

## Список литературы

- 1 Москвитин, В. В. Циклические нагрузки элементов конструкций / В. В. Москвитин. – М. : URSS. – 2019. – 344 с.
- 2 Власов, В. З. Общая теория оболочек и ее приложения в технике / В. З. Власов. – М. : Гостехиздат, 1949. – 761 с.
- 3 Буриев, Т. Алгоритмизация расчета несущих элементов тонкостенных конструкций / Т. Буриев. – Ташкент : Фан, 1986. – 244 с.
- 4 Старовойтов, Э. И. Деформирование трехслойных элементов конструкции на упругом основании / Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая, Д. В. Леоненко. – М. : Физматлит. – 2006. – 379 с.
- 5 Годунов, С. К. Разностные схемы / С. К. Годунов, В. С. Рябенский. – М. : Наука, 1973. – 400 с.
- 6 Абдусаттаров, А. К решению разностных краевых задач составных оболочечных конструкций типа цистерны / А. Абдусаттаров, Н. Х. Сабиров // Проблемы механики. – 2018. – № 1. – С. 6–12.
- 7 Абдусаттаров, А. Расчетные модели магистральных трубопроводов при переменном-пространственном нагружении с учетом повреждаемости / А. Абдусаттаров, Н. Б. Рузиева // Доклады АН Руз. – 2022. – № 6. – С. 94–98.

УДК 539.4: 678.01

## ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ УПРУГО-ДИССИПАТИВНЫХ СВОЙСТВ ШИННЫХ КОРДОВ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

*А. П. САЗАНКОВ, С. В. ШИЛЬКО, Т. В. ДРОБЫШ*

*Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого  
НАН Беларуси, г. Гомель*

*А. В. ХОТЬКО*

*ОАО «Белишина», г. Бобруйск, Республика Беларусь*

Автомобильная шина представляет собой сложное композитное изделие из физически нелинейных вязкоупругих материалов в виде матричного эластомера (резины) и армирующего наполнителя (полимерного текстильного или металлического корда). Повышение конкурентоспособности отечественных автомобильных шин основано на оптимизации состава названных материалов, технологии изготовления и конструкции шины. На современном уровне техники это достигается проведением проектировочных и поверочных расчетов, предполагающих характеристику вязкоупругих свойств не только матричного эластомера, но и кордного наполнителя [1, 2], поскольку гистерезис корда вносит существенный вклад в общий баланс потерь энергии при качении шины. Получение исходных данных и идентификация реологических моделей кордного материала позволяет прогнозировать диссипативные характеристики резинокордных композитов и ряд эксплуатационных показателей шин, включая сопротивление качению, на стадии проектирования [3]. В отличие от текстильных кордов на полимерной основе металлокорд не демонстрирует выраженных объемных вязкоупругих свойств. Тем не менее, представляя собой скрутку взаимодействующих с трением проволок, он также является диссипативным элементом.

Цель работы – входной контроль текстильных и металлокордов для автомобильных шин.

Для лабораторных исследований деформативности, прочности и диссипативности кордов, имитирующих условия эксплуатации автомобильных шин, целесообразны ускоренные комбинированные механические испытания в виде последовательности циклического нагружения и кратковременной релаксации (ранее использованные для диагностики шинных резин [4]) и финального статического нагружения до разрушения. Такие комбинированные испытания позволяют автоматизировать и рационализировать трудоемкую и длительную процедуру определения параметров корда по имеющемуся стандарту [5] благодаря уменьшению числа образцов и затрат времени без потери точности. Для их реализации могут быть использованы программно-аппаратные возможности современных машин для механических испытаний, в частности, программируемой машины Инстрон 5567, имеющейся в ИММС НАН Беларуси.

Были исследованы 14 марок текстильных (капроновых, амидных, хлопко-амидных, полиэфирных) кордов К1–К14 (рисунок 1, а) и 14 марок металлических кордов С1–С14 (рисунок 1, б). В соответствии с требованиями стандарта [5] разработана методика комбинированных испытаний на растяжение указанных материалов на машине Инстрон 5567 при помощи управляющего модуля Director программного обеспечения Мерлин. Испытания проводились при нормальных условиях:

температура воздуха  $23 \pm 2$  °С, относительная влажность воздуха 50 %, давление 750 мм рт. ст., амплитуда усилия при циклическом нагружении 10–50 Н.



