

5. Гусинский, А. В., Шаров, Г. А., Костринки, А. М. Векторные анализаторы цепей миллиметровых волн. Кн. 1. – Минск: БГУИР, 2008. – 240 с.
6. Абдулхади, Х. Д. А. Электромагнитные экраны на основе алюминия, его оксидов и углеродных волокон. Технологии, конструкции и свойства: монография / Х. Д. А. Абдулхади, Е. А. А. Аль-Машатт, В. А. Богущ, О. В. Бойправ, Л. М. Лыньков, Н. И. Мухуров, А. М. Прудник. – Минск: Бестпринт, 2021. – С. 12.

УДК 677

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ КОМПЛЕКСНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ВОЙЛОКА

*Фаткуллина Р.Р., к.б.н., доц.*

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
г. Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация*

**Ключевые слова:** комплексный материал, регрессионное уравнение, жесткость при изгибе, нетканый материал, войлок.

**Реферат.** В работе исследуется комплексный материал, изготовленный на основе шерстяного нетканого материала «войлок», при проектировании обувного изделия – чехла адаптационного назначения. Чехол предназначен для защиты от пониженных температур ноги после травмы (если объем ноги увеличен вследствие надетого ортопедического изделия). Экспериментально получен показатель жесткости материала подошвы изделия. Использован метод определения жесткости при изгибе статическим методом. В ходе анализа полученных характеристик была найдена эмпирическая зависимость, выражающая прямую связь жесткости комплексного материала с его толщиной и массой (поверхностной плотностью) слоя войлока. Регрессионное уравнение позволяет прогнозировать показатель жесткости подошвы при подборе толщины войлока и его плотности.

В числе актуальных задач повышения конкурентоспособности обуви с верхом из войлока стоит совершенствование технологии ее изготовления, в том числе оптимизация технологических параметров сборки изделия; выявление взаимозависимости факторов, определяющих качество обуви. Известно, что для решения задачи повышения формоустойчивости обуви с верхом из войлока существуют следующие пути решения: совершенствование конструкции обуви и технологии ее изготовления, использование новых материалов подкладки и межподкладки [1].

Негативное воздействие окружающей среды в виде влаги и низких температур вызывает расширение влаги в шерстяном нетканом материале «войлок», что ведет к изменению его пористости. Последствия влияния внешних воздействующих факторов на войлок приводят к необходимости защиты низа подошвы слоем резины.

Проектируемое обувное изделие – это чехол адаптационного назначения, который предназначен для защиты от пониженных температур ноги после травмы (объем ноги увеличен вследствие надетого ортопедического изделия). Материал верха обувного изделия может быть трикотажным, а низ изделия представляется в виде комплексного материала на основе войлока. В задачу работы входит выявление зависимости жесткости материала подошвы от размерных характеристик материалов при проектировании обувного изделия на основе войлока.

Комплексный материал подошвы обувного изделия, который подвергается деформации изгиба, состоит из слоев: нетканого материала «войлок», полимерного полиуретанового клея и резины; каждый из слоев имеет следующие характеристики.

Войлок. Материал нетканый – войлок имеет в составе шерсть овечью 100 % (для экспериментальных исследований использован войлок грубошерстный производства ООО «ТатВойлок», г. Казань). Вид войлока зависит от состава сырья. Известно, что основным веществом волокна шерсти является кератин, который относится к белковым соединениям. Волокно имеет три слоя: чешуйчатый, корковый и сердцевинный. Чешуйчатый слой является наружным слоем волокон и играет защитную роль. Он состоит из отдельных чешуек, представляющих собой

пластинки, плотно прилегающие друг к другу и прикрепленные одним концом к стержню волокна. Кorkовый слой является основным слоем волокна и включает в себя ряд продольно расположенных веретенообразных клеток, образующих тело волоса. В середине волокна имеется сердцевинный слой, который состоит из рыхлых тонкостенных клеток, заполненных пузырьками воздуха. Сердцевинный слой увеличивает толщину волокна и его жесткость, но снижает прочность. Грубая шерсть состоит из смеси пуха, переходного волоса, ости и мертвого волоса [2].

