилось исследование влияния наномодификации углепластика на остаточное напряженно-деформированное состояние после формования. Как правило, композиты формируются при повышенных температурах, после чего происходит их охлаждение до температуры эксплуатации. В силу высокой анизотропии физико-механических свойств при охлаждении происходит неравномерная по толщине и направлениям усадка слоев композита, что приводит к появлению остаточных прогибов и внутренних напряжений в композитных деталях. Одним из способов снижения остаточных напряжений и деформаций является наномодификация. Внедрение наноразмерных частиц в состав композита или его компонентов (волокна или связующего) позволяет не только повысить его физико-механические свойства, но и улучшить картину остаточного напряженно-деформированного состояния.

Рассматривается многослойная панель из полимерного композита, обладающая анизотропией вследствие несимметрии свойств структуры пакета по толщине. Рассматриваемая панель свободна от нагрузки и закрепления. Определены коэффициенты линейного температурного расширения для k -го слоя, а также деформации слоя, вызванные начальным натяжением, в осях панели. Для аналитического расчета: пластина свободна от закрепления и внешней силовой нагрузки, температурная нагрузка – перепад на 100 °С. Для КЭ-расчета: пластина закреплена в точке геометрического центра, силовая нагрузка отсутствует, температурная нагрузка – перепад 100 °С. Для изготовленных пластин измерялись прогибы по каждой из четырех сторон. Для этого на ровной поверхности фиксировались две крайние точки, прогиб измерялся по центру стороны штангенциркулем. Рассмотрена плоская панель без начальной кривизны со свободными от нагрузки и закрепления краями, подверженную действию температурного поля, равномерно распределенного по толщине. Поверхность приведения совпадает с срединной поверхностью.

Результаты, полученные аналитическим и численным методами, идентичны. Наибольшее сходство с экспериментальными данными дает метод определения эффективных свойств монослоя.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-01-00837).