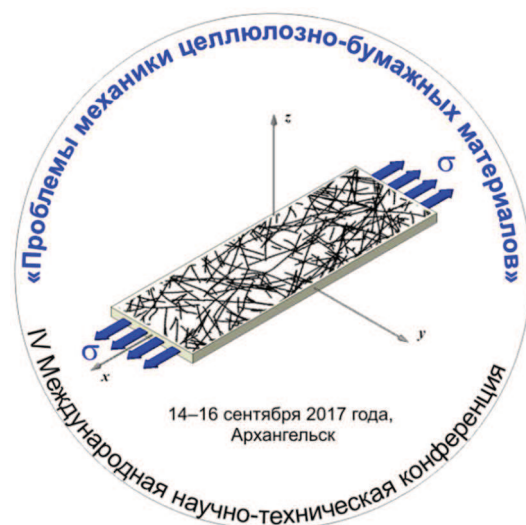




Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»

ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ



МАТЕРИАЛЫ IV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПОСВЯЩЕННОЙ ПАМЯТИ ПРОФЕССОРА В.И. КОМАРОВА

14–16 сентября 2017 г.

Архангельск
2017

УДК 676.017
ББК 35.77
П 78

Составитель – **Я.В. Казаков**

*Конференция проводится при финансовой поддержке Российского фонда
фундаментальных исследований (проект № 17-08-20431\17)*

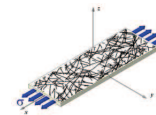
П 78 **Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов:**
материалы IV Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. памяти про-
фессора В.И. Комарова (Архангельск, 14–16 сентября 2017 г.) /
Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск:
САФУ, 2017. – 377 с.
ISBN 978-5-261-01259

Представлены материалы докладов по фундаментальным и прикладным исследованиям в области механики целлюлозно-бумажных материалов по следующим направлениям: физические основы и методы оценки механического поведения целлюлозно-бумажных материалов; новые технологические решения для повышения уровня механических свойств технической целлюлозы, бумаги и картона; перспективы развития ресурсосберегающих способов получения бумаги и картона из рециркулируемого сырья; нанотехнологии в получении новых видов целлюлозы и бумагоподобных материалов.

УДК 676.017
ББК 35.77

ISBN 978-5-261-01259

© Северный (Арктический)
федеральный университет
имени М.В. Ломоносова, 2017



ВЛИЯНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИИ ВОЛОКНА В ОБРАЗЦЕ КАРТОНА НА СООТНОШЕНИЕ РАСТЯГИВАЮЩИХ, СЖИМАЮЩИХ И СДВИГОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ИСПЫТАНИИ НА РАСТЯЖЕНИЕ

А.Н. Романова, Я.В. Казаков, А.В. Малков

Северный (Арктический) федеральный университет, г. Архангельск, Россия

Дана количественная оценка величины и неоднородности локальных деформаций в образцах картона топ-лайнера при испытании на растяжение. Использовано оригинальное программное обеспечение, позволяющее выделить растягивающие, сжимающие и сдвиговые составляющие деформации. Установлено и количественно подтверждено, что в образце, вырезанном под углом 45° сдвиговые деформации максимальны, что обусловлено анизотропной и неоднородной структурой целлюлозного волокнистого материала

THE INFLUENCE OF THE FIBER ORIENTATION DIRECTION IN A CARDBOARD SAMPLE ON THE RATIO OF TENSILE, COMPRESSIVE AND SHEAR DEFORMATIONS IN THE TENSILE TEST

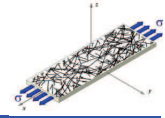
A.N. Romanova, Y.V. Kazakov, A.V. Malkov

Northern (Arctic) federal university, Arkhangelsk, Russia

A quantitative estimate of the magnitude and inhomogeneity of local deformations in samples of a cardboard top liner during a tensile test is given. Original software was used, which allows to identify tensile, compressive and shear components of deformation. It is established and quantitatively confirmed that in a specimen cut at an angle of 45° to MD the shear deformations are maximal. Which is due to the anisotropic and heterogeneous structure of the cellulosic fibrous material.

Неоднородность структуры целлюлозно-бумажного материала обусловлена характером расположения волокнистых, в частности целлюлозных, и других компонентов во всем объеме листа [1,2]. Оценка неоднородности структуры материала производится визуально по степени неоднородности его просвета.