Клей. О полиуретановом клее известно, что он состоит из основного пленкообразователя и различных добавок, улучшающих его адгезионные и технологические свойства. Основным пленкообразователем – полиизоцианат марки Б представляет собой смесь диизоцианатдифенилметана и полиизоцианатов большой молекулярной массы. Для повышения адгезии к обувным резинам в клей добавляют хлорированный полихлоропрен (хлорнаирит, аллопрен Р-40) в виде раствора в ацетоне. При этом сокращается время сушки клеевой пленки после нанесения клея. Полиуретановый клей обладает высокой адгезией к материалам близким по химическому составу (полиуретаны, термоэластопласты). Процесс сшивания макромолекул полиуретана происходит при взаимодействии групп ОН с группами ННО, с образованием, так называемых уретановых мостиков. Соотношение групп ОН к группам ННО равно примерно 1:1. Кроме этого возникают связи между NH-группами с группами ННО с образованием аллофанатных мостиков. Макромолекулы клеевого соединения оказываются сшитыми редкими, но прочными связями, которые практически не снижают эластичности этого соединения. Активные изоцианатные группы взаимодействуют с активными группами субстрата: шерсти и резины [3]. В эксперименте был использован клей полиуретановый марки УР-600 (ООО «НПП Рогнеда», Моск. обл., г. Ст. Купавна).

Резина. Ингредиентами резиновых смесей являются каучук, наполнители, пластификаторы, компоненты вулканизирующей системы. Например, жидкие хлоропарафины одновременно являются антиоксидантами и смягчителями. Стоимость резиновой смеси возрастает при добавлении защитных добавок или использовании вулканизирующих систем с пониженным содержанием элементарной серы [4].

Известно применение измельченного вулканизата в качестве наполнителя эластомерных композиций на основе бутадиен-нитрильного каучука, который позволяет замедлить процессы химической релаксации напряжений в эластомерной матрице, а также повысить физико-механические показатели вулканизатов [5]. Активные химические добавки (производных насыщенных жирных кислот, 2,2-азо-бис-изобутиронитрила) влияют на изменение свойств латексного коагулюма в процессе механической обработки на вальцах. Условия обработки коагулюмов позволяют использовать их в составе полимерной основы каучук содержащих композиционных материалов и резиновых смесей [6].

Известен анализ чувствительности катализатора межфазного переноса при вулканизации фторкаучука СКФ-26 в присутствии серы как ингибитора. Низкомолекулярный полибутадиен (НМПБ) выступает в качестве протектора катализатора и устраняет отрицательное влияние серы. При этом присутствие НМПБ положительно сказывается на внешнем виде резины и ее свойствах [7]. В эксперименте была использована резина наименования 1747-1 (ООО «Эколайн», Россия).

Анализируются следующие характеристики: вес нетканого материала – «войлока грубошерстного» (образцов размером 10x10 см), толщина комплексного материала (войлок+клей+резина). Для исследования жесткости были вырезаны образцы материалов войлока и резины прямоугольной формы размером 50x10 мм<sup>2</sup>, а затем склеены с использованием полиуретанового клея. Толщина образцов была измерена в соответствии с ГОСТом 12023-2003. Слой резины одинаков, поэтому образцы различаются в зависимости от толщины и плотности войлока: Образец 1, Образец 2, Образец 3 (по пять экземпляров). По технологии склеивания полиуретановый клей наносится двукратно. Время сушки после первой намазки составляет 7 мин, после второй – 20 мин.

