

Д. Д. КИНДОВА-ПЕТРОВА, С. В. ЛИЛКОВА-МАРКОВА

НЕОДНОРОДНОЕ КРУЧЕНИЕ ТОНКОСТЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ, ЗАГРУЖЕННЫХ КРУТЯЩИМ МОМЕНТОМ

Исследовано неоднородное кручение тонкостенных стержней открытого профиля. Рассматривались три варианта закрепления конца балки, к правому концу которой приложен крутящий момент. Выведены формулы для угла закручивания. Результаты расчетов представлены на графиках.

Получено 08.04.2008

**ISBN 978-985-468-565-6. Механика. Научные исследования
и учебно-методические разработки. Вып. 3. Гомель, 2009**

УДК 656.225.073.4

О. С. КОЛОМНИКОВА

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ УПАКОВКИ ШТУЧНОГО ГРУЗА ПОД ДЕЙСТВИЕМ НОРМАТИВНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

С помощью конечноэлементного моделирования было рассмотрено взаимодействие обвязочной ленты с картонным коробом упаковки штучного груза. Результаты расчетов показали места расположения наибольших напряжений на картоне. Также в работе описаны результаты проведенных экспериментов по определению свойств упаковочных материалов. Полученные результаты позволяют выработать дополнительные меры по обеспечению сохранности груза.

При транспортировке штучных грузов на них действуют переменные нагрузки, обусловленные неравномерностью движения железнодорожного подвижного состава. Наибольшие нагрузки имеют место при соударении вагонов.

Размещать и крепить грузы в крытых вагонах необходимо с учетом обеспечения безопасности движения поездов, производства маневровых и погрузочно-разгрузочных работ, полного использования грузоподъемности или вместимости вагонов, сохранности перевозимых грузов и подвижного состава [1–3]. Вследствие движения вагонов и производства маневровых операций в частях груза и вагона возникают напряжения и деформации, которые могут привести к их повреждению и, следовательно, несохранной перевозке груза.

Наибольшее распространение при анализе напряжений и деформаций в инженерных конструкциях получил метод конечных элементов (МКЭ), на основе которого работает программный комплекс ANSYS.

Решение задач прочности с применением МКЭ во многом зависит от правильного выбора расчетной схемы, аппроксимирующих ее конечных элементов,

законов распределения действующих нагрузок, мест их приложения, определения наиболее нагруженных зон и анализа полученных схем, поэтому рассмотрим процесс создания модели.

Была выполнена разработка расчетных схем и на их основе конечноэлементных моделей деформирования верхних углов картонного короба упаковки штучного груза, установленного на поддоне. Особенностями расчетных схем является наличие материалов с разными характеристиками. Одно грузовое место представляет собой штучный груз в картонном коробе, установленный на поддоне и перевязанный пластиковой обвязочной лентой *Tenax 1718* (поперечные размеры 11,1×0,6 мм). Общая масса одного грузового места принята 1600 кг. Рассмотрен случай соударения движущегося вагона о группу вагонов, неподвижно стоящих на путях. При этом внутри вагона находятся коробки. Вагон движется с ускорением.

Для расчетов были приняты следующие параметры. Значения для картона марки П-35: сопротивление продавливанию – 2,3 МПа; сопротивление торцевому сжатию вдоль гофров – 1,2 кН/м; удельное сопротивление разрыву с приложением разрушающего усилия вдоль гофров по линии рилевки после выполнения одного перегиба на 180° – 17 кН/м; сопротивление торцевому сжатию вдоль гофров – 12 кН/м.

Первая модель предназначена для анализа влияния давления обвязочной ленты на картонный короб, в который упакован штучный груз. При разработке этой модели на основе исходных данных выполнено геометрическое моделирование части картонного короба в том месте, где проходит обвязочная лента (рисунок 1).