Рисунок 1 – Структура текстильного (а) и металлического (б) кордов

Были получены значения разрывного усилия, относительного удлинения при разрыве, модуля упругости в заданном диапазоне растягивающих усилий, а также диаграммы деформирования при циклическом нагружении и релаксации, позволяющие определить реологические константы рассматриваемых материалов в рамках существующих вязкоупругих моделей. В частности, на рисунке 2 показана типичная нагрузочная диаграмма, полученная при комбинированном испытании хлопкоанидного пропитанного корда марки 21 КНТС-П, уток 22 текс.

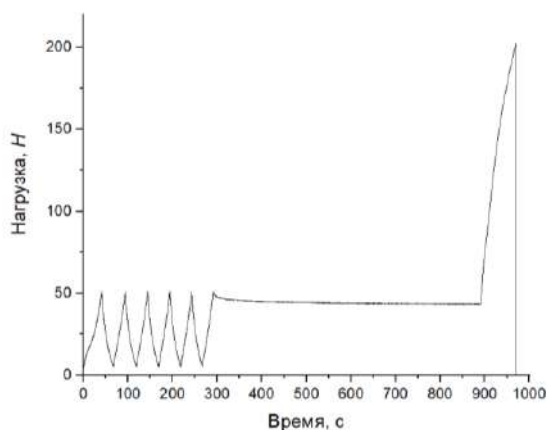


Рисунок 2 – Зависимость «усилие – время» при комплексном испытании «5 циклов растяжения – релаксация 10 минут – растяжение до разрыва» текстильного корда К12

Также представляет интерес сопоставление предельного удлинения при разрыве металлокорда разных марок (рисунок 3). Обычно результаты испытаний соответствуют данным производителя, но для марок С2 и С7 имеют место существенное различие указанных значений этого параметра.

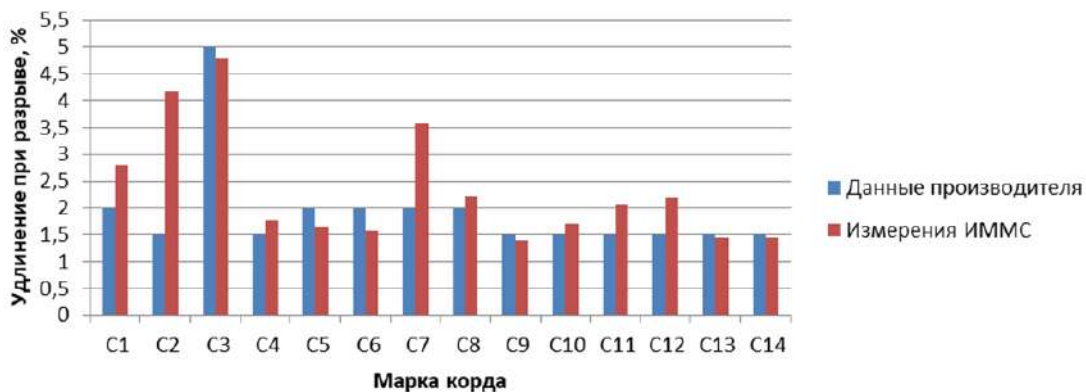


Рисунок 3 – Предельное удлинение при разрыве металлокорда разных марок

Установлено, что разрывное усилие текстильных кордов после циклического нагружения и последующей релаксации снижается вследствие деградации структуры и свойств. В ряде случаев снижение этого показателя существенно; максимальное снижение (15,7 %) установлено для корда К1. Достаточно стабильным значением (изменение < 1 %) разрывного усилия характеризуются корды К4 и К11 (0,4 % и –0,7 % соответственно). Таким образом, показана необходимость входного контроля механических характеристик металлокорда.