Под жесткостью материала понимают его сопротивление изменению формы при действии внешней силы. Жесткость при изгибе, как отношение момента сопротивления изгибу образца бумаги и картона к его ширине в пределах упругой деформации, определяется по формуле (ГОСТ 30435-96 Бумага и картон. Определение жесткости при изгибе статическими методами)

$$S = \frac{El}{b},$$

где  $E$  – модуль упругости (модуль Юнга);  $I$  – момент инерции площади поперечного сечения относительно оси, проходящей через центр данной площади поперечного сечения, лежащей в этой плоскости и перпендикулярной к направлению изгиба;  $b$  – ширина площади поперечного сечения.

Экспериментально определяется показатель жесткости комплексного материала. Для определения показателя жесткости использовалось лабораторное оборудование CAS MWP-150. Полученные показатели представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Размерные характеристики (толщины комплексного материала и массы войлока) образцов и показатель жесткости по результатам эксперимента

Образцы материала	Толщина (Var 5) $x$ , мм	Масса (Var 1) $y$ , г	Жесткость (Var 4), г·мм/градус
Образец 1	7,8	14,9	63,426
Образец 2	10,0	20,3	94,443
Образец 3	8,8	21,6	91,200

Анализируются характеристики: жесткость, масса нетканого материала «войлок», толщина слоев войлока+резины+клея в составе комплексного материала. Экспериментально получен показатель жесткости при изгибе комплексного материала на основе войлока. В ходе анализа полученных размерных показателей и характеристики жесткости была найдена эмпирическая зависимость, выражающая прямую связь жесткости комплексного материала с его толщиной и массой слоя войлока (рисунок 1).

$$\text{Жесткость} = 6,34x + 3,19y - 33,66,$$

где  $x$  – толщина комплексного материала,  $y$  – масса слоя из войлока (достоверность  $p > 95$  %).

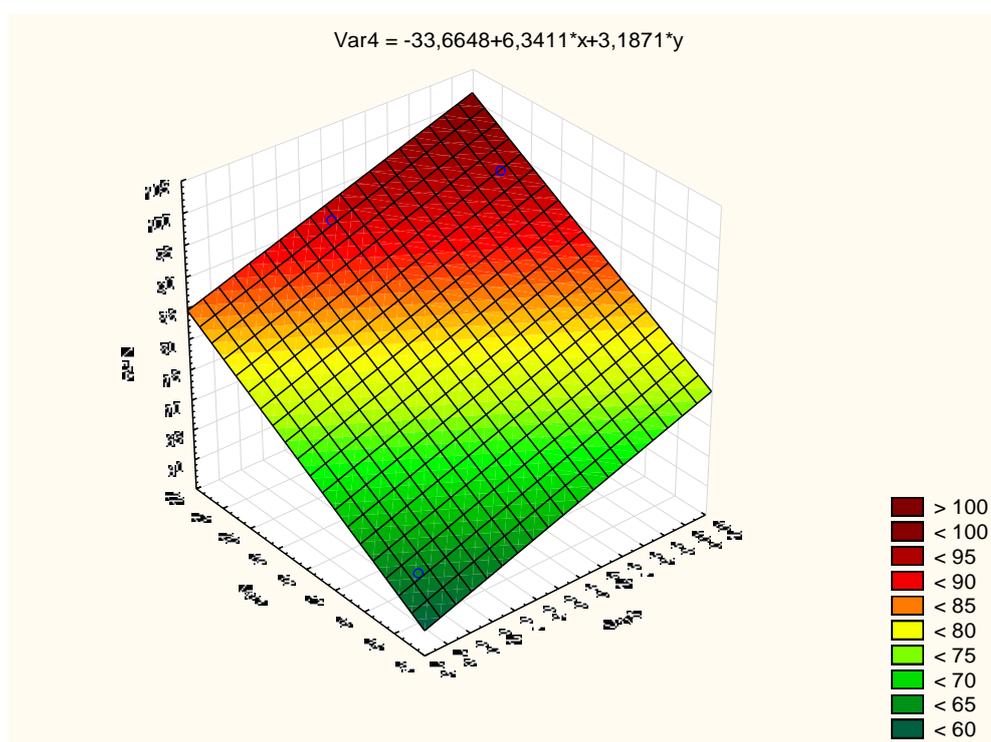


Рисунок 1 – Зависимость жесткости комплексного материала (Var 4) от его толщины (Var 5) и массы слоя войлока (Var 1)

Регрессионное уравнение позволяет прогнозировать показатель жесткости подошвы при подборе толщины войлока и его плотности.

