

УДК 675.017.562

## МОДЕЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА РАЗНОУСАДОЧНОСТИ СЛОЕВ КОЖЕВОЙ ТКАНИ

**Борисова Е.Н., Койтова Ж.Ю., Рябченко А.В.**

*ФГБОУ ВПО «Костромской государственный технологический университет»,  
Кострома, e-mail: borisoffa@mail.ru*

Предметом исследования является кожаная ткань (пушно-меховых полуфабрикатов, используемых в легкой промышленности) со сложной иерархической слоистой структурой, слои которой различаются по свойствам ввиду отличий в строении и составе. В статье предложена геометрическая модель для расчета величин поверхностной усадки кожаной ткани при действии повышенной температуры и влаги на основе оценки разноусадочности слоев. В результате воздействия внешних факторов (температуры, влаги и др.) круглая проба кожаной ткани приобретает пространственную форму, близкую к усеченному конусу с основаниями в форме эллипсов, вогнутыми с одной стороны и выпуклыми с другой вследствие большой разницы в усадке слоев. Рассматривая в отдельности слои кожи получившейся пробы, находятся площади внутреннего и внешнего слоев пробы как площадь поверхности эллиптического параболоида. Предложенная геометрическая модель применима в качестве модели для оценки усадки слоев кожаной ткани. Критериями оценки разноусадочности слоев в предложенном методе выбраны величины усадки внешнего и внутреннего слоев, разность усадки слоев кожаной ткани и угол скоса.

**Ключевые слова:** слои кожаной ткани, метод оценки усадки, разноусадочность слоев, модель

## THE MODEL FOR THE CALCULATION DIFFERENCE OF DECREASE SIZE IN LAYERS OF LEATHER

**Borisova E.N., Koytova J.Y., Ryabchenko A.V.**

*Kostroma State Technological University, Kostroma, e-mail: borisoffa@mail.ru*

The subject of research is the leather (namely furry semi-finished products used in light industry) with complex hierarchical layer structure whose layers differ in properties because of differences in their structure and composition. The article suggests a geometric model for the calculating values of surface shrinkage of leather under the action of high temperature and moisture. This model allows us to calculate and estimate the difference in the shrinkage of the leather layers. As a result of influence of external factors (temperature, moisture, and other) round sample gets spatial close to a truncated cone form with elliptic, concave, on the one hand, and convex, on the other hand, bases in consequence of the large difference in the shrinkage of the layers. If we consider the layers in the resulting sample separately, we will find the area for the internal and external layers of the sample as the surface area of an elliptic paraboloid. The proposed geometrical model is applicable as a basis for the assessment methods for the leather. Value of the shrinkage of the external and internal layers, the difference in shrinkage of leather's layers and angle of the bevel are selected as a criteria of an assessment difference of decrease size in layers in the proposed method.

**Keywords:** the layers of leather, method for estimating shrinkage, difference of shrinkage layers, the model

Кожаная ткань представляет собой композиционный материал, структура которого отличается сложным иерархическим строением и включает в себя совокупность элементов микроструктуры (определяется строением и составом коллагена), мезоструктуры (волокнисто-сетчатое строение) и макроструктуры (многослойность кожи) [6]. Усадка слоев кожаной ткани, возникающая при действии повышенных температур, влаги, химических препаратов, вследствие разных физико-механических свойств различна.

Существует метод для количественной оценки усадки кожаной ткани натурального меха с учетом слоистости материала [3], по которой разноусадочность слоев для различных видов пушно-мехового полуфабриката (норки, ондатры, бобра и овчины) [1, 2] проводится на основе анализа параметров, полученных в ходе испытаний спиралей лентовидных проб. Однако оценка разноусадочности слоев кожаной ткани по существующей методике затруднена сложностью

измерения геометрических характеристик спирали вследствие нестабильности полученной формы и возможности оценки только линейной усадки. Поэтому для оценки разноусадочности разработана геометрическая модель, позволяющая оценить поверхностную усадку слоев кожаной ткани.

