

МРНТИ 64.33.09

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЫВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЕРСТЯНЫХ ВОЙЛОКОВ

М.Б. ОТЫНШИЕВ<sup>1</sup>, А.О. РУСТЕМОВА<sup>1</sup>, М.А. НУРЖАСАРОВА<sup>1</sup>, С.К. ЛОПАНДИНА<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, <sup>2</sup>Центральный научно-исследовательский институт легкой промышленности, Москва, Россия)

E-mail: aigulya11@mail.ru

*В статье исследуются разрывные характеристики шерстяных войлоков в зависимости от их объемной плотности. При изучении динамики разрыва войлочных полотен различной плотности выведена эмпирическая зависимость разрывных характеристик шерстяных войлоков от их объемной плотности. Выявлено, что диаграмма зависимости разрывного удлинения войлока от ее разрывной нагрузки различается от изменения ее объемной плотности, что позволяет прогнозировать свойства шерстяных войлоков, обеспечивающих качество готовых полотен.*

**Ключевые слова:** шерсть, войлок, волокно, плотность войлока, прочность, разрывные характеристики.

## ЖҮН КИІЗДЕРІНІҢ ҮЗІЛУ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ

М.Б. ОТЫНШИЕВ<sup>1</sup>, А.О.РУСТЕМОВА<sup>1</sup>, М.А. НУРЖАСАРОВА<sup>1</sup>, С.К. ЛОПАНДИНА<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Алматы технологиялық университет, Алматы, Қазақстан,

<sup>2</sup>Жеңіл өнеркәсібінің орталық ғылыми-зерттеу институты, Москва, Ресей)

E-mail: aigulya11@mail.ru

*Мақалада жүн киіздерінің көлемдік тығыздығына байланысты үзу көрсеткіштері зерттеледі. Әртүрлі тығыздықтағы киізден жасалған жаймалардың үзу динамикасын зерттеу барысында, жүн киіздердің үзу көрсеткіштерінің олардың көлемдік тығыздығына байланысты эмпирикалық тәуелділігі шығарылды. Киіздің үзу жүктемесіне байланысты үзілгіш ұзаруының диаграммасы массалық тығыздығының өзгеруінен ерекшеленетіндігі анықталды, бұл дайын жаймалардың сапасын қамтамасыз ететін жүн киіздерінің қасиеттерін болжауға мүмкіндік береді.*

**Негізгі сөздер:** жүн, киіз, талшық, жүн тығыздығы, беріктік, үзу көрсеткіштері.

## STUDY OF TEARING CHARACTERISTICS OF WOOLEN FELTS

M.B. OTYNSHIYEV<sup>1</sup>, A.O. RUSTEMOVA<sup>1</sup>, M.A. NURZHASSAROVA<sup>1</sup>, S.K. LOPANDINA<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,

<sup>2</sup>Central Research Institute of the Light Industry, Moscow, Russia)

E-mail: aigulya11@mail.ru

*The article explores the tearing characteristics of wool felt, depending on their bulk density. When studying the dynamics of the rupture of felt cloths of different densities, the empirical dependence of the tearing characteristics of wool felt on their bulk density was derived. It is revealed that the diagram of the tensile elongation of a felt depending to its breaking load differs from the change in its bulk density, which allows to predict the properties of wool felt that ensure the quality of the prepared cloths.*

**Keywords:** wool, felt, fiber, felt density, durability, tearing characteristics.

**Введение**

Шерстяной войлок – это нетканый ма-

териал, вырабатываемый как ручным, так и механическим способом. Для изготовления одежды, в зависимости от ее назначения, могут вырабатываться войлоки различной объемной плотности [1]. Следует отметить, для того чтобы эксплуатационные свойства таких материалов оставались высокими, необходимо прогнозирование свойств проектируемых войлочных полотен, что является актуальным.

