

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института

автоматики и процессов управления ДВО РАН

академик РАН

Ю.Н. Кульчин



28 января 2015 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию **ЯКОВЛЕВА Максима Яковлевича «Моделирование эффективных механических характеристик резинокорда при конечных деформациях»**, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности **05.13.18 – математические модели, численные методы и комплексы программ**

Целью диссертации М.Я. Яковлева является численное моделирование эффективных механических характеристик резинокордного композита.

Оценка эффективных механических характеристик резинокорда представляет интерес для практического применения в области прочностного моделирования пневматических шин, а также других изделий, в состав которых входят резинокордные композиты. Численное моделирование позволяет существенно сократить финансовые и временные затраты на проведение натурных экспериментов. Поэтому не вызывает сомнений **актуальность** темы диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка публикаций автора по теме диссертации, списка использованной литературы

и двух приложений.

Во введении даётся общая характеристика работы, приводится обзор литературы по исследованию эффективных характеристик материалов и по исследованию свойств резинокорда, обосновывается актуальность темы, научная новизна, практическая значимость исследований, достоверность результатов. Формулируются цели работы и положения, выносимые на защиту. Перечисляются публикации и выступления автора диссертации на научных конференциях и симпозиумах.

В первой главе приводятся основные обозначения и соотношения нелинейной теории упругости, которые используются в работе в дальнейшем.

Во второй главе приводится определение эффективных механических характеристик резинокорда, описываются методика и алгоритм их численной оценки при конечных деформациях, программная реализация алгоритма.

Третья глава посвящена верификации полученных численных результатов. Результаты расчёта, полученные с использованием программного модуля для оценки эффективных свойств резинокорда, сравниваются с аналитическими формулами из литературных источников, также проверяется сеточная сходимость при уменьшении характерного размера элемента конечноэлементной сетки. По результатам сравнения делаются выводы о том, что результаты, полученные с использованием программного модуля, достоверны.

В четвёртой главе приводятся результаты численного моделирования эффективных механических характеристик резинокорда при конечных деформациях. Исследуется зависимость эффективных свойств резинокорда от свойств корда, свойств резины, шага нитей корда, а также угла между нитями корда в соседних слоях для двуслойного резинокорда.

В заключении формулируются основные результаты и выводы диссертационной работы.

В приложениях приводится программный код разработанного программного модуля.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Модифицирована математическая модель резинокорда с учётом конечности деформаций и слабосжимаемости резины, модифицированы методики оценки эффективных механических характеристик неоднородных материалов применительно к резинокорду.
2. Разработаны алгоритм и программный модуль на языке C++ для численной оценки эффективных механических свойств резинокорда при конечных деформациях.
3. Проведены численные эксперименты, анализ результатов которых показал влияние на эффективные свойства резинокордного композита механических свойств резины и корда, а также геометрии материала.

Практическая значимость работы заключается в разработке алгоритма и программного модуля, которые могут быть использованы для исследования эффективных свойств резинокорда, используемого при производстве пневматических шин и других резинокордных изделий: шлангов высокого давления, рукавов, манжет, дорожных покрытий и т.п. Этот программный модуль входит в состав программного комплекса для инженерного прочностного анализа. Важным с точки зрения практического применения является учёт конечности деформаций при оценке эффективных свойств – поскольку изделия из резинокорда испытывают такие деформации. Практическое значение имеет и выполненное в диссертации исследование зависимости эффективных свойств резинокорда от модулей упругости резины и корда и от структуры композита.

Полученные в диссертации результаты могут быть использованы при численном прочностном моделировании изделий из резинокорда и других видов композиционных материалов в научно-исследовательских подразделениях организаций, занимающихся разработкой резинокордных

композитов, изделий из резинокорда и других композитов, а также в высших учебных заведениях технического профиля в процессе обучения. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в таких организациях, как МГУ имени М.В. Ломоносова, МФТИ, НИЯУ МИФИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, ООО «НТЦ НИИШП», ООО «НТЦ «Интайр», ООО «НИИЭМИ» и др.

Достоверность результатов основана на корректной математической постановке задачи, использовании классических соотношений механики деформируемого твердого тела, применении общепризнанных численных методов и подтверждается их совпадением при малых деформациях с аналитическими решениями.

Замечания

1. Для однозначного определения компонент аффинора деформаций (тензора дисторсии) через компоненты тензора деформаций Грина аффинор задается верхнетреугольным (стр. 33 диссертации). Почему именно такой? Было бы целесообразно привести какие-либо пояснения.
2. В диссертации не указаны численные значения параметров a , b , c и d , характеризующих модифицированные последовательности задач (стр. 35, 36).

Данные замечания не снижают положительную оценку работы в целом и не ставят под сомнение её высокое качество.

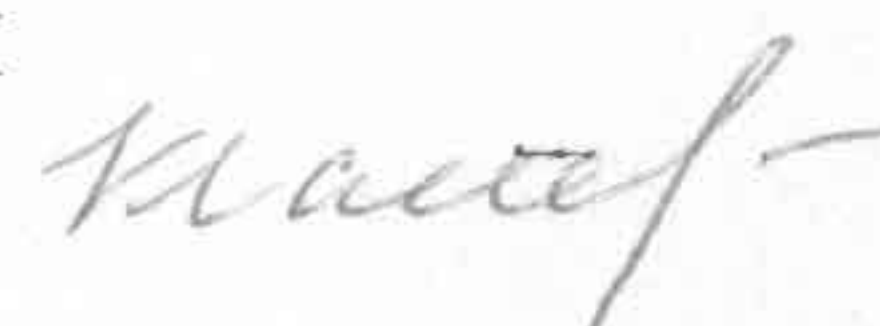
В целом диссертация М.Я. Яковлева является законченным научным исследованием, в котором методом конечных элементов проведена численная оценка эффективных свойств резинокордного композита с учетом анизотропии резинокорда и слабосжимаемости резины при конечных деформациях с учетом нелинейности. Диссертация обладает актуальностью и научной новизной, а также научной и практической значимостью. Представленные результаты работы достоверны, выводы обоснованы.

Автореферат и публикации полностью соответствуют содержанию диссертации.

Считаю, что диссертация М.Я. Яковлева «Моделирование эффективных механических характеристик резинокорда при конечных деформациях» соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, а её автор, Яковлев Максим Яковлевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв обсужден на заседании семинара отдела механики необратимого деформирования ИАПУ ДВО РАН (протокол № 1 от 23 января 2015 г.).

Заведующая лабораторией механики
необратимого деформирования
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института автоматизации и процессов
управления Дальневосточного отделения
Российской академии наук, д.ф.-м.н.

 Ковтанюк Л.В.

«ЗАВЕРЯЮ»
УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ИАПУ ДВО РАН
КАНД. ТЕХН. НАУК, ДОЦЕНТ



С.Б.ЗМЕУ