

**АНАЛИЗ И ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РЕЗУЛЬТАТОВ  
ПОЛУЦИКЛОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ С ВОЙЛОКАМИ ДЛЯ ВЕРХА ОБУВИ**

**ANALYSIS AND EMPIRICAL MODELS OF THE RESULTS  
OF SEMI-CYCLE EXPERIMENTS WITH FELTS FOR SHOES UPPERS**

*И.Н. ЛЕДЕНЕВА*

*I.N. LEDENEVA*

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(The Kosygin State University of Russia)

E-mail: ledeneva-in@rguk.ru

*Показано, что изменения свойств войлоков носят статистический характер. Закономерности изменений характеристик войлоков получены в виде регрессионных моделей. Для моделирования изменений в динамике полуцикловых экспериментов с войлоками для верха обуви материалы испытывали на приборе Инстрон. Образцы выкраивали в диагональном направлении относительно длины рулона. Приведены значения показателей, измеряемых и регистрируемых прибором при полуцикловых испытаниях на одноосное растяжение. Описаны результаты экспериментов с образцами войлоков для верха обуви, методы их обработки, анализ и эмпирические модели исследованных зависимостей. Экспериментальные исследования образцов нескольких войлоков различного назначения позволили обнаружить существование подобия в зависимости между нагрузкой и деформацией в полуцикловых испытаниях исследованных войлоков. Предложена аналитическая модель регрессии для результатов полуцикловых испытаний войлоков для верха обуви. Модель позволяет прогнозировать деформационно-прочностные характеристики материалов анизотропной хаотической структуры при адресной технологии изготовления войлочной обуви.*

*It is shown that changes in the properties of felts are of a statistical nature. The patterns of changes in the characteristics of felts in the form of regression models were obtained. A similar approach was used to simulate changes in the dynamics of semi-cycle experiments with felts for shoes uppers. The materials were tested on an Instron instrument. The samples were cut out in a diagonal direction relative to the length of the roll. The values of indicators measured and recorded by the device during the semi-cycle test are given. The results of experiments with samples of felts for uppers of shoes, methods of their processing, analysis and empirical models of the studied dependencies are described. Experimental studies of samples of several felts for various purposes made it possible to detect the existence of a similarity in the dependence between load and deformation in semi-cycle tests of the investigated felts. An analytical regression model is proposed for the results of semi-cycle tests of felts for uppers. The model makes it possible to predict the deformation-strength characteristics of materials with an anisotropic chaotic structure using the targeted technology for manufacturing felt shoes.*

**Ключевые слова:** нетканый волокнистый материал, обувной войлок, полуцикловые испытания, эмпирическая регрессионная модель.

**Keywords:** nonwoven fibrous material, shoe felt, semi-cycle tests, empirical model.

### *Введение*

В процессе эксплуатации многие волокнистые материалы способны изменять свои характеристики, в т. ч. сопротивляемость внешним механическим воздействиям [1]. Это влияет на внешний вид и долговечность обуви, изготовленной из таких материалов. Процессы изменения характеристик волокнистых материалов зависят от различных факторов, включая структуру волокнистого материала, взаимодействие между отдельными волокнами, и особенностей поверхности волокон [2-4]. В целом понимание процессов изменения характеристик волокнистых материалов и разработка новых методов и технологий для улучшения их сопротивляемости внешним воздействиям является важной задачей в области разработки и производства обуви и других изделий из таких материалов. Дальнейшие исследования и разработки в этой области могут привести к созданию более долговечных и устойчивых изделий, что позволит улучшить их качество. Поскольку существует много источников таких изменений, а сами изменения носят статистический характер, закономерности изменений характеристик волокнистых материалов обычно получают как эмпирические зависимости в виде регрессионных моделей для частных случаев, факторов и задач [5, 6].

В данной работе для моделирования изменений в динамике полуцикловых испытаний на одноосное растяжение войлоков для верха обуви использован эмпирический подход, основанный на регрессионных моделях. В качестве объектов исследования выбраны войлоки технические тонкошерстные для электрооборудования по ГОСТ 11025-78 (войлок 1) и для машиностроения по ГОСТ 288-72 (войлок 2), волокнистый состав которых, на наш

взгляд, является привлекательным с точки зрения сравнения с волокнистым составом обувного войлока по ОСТ 17-531-75 (войлок 3). Технические войлоки являются не дефицитными и демократичными по цене по сравнению с обувным, в состав которого входит австралийская меринсовая шерсть. Применение же альтернативных технических войлоков способствует сохранению или удешевлению стоимости готовой обуви. Данный факт можно считать положительным для повышения конкурентоспособности отечественной войлочной обуви. Вышесказанное доказано предыдущими исследованиями [5, 7, 8].

