



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.017.043

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-180-189

**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛЕЙ
ЛОКАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В ОБРАЗЦЕ КАРТОНА ТОПЛАЙНЕР
ПРИ ОДНООСНОМ РАСТЯЖЕНИИ***А.Н. Романова¹, аспирант**Я.В. Казаков¹, д-р техн. наук, проф.; Researcher ID: [J-4634-2012](#),**ORCID: [0000-0001-8505-5841](#)**А.В. Малков^{1,2}, канд. хим. наук, доц.*

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: a.romanova@narfu.ru, j.kazakov@narfu.ru, a.malkov@narfu.ru

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лавёрова РАН, наб. Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Россия, 163000; e-mail: a.malkov@narfu.ru

Представлена методика количественной оценки распределения локальных растягивающих (продольных), сжимающих (поперечных) и сдвиговых деформаций в образце целлюлозно-бумажного материала и результаты ее использования при приложении к образцу одноосной растягивающей нагрузки. Применение данной методики позволило установить значения, степень неоднородности и закономерности изменения локальных деформаций в образце картона топлайнер, обладающего неоднородной и анизотропной структурой, в зависимости от общей величины деформации образца и направления ориентации волокон в нем. В основе методики лежит испытание образцов с предварительно нанесенной сеткой точек на растяжение с постоянной скоростью, в процессе которого выполняются фотофиксация образцов и регистрация кривой «нагрузка–удлинение». С применением специального программного обеспечения осуществляется определение координат узлов сетки и их смещения при растяжении. Анализ данных и вычисление локальных деформаций производится с применением алгоритмов метода конечных элементов. Экспериментально установлено, что при увеличении угла преимущественной ориентации волокон в образцах картона машинного направления локальные продольные деформации возрастают, поперечные уменьшаются, а сдвиговые имеют максимум 45°. Подтвержден рост средней величины абсолютных значений локальных деформаций всех видов при увеличении общей деформации образца. Установлено, что неоднородность локальных деформаций, оцениваемая по среднеквадратическому отклонению, возрастает с увеличением их абсолютной величины, а тенденции изменения зависят от направления ориентации волокон в структуре образца.

Для цитирования: Романова А.Н., Казаков Я.В., Малков А.В. Количественная характеристика полей локальных деформаций в образце картона топлайнер при одноосном растяжении // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 1. С. 180–189. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-180-189

Ключевые слова: картон топлайнер, структурная неоднородность, анизотропия, деформация, метод конечных элементов.

Введение

Гофрированный картон является одним из наиболее востребованных упаковочных материалов и широко применяется для изготовления транспортной тары, используемой для перевозок, складирования и хранения товарной продукции. Его каркасная структура представляет собой сэндвич, состоящий из картона для плоских слоев (лайнер) и бумаги для гофрирования (флютинг). Картон для плоских слоев обеспечивает гофрированному картону и изделиям из него высокую механическую прочность, каркасную жесткость и устойчивость к эксплуатационным нагрузкам [1]. Использование картона-лайнера с белым верхним слоем «топлайнер» в наружных слоях гофрокартона не только гарантирует заданный уровень прочностных и барьерных свойств, но и несет информационную функцию при нанесении на его белую поверхность маркировки.

Механические характеристики картона топлайнер тесно связаны с особенностями строения его структуры и во многом определяют качественные показатели гофрированного картона и изделий из него [3]. Волокнистая природа, морфологические особенности структурных элементов, интенсивность водородных связей между волокнами, неравномерность их распределения в плоскости листа, применяемые технологии производства и оборудование приводят к возникновению явлений неоднородности и анизотропии в структуре топлайнера [1, 4, 20, 22]. Это, в свою очередь, обуславливает неоднородность и анизотропность его физических и упругопластических свойств, что характерно для структуры любого целлюлозно-бумажного материала [2, 18, 21].

Структурная неоднородность визуально оценивается по равномерности просвета топлайнера и оказывает непосредственное влияние на его деформационное поведение при приложении внешней нагрузки [2, 3, 9, 10, 13]. Флоккулы и промоины, образующиеся при формировании картонного полотна, сохраняются в готовом листе и наблюдаются в проходящем свете (рис. 1).