Для моделирования процесса усадки предложено представить кожаную ткань в виде пробы круглой формы. С учетом толщины кожаной ткани проба может быть представлена в форме цилиндра, высота которого определяется толщиной кожаной ткани. Величина усадки по слоям кожаной ткани неодинакова [1–3], тогда после воздействия внешних факторов (температуры, влаги и др.) цилиндрическая проба должна принять пространственную форму, близкую к усеченному конусу. Наличие различий в усадке вдоль и поперек линии хребта [5] должны привести к тому, что основания усеченного конуса примут форму эллипсов. Большая разница в усадке слоев [1–3], соединенных друг с другом, может привести

к тому, что основания усеченного конуса будут принимать вогнутую с одной стороны и выпуклую с другой формы.

Для подтверждения выдвинутой гипотезы проведены исследования усадки овчинного полуфабриката на образцах круглой формы при воздействии повышенной температуры и влаги. Полученные результаты подтверждают выдвинутую гипотезу:

у проб после сваривания в воде при высокой температуре наблюдаются следующие изменения: увеличивается толщина кожной ткани за счет сваривания коллагена [4], уменьшаются линейные размеры в продольном и поперечном направлениях, происходит прогиб проб внутрь, проба приобретает форму усеченного конуса, вогнутого с одной и выпуклого с другой стороны (рис. 1).

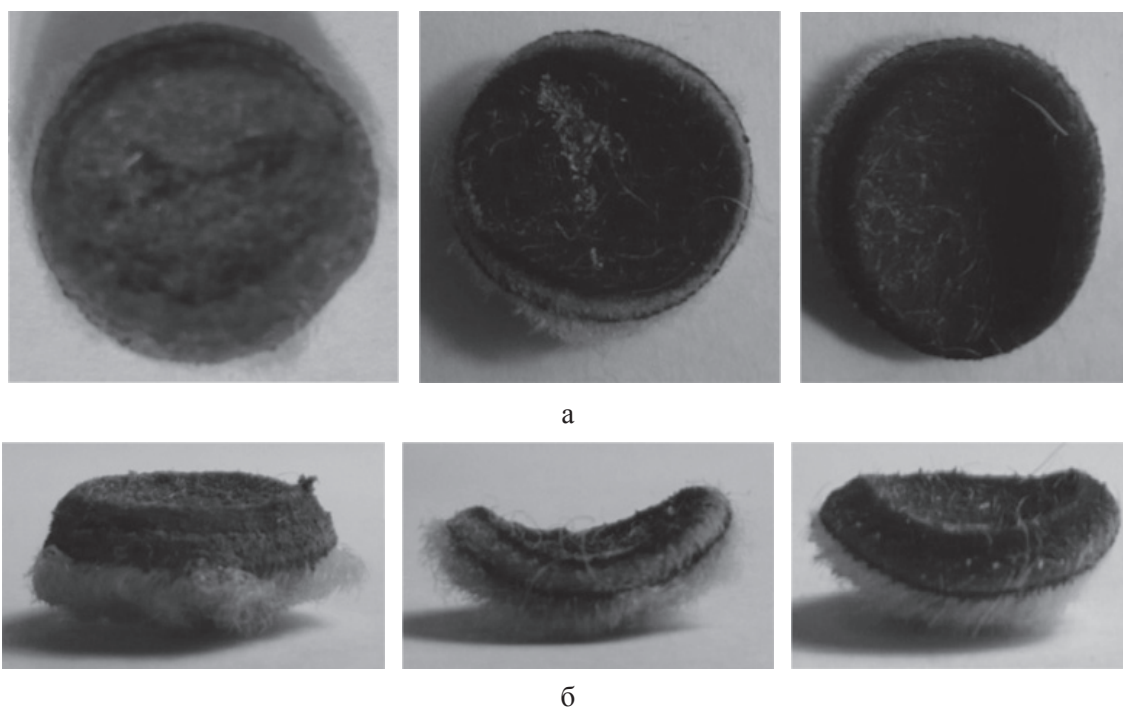


Рис. 1. Форма пробы после температурно-влажностного воздействия:  
а – вид сверху; б – вид в направлении вдоль линии хребта

Для расчета величин усадки по слоям предложена геометрическая модель (рис. 2).

