

Исследования физико-механических свойств подкладочных тканей и результаты проведённого рангового опроса будут использованы для проведения комбинированной комплексной оценки качества подкладочных тканей, и разработки программного продукта для этой оценки.

### **Список литературы**

1. Технический регламент таможенного союза «О безопасности продукции лёгкой промышленности» ТР ТС 017/2011.
2. ГОСТ 20272–2014. Ткани подкладочные из химических нитей и пряжи. Общие технические условия.
3. ГОСТ 28253–89. Ткани шёлковые и полушёлковые плательные и плательно-костюмные. Общие технические условия.

[В начало к содержанию](#)

УДК 685.34.042.22

<sup>1</sup>А.А. Науменко, <sup>2</sup>Е.А. Шеремет, <sup>3</sup>Л.Г. Козловская

<sup>1</sup>Доцент Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», alexander.al.naumenko@ gmail.ru

<sup>2</sup>Доцент Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», Scheremet.62@ mail.ru

<sup>3</sup>Старший преподаватель Учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», lgkozlovskaya @ mail.ru

### **ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КАЧЕСТВО НИТОК, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ ШВАХ ОБУВНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

В статье изложены результаты исследования остаточной циклической деформации ниток, применяемых при сборке деталей верха обуви. Оценивалось влияние на остаточную деформацию трёх факторов: усилие затяжки обуви, скорость нагружения, период эксплуатации. Данные факторы промоделированы на пульсаторе соответственно статической нагрузкой, частотой вращения синусных механизмов пульсатора, количеством циклов деформации. Дана характеристика зависимостей этих факторов и выявлено их влияния на остаточную циклическую деформацию.

Построена адекватная полиномиальная модель зависимости, которая полностью соответствует логике физической взаимосвязи входящих в неё величин и может использоваться для необходимых расчётов в задачах прогнозирования деформационных свойств ниток.

Также на основе результатов проведённых исследований выполнено моделирование остаточной циклической деформации с применением теории размерностей. Построена модель зависимости остаточной циклической деформации от эксплуатационных и технологических факторов. Данная модель может использоваться в задачах прогнозирования долговечности обуви, изготовленной с применением ниточных соединений.

Результаты исследований позволяют сделать вывод о возможности сокращения времени испытаний и применения экспрессных методов для оценки и прогнозирования качества обувных ниток на предтоварной стадии.

*Ключевые слова:* обувные нитки, остаточная циклическая деформация, моделирование, анализ размерности, прогнозирование.

<sup>1</sup>**A.A. Naumenko**, <sup>2</sup>**E.A. Sheremet**, <sup>3</sup>**L.G. Kozlovskaja**

<sup>1</sup>Associate Professor UO "Vitebskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet", alexander.al.naumenko@gmail.ru

<sup>2</sup>Associate Professor UO "Vitebskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet", Scheremet.62@mail.ru

<sup>3</sup>Senior lecturer UO "Vitebskij gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet", lgkozlovskaya@mail.ru

## **FACTORS DETERMINING THE QUALITY OF TREADS USED IN THE FOOTWEAR CONNECTING SEAMS**

The research results of residual cycling deformation of thread used in assembly of footwear parts are given in this article. The influence of 3 factors on the residual deformation was estimated: the effort of foot-wear lasting, loading speed, exploitation period. The given factors are simulated on the pulser according to static load, frequency of rotation of sine mechanisms of pulser, the number of deformation cycles. The characteristic of dependence of these factors is given and their effect on residual cyclic deformation is revealed.

The adequate polynomial model of dependence is constructed which completely corresponds to logic of physical interrelation of quantities and can be used for necessary analysis in prediction problems of deformation properties of threads.

Also based on the research results the simulation test of residual cyclic deformation with the use of dimension theory was held. The model of dependence of residual cyclic deformation on exploitation and technological factors is developed. This model can be used in durability prediction problems of footwear made with the use of sewing thread junction.

The results of the research allow to make the conclusion about capabilities of reduction of testing period and the use of proximate methods for evaluation and prediction of footwear thread quality at preceding realization.

*Keywords:* footwear treads, residual cycling deformation, simulation test, dimension analysis, prediction.