Присущая структуре бумаги и картона гетерогенность является основной причиной возникновения неоднородностей полей локальных деформаций при приложении нагрузки, а возникающие в этот момент на концах межволокнистых связей пиковые напряжения приводят к постепенному необратимому разрушению структурного каркаса материала [3,4,5].



Цель работы заключалась в оценке влияния направления ориентации волокон в структуре картона на распределение локальных растягивающих, сжимающих и сдвиговых деформаций при приложении растягивающей нагрузки.

Для проведения эксперимента был использован картон топ-лайнера с белым верхним слоем и массой 125 г/м^2 . Листы картона предварительно отбирались по величине угла TSO, близкой к нулю. 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 составлял $0, 15, 30, 45, 60, 75, 90^\circ$ соответственно для каждого листа). Из листов картона была подготовлена серия образцов (по три образца в каждой серии) в виде полос с 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 непосредственно от момента начала ее приложения и до момента физического разделения образца картона на части – разрушения. Процесс испытания сопровождался одновременной посекундной фотофиксацией процесса растяжения и регистрацией кривых зависимостей «нагрузка-удлинение». Фотосъемка произведена с разрешением 24 мегапикселя (6016×4016), режим sRGB, 24 бит со скоростью 1 кадр в секунду. Использована камера NIKON D600, объектив AF-S Micro-Nikkor 60/2.8, фокусное расстояние 60 мм , диафрагма $f/8$, выдержка $1/100 \text{ с}$, светочувствительность ISO 1600. При математической обработке данных кривых определяется модуль упругости и спектр прочностных и деформационных характеристик материала [6].

Для получения количественных характеристик данных эксперимента и визуальной интерпретации результатов их обработки была применена специально разработанная компьютерная программа [7].

Пользуясь величиной разрешения снимка, рассчитываются смещения точек в миллиметрах u_x по оси x (вдоль продольной оси образца), u_y по оси y (перпендикулярно продольной оси образца), рис.1, и рассчитываются продольные, ε_x поперечные ε_y , и сдвиговые γ_{xy} локальные деформации. Для каждого элементарного квадрата выполняется расчет для четырех треугольников и вычисляется среднее значение. Полученные величины локальных деформаций используются для расчетов напряжений в образцах. Одновременно по кривым зависимостей « σ – ε » определяется модуль упругости, устанавливается общая деформация в образце в момент снимка [6].

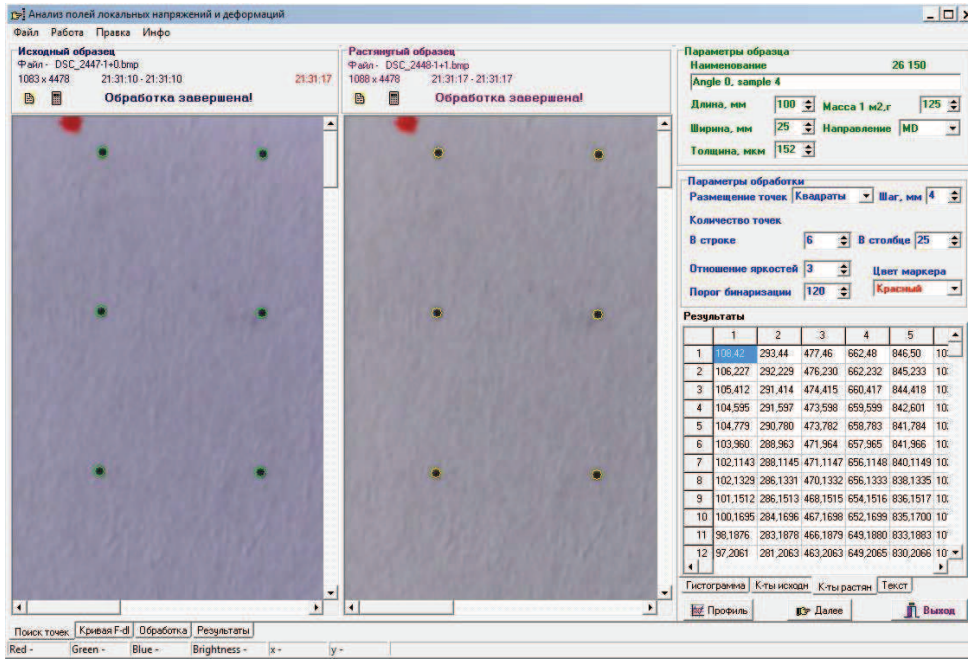
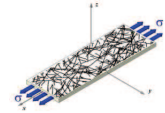