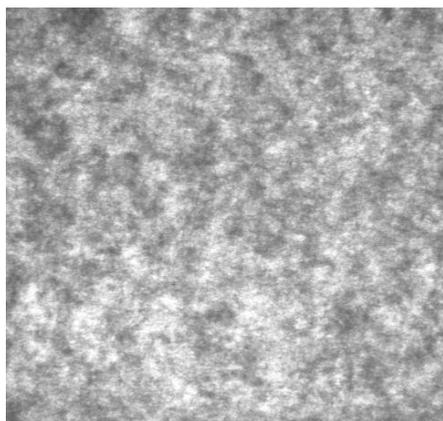


Рис. 1. Изображение образца картона топлайнер на просвет, полученное в проходящем поляризованном свете на анализаторе формирования РТИ Formation Tester (образец 120×120 мм; индекс формирования $I_f = 250$; степень анизотропии упругих свойств $TSI_{MD/CD} = 2,55$)

Fig. 1. Image of top-liner board sample obtained in transmitted polarized light by means of РТИ Formation Tester, sample of 120×120 mm (formation index $I_f = 250$, the degree of stiffness anisotropy $TSI_{MD/CD} = 2,55$)

Элементы пространственной анизотропной структуры картона во флоккулах и промоинах имеют различную жесткость и при приложении внешней нагрузки к материалу инициируют в его структуре возникновение неоднородности напряжений и деформаций. При достижении пиковых значений напряжений межволоконные или внутриволоконные водородные связи разрушаются

ся. Это приводит к возникновению необратимых деформаций и в конечном итоге к разрушению образца [11–13, 15, 16, 19].

Таким образом, принимая во внимание неоднородность и анизотропность макроструктуры картона топлайнер и связывая это с количественной оценкой неоднородности локальных напряжений и деформаций, возникающих в его структуре при приложении механической нагрузки, можно с более высокой степенью надежности предсказывать деформационное поведение картона и оптимизировать его деформационно-прочностные свойства [3, 4, 8, 17, 20, 23].

Цель нашей работы – дать количественную характеристику полей локальных деформаций, возникающих в неоднородном и анизотропном образце картона при его испытании на одноосное растяжение.

Объекты и методы исследования

Для эксперимента был использован картон для плоских слоев гофрированного картона – топлайнер двухслойный с белым верхним (покровным) слоем из первичного волокна (масса $1 \text{ м}^2 - 125 \pm 2,7 \text{ г}$; толщина – $150 \pm 2,7 \text{ мкм}$; плотность – $0,83 \pm 0,015 \text{ г/см}^3$). Покровный белый слой из 80 % лиственной и 20 % хвойной целлюлозы составляет 40 %. Для испытаний были отобраны листы картона с величиной угла TSO, близкой к нулю.

Неоднородность структуры картона топлайнер отчетливо показали изображения, полученные на анализаторе формования (рис. 1). Количественная оценка неоднородности структуры топлайнера, произведенная по этим изображениям, подтвердила наличие структурных неоднородностей различных размеров. Индекс формования по методике Teshrap [12] составил $I_\phi = 250 \pm 7$, средний размер неоднородностей – $5,2 \pm 0,3 \text{ мм}$, степень анизотропии упругих свойств, определенная ультразвуковым методом [18], $TSI_{MD/CD} = 2,55 \pm 0,11$. Таким образом, экспериментально подтверждены высокая неоднородность и анизотропия структуры топлайнера, что неизбежно должно привести к неоднородности его деформирования при растяжении.