Основным методом скрепления деталей верха обуви является ниточный. В настоящее время для предприятий обувной отрасли остро не стоит вопрос о прочности швейных ниток, так как в производстве широко применяются синтетические швейные нитки, обладающие достаточно высокой прочностью. Однако актуальной остаётся проблема их растяжения в ниточном шве в процессе эксплуатации обуви.

Вследствие особенностей строения полимерных материалов, к которым в частности относятся и швейные нитки, для них характерно наличие трёх слагающих частей деформации: наряду с небольшой истинно упругой деформацией большую долю обратимой деформации в этих материалах

составляет эластическая, медленно развивающаяся и исчезающая. Кроме того одновременно развивается и остаточная необратимая деформация. С одной стороны, она зависит от физико-механических свойств применяемых ниток, а с другой – от режима эксплуатации изделий, который для обуви носит циклический характер. Потому с достаточным основанием остаточная циклическая деформация может рассматриваться как мера соотношения напряжений и деформаций, возникающих в нитке первоначально при затяжке швов, а в дальнейшем в процессе эксплуатации изделий [1]. С другой стороны, эту величину целесообразно ввести как обобщенную меру качества ниток, используемых для соединения деталей верха обуви. В известных работах вязкоупругим свойствам ниток для обувного производства уделено недостаточное внимание, чему одной из причин является сложность объекта исследования. Однако он имеет существенное практическое значение в отношении как производства изделий, так и прогнозирования их эксплуатационных характеристик.

Первый вопрос, возникающий при рассмотрении остаточной циклической деформации  $\Delta l_{oc}$  как обобщенной меры качества ниток, связан с выделением группы определяющих её факторов. В проведённых ранее исследованиях [2] исходили из того, что напряженно-деформированное состояние нитки (НД) в соединительном шве обусловлено действием двух групп факторов. Первая группа образована факторами, связанными с производством обувных изделий и их эксплуатацией. В неё включены: натяжение нитки  $P$ , закладываемое в технологическом процессе при затяжке шва, скорость нагружения соединительного шва, определяемая частотой шага при ходьбе  $\omega$  и числом циклов нагружения  $n$  на стадии эксплуатации, т.е. при носке изделия [2]. Во вторую группу введены следующие факторы: удельная работа разрыва соединительной нитки  $r$ , частота периодического воздействия на внутреннюю структуру нитки  $\omega$  и время  $t$ . Таким образом, зависимость  $\Delta l_{oc}$  от факторов первой группы описывалась функцией

$$\Delta l_{oc} = f(P, \omega, n), \quad (1)$$

а от факторов второй группы – функцией

$$\Delta l_{oc} = f(r, \omega, t). \quad (2)$$

Соответственно и изучение влияния определяющих факторов на величину остаточной циклической деформации нитки соединительного шва проведено в два этапа.

На первом этапе изучалась зависимость (1). В рамках её рассматривалась вначале однофакторная зависимость  $\Delta l_{oc} = f(n)$  при средних значениях двух других факторов –  $P$  и  $\omega$ . Интервалы возможных значений факторов  $P_{\min} \leq P \leq P_{\max}$  и  $\omega_{\min} \leq \omega \leq \omega_{\max}$  определены с учётом литературных и опытных данных. Они имеют такой вид:  $13 \leq P \leq 17$  Н и  $150 \leq \omega \leq 500$  мин<sup>-1</sup>. На основании этого средние их значения составляют соответственно 15 Н и 325 мин<sup>-1</sup>.

Цель выделения и изучения однофакторной зависимости  $\Delta l_{oc} = f(n)$  состояла в установлении характера влияния числа циклов  $n$  на величину остаточной циклической деформации нитки в шве. Интерес представлял вопрос о том, как изменяется скорость роста  $\Delta l_{oc}$  по мере возрастания  $n$ . Для испытаний были выбраны нитки, применяемые в настоящее время в производстве. Показатели их физических и механических свойств представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Показатели свойств изучаемых ниток**

Условное обозначение ниток	Требования ГОСТ			Фактические данные		
	линейная плотность, текс	разрывная нагрузка не менее, Н	удлинение при разрыве не более, %	линейная плотность, текс	Разрывная нагрузка, Н	удлинение при разрыве, %
70 Л	65	2,55	23	74,4	4,01	18,24
86 Л	87,8	3,88	21	88,8	5,43	18,55

Графическое изображение результатов испытаний приведено на рисунке.