Рис. 1. Определение координат узлов сетки до и после растяжения с использованием программы [6]

После математической обработки координат и смещений узлов сетки до и после растяжения были получены диаграммы распределения локальных деформаций и напряжений в образце при растяжении, рис. 2, позволяющие визуально оценить распределение локальных деформаций в образце картона.

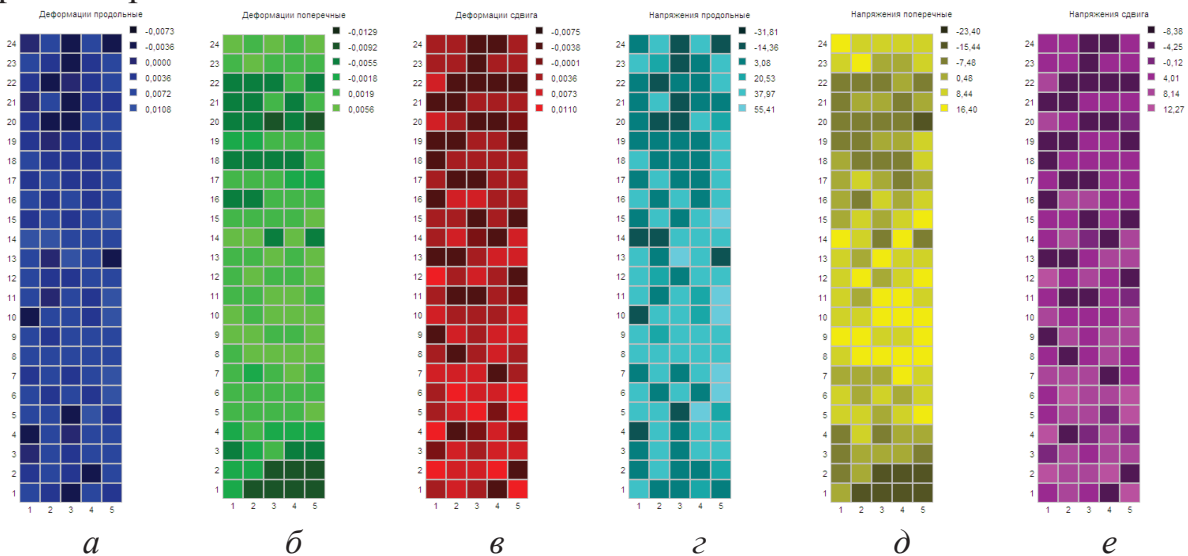
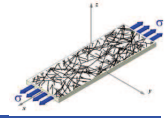


Рис. 2. Графики распределения локальных продольных, поперечных и сдвиговых деформаций (а,б,в) и напряжений(г,д,е) на примере образца «0°»

Количественная оценка обнаруженных неоднородностей производилась по гистограммам распределения локальных напряжений и деформаций.



ций (рис. 3) и путем статистической обработки полученных данных с определением средних и стандартных отклонений σ_x . За характеристику неоднородности локальных напряжений и деформаций было принято среднее квадратическое отклонение.

