

4. Яхьяев Н. Я. Новая смазочная композиция для модификации поверхностей трибосопряжений судового малоразмерного дизеля / Н. Я. Яхьяев, Ж. Б. Бегов, Ш. Д. Батырмурзаев // Вестник АГТУ. Сер. Морская техника и технология. – 2009. – Вып. 1. – С.251 - 255.
5. Ильин А. П. Влияние суспензии «моторное масло+смесь нанопорошков меди и никеля» на трибологические свойства пары трения "углеродистая сталь - зколегированная сталь" / А. П. Ильин, О. Б. Назаренко, С. В. Рихерт // Известия Томского политехнического университета, 2004. - Т. 307. - № 3. - С. 77-79.

УДК 685.34.03: 685.34.072

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛАКСАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ВЕРХА ОБУВИ

ТОМАШЕВА Р.Н., доцент, ГОРБАЧИК В.Е., профессор

Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь

Ключевые слова: релаксация деформации, механическая модель, вязко-упругие свойства, системы материалов.

Реферат: исследована возможность применения трехкомпонентной модели Кельвина-Фойгта для моделирования процессов релаксации деформации в системах материалов для верха обуви. Установлено, что данная механическая модель позволяет достаточно точно описывать реологические свойства систем материалов с различным сочетанием комплектующих в период нагружения и несколько хуже – в период отдыха. Для более точного описания процесса релаксации деформации систем материалов предложено использовать четырехкомпонентную модель, обеспечивающую лучшее совпадение теоретических и эмпирических значений деформации.

Качество выполнения ряда ответственных технологических операций производства обуви обуславливается релаксационным характером поведения материалов заготовки при действии механических сил. Реологические свойства материалов определяют стабильность размеров и формы изделия во времени и технологические режимы обработки материалов на стадии производства обуви. Однако, изучение реологических свойств материалов носит трудоемкий характер и сопряжено со значительными затратами времени на проведение испытаний. Поэтому, в настоящее время, для изучения и описания процессов релаксации широко применяются модельные методы, позволяющие глубоко изучить и прогнозировать закономерности изменения деформационных свойств материалов во времени.

Наиболее часто описание релаксационных процессов в упруго-вязких материалах осуществляется с использованием механических моделей, представляющих собой различные комбинации соединенных между собой идеально-упругих элементов, подчиняющихся закону Гука, и вязких элементов, подчиняющихся закону Ньютона. Простейшая схема структуры упруго-вязкого материала состоит из одного упругого элемента и одного вязкого, соединяемых последовательно (модель Максвелла) или параллельно (модель Кельвина-Фойгта). Используя различные комбинации простых элементов создают механические модели, свойства которых с той или иной степенью точности описывают реальное поведение конкретных материалов. С помощью механических моделей составляются реологические уравнения поведения исследуемых материалов.

В настоящее время известно много различных механических моделей, описывающих релаксационные процессы в упруго-вязких материалах. Так, объединенная модель, предложенная рядом ученых для описания свойств текстильных материалов [1], состоит из элемента Кельвина-Фойгта, вставленного между двумя элементами модели Максвелла, и дает хорошее совпадение с эмпирическими данными преимущественно в области малых напряжений. Обобщенная трехкомпонентная модель Кельвина-Фойгта использовалась Кобляковым А. Н. [2] для описания ползучести трикотажных полотен, а Бузовым Б. А. и Петропавловским Д. Г. [3] – для

количественного описания релаксации деформации тканей. Данная механическая модель хорошо описывает процесс деформирования при напряжении в пробе материала, не превышающем 10 % разрывного. Для kleеных нетканых материалов Тихомировым В. Б. и Самойловой Л.В. [4] предложена модель, состоящая из последовательно соединенных упругого элемента и элемента Кельвина-Фойгта. Ю. П. Зыбиным предложена модель деформации натуральной кожи как волокнисто-сетчатого материала, которая позднее была усовершенствована Н. А. Шестаковой [5]. Предлагаемая модель состоит из упругих элементов, соединенных с элементами Кельвина-Фойгта и имитирующих волокна кожи. В свою очередь элементы образуют ромбовидную плоскую фигуру, имитирующую сетчатую структуру. В работе [6] для описания релаксационных свойств кож предложена модель, состоящая из последовательно соединенных двух элементов Кельвина-Фойгта и вязкого элемента.

Однако заготовка обуви представляет собой сложную конструкцию, состоящую из разнородных по химическому составу, строению и свойствам материалов (кожа, текстиль, синтетические полимеры), которые в процессе изготовления и эксплуатации обуви работают как единая система. Очевидно, что свойства системы будут существенно отличаться от свойств одиночных материалов, входящих в её состав. В настоящее время возможность применения механических моделей для описания кинетики релаксационных явлений в системах материалов изучена крайне мало. Учитывая это, важным является поиск адекватной механической модели, позволяющей с достаточной степенью точности описывать закономерности изменения деформации во времени систем материалов с различным сочетанием комплектующих.