## Список литературы

- 1 Шмурак, И. Л. О тенденциях в области шинного корда и его обработки / И. Л. Шмурак // Проблемы шин и резино-кордных композитов : сб. тр. XXII симпозиума. – М. : НИИШП, 2011. – Т. 2. – С. 205–211.
- 2 Ferreira da Cruz, A. D. Influence of Cord Design on Mechanical Properties of Tire Cords / A. D. Ferreira da Cruz: Master's Thesis. – FEUP, Departamento de Engenharia Química, 2014. – 81 p.
- 3 Performance Evaluation of Cord Material Models Applied to Structural Analysis of Tires / N. Korunović [et al.] // Composite Structures. – 2019. – Vol. 224. – DOI : 10.1016/j.compstruct.2019.111006
- 4 Экспериментальное определение упругих и вязкоупругих характеристик шинных резин / С. В. Шилько [и др.] // Теоретическая и прикладная механика : междунар. н/т сб. / Белор. нац. техн. ун-т ; редкол. : Ю. В. Василевич (пред. редкол., гл. ред.). – Минск : БНТУ, 2022. – Вып. 36. – С. 114–117.
- 5 ASTM D 885. Conditioned Fibers and Cords Test. Standard Test Methods for Tire Cords, Tire Cord Fabrics, and Industrial Filament Yarns Made from Manufactured Organic-Base Fibers. – US : ASTM Int., 2014. – 31 p.

УДК 539.31

## ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ АНИЗОТРОПНОЙ ПЛАСТИНЫ ЧОУ НА УПРУГО-ИНЕРЦИОННОМ ОСНОВАНИИ

Д. О. СЕРДЮК, Г. В. ФЕДОТЕНКОВ

Московский авиационный институт (НИИ);

НИИ механики МГУ им. М. В. Ломоносова, Российская Федерация

Объектом исследования является тонкая пластина с постоянной толщиной  $h$  и плотностью  $\rho$ . Пластина связана с двухпараметрическим основанием, характеризующимся коэффициентом жёсткости основания  $c$  и массовым коэффициентом  $m_f$ . Материал пластины упругий и анизотропный, с симметрией относительно срединной плоскости пластины – моноклинный тип симметрии упругой среды, для которой тензор упругих постоянных характеризуется тринадцатью независимыми упругими постоянными [1]  $c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{16}, c_{22}, c_{23}, c_{26}, c_{33}, c_{36}, c_{44}, c_{45}, c_{55}, c_{66}$ .

В начальный момент времени  $t = 0$  на пластину воздействует нестационарное нормальное давление  $p(x_1, x_2, t)$  с переменной по координатам и времени амплитудой. Движение пластины рассматривается в прямоугольной системе координат  $Ox_1x_2x_3$ , плоскость  $Ox_1x_2$  совпадает со срединной плоскостью пластины.

В качестве математической модели пластины приняты гипотезы Чоу [2]. Уравнения движения пластины Чоу построены из концепций балочной теории Тимошенко и включают эффекты поперечного сдвига и инерции вращения. В работе [2] исследована нестационарная динамика многослойной ортотропной пластины Чоу. В работе [3] представлены результаты сопоставления экспериментальных данных и расчетов для анизотропной пластины Чоу в случае действия импульсной нагрузки.

Ранее были построены и исследованы фундаментальные решения для анизотропных пластин по гипотезам Кирхгофа и теории Тимошенко [4, 5]. В настоящей работе построены фундаментальные решения для гомогенной анизотропной пластины Чоу на упруго-инерционном основании. Постановка задачи включает в себя уравнения движения в перемещениях, начальные условия и условия ограниченности решения на бесконечности:

$$\rho h \frac{\partial^2}{\partial t^2} (G_b + G_s) = hK_2 (G_s) + \delta(x_1, x_2) \delta(t) - cG_b - m_f \frac{\partial^2}{\partial t^2} (G_b + G_s), \quad (1)$$
$$\rho I \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial^2 G_b}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 G_b}{\partial x_2^2} \right) = IK_1 (G_b) + hK_2 (G_s),$$

$$G_b|_{t=0} = \frac{\partial G_b}{\partial t}|_{t=0} = G_s|_{t=0} = \frac{\partial G_s}{\partial t}|_{t=0} = 0, \quad G_b|_{r \rightarrow \infty} = G_s|_{r \rightarrow \infty} = O(1), \quad r = \sqrt{x_1^2 + x_2^2}. \quad (2)$$