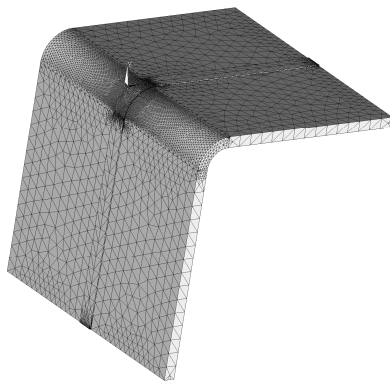


Рисунок 1 – Четверть картонного короба с обвязочной лентой

Для учета всех сил тяжести элементов в качестве инерционной нагрузки вводилось значение ускорения силы тяжести. Учитывалось действие силы натяжения, приложенной к обвязочной ленте (2 кН). Это значение соответствует характеристикам, указанным для ленты *Tenax 1718*.

Автоматическая генерация сетки конечных элементов приводила к появлению элементов с большим соотношением длин ребер, поэтому были предприняты дополнительные меры для создания регулярной сетки конечных элементов, обеспечивающей более высокую точность расчетов. Кроме того, в местах контакта частей конструкции выполнено более мелкое разбиение на конечные элементы с целью определения функциональных зависимостей контактных давлений, касательных контактных напряжений, проскальзывания. При создании конечно-элементной сетки приняты тетраэдральные элементы SOLID187 и SOLID185.

Результаты расчетов показали, что наибольшие напряжения возникают в месте сгиба картона. На рисунке 2 показан этот участок со шкалой касательных напряжений. Одинаковый оттенок соответствует одинаковым значениям напряжений. Опасными 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 этого 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.

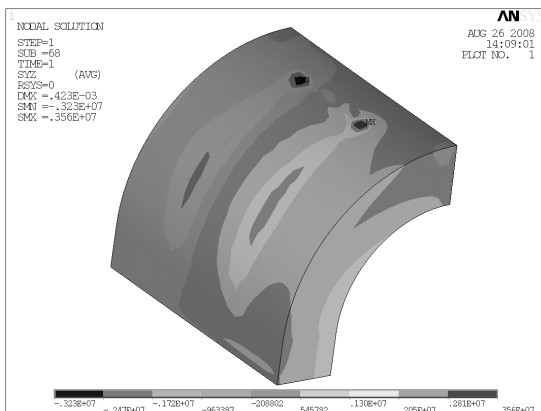


Рисунок 2 – Воздействие ленты на картонный короб снаружи

На рисунках 3 и 4 приведены результаты расчета воздействия обвязочной ленты на картонный короб, проявляющееся изнутри, а также распределение эквивалентных напряжений на сгибе короба в месте соприкосновения с обвязочной лентой в его верхней части.

Для выполнения уточненных расчетов и проверки прочности коробки под действием ударных нагрузок выполнено экспериментальное определение свойств обвязочной ленты *Tenax 1718* (размеры поперечного сечения 10,5×0,7 мм). В соответствии с документацией разрывное усилие для данной обвязочной ленты составляет 2670 Н, что соответствует допускаемому нормальному напряжению

при растяжении в 400 МПа. Однако по результатам проведенных нами испытаний (рисунок 5) получено, что при реальных размерах поперечного сечения ленты 10,5×0,7 мм допустимое нормальное напряжение при растяжении равно 350 МПа, разрывная сила 2572,5 Н. Таким образом реальное значение разрывного усилия обвязочной ленты оказалось меньше заявленного в документации. Это может быть одной из причин разрыва обвязочной ленты при соударении вагонов во время транспортировки.