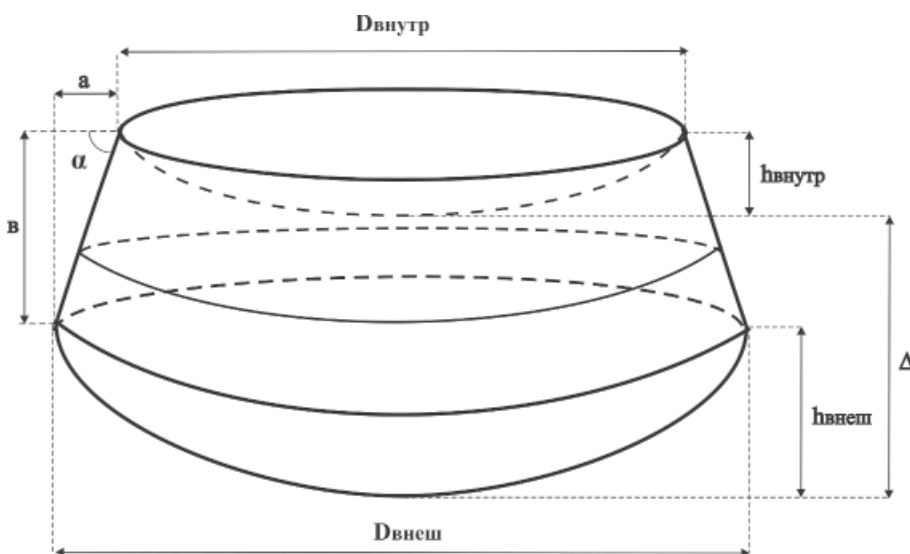


Рис. 2. Геометрическая модель для оценки усадки слоев кожной ткани

Для расчета вводятся следующие параметры (рис. 2):

- угол скоса, измеряемый от края пробы до горизонтали, проведенной через верхнюю точку пробы –  $\alpha$ , °;
- толщина кожной ткани после испытания –  $\Delta$ , мм;
- $D_{\text{внут}}$  – диаметр внутреннего слоя, мм;
- $D_{\text{внеш}}$  – диаметр внешнего слоя, мм.
- горизонтальная проекция разницы усадки слоев –  $a$ , мм;
- вертикальная проекция разности усадки слоев –  $b$ , мм;

- глубина прогиба пробы внутренняя –  $h_{\text{внутр}}$ , мм;
- глубина прогиба пробы внешняя –  $h_{\text{внеш}}$ , мм.

К измеряемым параметрам относятся угол скоса, толщина кожной ткани и внутренний диаметр, глубина прогиба пробы внутренняя. Остальные параметры расчетные.

Угол скоса относительно горизонтали определяют в программе CorelDraw с помощью инструмента «угловой размер» на сфотографированной в вертикальной плоскости пробе (рис. 3).