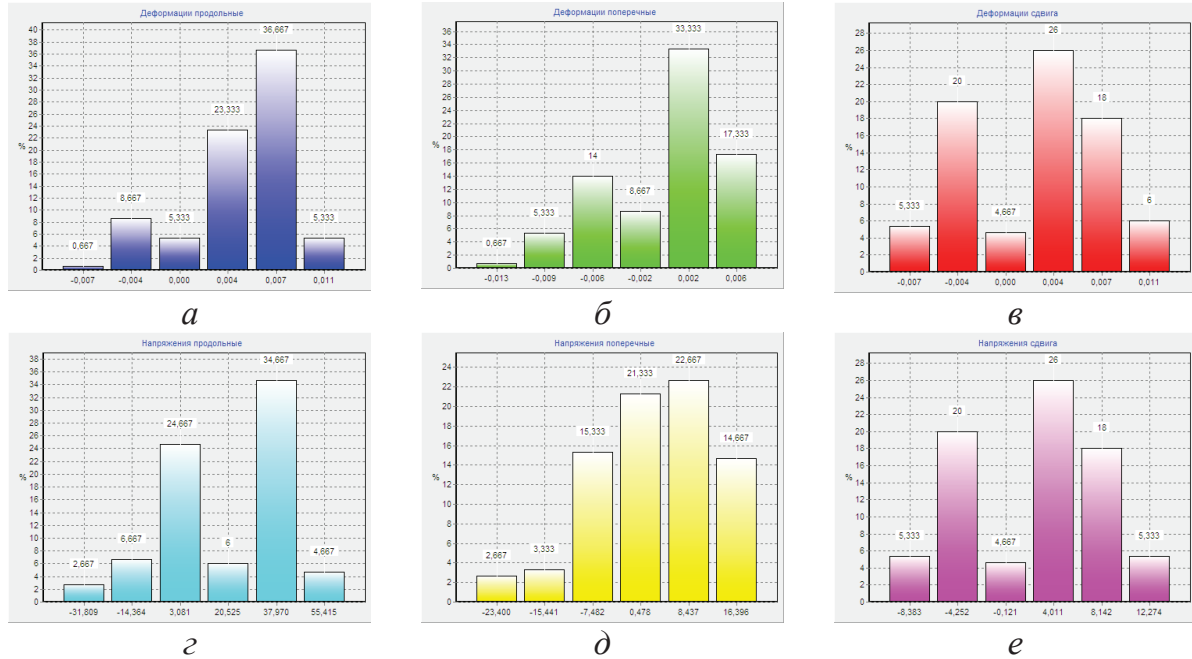


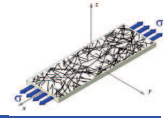
Рис. 3. Гистограммы распределения локальных продольных, поперечных и сдвиговых деформаций (а, б, в) и напряжений (г, д, е) в образце «0°»

В основу применяемой методики расчета положен метод конечных элементов (МКЭ) для треугольных изопараметрических элементов [7]. Для определения растяжения, сжатия и смещения каждого элемента составляющего общую деформацию было использовано следующее соотношение (уравнения 1,2):

$$\begin{bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \mathbf{B} \times \mathbf{U} \quad (1)$$

где \mathbf{B} – матрица градиентов; \mathbf{U} – вектор смещения узлов сетки

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



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

На рис. 4 показано влияние преимущественного угла ориентации волокон, изменяемое за счет вырезки образцов под разными углами к машинному направлению, на среднее значение деформаций и их стандартное отклонение для конечных элементов в образце картона топ-лайнер при растяжении до 1,5 мм.

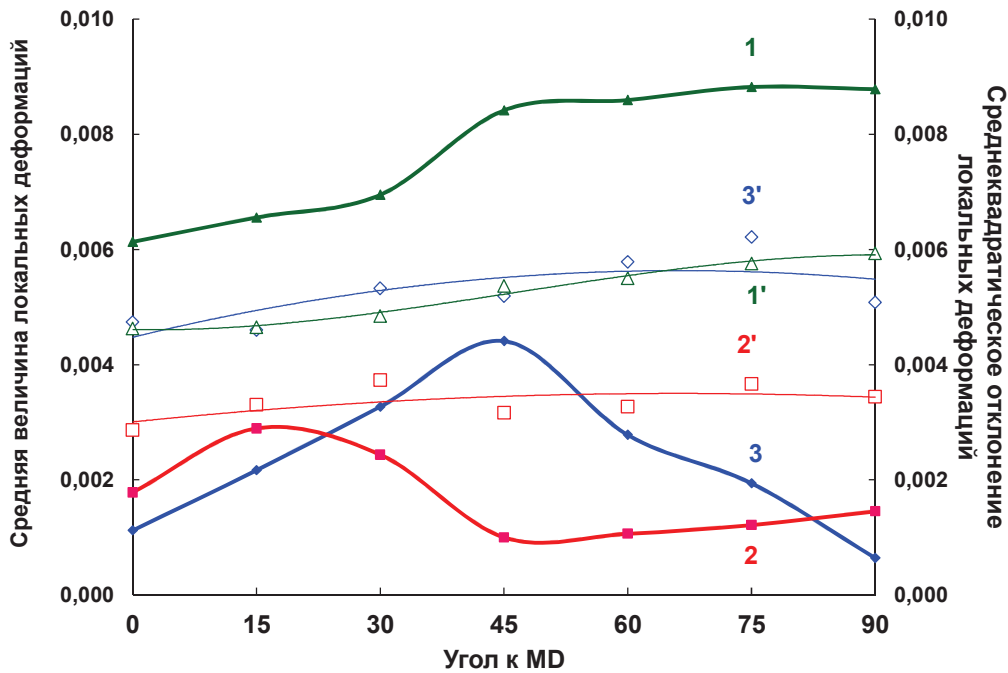
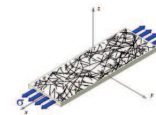