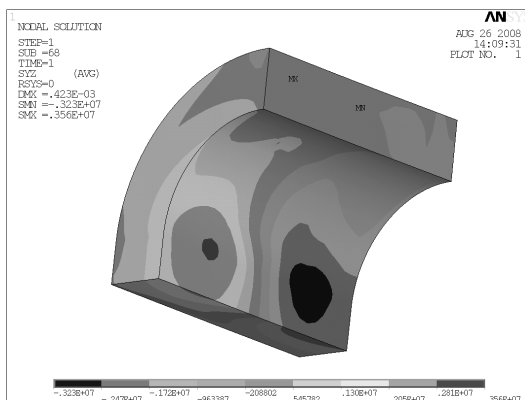


Рисунок 3 – Воздействие ленты на картонный короб, проявляющееся изнутри

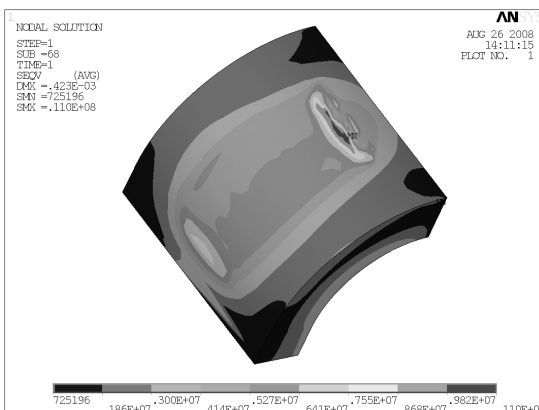


Рисунок 4 – Распределение эквивалентных напряжений на сгибе крышки короба

Также определено, что реальное значение максимального относительного удлинения ленты составляет 21 %, при том, что в документации указано значе-

ние 12 %. Таким образом, обвязочная лента обладает меньшей жесткостью, чем указано в документации на нее. Это может приводить к ослаблению натяжения обвязочной ленты при соударении вагонов и последующему нарушению целостности упаковки.

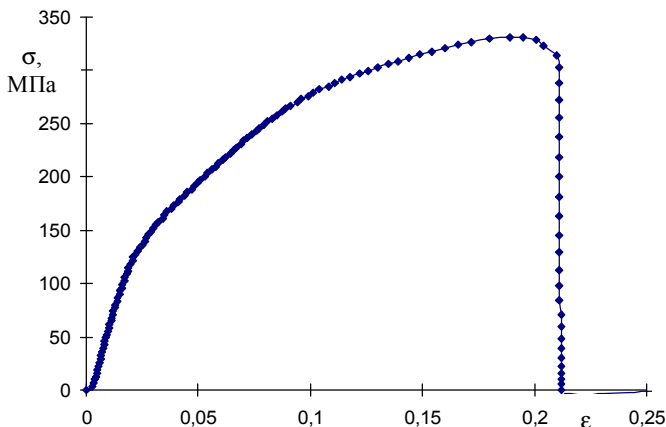


Рисунок 5 – Диаграмма растяжения ленты *Tenax 1718* (размеры поперечного сечения 10,5×0,7 мм)

Также были проведены эксперименты по определению механических свойств картона марки П-35, используемого для изготовления упаковочных коробов. На рисунке 6 приведена схема проведения испытаний образца картона на трехточечный изгиб. Образец помещался на две опоры, расстояние между которыми составило $l = 120$ мм. Сила F прикладывалась посередине образца. Образцы для проведения испытаний имели следующие параметры: толщина 7 мм, ширина 40 мм. Скорость деформирования образцов составила 50 мм/мин.

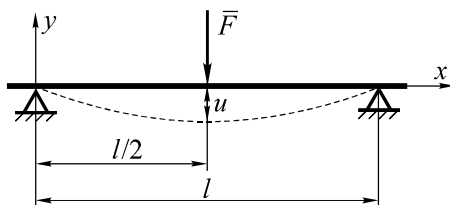


Рисунок 6 – Схема проведения испытаний образца картона на трехточечный изгиб

Испытания проводились для образцов картона при изгибе вдоль и поперек гофры картона. Результаты испытаний приведены на рисунке 7.