### *Методы исследования*

Для создания адекватной численной модели деформационного поведения войлоков проведен эксперимент по одноосному растяжению до разрыва трех плоских образцов на приборе Инстрон при скорости деформации 100 мм/мин, в результате которого получена диаграмма *нагрузка – абсолютное удлинение* (рис. 1). Испытуемые образцы каждого вида войлока были вырезаны в диагональном направлении относительно длины рулона. Эксперимент проведен в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13934/1-2015.

### *Результаты и обсуждения*

Полученные показатели имеют прямо пропорциональную зависимость от времени испытания (см. рис. 1). Поэтому, во-первых, нет смысла исследовать эти показатели, во-вторых, можно использовать любой из них в качестве аргумента вместо времени. Поэтому в дальнейшем вместо времени в качестве аргумента для исследуемых зависимостей выберем абсолютное удлинение образца  $L$ , мм, а в качестве зависимой переменной возьмем напряжение деформации  $S$ , МПа.

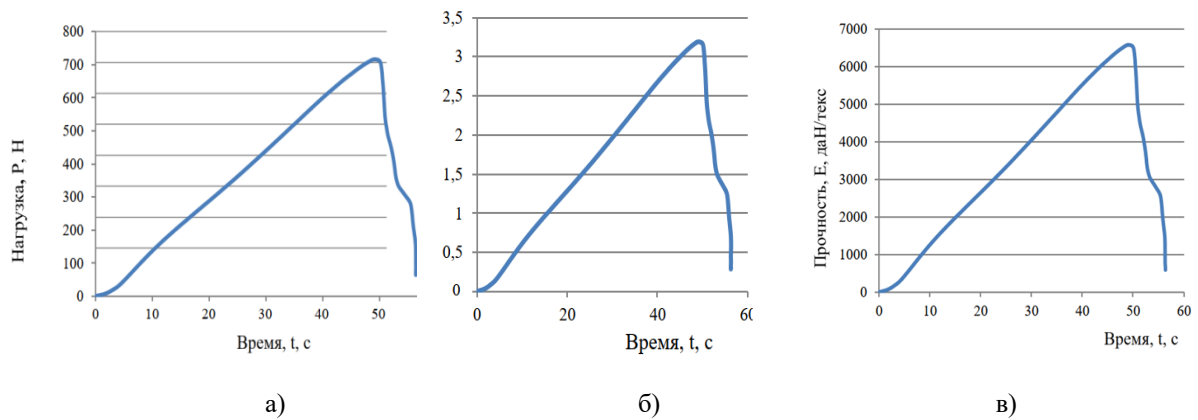


Рис. 1

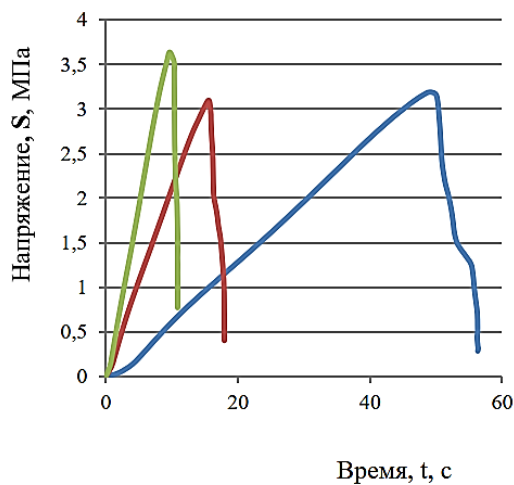


Рис. 2

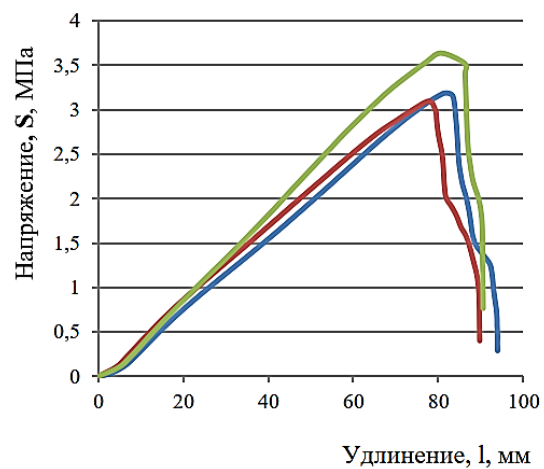


Рис. 3

Сравним зависимости для разных образцов одного и того же вида войлока. На рис. 2 (зависимости  $S(t)$  для параллельных образцов) и 3 (зависимости  $S(L)$  для параллельных образцов) показаны зависимости показателя  $S$  от времени и удлинения  $L$  для трех параллельных образцов.

Зависимости  $S(t)$  и  $S(L)$  показаны для 1-го образца синим цветом, для 2-го образца красным цветом и для 3-го образца зеленым цветом.

Сравнение графиков приводит к выводу, что формы кривых у зависимостей обладают определенным подобием. При этом продолжительность испытания у каждого образца сильно отличается от этого времени для другого образца, зависимости  $S(L)$  весьма близки для всех трех образцов, что позволяет считать эту зависимость типич-

ной для материала данного вида и строить математическую модель зависимости в целом для этого материала на основе полученных данных.