Реализовано на практике моделирование комплексного материала из составляющих: войлока, клея и резины для решения проблемы подбора характеристики жесткости подошвы обувного изделия адаптационного назначения. Подтверждено экспериментально, что толщина слоя

войлока, а также клея, нанесенного на нетканый шерстяной материал «войлок» в сумме, как составляющие комплексного материала, влияют на жесткость этого материала. Утолщая войлок, можно увеличить жесткость, регулируя последнюю с применением полученного регрессионного уравнения.

Перспективы работы. Опираясь на известные экспериментально подтвержденные работы о применении плазменной обработки для дополнительного обезжиривания шерстяных полотен и разрыхления поверхности волокон шерсти (вследствие чешуйчатой структуры кератиновых волокон), можно установить режимы НТП-обработки нетканого шерстяного материала «войлок» (рабочее давление в вакуумной камере, мощность разряда, расход плазмообразующего газа, время воздействия), чтобы повысить адгезионную способность соединяемых слоев рассматриваемого комплексного материала [8]. Учитывая, что НТП-обработка влечет улучшение адгезионных свойств соединяемых слоев за счет впитывания клея, можно рекомендовать применение плазменной обработки при необходимости изменения свойства жесткости комплексного материала.

Список использованных источников:

1. Леденева, И. Н. Обувь из материалов с хаотичной структурой: перспективы улучшения эргономических характеристик / И. Н. Леденева // Современные инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления: сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Современные инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления» Международного Косыгинского Форума «Современные задачи инженерных наук» (29-30 октября 2019 г.). – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2019. Часть 1. – 223 с.
2. Савостицкий, Н. А. Материаловедение швейного производства: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Н. А. Савостицкий, Э. К. Амирова. – 7-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 272 с. [http://kz-ru.academia-moscow.ru/ftp\\_share/\\_books/fragments/fragment\\_22242.pdf](http://kz-ru.academia-moscow.ru/ftp_share/_books/fragments/fragment_22242.pdf).
3. Фурашова, С. Л. Клеевые соединения в технологии обуви: курс лекций / С. Л. Фурашова. – УО «ВГТУ», 2017. – 106 с.
4. Чайкун, А. М. Особенности построения рецептур морозостойких резин / А. М. Чайкун, О. А. Елисеев, И. С. Наумов, М. А. Венедиктова //Авиационные материалы и технологии. – 2013. № 3. – С. 53–55.
5. Мяделец, В. В. Исследование релаксационных процессов в эластомерах, наполненных измельченным вулканизатом / В. В. Мяделец, А. В. Касперович, А. Г. Мозырев // Труды БГТУ. Химия и технология органических веществ, материалов и изделий. – 2015. – № 4. – С. 67–73.
6. Скачков, А. М. Изучение свойств полимерных композиций с использованием модифицированного латексного коагулюма / А. М. Скачков, О. В. Карманова, С. Г. Тихомиров // Вестник ВГУИТ, № 2, 2014. – С. 148–152.
7. Щербина, Н. А. Вулканизация фторсодержащей резиновой смеси в присутствии серы / Н. А. Щербина, С. Я. Пичхидзе // Вестник СГТУ. Машиностроение и машиноведение. – 2013. – № 3 (72). – С 95–99.
8. Ибатуллин, Д. Д. Модификация шерстяного сукна с целью повышения износостойких свойств путём НТП обработки / «Дизайн: новые взгляды и решения. Образование-наука-производство» / Д. Д. Ибатуллин, М. К. Халиуллина // Сб. статей IV Межд. науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых. – Казань : Изд-во Казан. нац. исслед. технол. ун-та, 2016. – С. 138–140.