С этой целью, была изучена возможность использования обобщенной трехкомпонентной модели Кельвина-Фойгта для описания релаксации деформации различных по составу систем материалов для верха обуви в условиях одноосного и двухосного растяжения. Данная механическая модель наиболее точно из всех известных моделей отражает высокоэластический механизм деформации, характерный для обувных материалов. Первый элемент модели соответствует начальной фазе релаксации, второй элемент – замедленной фазе релаксации с временем релаксации до 2 – 4 ч, и третий – фазе с заторможенными процессами, время релаксации которых исчисляется десятками и сотнями часов. Зависимость деформации от времени при постоянном напряжении для данной модели выражается уравнениями следующего вида:

- для периода нагружения:

$$\varepsilon = a_1 \left(1 - e^{-t/\tau_1}\right) + a_2 \left(1 - e^{-t/\tau_2}\right) + a_3 \left(1 - e^{-t/\tau_3}\right), \quad (1)$$

- для периода отдыха:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 e^{-t/T_1} + \varepsilon_2 e^{-t/T_2} + \varepsilon_3 e^{-t/T_3}, \quad (2)$$

где:  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  ( $T_1, T_2, T_3$ ) – среднее время релаксации (запаздывания) быстропротекающих, замедленных и заторможенных процессов;  $a_1, a_2, a_3$  – деформация со средним временем релаксации  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$ ;  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  – деформация со средним временем запаздывания  $T_1, T_2, T_3$ .

Расчет параметров трехкомпонентной модели Кельвина-Фойгта осуществлялся поэтапно. Для этого, на экспериментальной кривой выделялись три участка, первый из которых описывает быстропротекающие процессы релаксации и характеризует условно-упругую составляющую общей деформации. Второй участок кривой отображает медленно протекающие релаксационные процессы и соответствует условно-эластической компоненте деформации, а третий участок – соответствует заторможенным процессам релаксации или условно-пластической составляющей деформации.

Обработка экспериментальных данных по релаксации деформации систем материалов осуществлялась с использованием программного продукта для автоматизированной обработки экспериментальных данных [7] по следующему алгоритму:

В ходе обработки экспериментальных данных было установлено, что трехкомпонентная модель Кельвина – Фойгта с высокой степенью точности описывает релаксацию деформации систем материалов в период нагружения. Отклонения расчетных значений от эмпирических были несущественны и не превышали 3 %.

Несколько хуже с использованием данной модели описываются релаксационные процессы в период отдыха. Наиболее существенные отклонения расчетных значений от эмпирических отмечаются при описании замедленных и заторможенных процессов релаксации. Достаточно

точно обозначенная механическая модель описывает релаксационные процессы в системах материалов с верхом из натуральной кожи (ошибка аппроксимации не превышала 5 %). Более существенные отклонения (в ряде случаев до 20 %) расчетных значений от экспериментальных отмечались при описании релаксационных процессов в системах материалов с верхом из синтетической и искусственной кожи и межподкладкой и подкладкой из тканей.



Рисунок 1 – Блок-схема этапов автоматизированной обработки экспериментальных данных по релаксации деформации материалов

Учитывая это, для повышения точности аппроксимации экспериментальных кривых было предложено использовать механическую модель, состоящую из четырех элементов Кельвина – Фойгта, и кривую релаксации деформации разбивать на четыре участка (рисунок 1). В этом случае, первый и четвертый участки кривой характеризуют соответственно условно-упругую и условно-пластическую компоненты деформации, а два центральных участка – условно-эластическую деформацию с быстрой и условно-эластическую деформацию с медленной скоростью релаксации.

Анализ полученных данных показал что, применение механической модели, состоящей из последовательно соединенных четырех звеньев Кельвина-Фойгта обеспечивает лучшее совпадение теоретической кривой релаксации с экспериментальной и позволяет получить более точное количественное описание процессов релаксации деформации различных по составу систем материалов (отклонения расчетных значений от эмпирических не превышали 5 %) по сравнению с трехкомпонентной моделью.