Количественная характеристика полей растягивающих (продольных), сжимающих (поперечных) и сдвиговых локальных деформаций, возникающих и развивающихся в образце картона топлайнер при одноосном растяжении, была получена в соответствии с методикой [2, 7], основанной на использовании метода конечных элементов (МКЭ) для треугольных изопараметрических элементов [2, 5]. Ранее данная методика апробирована на образцах офисной бумаги и картона-лайнера [5, 14]. Согласно методике [2, 5], на лицевую поверхность отобранных листов с помощью струйного принтера была нанесена сетка точек (узлов) с размерами ячейки $4 \times 4 \text{ мм}$ (угол наклона сетки к машинному направлению (МД) составлял 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90° соответственно для каждого листа). Из листов картона были подготовлены образцы в виде полос размерами $200 \times 25 \text{ мм}$ (25×6 узлов), вырезанные параллельно сторонам сетки. Образцы подвергались растяжению на вертикальной разрывной машине ИТС-101 со скоростью растяжения 10 мм/мин при расстоянии между зажимами 100 мм. От момента начала растяжения и до момента физического разделения образца картона на части (разрушения) производились посекундная фотофиксация процесса и регистрация кривых зависимостей «нагрузка–удлинение» [6], при математической обработке которых были определены

модуль упругости и спектр прочностных и деформационных характеристик материала [4, 6]. Фотосъемка производилась с разрешением 24 мегапикселя (6016×4016) в режиме sRGB, 24 бит со скоростью 1 кадр/с. Использована камера NIKON D600, объектив AF-S Micro-Nikkor 60/2.8, фокусное расстояние 60 мм, диафрагма $f/8$, выдержка $1/100$ с, светочувствительность ISO 1600. В результате было зафиксировано постепенное смещение узлов дискретной сетки в течение всего процесса испытания (рис. 2).

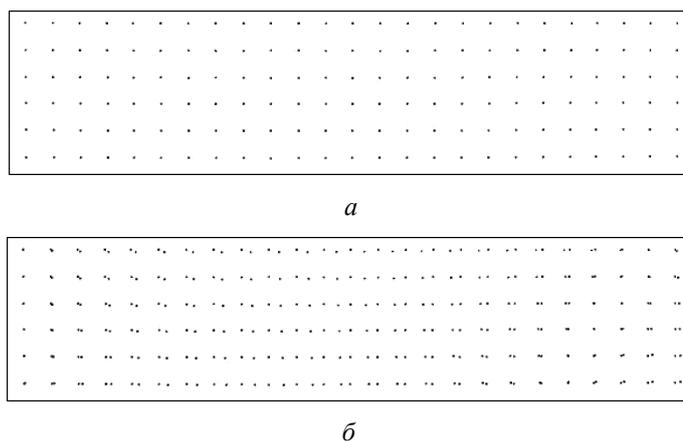


Рис. 2. Цифровой снимок образца картона с нанесенной на его поверхность дискретной сеткой точек: *а* – перед испытанием; *б* – с общей деформацией 3 мм, наложенный на снимок исходного образца

Fig. 2. Digital image of white top-liner board sample with a discrete mesh on its surface: *a* – before testing; *b* – when total deformation reached 3 mm, the stretched sample image was overlaid on the initial one

Для получения количественных данных эксперимента и визуальной интерпретации результатов их обработки было использовано программное обеспечение [7]. Смещения каждой точки (u_x , мм) по оси x (вдоль продольной оси образца), (u_y , мм) по оси y (перпендикулярно продольной оси образца) рассчитываются по величине разрешения снимков. Это дает возможность определить числовые значения продольных ε_x , поперечных ε_y и сдвиговых γ_{xy} локальных деформаций в испытываемом образце по следующим уравнениям:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = B \times U, \quad (1)$$

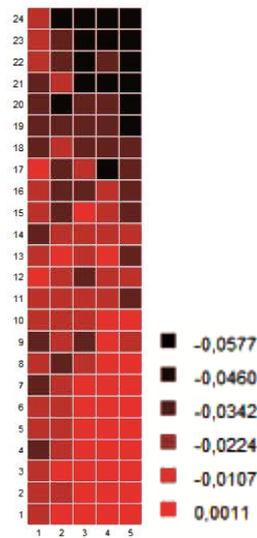
где B – матрица градиентов; U – вектор смещения точек сетки;

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_2 - y_3 & 0 & y_3 - y_1 & 0 & y_1 - y_2 & 0 \\ 0 & x_3 - x_2 & 0 & x_1 - x_3 & 0 & x_2 - x_1 \\ x_3 - x_2 & y_2 - y_3 & x_1 - x_3 & y_3 - y_1 & x_2 - x_1 & y_1 - y_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} x_1 - x_1^a \\ y_1 - y_1^a \\ x_2 - x_2^a \\ y_2 - y_2^a \\ x_3 - x_3^a \\ y_2 - y_2^a \end{bmatrix}; \quad (2)$$