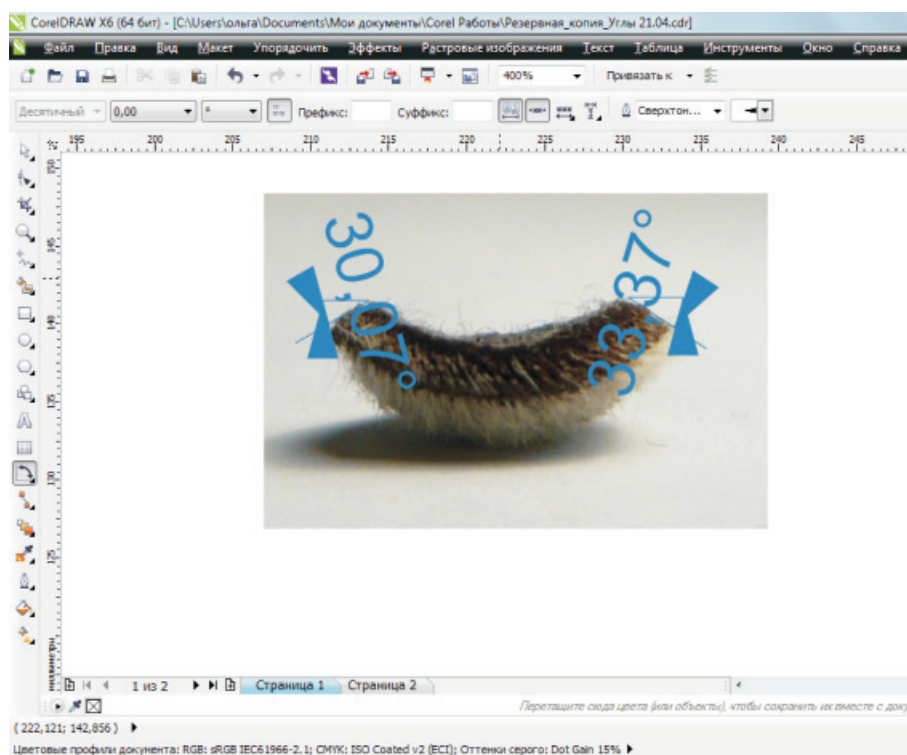


Рис. 3. Окно программы CorelDraw. Определение угла скоса пробы после сваривания

Тогда

$$a = \Delta \cdot \cos \alpha, \quad (1)$$

где  $\Delta$  – толщина кожной ткани после испытания, мм;  $\alpha$  – угол скоса (среднее значение из замеренных углов), °.

$$b = \Delta \cdot \sin \alpha. \quad (2)$$

Исходя из взаимосвязи параметров на рис. 2, глубина прогиба внешнего слоя ( $h_{\text{внеш}}$ ) определяется по формуле (3)

$$h_{\text{внеш}} = h_{\text{внут}} + \Delta - b, \quad (3)$$

где  $h_{\text{внеш}}$  – глубина прогиба внешнего слоя, мм;  $h_{\text{внут}}$  – глубина прогиба внутреннего слоя, мм.

$$D_{\text{внут}} = D_{\text{внеш}} - 2 \cdot a = D_{\text{внеш}} - 2 \cdot \Delta \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

где  $D_{\text{внут}}$  – диаметр внутреннего слоя, мм;  $D_{\text{внеш}}$  – диаметр внешнего слоя, мм.

Внешняя и внутренняя поверхности пробы представляют эллиптические параболоиды.

Если эллиптический параболоид задан параметрически [7]:

$$x = c \cdot \sqrt{u} \cdot \cos v;$$

$$y = d \cdot \sqrt{u} \cdot \sin v;$$

$$z = u, \quad (5)$$

где  $c$  – большая полуось эллиптического параболоида ( $c = \frac{1}{2} \cdot D$ );  $d$  – малая полуось

эллиптического параболоида  $\left(d = \frac{1}{2} \cdot D\right)$ ;

$u, v$  – параметры,  $v \in [0; 2\pi]$ ,  $u \in [0; h]$ ;  $h$  – высота эллиптического параболоида, тогда площадь поверхности эллиптического параболоида [7]:

$$S = \int_0^{2\pi} \int_0^h \sqrt{EG - F^2} du, \quad (6)$$

где  $E, F, G$  – гауссовы коэффициенты;

$$E = x_u'^2 + y_u'^2 + z_u'^2; \quad (7)$$

$$F = x_u' \cdot x_v' + y_u' \cdot y_v' + z_u' \cdot z_v'; \quad (8)$$

$$G = x_v'^2 + y_v'^2 + z_v'^2. \quad (9)$$

Подставив в уравнения (7)–(9) значения  $x, y, z$ , получаем выражения коэффициентов для эллиптического параболоида (10)–(12):

$$E = 1 + \frac{c^2 \cdot \cos^2 v + d^2 \cdot \sin^2 v}{4u}; \quad (10)$$

$$F = \frac{1}{4} \cdot (d^2 - c^2) \cdot \sin \sin 2v; \quad (11)$$

$$G_{\text{слоя}} = u \cdot (d_{\text{слоя}}^2 \cdot \cos^2 \cos^2 v + c_{\text{слоя}}^2 \cdot \sin^2 \sin^2 v), \quad (17)$$

где  $c_{\text{слоя}}$  – больший из продольного и поперечного полудиаметров слоя пробы, мм;  $d_{\text{слоя}}$  – меньший из продольного и поперечного полудиаметров слоя пробы, мм;  $u, v$  – параметры,  $v \in [0; 2\pi]$ ,  $u \in [0; h]$ .