Рис. 4. Влияние направления вырезки образца на средние значения деформаций (1,2,3) и стандартное отклонение деформаций конечных элементов (1', 2', 3') при растяжении до 1,5 мм: 1 – деформации растяжения; 2 – деформации сжатия; 3 – деформации сдвига

Данные рис. 4 позволяют заключить, что, что при постоянной величине общей деформации образца, при увеличении угла преимущественной ориентации волокон в образце, локальные растягивающие деформации возрастают (кривая 1); сжимающие – уменьшаются (кривая 2); сдвиговые – имеют максимальный предел при 45° к MD (кривая 3); наблюдается рост средней величины сдвиговых деформаций при увеличении угла вырезки от 0 до 45°, и снижение этой величины при увеличении угла вырезки от 45 до 90°. При этом неоднородность локальных деформаций, оцениваемая по среднему квадратическому отклонению, изменяется незначительно. Растягивающие деформации доминируют, поскольку возникают вдоль линии растяжения.



Преобладание деформаций сдвига в образцах, вырезанных под углом 45° к MD, подтверждается тем фактом, что линия разрушения образца проходит также под углом 45° к продольной оси образца.

Таким образом, в результате проведенных исследований, получены новые количественные данные о перераспределении составляющих общей деформации при изменении угла вырезки образца. На примере тарного картона топ-лайнера доказано, что в неоднородном поле деформаций, включающих растягивающие вдоль линии нагружения, сжимающие поперек линии нагружения и сдвиговые, при угле вырезки образца 45° преобладают сдвиговые деформации, что обусловлено анизотропной и неоднородной структурой целлюлозного волокнистого материала.

Список литературы

1. Wong L., Kortschot M. T., Dodson, C. T. J. Effect of formation on local strain fields and fracture of paper. *J. Pulp Pap. Sci.* 22, J213–J219. 1996.
2. Ostoja-Starzewski M., Castro J., Random formation, inelastic response and scale effects in paper. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 361, 965–985. 2003.
3. Button, A.F. (1979): Fiber-fiber bond strength: A study on the linear elastic model structure, Doctoral Dissertation, Institute of Paper Chemistry, Appleton, Wisconsin.
4. Uesaka, T. (1984): Determination of fiber-fiber bond properties, In: Mark, R.E. (ed.), *Handbook of Physical and Mechanical Testing of Paper and Paperboard (Vol.2)*, Marcel Dekker Inc. New York, pp. 379-402
5. Thomas Ebner, Ulrich Hirn, Wolfgang J. Fischer, Franz J. Schmied, Robert Schennach, d,e and Manfred H. Ulz. A Proposed Failure Mechanism for Pulp Fiber-Fiber Joints / Peer reviewed article in *Bioresources*, January 2016
6. Казаков Я.В. Характеристики деформативности как основополагающий критерий в оценке качества целлюлозно-бумажных материалов: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.21.03 / Казаков Яков Владимирович. Архангельск: 2015. 534 с.
7. Свид. № 2014617014 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для анализа полей локальных деформаций и напряжений в образцах бумаги при растяжении (Неоднородность деформирования) / Я.В.Казаков, О.Я.Казакова, А.В.Рудалев: заявитель и правообладатель ФГАОУ ВПО САФУ (RU). № 2014614773; заявл. 22.05.2014; опублик. 09.07.2014, Реестр программ для ЭВМ. 1 с.