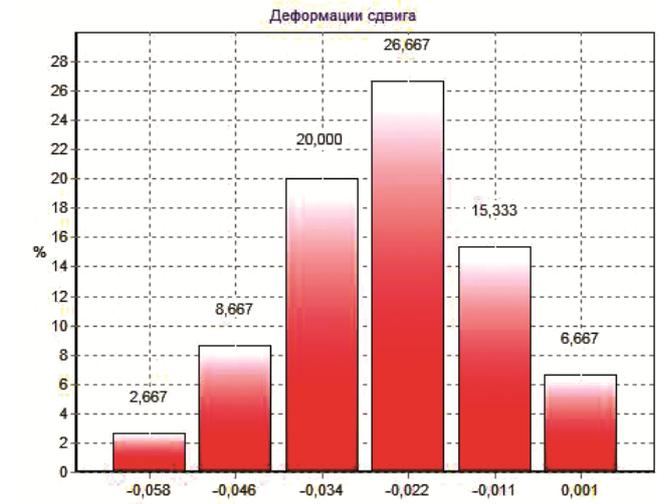
$x_i, y_i, i = 1, 2, 3$ – координаты 1, 2 и 3-го узлов конечного элемента, измеряемые до (x_i, y_i) и после (x_i^a, y_i^a) растяжения.

Результаты представляются в виде диаграммы распределения локальных деформаций и напряжений в образце при растяжении (рис. 3, а) и гистограмм их распределения (рис. 3, б).

Деформации сдвига



а



б

Рис. 3. Представление результатов обработки данных эксперимента в программе [7] в виде поля (а) и гистограммы (б) распределения локальных деформаций на примере сдвиговых γ_{xy} деформаций в образце картона, вырезанном в направлении под углом 45° к MD и растянутом до общей деформации 3 мм

Fig. 3. Presentation of results, obtained by processing of experimental data with software [7] and presented in the form of a field (а) and histogram (б) of local deformations distribution: the example of shear γ_{xy} deformations in white top-liner board sample, cut out with angle of 45° to MD and stretched up to 3 mm

Статистическая обработка полученного массива данных с определением средних и стандартных отклонений σ_x позволяет количественно охарактеризовать поля локальных деформаций. Среднее квадратическое отклонение принимается в качестве характеристики неоднородности локальных деформаций.

Результаты исследования и их обсуждение

Обобщающие результаты эксперимента, представленные на рис. 4, показывают влияние преимущественного угла ориентации волокон, изменяемого за счет вырезки образцов под разными углами к направлению MD , на развитие величины (среднего значения) и неоднородности (стандартного отклонения) локальных деформаций в образце картона топлайнер при растяжении до общей деформации 3 мм.