Поверхностную усадку внешнего и внутреннего слоя вычисляем по формулам (18), (19)

$$Y_{\text{слоя}} = \frac{S - S_{\text{слоя}}}{S} \cdot 100, \quad (18)$$

где  $Y_{\text{слоя}}$  – поверхностная усадка слоя, %;  $S$  – начальная площадь слоев кожной ткани до испытания, мм<sup>2</sup>;  $S_{\text{слоя}}$  – площадь внешнего слоя после испытания, мм<sup>2</sup>.

Отношение усадки слоев определяют по формуле (19)

$$Y = \frac{Y_{\text{внеш}}}{Y_{\text{внут}}} \cdot 100. \quad (19)$$

В качестве критериев для оценки усадки в разработанном методе предложено

$$G = u \cdot (d^2 \cdot \cos^2 \cos^2 v + c^2 \cdot \sin^2 \sin^2 v). \quad (12)$$

Для определения разноусадочности площадь слоев кожной ткани до испытания рассчитывается как площадь круга:

$$S = \frac{\pi \cdot D_{\text{нач}}^2}{4}, \quad (13)$$

где  $D_{\text{нач}}$  – начальный диаметр пробы до испытания, мм.

Площадь внутреннего и внешнего слоев пробы как площадь поверхности эллиптического параболоида (14)–(17):

$$S_{\text{слоя}} = \int_0^{2\pi} \int_0^{h_{\text{внеш}}} \sqrt{E_{\text{слоя}} \cdot G_{\text{слоя}} - F_{\text{слоя}}^2} du, \quad (14)$$

где  $h_{\text{внеш}}$  – глубина прогиба слоя, мм;  $E, F, G$  – коэффициенты.

$$E_{\text{внеш}} = 1 + \frac{c_{\text{слоя}}^2 \cdot \cos^2 v + d_{\text{слоя}}^2 \cdot \sin^2 v}{4u}; \quad (15)$$

$$F_{\text{внеш}} = \frac{1}{4} \cdot (d_{\text{слоя}}^2 - c_{\text{слоя}}^2) \cdot \sin 2v; \quad (16)$$

использовать следующие показатели: величина усадки внешнего и внутреннего слоев, отношение усадки слоев, угол скоса. Величина поверхностной усадки слоев кожной ткани характеризует степень сокращения размеров кожной ткани. При значительной по величине разности усадки слоев кожной ткани в процессе изготовления и эксплуатации изделия может образоваться дефект «закручивания» материала, выпуклость участков вследствие возникающих сил и напряженных состояний в слоях кожной ткани в процессе усадки. Угол скоса  $\alpha$  изменяется в пределах от 0° до 90°. По величине данного угла можно судить о разности усадки слоев кожной ткани. Если усадка слоев одинакова, тогда проба сохранит форму цилиндра, но меньшего размера ( $\alpha = 90^\circ$ ) (рис. 4, а), если же разница усадки между слоями велика, то проба примет другое крайнее положение ( $\alpha = 0^\circ$ ) (рис. 4, б).

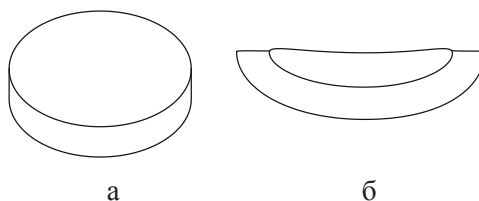


Рис. 4. Крайние возможные положения проб после сваривания: а – усадка слоев при  $\alpha = 90^\circ$ ; б – усадка слоев при  $\alpha = 0^\circ$

Таким образом, предложен метод оценки разноусадочности слоев кожаной ткани, в основу которого положена геометрическая модель. В качестве критериев оценки предложено использовать величину усадки внешнего и внутреннего слоев, отношение усадки слоев, угол скоса. Расчет параметров для оценки разноусадочности проведен на основе предложенной геометрической модели.