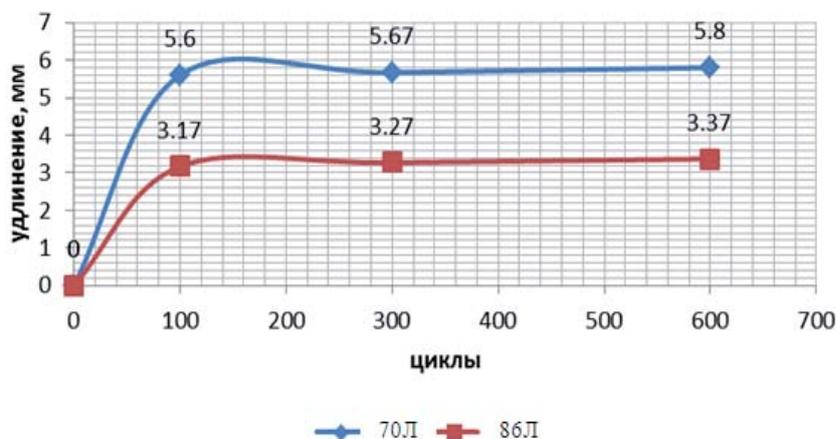


График зависимости остаточной циклической деформации от числа циклов нагружения

Из рисунка следует, что скорость роста  $\Delta l_{oc}$  не остаётся постоянной. До значения  $n$  равного 100 циклам она быстро и почти линейно возрастает, достигая 90 % своего максимального значения  $\Delta l_{oc}^{\max}$ . При этом  $n \ll n_{\max}$ .

Это свидетельствует о том, что практически нет смысла продолжать испытания после значения  $n=100$ , т.к. основная информация о  $\Delta l_{oc}$  уже получена. Отсюда вытекает принципиальная возможность разработки экспрессных методов многоцикловых испытаний ниток для обувного производства.

Далее применительно к нитке 70Л методом факторного планирования эксперимента изучено совместное влияние факторов, стоящих в правой части соотношения (1). С целью минимизации числа опытов выбран трёх-уровневый план типа В<sub>3</sub>, с помощью которого построена полиномиальная модель, которая в кодированной форме представлена следующим соотношением:

$$y = 55,245 + 0,255 \cdot x_2 + 0,286 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,081 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0,723 \cdot x_1^2 - 0,448 \cdot x_2^2, \quad (3)$$

где  $x_1, x_2, x_3$  – кодированные значения факторов соответственно  $P, \omega, n$ .

Анализ особенностей влияния факторов на  $\Delta l_{oy}$  проведем путём дифференцирования уравнения (3) поочерёдно по каждой из кодированных переменных  $x_1, x_2$  и  $x_3$ . Из (3) получаем:

$$dy/dx_1 = -1,446 \cdot x_1 + 0,286 \cdot x_3$$

$$dy/dx_2 = -0,896 \cdot x_2 + 0,081 \cdot x_3$$

$$dy/dx_3 = 0,286 \cdot x_1 + 0,081 \cdot x_2.$$

Анализируя полученные соотношения, легко видеть, что при возрастании усилия затяжки шва  $x_1$  (фактор  $P$ ) снижается скорость роста остаточной циклической деформации по этой переменной, но возрастает по переменной  $x_3$  (фактор  $n$ ). Однако, судя по коэффициентам при  $x_1$  и  $x_3$ , влияние фактора  $P$  намного сильнее. Иными словами, правильно затянутый шов (когда напряжение в нитке шва существенно не выходит за пределы обратимых деформаций) препятствует нарастанию остаточной циклической деформации даже при увеличении числа циклов нагружения  $n$ . Обратная зависимость между скоростью нарастания остаточной циклической деформации ( $dy/dx_2$ ) по частоте циклического воздействия  $x_2$  (фактор  $\omega$ ) от этой частоты легко объясняется тем, что само по себе периодическое воздействие состоит в чередовании фаз нагрузки и отдыха. В фазе отдыха происходит релаксация деформации, т.е. её снижение. При возрастании  $\omega$  сокращается длительность фазы нагрузки, что влечет за собой снижение деформации, которая успевает развиться за это время. Автоматически снижается и остаточная циклическая деформация. Положительное влияние факторов  $x_2$  и  $x_3$  во втором и третьем уравнениях не требует особой физической аргументации.