Как известно, простейшей моделью зависимости между удлинением и напряжением в образце материала является модель Гука с линейной зависимостью между этими величинами:  $\sigma = E \varepsilon$ , где  $\sigma$  – механическое напряжение в материале,  $E$  – модуль упругости (модуль Юнга) и  $\varepsilon$  – относительная деформация. В приведенных результатах экспериментов регистрировались абсолютное удлинение образца  $d$  и сила сопротивления удлинению  $S$ , обе величины в размерных единицах. Из графиков следует, что в начале испытания все образцы ведут себя в строгом соответствии с моделью Гука, т.е.  $S = K \cdot d$ , где коэффи-

циент  $K$  прямо пропорционален так называемому начальному модулю упругости  $E$ .

При построении математической модели наблюдаемой зависимости и получении ее в универсальном виде, а также для более явного отображения наблюдающегося подобия результатов эксперимента у разных образцов целесообразно перейти к безразмерным и масштабированным (кодированным) переменным. С этой целью значения регистрируемых величин для каждого типа войлоков разделим на их максимумы. Очевидно, что при таком преобразовании все величины становятся безразмерными, а их значения находятся в пределах от 0 до 1. На рис. 4 показаны те же экспериментальные зависимости, что и на рис. 3, но в безразмерных переменных.

На рис. 4 видно, что результаты для всех трех образцов практически совпадают, за исключением завершающего этапа – разрушения образца.

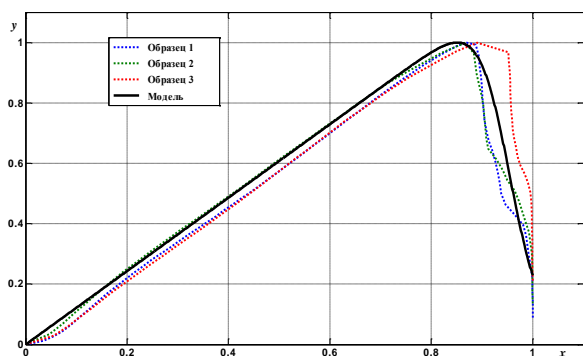


Рис. 4

Это позволило подобрать эмпирическую модель для зависимости  $S(d)$  для всех этапов испытания. Очевидно, что модуль упругости не остается постоянным, а уменьшается по мере нарастания удлинения. При этом скорость нарастания быстро увеличивается к концу испытания. Безразмерная форма зависимости упростила подбор подходящей дробно-полиномиальной зависимости с минимальным количеством коэффициентов регрессии  $a$  и  $m$  в виде

$$Y = \frac{x}{1 + (ax)^m}, \quad Y = S / \max(S); \quad x = d / \max(d). \quad (1)$$

Подбор коэффициентов выполнен нелинейным методом наименьших квадратов

$$W(a, m) = \sum_{i,j} \left( \frac{S_{ij}}{\max(S_{ij})} - \frac{d/\max(d)}{1 + (a \cdot d/\max(d))^m} \right)^2 \rightarrow \min_{a,m}. \quad (2)$$

Полученная модель имеет вид

$$y = \frac{x}{1 + (1.05x)^{30}}, \quad y = S / \max(S). \quad (3).$$

На рис. 4 показана модельная кривая, которая практически совпадает с наблюдаемыми экспериментальными данными до начала разрыва образца и удовлетворительно описывает их на завершающей стадии испытания вплоть до разрыва.