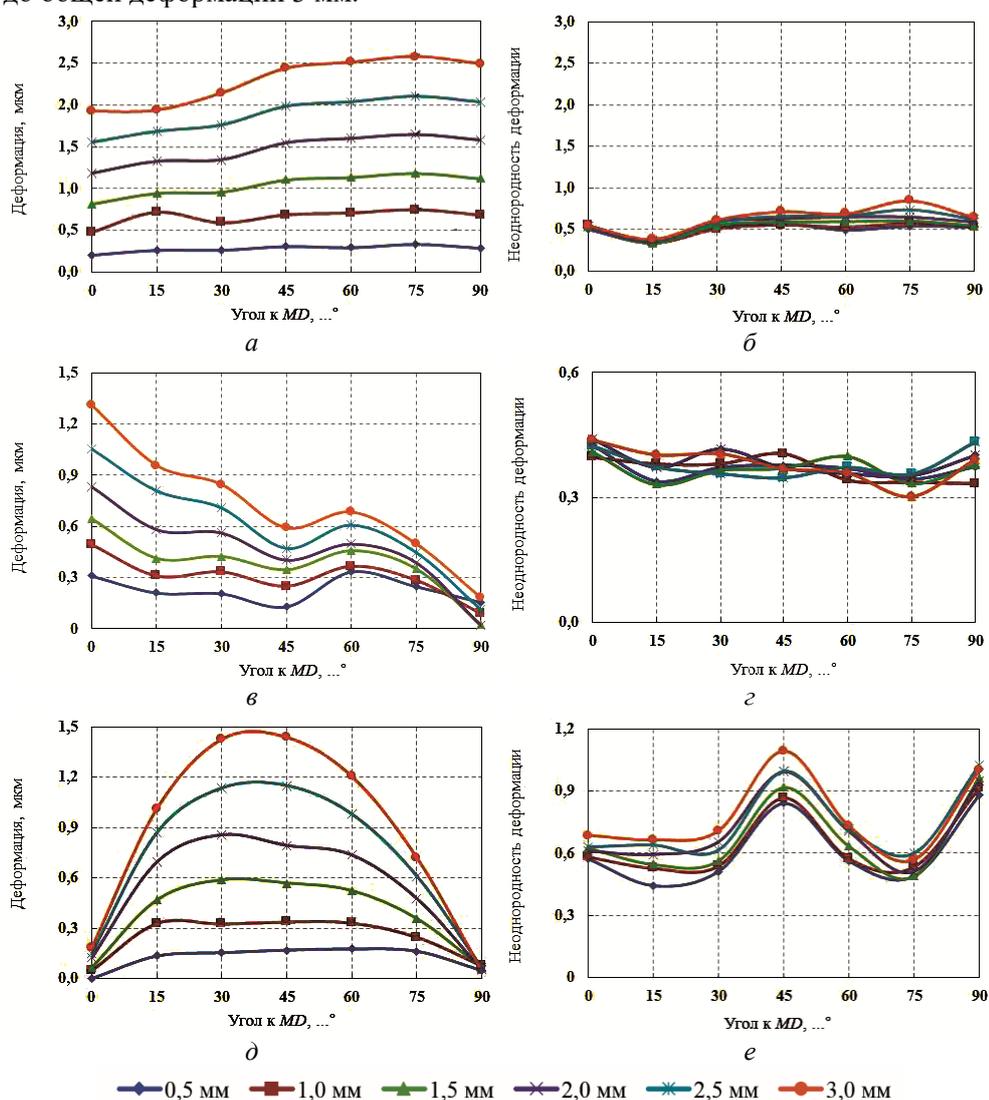


Рис. 4. Влияние преимущественного угла ориентации волокон в образцах картона топлайнер на средние значения (a , $в$, $д$) и среднее квадратическое отклонение деформаций конечных элементов ($б$, $г$, $е$) при растяжении до общей деформации 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм: a , $б$ – деформации растяжения; $в$, $г$ – деформации сжатия; $д$, $е$ – деформации сдвига

Fig. 4. The effect of a predominant angle of fibers orientation in the top-liner board samples on average deformation values (a , $в$, $д$) and standard deviation of deformations of finite elements ($б$, $г$, $е$) under tension to total deformation of 0.5; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5; 3.0 mm: tensile (a , $б$), compressive ($в$, $г$) and shear ($д$, $е$) deformations

Данные подтверждают, что визуально неоднородная анизотропная структура картона деформируется неоднородно, а величина и неоднородность локальных деформаций зависят как от общей деформации образца, так и от направления ориентации волокон в образце.

Представленные на рис. 4 данные показывают, что при увеличении угла преимущественной ориентации волокон в образцах картона от направления MD локальные растягивающие (продольные) деформации возрастают (рис. 4, *a*); сжимающие (поперечные) – уменьшаются (рис. 4, *в*); сдвиговые – имеют максимум 45° к MD (рис. 4, *д*). Также наблюдается закономерный рост средней величины локальных деформаций всех видов при увеличении общей деформации образца.

Доминирование растягивающих деформаций объясняется тем, что они возникают вдоль линии нагружения. Преобладание деформаций сжатия у образцов, вырезанных в MD направлении, связано с тем, что сжатие происходит перпендикулярно преобладающей оси ориентации волокон в структуре, деформациям подвергаются главным образом связи между волокнами, жесткость которых существенно ниже, чем у самих волокон.