В изготовлении нетканых полотен свайлачиванием и валкой накоплен значительный практический опыт по использованию сырья [2,3]. Однако проектирование свойств войлоков до настоящего времени разработано недостаточно.

Известно, что важной характеристикой качества шерстяных войлоков является его прочность на растяжение (разрыв). Наиболее распространенными являются методы испытания материалов на прочность при одноосном растяжении в режиме постоянной скорости деформации [4]. При разрыве войлочного шерстяного полотна, состоящего из спутанных волокон, последние, связанные между собой силами сцепления и трения, находятся одновременно в сложном взаимодействии. При разрыве волокон начинается их взаимное

движение между собой и возникают сложные явления, которые требуют более детального исследования.

#### **Объекты и методы исследования**

Объектами исследования являются разрывные характеристики шерстяных войлоков, процесс испытания войлоков на прочность к растяжению (разрыву).

В работе использован экспериментально-теоретический метод исследования; методы определения плотности, разрывной нагрузки и удлинения войлока соответствуют ГОСТ 314-72 «Войлок, детали из войлока, штучные войлочные изделия. Правила приемки и методы испытаний».

#### **Результаты и их обсуждение**

Войлок представляет собой уплотненную массу волокон, пронизывающих толщу материала в различном направлении. При растяжении войлока в испытаниях на разрывные характеристики, волокна, расположенные в направлении разрыва, начинают сначала распрямляться и скользить по огибающим их другим волокнам. Очевидно, что при проскальзывании волокно встречает препятствия из других волокон, возникает необходимость преодолеть силы сцепления и трения о другие волокна (рис. 1).

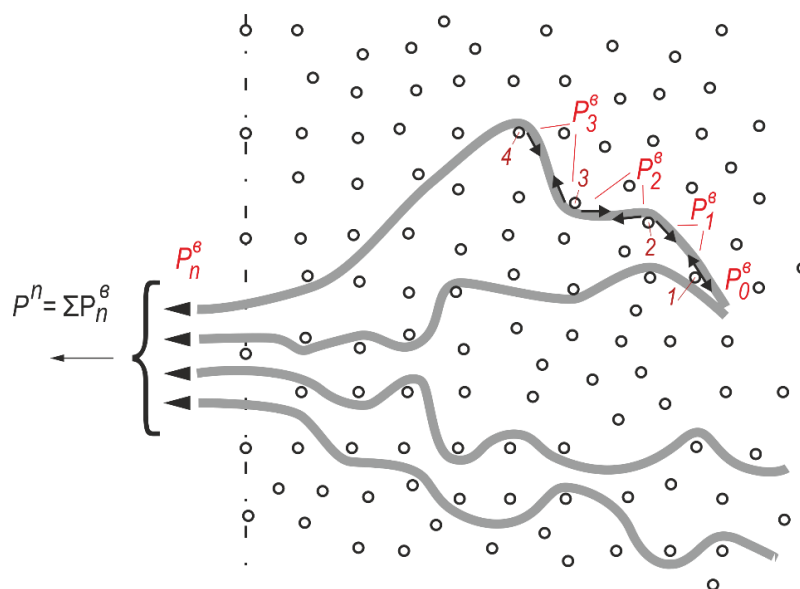


Рисунок 1 - Возникновение усилий в продольном пучке волокон при взаимодействии с поперечными волокнами

Тогда при движении волокон при разделении в наиболее слабом месте в каждом пучке возникнут усилия, в результате которых в зоне между местом разделения (начала разрыва) возникнет натяжение  $P_0^B$ , направлен-

ное по этой ветви касательно к 1-му огибаемому волокну. Чтобы осуществить дальнейшее продвижение волокна по поперечным волокнам, необходимо к этой половине волокна приложить силу  $P_1^B$ , которая, по

Эйлера, будет равна[5]:

$$P_1^B = P_0^B e^{\mu\varphi_1}, \quad (1)$$

где:  $\varphi_1$ - угол охвата верхней ветвью пучка 1-ого поперечного волокна, рад;

$\mu$  - коэффициент трения между волокнами шерсти;

$e$  – основание натуральных логарифмов.