### Список литературы

1. Борисова Е.Н., Койтова Ж.Ю., Кучерова И.А. Оценка усадки овчинного полуфабриката на основе исследования разноусадочности слоев // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012. – № 4. – С. 128–131.
2. Койтова Ж.Ю. Разработка новых методов оценки и исследование свойств пушно-меховых полуфабрикатов: дис. ... д-ра техн. наук. – СПб., 2004.
3. Кучерова И.А., Койтова Ж.Ю. Об оценке усадочной способности кожаной ткани меха с учетом слоистости структуры // «Вестник КГТУ». – 2003. – № 7. – С. 39–42.
4. Патент РФ № 2010107016/21,25.02.2010 / Титов А.О., Титова И.И., Титов М.О., Титов О.П. Способ определения межструктурных расстояний в коллагене // Патент России № 2422823.
5. Рябченко А.В., Борисова Е.Н., Муравская Н.Н. Исследование изменения линейных размеров различных видов овчины при разных условиях увлажнения и сушки // Вестник молодых ученых Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна: в 3 вып. – Вып. 1. – СПб.: ФГБОУ ВПО «СПГУТД», 2013. – С. 236–239.
6. Соколовский А.Р. Развитие методов и совершенствование средств исследования физико-механических свойств волокнисто-пористых материалов легкой промышленности: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2010. – 273 с.
7. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. В 3 т. Т. 3. – 4-ое изд. – М.: Изд-во «Наука» Главная редакция физико-математической литературы, 1966. – С. 256.

### References

1. Borisova E.N., Koytova J.U., Kucherova I.A., *Izvestijavuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti*, 2012, no. 4, pp. 128–131.
2. Koytova J.U. *Razrabotka novyh metodov ocenki i issledovanie svojstv pushno-mehovyh polufabrikatov: dis.... dokt. tehn. nauk* [Development of new methods for evaluating and investigation of the properties of the fur semis: dissertation ... doctor of technical sciences], St. Petersburg, 2004.
3. Kucherova I.A., Koytova J.U., *Vestnik KGTU*, Kostroma, 2003, no. 7, pp. 39–42.
4. Patent of Russian Federation № 2010107016/21, 25.02.2010. Titov A.O., Titova I.I., Titov M.O., Titov O.P. *Sposob opredelenija mezh strukturyh rasstojanij v kollagene, Patent Rossii* [A method for determining the interstructural distances in collagen], № 2422823.
5. Ryabchenko A.V., Borisova E.N., Muravskaja N.N., *Vestnik molodyhuchenyh Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tehnologi i idizajna*, St. Petersburg, Ser. 1, 2013, pp. 236–239.
6. Sokolovskij A.R. *Razvitie metodov i sovershenstvovanie sredstv issledovanija fiziko-mehaničeskikh svojstv voloknistoporistyh materialov legkoj promyshlennosti: dissertacija... dokt. tehn. nauk* [Development and improvement of methods for research of physical and mechanical properties of fiber-porous materials, that are used in light industry: dissertation ... doctor of technical sciences], Moscow, 2010. – 273 p.
7. Fihntengol'c G.M. *Kurs differencial'nogo i integral'nogo ischislenija*. [Course of differential and integral estimate] Vol. 3, Moscow, izdatel'stvo «Nauka» Glavnaja redakcija fiziko-matematičeskoj literatury, 1966, pp. 256.

### Рецензенты:

Титов С.Н., д.т.н, профессор кафедры теории механизмов и машин, ДМ и ПТМФ ГБОУ ВПО «Костромской государственной технологической университет», г. Кострома;

Крутикова В.Р., д.т.н., доцент, профессор кафедры технологии и проектирования тканей и трикотажа, ФГБОУ ВПО «Костромской государственной технологической университет», г. Кострома.

Работа поступила в редакцию 25.12.2013.