Изменение неоднородности локальных деформаций, оцениваемое по среднему квадратическому отклонению (рис. 4, *б*, *з*, *е*), имеет свои особенности. На неоднородность поперечных деформаций не оказывают влияния ни величина общей деформации, ни угол вырезки образцов (рис. 4, *з*). Неоднородность продольных деформаций растет с увеличением как общей деформации, так и угла (рис. 4, *б*), подтверждая закономерность, что чем выше величина локальных продольных деформаций, тем больше и их неоднородность.

Наличие двух максимумов для неоднородности локальных сдвиговых деформаций (рис. 4, *е*) имеет свои причины. Максимум при 45° к MD связан с высокими абсолютными значениями сдвиговых деформаций. Второй максимум, для образцов CD , наоборот, связан с чрезвычайно низкими абсолютными значениями локальных сдвиговых деформаций, когда даже незначительное их изменение вызывает большой рост среднеквадратического отклонения.

Заключение

При применении предложенной и экспериментально апробированной методики оценки локальных деформаций образца бумаги в процессе растяжения установлены величина, степень неоднородности и закономерности изменения локальных растягивающих (продольных), сжимающих (поперечных) и сдвиговых деформаций в образце топлайнера, обладающем неоднородной и анизотропной структурой, в зависимости от величины общей деформации образца и направления ориентации в нем волокон.

Экспериментально показано, что при увеличении угла преимущественной ориентации волокон в образцах картона от машинного направления (MD) локальные продольные деформации возрастают, поперечные уменьшаются, а сдвиговые имеют максимум 45° к MD .

Подтвержден рост средней величины локальных деформаций всех видов при увеличении общей деформации образца.

Установлено, что неоднородность локальных деформаций, оцениваемая по среднеквадратическому отклонению, возрастает с увеличением их абсо-

люточной величины, а тенденции изменения зависят от направления ориентации волокон в структуре образца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Белоглазов В.И., Гурьев А.В., Комаров В.И. Анизотропия деформативности и прочности тарного картона и методы ее оценки / под ред. проф. В.И. Комарова. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. 252 с. [Beloglazov V.I., Gur'yev A.V., Komarov V.I. *Anisotropy of Deformability and Strength of Containerboard and the Methods of its Evaluation*. Ed. by V.I. Komarov. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2005. 252 p.]

2. Казаков Я.В. Количественная оценка неоднородности деформирования бумаги при одноосном растяжении с постоянной скоростью // Изв. вузов. Лесн. журн. 2013. № 2. С. 180–185. [Kazakov Y.V. Quantitative Estimation of Deformation Heterogeneity in a Paper at Uniaxial Stretching at Constant Rate of Speed. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2013, no. 2, pp. 180–185]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/5a4/hpd3.pdf>

3. Казаков Я.В., Зеленова С.В., Комаров В.И. Влияние неоднородности структуры на характеристики жесткости картонов-лайнеров // Изв. вузов. Лесн. журн. 2007. № 3. С. 110–121. [Kazakov Ya.V., Zelenova S.V., Komarov V.I. Influence of Structural Nonuniformity on Stiffness Characteristics of Linerboard. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2007, no. 3, pp. 110–121]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/f07/f07f469ab9b4d4a475d209e0bf17306f.pdf>

4. Комаров В.И. Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. 440 с. [Komarov V.I. *Deformation and Destruction of Pulp and Paper Materials*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2002. 440 p.]

5. Романова А.Н., Казаков Я.В., Малков А.В. Влияние направления ориентации волокна в образце картона на соотношение растягивающих, сжимающих и сдвиговых деформаций при испытании на растяжение // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы IV междунар. науч.-техн. конф. (Архангельск, 14–16 сент. 2017 г.). Архангельск: САФУ, 2017. С. 108–113. [Romanova A.N., Kazakov Y.V., Malkov A.V. The Influence of the Fiber Orientation Direction in a Cardboard Sample on the Ratio of Tensile, Compressive and Shear Deformations in the Tensile Test. *Proceedings of the 4th International Scientific Conference “The Issues in Mechanics of Pulp-and-Paper Materials”*, (Arkhangelsk, September 14–16, 2017). Arkhangelsk, NArFU Publ., 2017, pp. 108–113].

6. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2001610526, Российская Федерация. Программное обеспечение лабораторного испытательного комплекса для оценки деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов (КОМПЛЕКС): № 2001610250; заявл. 11.03.2001; опубл. 10.05.2001 / Казаков Я.В., Комаров В.И. 1 с. [Kazakov Ya.V., Komarov V.I. *The Software of the Laboratory Test Complex for the Deformability and Strength Assessment of Pulp and Paper Materials (KOMPLEX)*. Certificate of the Computer Software Official Registration No. 2001610526. 2001. 1 p.]

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014617014, Российская Федерация. Программа для анализа полей локальных деформаций и напряжений в образцах бумаги при растяжении (Неоднородность деформирования): № 2014614773; заявл. 22.05.2014; опубл. 09.07.2014 / Казаков Я.В., Казакова О.Я., Рудалев А.В. 1 с. [Kazakov Ya.V., Kazakova O.Ya., Rudalev A.V. *The Software for the Analysis of Local Fields of Deformation and Stresses in Paper Samples under Tension (Deformation Inhomogeneity)*. Certificate of the Computer Program Official Registration No. 2014617014. 2014. 1 p.]

8. Borodulina S., Kulachenko A., Nygård M., Galland S. Stress-Strain Curve of Paper Revisited. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 2012, vol. 27, iss. 2, pp. 318–328. DOI: [10.3183/npprj-2012-27-02-p318-328](https://doi.org/10.3183/npprj-2012-27-02-p318-328)
9. Borodulina S., Motamedian H.R., Kulachenko A. Effect of Fiber and Bond Strength Variations on the Tensile Stiffness and Strength of Fiber Networks. *International Journal of Solids and Structures*, 2016, vol. 154, pp. 19–32. DOI: [10.1016/j.ijsolstr.2016.12.013](https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2016.12.013)
10. Considine J.M., Scott C.T., Gleisner R., Zhu J.Y. Use of Digital Image Correlation to Study the Local Deformation Field of Paper and Paperboard. *Proceedings of the Advances in Paper Science and Technology: 13th Fundamental Research Symposium, Cambridge, September 11–16, 2005*. Cambridge, UK, The Pulp and Paper Fundamental Research Society, 2005, pp. 613–630.
11. Ebner T., Hirn U., Fischer W.J., Schmied F.J., Schennach R., Ulz M.H. A Proposed Failure Mechanism for Pulp Fiber-Fiber Joints. *BioResources*, 2016, vol. 11, no. 4, pp. 9596–9610. DOI: [10.15376/biores.11.4.9596-9610](https://doi.org/10.15376/biores.11.4.9596-9610)
12. Eymen G., Tourtollot P., Rech D. 2D F-Sensor: A New Tool for the Online Sheet Formation Characterization. *The 34th Pulp and Paper Annual Congress: ABTCP 2001, Sao Paulo, Brazil, October 22–25, 2001*. Sao Paulo, 2001, p. 7.
13. Hirn U., Lechthaler M., Bauer W. Registration and Point Wise Correlation of Local Paper Properties. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 2008, vol. 23, iss. 4, pp. 374–381. DOI: [10.3183/NPPRJ-2008-23-04-p374-381](https://doi.org/10.3183/NPPRJ-2008-23-04-p374-381)
14. Kazakov Y., Romanova A., Galimzyanova A. Effect of Fiber Orientation in a Paper Sheet on Ratio of Local Tensile, Compressive and Shear Deformations at the Tensile Test. *Euromech Colloquium 592: Deformation and Damage Mechanisms of Woodfibre Network Materials and Structures, Stockholm, Sweden, June 7–9, 2017*. Stockholm, KTH Royal Institute of Technology, 2017, pp. 72–73.
15. Korteoja M.J., Lukkarinen A., Kaski K., Gunderson D.E., Dahlke J.L., Niskanen K.J. Local Strain Fields in Paper. *Tappi Journal*, 1996, vol. 79, no. 4, pp. 217–224.
16. Korteoja M.J., Niskanen K.J., Kortschot M.T., Kaski K.K. Progressive Damage in Paper. *Paperi ja puu*, 1998, vol. 5, pp. 364–372.
17. Lahti J., Dauer M., Hirn U. Linking Paper Structure to Tensile Deformation and Fracture Initiation. *Progress in Paper Physics Seminar 2016 Conference Proceedings, Darmstadt, August 22–26, 2016*. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, 2016, pp. 71–75.
18. Lindblad G., Fürst T. *The Ultrasonic Measuring Technology on Paper and Board*. Kista, Sweden, Lorentzen and Wettre, 2001. 98 p.
19. Niskanen K.J., Alava M.J., Seppala E.T., Astrom J. Fracture Energy in Fibre and Bond Failure. *Journal of Pulp and Paper Science*, 1999, vol. 25, no. 5, pp. 167–169.
20. Ostojca-Starzewski M., Castro J. Random Formation, Inelastic Response and Scale Effects in Paper. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2003, vol. 361, no. 1806, pp. 965–985.
21. Szewczyk W., Marynowski K., Tarnawski W. An Analysis of Young's Modulus Distribution in the Paper Plane. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 2006, vol. 14, iss. 4(58), pp. 91–94.
22. Uesaka T. Determination of Fiber-Fiber Bond Properties. *Handbook of Physical and Mechanical Testing of Paper and Paperboard. Vol. 2*. Ed by R.E. Mark. New York, Marcel Dekker Inc., 1984, pp. 379–402.
23. Wallmeier M., Linvill E., Hauptmann M. The Effect of Inhomogeneous Material Properties in Explicit Dynamic Simulation of Paperboard Forming. *Progress in Paper Physics Seminar 2016 Conference Proceedings, Darmstadt, August 22–26, 2016*. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, 2016, pp. 193–199.

**QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF LOCAL STRAIN FIELDS
IN A TOP-LINER BOARD SAMPLE UNDER UNIAXIAL TENSION**

A.N. Romanova¹, Postgraduate Student

Ya.V. Kazakov¹, Doctor of Engineering, Prof.; Researcher ID: [J-4634-2012](#),

ORCID: [0000-0001-8505-5841](#)

A.V. Malkov^{1,2}, Candidate of Chemistry, Prof.

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: a.romanova@narfu.ru, j.kazakov@narfu.ru, a.malkov@narfu.ru

²N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, RAS, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: a.malkov@narfu.ru

The paper presents the method for quantifying the distribution of local tensile (longitudinal), compressive (transverse) and shear strains in a sample of pulp and paper material. The results of its use for the sample of top-liner board when uniaxial tensile testing are provided. Applying this method, we have determined the values, the degree of heterogeneity and change patterns of local strains in inhomogeneous and anisotropic structure of the sample, depending on the total strain and the direction of fiber orientation. The method is based on constant-speed tensile testing of samples with a pre-applied dot matrix to their surface. The test is accompanied with photo fixing and recording a load-elongation curve. The coordinates and displacements of dots are determined by means of the specially designed software. The analysis of data and calculation of local deformations are performed by finite elements method (FEM) algorithms. The outcomes have shown that the local longitudinal deformations increased, transverse – decreased, and shear – had their maximum at 45° to machine direction (*MD*) when increasing the angle of preferential fiber orientation to *MD* in the board samples. The rise of the average absolute values of all components of local strains when increasing total deformation in the sample was confirmed. As it has been found, the heterogeneity of local strains, estimated through the standard deviation, rose when increasing their absolute value; the trends of changing depend on the fiber orientation direction in the sample structure.

For citation: Romanova A.N., Kazakov Ya.V., Malkov A.V. Quantitative Characteristics of Local Strain Fields in a Top-Liner Board Sample under Uniaxial Tension. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 1, pp. 180–189. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-180-189

Keywords: top-liner board, structural inhomogeneity, anisotropy, deformations, FEM.

Поступила 21.02.19 / Received on February 21, 2019