Таким образом, построенная полиномиальная модель зависимости (1) полностью соответствует логике физической взаимосвязи входящих в неё величин и может с полным основанием использоваться для необходимых расчётов в задачах проектирования и прогнозирования.

На втором этапе исследования изучалось влияние на  $\Delta l_{oy}$  факторов второй группы, т.е. функции (2).

Для ответа на вопрос о возможности существования такой функции проведён анализ размерностей. Установлено, что уравнение, соответствующее форме (2), существует и имеет такую математическую структуру:

$$\Delta l_{oy} = (A \cdot r^{0.5}) \cdot t \cdot [f(\omega \cdot t)^b], \quad (4)$$

где  $A$  – некоторый безразмерный согласующий (масштабный) коэффициент.

Принимая во внимание, что величину  $t$  можно представить как  $t = n/\omega$ , где  $n$  – число циклов нагружения, окончательный вид математической модели формы (2) станет таким:

$$\Delta l_{oy} = (A \cdot r^{0.5}) \cdot n \cdot [f(n)^b]. \quad (5)$$

Учитывая, что удельная работа разрыва  $r$ , характеризующая неизменные для данной нити её механические свойства, является постоянной величиной, а  $\omega = \text{const}$  по методическим соображениям, то для того, чтобы отчётливо увидеть важную особенность построенной модели, формально соотношение (5) представим так:

$$\Delta l_{oy} = [K(n)]n, \quad (6)$$

где  $K(n) = (Ar^{0.5} / \omega)[f(\omega t)^b]$ .

Функцию (6) с полным основанием можно определить как квазилинейную, т.к. формально величину  $K(n)$  можно рассматривать в качестве углового коэффициента прямой, описываемой линейной функцией  $\Delta l_{oy} = Kn$  при  $K = \text{const}$ . Но, как следует из (6),  $K = K(n)$ , и эта зависимость отображает влияние на остаточную циклическую деформацию  $\Delta l_{oy}$  процесса релаксации деформации, обусловленной наличием релаксационных свойств нити. Следовательно, по мере роста величины  $n$  график функции  $\Delta l_{oy} = [K(n)]n$  будет всё больше отклоняться от прямой  $\Delta l_{oy} = Kn$ . Эта важная особенность построенной модели может рассматриваться как один из сильных критериев качественного соответствия соотношения (6) модели изучаемой зависимости.

Обращаясь к рисунку, видим, что до значения  $n = 50$  функция  $\Delta l = f(n)$  ведёт себя как линейная. Однако, после этой точки, график начинает всё больше отклоняться вниз от прямой, отображая тем самым растущее влияние на нарастающую остаточную циклическую деформацию процесса релаксации. Как, следует из графиков на рисунке, начиная от значения  $n = 50$  с ростом  $n$  величина  $K$  уменьшается. При значении  $n = 100$  значение  $K$  становится равным нулю с точностью до ошибки аппроксимации экспериментальных кривых, и в дальнейшем в области  $n > 100$  не отклоняется от нулевого значения.

Таким образом, нарастание остаточной циклической деформации описывается лишь той частью кривых на рисунке, которая лежит в области  $0 < n < 100$ . Для получения расчётных оценок величины остаточной циклической деформации в конце этой области построена математическая модель в виде степенной функции вида  $y = ax^b$ . Для этих функций характерно наличие практически линейного участка на достаточно большом удалении от нулевой точки, что соответствует основному требованию к аппроксимирующей форме.

С использованием метода наименьших квадратов, получены следующие математические модели зависимости (6): для швейной нитки 70Л:  $\Delta l_m = 0.095 n^{0.9}$ ; для швейной нитки 86Л:  $\Delta l_m = 0.054 n^{0.9}$ .

Для оценки точности аппроксимаций результаты расчётов по этим уравнениям представлены в таблице 2.

Для швейной нитки 70Л средняя относительная ошибка аппроксимации  $\delta_{\text{ср}} = 4,1 \%$ . Для швейной нитки 86Л эта ошибка составляет величину  $\delta_{\text{ср}} = 2,1 \%$ .