## ВЫВОДЫ

Экспериментальные исследования образцов нескольких войлоков различного назначения позволили обнаружить существование подобия в зависимости между нагрузкой и деформацией в полуцикловых испытаниях исследованных войлоков.

Предложена аналитическая модель регрессии для результатов полуцикловых испытаний войлоков для верха обуви. Модель позволяет прогнозировать деформационно-прочностные характеристики материалов анизотропной хаотической структуры при проектировании технологии изготовления войлочной обуви.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Sevost'yanov P.A. Study of deformation of nonwoven fibre material during needle-punching / P.A. Sevost'yanov, T.V. Seryakova // *Fibre Chemistry*. 2009. Vol. 41. No 1. P. 38...40. – DOI 10.1007/s10692-009-9116-z.
2. Севостьянов П.А. Компьютерные модели в механике волокнистых материалов. М.: Тисо Принт, 2013. 253 с.
3. Леденева И.Н., Белгородский В.С. Валяльно-войлочные материалы: строение, свойства, перспективы использования: монография. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2021.
4. Mandhyan P.K., Nachane R.P., Banerjee S., Pawar B.R., Koli H.S. Nonlinear Maxwell modelling of inverse relaxation in yarns and fabrics // *Indian Journal*

of Fibre & Textile Research. Vol. 42, June 2017, P. 168...174.

5. *Ledeneva I.N., Simachev D.N.* Shape stability of shoes with decorated felt uppers // Serbia, Belgrade. Textile industry. 2015. No. 2.

6. *Леденева И.Н., Литвин Е.В., Белгородский В.С., Сницар Л.Р.* Плоскошовные ниточные соединения – решение проблемы прочностных свойств заготовки верха войлочной обуви // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2022. № 6 (402). С. 130...135.

7. *Леденева И.Н., Зарицкий Б.П., Гинзбург Л.И.* Априорное ранжирование факторов, влияющих на формоустойчивость обуви с верхом из войлока // Дизайн и технологии. 2016. № 52(94). С. 42...49.

8. *Леденева И.Н., Зарицкий Б.П., Гинзбург Л.И.* Оптимальный выбор пакета материалов для повышения формоустойчивости обуви из войлока // Дизайн и технологии. 2016. № 55(97).

#### REFERENCES

1. *Sevost'yanov P. A.* Study of deformation of nonwoven fibre material during needle-punching / P.A. Sevost'yanov, T.V. Seryakova // Fibre Chemistry. 2009. Vol. 41. No 1. P. 38-40. – DOI 10.1007/s10692-009-9116-z.

2. *Sevostyanov P.A.* Computer models in the mechanics of fibrous materials. Moscow: Tiso Print, 2013. 253 p.

3. *Ledeneva I.N., Belgorodsky V.S.* Felting materials: structure, properties, prospects for use: monograph. M.: RGU im. A.N. Kosygin, 2021.

4. *Mandhyan P.K., Nachane R.P., Banerjee S., Pawar B.R., Koli H.S.* Nonlinear Maxwell modelling of inverse relaxation in yarns and fabrics // Indian Journal of Fibre & Textile Research. Vol. 42, June 2017. P. 168...174.

5. *Ledeneva I.N., Simachev D.N.* Shape stability of shoes with decorated felt uppers // Serbia, Belgrade. Textile industry. 2015. No. 2.

6. *Ledeneva I.N., Litvin E.V., Belgorodskii V.S., Snitsar L.R.* FLAT-seam thread joints – strength properties problem solution of felt shoe top blank // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. No. 6 (402). P. 130...135.

7. *Ledeneva I.N., Zaritsky B.P., Ginzburg L.I.* A priori ranking of factors affecting the shape stability of shoes with felt uppers // Design and technology. 2016. No. 52(94). P. 42...49.

8. *Ledeneva I.N., Zaritsky B.P., Ginzburg L.I.* The optimal choice of a package of materials to increase the dimensional stability of felt footwear // Design and Technology. 2016. No. 55(97).

Рекомендована кафедрой художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи РГУ имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство). Поступила 03.04.23.