При дальнейшем растяжении следующий участок волокна стремится распрямиться и начинает воздействовать на следующее поперечное волокно. Чтобы осуществить проскальзывание ветви по 2-му волокну, к ветви по другую сторону от этого волокна необходимо приложить силу

$$P_2^B = P_1^B e^{\mu\varphi_2} \approx P_0^B e^{(\varphi_1+\varphi_2)}, \quad (2)$$

где  $\varphi_2$  – угол охвата ветвью пучка 2-го волокна, рад.

В зоне между 2 и 3-й поперечными волокнами одна ветвь волокна будет уже испытывать натяжение  $P_2^B$ .

Для того, чтобы произошло дальнейшее движение одной ветви волокна, необходимо проскальзывание с каждым последующим поперечным n-ным волоком, то надо приложить к ветви усилие

$$P_n^B = P_0^B e^{\mu(\varphi_1+\varphi_2+\dots+\varphi_n)} = P_0^B e^{\mu\sum\varphi}, \quad (3)$$

где  $\varphi_n$ - угол охвата верхней ветвью пучка последнего поперечного волокна, рад.

Таким образом, формула (3) определяет усилие, которое надо приложить к одной из ветвей волокна в месте ее разделения, чтобы происходило дальнейшее отделение этой ветви от другой ветви волокна и проскальзы-

вание по поперечным волокнам.

Положения, приведенные для одной ветви пучка или для одного волокна ветви, можно применять и для нескольких ветвей или волокон. Поэтому, если часть пучка, находящаяся в массе поперечных спутанных волокон, разделена волокнами на несколько натянутых ветвей (волокон), то суммарное усилие в месте разрыва войлока, обеспечивающее скольжение всех ветвей (волокон) по поперечным волокнам с дальнейшим разделением ветвей на более мелкие ветви и на волокна, будет равно:

$$P^n = \sum P_n^b = \sum (P_0^B e^{\mu\sum\varphi}). \quad (4)$$

Суммарное усилие будет тем больше, чем больше количество ветвей (4) образовалось в части пучка при проникновении в нее других волокон, то есть при более высокой плотности войлока.

Рассмотрим действие сил, возникающих у вытягиваемого волокна. Сила, с которой та или иная ветвь пучка (или отдельное волокно) действует на каждое волокно, зависит от того, какое усилие действует на ветвь (волокно) у данного поперечного волокна и на какой угол она охватывает это волокно. Допустим, что волокно, которое движется в направлении 1-2 (рис.2), огибает ветвь пучка, состоящую из нескольких или одного волокна и стремящееся скользить поперек других волокон в направлении, обратном направлению движения этих волокон.

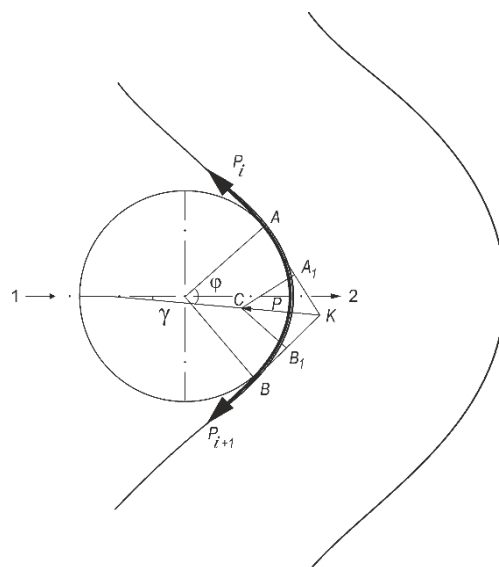


Рисунок 2 – Схема для определения результирующей силы  $P$ , действующей на волокно

При этом ветвь начинает касаться от-

дельного волокна в точке А и здесь к ветви

приложена сила  $P_i$ ; угол охвата ветвью этого волокна равен  $\varphi_1$  (в радианах). Ветвь перестает касаться волокна в точке В, где к ветви приложена сила  $P_{i+1}$ .