Таблица 2

**Экспериментальные значения  $\Delta l_3$  и значения  $\Delta l_m$ ,  
полученные с помощью моделей**

Число циклов N	Для швейной нитки 70Л			Для швейной нитки 86Л		
	$\Delta l_3$ (мм)	$\Delta l_m$ (мм)	$\delta$ (%)	$\Delta l_3$ (мм)	$\Delta l_m$ (мм)	$\delta$ (%)
1	2	3	4	5	6	7
20	0,8	0,8	0,0	1,4	1,4	0,0
40	1,6	1,5	6,2	2,6	2,6	0,0
60	2,4	2,2	8,3	4,0	3,8	5,0
80	2,8	2,8	0,0	5,0	4,9	2,0
100	3,2	3,4	6,2	5,7	5,9	3,5

Примечание.  $\delta$  (%) – относительная ошибка аппроксимации:  
 $\delta = (|\Delta l_3 - \Delta l_m| / \Delta l_3) \cdot 100\%$

Таким образом, получены достаточно точные статистические аппроксимации изученных зависимостей, хорошо отражающие нарастание остаточной циклической деформации швейных ниток в режиме их периодического растяжения.

Особый интерес представляют горизонтальные участки на кривых, изображенных на рисунке. Они свидетельствуют о том, что после значения  $n = 100$  не наблюдается нарастания остаточной циклической деформации. Это можно объяснить известным из [3] эффектом упрочнения нити за счёт её предварительного вытягивания. Кривые на рисунке показывают, что после значения  $n = 100$  произошло резкое перераспределение составляющих полной деформации ниток. Иными словами, физико-механические свойства ниток после 100 циклов вытягивания стали существенно другими. Значительно возросла доля упругой деформации, что и объясняет отсутствие остаточной циклической деформации, по меньшей мере, до значения  $n = 600$ . Как доказано в ряде исследований, например, в [3], упрочнение нити в ходе предварительного вытягивания связано с распрямлением и переориентацией макромолекул полимера. Этот эффект, с одной стороны, позволяет несколько иначе рассматривать физические механизмы, обуславливающие долговечность ниточных соединений деталей обуви. С другой – он наводит на мысль о дополнительных операциях по подготовке ниток к использованию в технологическом процессе производства обувных изделий, в частности, к предварительному вытягиванию ниток.

Таким образом, проведённое исследование показало, что нитка при циклическом нагружении ведёт себя как сложная нелинейная система. Процесс такого нагружения включает три стадии: линейное нарастание остаточной циклической деформации, нелинейное её снижение и, наконец, упрочнение нитки и изменение её практически до нуля на определённом интервале времени. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейших исследований надёжности ниточных соединений деталей обуви.

### Список литературы

1. Жихарев А.П., Петропавловский Д.Г., Кузин С.К., Мишаков В.Ю. Материаловедение в производстве лёгкой промышленности. – М.: Academia, 2004. – 448 с.

2. Шеремет Е.А., Козловская Л.Г., Науменко А.А. Оценка напряжённно-деформированного состояния ниток в соединительных швах деталей верха обуви // Вестн. УО «ВГТУ». – Витебск: Изд-во УО «ВГТУ», 2013. – Вып. 13. – С. 73–77.

3. Геллер В.Э. Научные основы процесса упрочнения ПЭТФ-нитей при ориентированном вытягивании и высокоскоростном формовании: автореф. дис. ... докт. техн. наук / Ивановский гос. хим.-техн. ун-т. – Иваново, 2014. – 43 с.

[В начало к содержанию](#)

УДК 677.017.8:687.1

<sup>1</sup>В.В. Замышляева, <sup>2</sup>Н.А. Смирнова

<sup>1</sup>Докторант, Костромской государственный технологический университет, e-mail: vverrona@yandex.ru

<sup>2</sup>Д.т.н., профессор, Костромской государственный технологический университет, e-mail: nadejda.smirnova.a@yandex.ru

## ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ УСАДКИ НА КАЧЕСТВО ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В статье приведены результаты исследований изменений линейных размеров тканей для спецодежды, качество которой зависит от анизотропии усадки. Предложена методика оценки анизотропии усадки тканей в условиях испытаний, приближенных к реальным условиям эксплуатации швейных изделий.

*Ключевые слова:* ткань, усадка, анизотропия, спецодежда, качество.