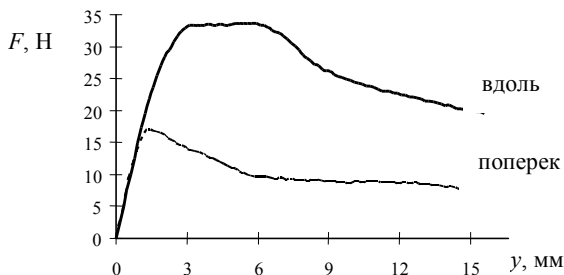


Рисунок 7 – График деформации образца картона при изгибе вдоль и поперек гофры картона

Выполнен анализ результатов испытаний картона, снятых с прямолинейного участка диаграммы, на котором значения перемещения при изгибе вдоль и поперек гофры картона совпадают. Для определения модуля упругости картона произведены расчеты по формулам таблицы 11.3 из справочника [4]. В этом случае величина прогиба картона, м,

$$y = \frac{Fl^3}{48EJ_y},$$

где F – сила, действующая на образец картона; принято $F = 9,7295$ Н для значения $y = 0,5835$ мм; l – расстояние между опорами $l = 120$ мм; J_y – осевой момент инерции прямоугольного сечения, м⁴, рассчитывается по следующей формуле:

$$J_y = \frac{bh^3}{12},$$

где b и h – соответственно ширина и толщина поперечного сечения образца картона, $b = 40$ мм, $h = 7$ мм.

Тогда получим выражение для определения модуля упругости, МПа,

$$E = \frac{Fl^3}{48y \cdot J_y}.$$

Для испытываемого образца получены следующие результаты:

$$J_y = \frac{40 \cdot 10^{-3} \cdot (7 \cdot 10^{-3})^3}{12} = 1143,33 \cdot 10^{-12} \text{ м}^4;$$

$$E = \frac{Fl^3}{48y \cdot J_y} = \frac{9,7295 \cdot (120 \cdot 10^{-3})^3}{48 \cdot 1143,33 \cdot 10^{-12} \cdot 0,5835 \cdot 10^{-3}} = 525,02 \text{ МПа}.$$

Усредненные значения модуля упругости, приведенные в современной справочной и научной литературе [5] и принятые для предварительных расчетов, составили по направлению вдоль раскатки рулона картона 3578,5 МПа, по

направлению поперек раскатки рулона 1367,8 МПа (рисунок 8). В результате наших расчетов получено, что эти значения для используемого картона марки П-35 близки, что позволяет при выполнении расчетов использовать модель материала с изотропными свойствами.

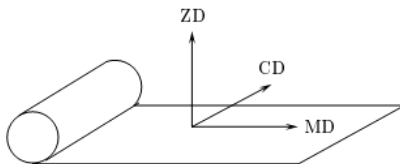


Рисунок 8 – Направления главных осей для картона (MD – по направлению вдоль раскатки рулона; CD – по направлению поперек раскатки рулона)

Выполненное компьютерное моделирование позволило определить напряженно-деформированное состояние элементов упаковки. Результаты расчетов показали, что при ускорениях, превышающих 2,9g, наблюдаются повреждения картонного короба, обусловленные действием сдвиговых напряжений.

Результаты конечноэлементного моделирования показали, что, например, наклеивание скотча позволяет более равномерно распределить напряжения, возникающие в контакте между упаковочной лентой и картоном. Это даст возможность избежать прорыва картонной коробки при соударениях вагонов.

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 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) / ГосНИИВ-ВНИИЖТ. – М., 1996. – 319 с.
- 4 Справочник по сопротивлению материалов / Е. Ф. Винокуров [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1988. – 464 с.
- 5 **Beldie, L.** Mechanics of Paperboard Packages – Performance at Short Term Static Loading: Licentiate Dissertation on Structural Mechanics / Lund University. – Lund, 2001. – 67 p.

O. S. KOLOMNIKOVA

THE ANALYSIS OF STRENGTH FOR UNIT-LOAD PACKING UNDER ACT OF NORMATIVE OPERATIONAL LOADS DURING RAILWAY TRANSPORTATION

With the help of finite element modelling a unit-load strapping tape and board packing box effect has been examined. Results of computations have shown the places of the greatest board pressure. Also the results of carried out experiments by defining packing material properties have been generated. The findings allow to develop additional goods safety measures.

Получено 20.12.2008