Таким образом:

$$P_{i+1} = P_i e^{\mu\varphi} \quad (5)$$

В результате действия ветви с усилиями  $P_i$  и  $P_{i+1}$  на отдельном волокне возникает окружное усилие  $P_{окр}$ , которое вызывается силами трения, возникающими между ветвью и поперечным волокном:

$$PP_{i+1} - P_i = P_i(e^{\mu\varphi} - 1) \quad (6)$$

Это усилие есть сумма элементарных сил трения на дуге охвата ветвью волокна и оно стремится повернуть волокно вокруг его оси.

Усилие, с которым ветвь действует на поперечное волокно, стремясь ее согнуть, можно определить из следующих построений: находим точку К пересечения направлений сил  $P_i$  и  $P_{i+1}$ ; от этой точки по этим направлениям отложим отрезки  $KA_1=P_i$  и  $KB_1=P_{i+1}$ ; построив параллелограмм сил, найдем результирующую силу  $P=СК$ , с которой ветвь действует на поперечное волокно, стремясь его согнуть.

Так как  $\angle АКВ=180^\circ - \varphi^\circ$ , то  $\angle СА_1К=\angle СВ_1К=\varphi^\circ$ ;

из  $\Delta A_1СК$  находим:

$$P = \sqrt{P_i^2 + P_{i+1}^2 - 2P_iP_{i+1} \cos \varphi^\circ}, \quad (7)$$

подставляя  $P_{i+1}=P_i e^{\mu\varphi}$ , получим окончательное значение результирующей силы  $P$ :

$$P = P_i \sqrt{1 + e^{2\mu\varphi} - 2e^{\mu\varphi} \cos \varphi^\circ} \quad (8)$$

Анализ формулы (8) показывает, что результирующая сила  $P$ , с которой ветвь действует на поперечное волокно, зависит от угла охвата  $\varphi$  и от натяжения  $P_i$ , которое испытывает ветвь; при угле охвата  $\varphi=0^\circ$  (т.е. когда ветвь проходит по касательной к поперечному волокну) сила  $P=0$ ; при малых углах охвата сила  $P$  оказывается меньше натяжения  $P_i$ ; начиная примерно с  $\varphi>51,5^\circ$ , сила  $P$  становится уже больше  $P_i$ , быстро увеличиваясь по мере роста угла охвата  $\varphi$ .

Как показали исследования мест разрыва войлоков, разрыв происходит либо путем вытягивания волокон их обеих частей, либо разрывом составляющих волокон и либо часть волокон вытягивается, а часть разрывается. Значит можно утверждать, что усилие, действующее на каждое волокно, может быть меньше или больше разрывной нагрузки шерстяного волокна. В соответствии с формулой Эйлера, чем больше натягивается войлок под действием разрывной нагрузки, тем больше становится сила нормального давления.

Таким образом, волокна при растягивании войлока сначала распрямляются, затем, пока сила трения не превысит разрывную нагрузку, волокна вытягиваются из войлока и только потом волокна, у которых сила трения превысит разрывную нагрузку, обрываются.

Как показали эксперименты (табл.1), диаграмма усилия разрыва и удлинения войлока зависит от его плотности (рис.3).

Таблица 1 - Экспериментальные данные по разрывным характеристикам шерстяных войлоков, согласно методике ГОСТ [6]

№ обр.	Плотность войлока, $J, \text{ г/см}^3$	Основа (вдоль полотна)		Уток (поперек полотна)	
		Разрывная нагрузка, Р, Н	Удлинение, $\varepsilon, \%$	Разрывная нагрузка, Р, Н	Удлинение, $\varepsilon, \%$
1	0,098	142	140,2	123	145,6
2	0,161	314	96,1	172	90,3
3	0,207	427	56,6	388	58,9

При малых плотностях войлока (рис.3, кривая 3) происходит только распрямление и вытягивание волокон из массы в зоне разрыва. То есть разрыв войлока происходит без обрыва волокон.