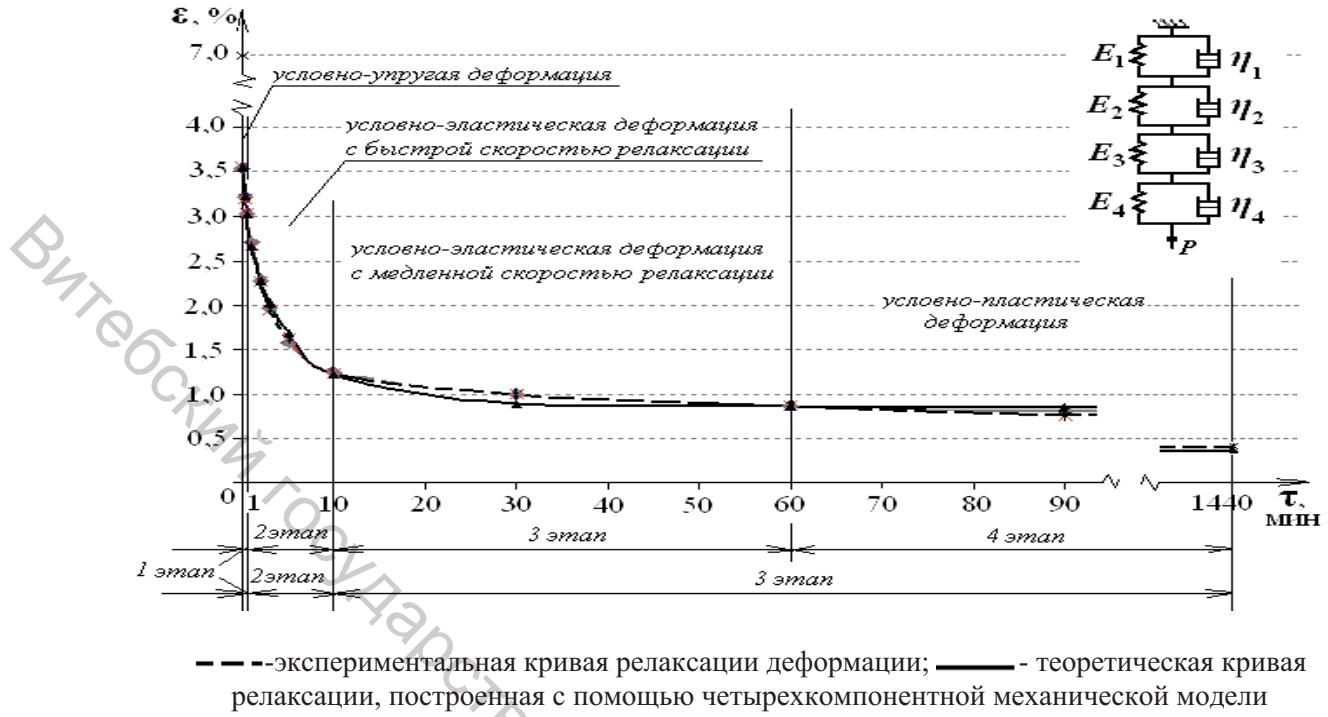


Рисунок 2 – Аппроксимация кривой релаксации деформации системы СК марки 2 + термобязь+ ткань подкладочная при двухосном растяжении с использованием четырехкомпонентной механической модели

Таким образом, четырехкомпонентная механическая модель может быть рекомендована для описания процессов релаксации деформации различных систем материалов и использоваться на практике для определения и прогнозирования их реологических свойств.

#### Литература:

1. Кукин, Г. Н. Текстильное материаловедение (волокна и нити) : учебник для вузов / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев, А. И. Кобляков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Легпромбытиздан, 1989. – 352 с.
2. Кобляков, А. И. Структура и механические свойства трикотажа / А. И. Кобляков. – Москва : Легкая индустрия, 1973. – 240 с.
3. Бузов, Б. А. Применение модельного метода и ЭВМ для описания релаксации деформации ткани при ее нагружении / Б. А. Бузов, Д. Г. Петропавловский // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1981. – № 2. – С. 25 – 29.
4. Тихомиров, В. Б. Механическая модель kleеных нетканых материалов / В. Б. Тихомиров, Л. В. Самойлова // Известия вузов. Технология легкой промышленности. – 1971. – № 4. – С. 23 – 27.
5. Зыбин, Ю. П. Материаловедение изделий из кожи : учеб. для вузов / Ю. П. Зыбин [и др.]. – Москва : Изд-во «Легкая индустрия», 1968. – 384 с.
6. Жихарев, А. П. Теоретические основы и экспериментальные методы исследований для оценки качества материалов при силовых, температурных и влажностных воздействиях : монография / А. П. Жихарев. – Москва : ИИЦ МГУДТ, 2003. – 327 с.
7. Томашева, Р. Н. Автоматизация обработки экспериментальных данных по релаксации деформации обувных материалов. / Р. Н. Томашева, П. И. Скоков, В. Е. Горбачик. // Сборник статей международной научно-технической конференции « Молодежь – производству» / УО «ВГТУ». – Витебск, 2006. – 438 с.