При средних плотностях войлока (рис.3, кривая 2) сначала наблюдается вытягивание волокон, но некоторые волокна, испытывающие нагрузки, превышающие разрывную нагрузку волокон, обрываются, при

этом сила разрыва уменьшается. При дальнейшем растяжении на концы волокон усилия увеличиваются, вновь возрастает усилие разрыва. Такой процесс может повторяться несколько раз до окончательного разрыва войлока.

Следует отметить, что при высокой плотности (рис.3, кривая 1) на волокна сразу начинают действовать усилия, превышающие разрывную нагрузку. Полотно разрывается при значительно меньшем удлинении.

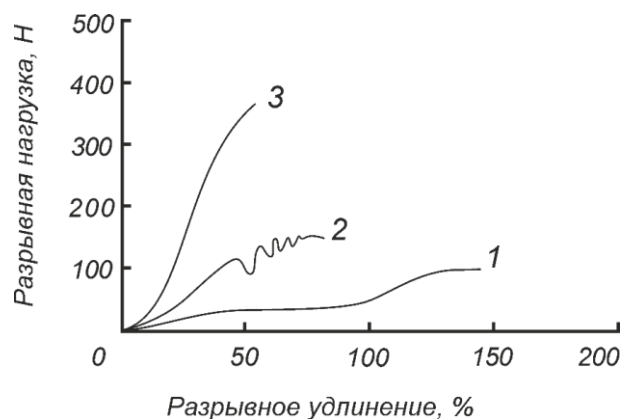


Рисунок 3 - Зависимость разрывных характеристик войлока от его объемной плотности, при разрыве поперек полотна; линия 1- для войлока малой плотности, 2- для войлока средней плотности, 3- для войлока большой плотности.

### Выводы

1. Выведена эмпирическая зависимость разрывных характеристик шерстяного войлока от его объемной плотности.

2. Диаграмма разрывной нагрузки войлока от его разрывного удлинения различается при изменении его объемной плотности.

3. При малых объемных плотностях разрыв войлока происходит без разрыва составляющих его волокон.

4. При большой плотности разрыв войлока происходит с одновременным обрывом волокон. При этом его разрывное удлинение значительно меньше по сравнению с показателями для войлока малой объемной плотности.

Результаты исследования позволяют прогнозировать прочность шерстяных войлоков в целях повышения качества изготавливаемых полотен.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фот Ж.А. Перспективы применения современных валяных полотен для производства одежды верхнего ассортимента // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 5-2. – с. 180-183. [Электронный ресурс]. Режим доступа. URL: <http://applied-research.ru/ru/article/view?id=9219> (дата обращения: 01.06.2018).
2. Сыдыкова Ж.А. Разработка метода проектирования и изготовления деталей одежды объемной формы из войлока: автореферат дис.... канд. техн. наук: 05.19.04. – М.: МГУДТ, 2012. - 23 с.
3. Бектемирова Л.С. Разработка методов модификации деталей одежды из войлока на основе комбинаторных принципов: автореферат дис.... канд. техн. наук: 05.19.04 – М.: МГУДТ, 2013. - 21 с.
4. Бершев Е. Н. Технология производства нетканых материалов. -М.: Просвещение, 1987. - 226 с.
5. Гусев В.Е. и др. Прядение шерсти и химических волокон. - М.: Легкая индустрия, 1974. - 552 с.
6. ГОСТ 314-72. Войлок, детали из войлока, штучные войлочные изделия. Правила приемки и методы испытаний. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. -14 с.