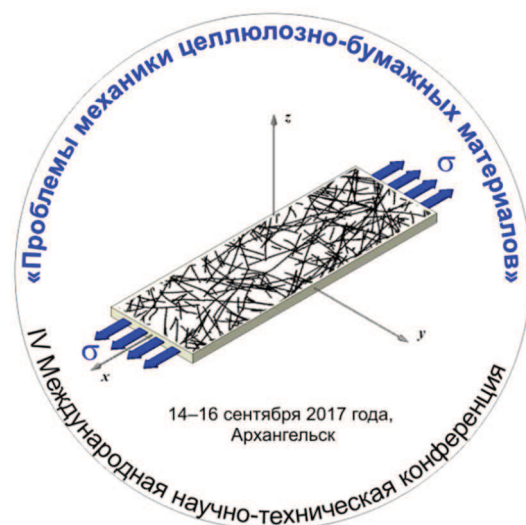




Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»

# 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)*

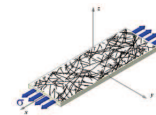
П 78        **Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов:**  
материалы IV Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. памяти про-  
фессора В.И. Комарова (Архангельск, 14–16 сентября 2017 г.) /  
Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск:  
САФУ, 2017. – 377 с.  
ISBN 978-5-261-01259

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 повы-  
шения уровня механических свойств технической целлюлозы, бума-  
ги и картона; перспективы развития ресурсосберегающих способов  
получения бумаги и картона из рециркулируемого сырья; нанотех-  
нологии 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



## ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СТРУКТУРЫ ФОРМОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

**А.В. Поташев, А.В. Гурьев**

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

*Представлены результаты исследования прочности и деформирования при растяжении образцов формованных изделий из отходов производства целлюлозы.*

## STRENGTH AND DEFORMATION PROPERTIES OF THE STRUCTURE OF MOLDED PRODUCTS FROM PULP PROCESSING WASTE

**A.V. Potashev, A.V. Guriev**

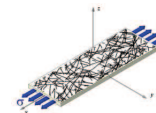
*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov*

*The result of studies of the strength and deformation properties on tensile structure of molded products from pulp processing waste.*

В настоящее время в качестве первичной упаковки и вспомогательных упаковочных средств все более широко используются формованные изделия из растительных волокон, отличающиеся по составу, форме и способу изготовления. Данный вид изделий в отечественной практике и научно-технической литературе традиционно обозначается термином «бумажное литье», который в ГОСТ Р 53636–2009 [1] определен как «листы волокнистой массы, отлитые из целлюлозы для изготовления бумаги». Он соответствует международному термину – «*molded pulp products*» или просто – «*molded pulp*».

Сырьем для изготовления формованных изделий служат целлюлозные волокна из древесины и однолетних растений, а также волокна макулатуры. Возможность широкого использования вторичного сырья обуславливает растущую востребованность формованных изделий как ресурсосберегающих и экологичных материалов.

В качестве еще одного потенциального источника волокна для производства формованных изделий в исследованиях авторов рассматриваются отходы грубого сортирования (так называемая «сучковая масса») от производства сульфатной целлюлозы. Данные отходы являются многотоннажными (до 0,5...1,0 % от брутто-массы целлюлозы после варки) и могут повторно направляться на варку, утилизироваться в многотопливных котлах, рафинироваться и возвращаться в основной поток массы либо исполь-



зваться в композиции технических и тароупаковочных картонов. Однако преимущественно они складываются на полигонах промышленных отходов [2].

Целью исследований является анализ структурно-морфологических свойств волокон из отходов грубого сортирования лиственной сульфатной целлюлозы и комплексная оценка деформационно-прочностных свойств лабораторных образцов формованных изделий.

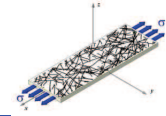
Исходные образцы отходов грубого сортирования в виде сучковой массы представляют собой древесное вещество, не разделившееся после варки целлюлозы на отдельные волокна. Соответственно свойства данных волокон могут быть оценены только после гидромеханической обработки отходов, которая выполнена в лабораторной мельнице Йокро.

Результаты измерения основных характеристик лиственных волокон с помощью анализатора Fiber Tester представлены в табл. 1. Там же для сопоставления приведены данные, полученные для других образцов волокон: отходов, отделяемых при машинном сортировании лиственной беленой целлюлозы перед сушильной машиной; готовой (товарной) лиственной беленой сульфатной целлюлозы.

Таблица 1. Структурно-морфологические характеристики волокон целлюлозы на различных стадиях производства

Степень помола, °ШР	Средняя длина, мм	Средняя ширина, мкм	Средний фактор формы, %	Доля мелочи, %	Число изломов на волокно, шт
<i>Отходы грубого сортирования лиственной небеленой целлюлозы</i>					
14	0,88	25,5	92,9	1,70	0,17
<i>Отходы сортирования беленой лиственной целлюлозы</i>					
–	0,99	22,3	90,5	1,7	0,47
<i>Товарная лиственная беленая целлюлоза</i>					
–	0,96	22,1	91,0	2,8	0,42

Установлено, что по сравнению с волокнами из отходов сортирования беленой целлюлозы и товарной целлюлозой, средняя длина волокон из отходов грубого сортирования лиственной целлюлозы ниже на 13 %. Степень поврежденности образцов волокон из отходов грубого сортирования небеленой целлюлозы, характеризуемая числом изломов на волокне, также в среднем в 2,5 раза ниже. При этом значения средней ширины волокон, среднего фактора формы и доли мелочи (волокон длиной менее 0,2 мм) сопоставимы.



Распределение фракционного состава исследованных волокон сучковой массы и альтернативных образцов волокон по классам длины представлено на рис. 1.

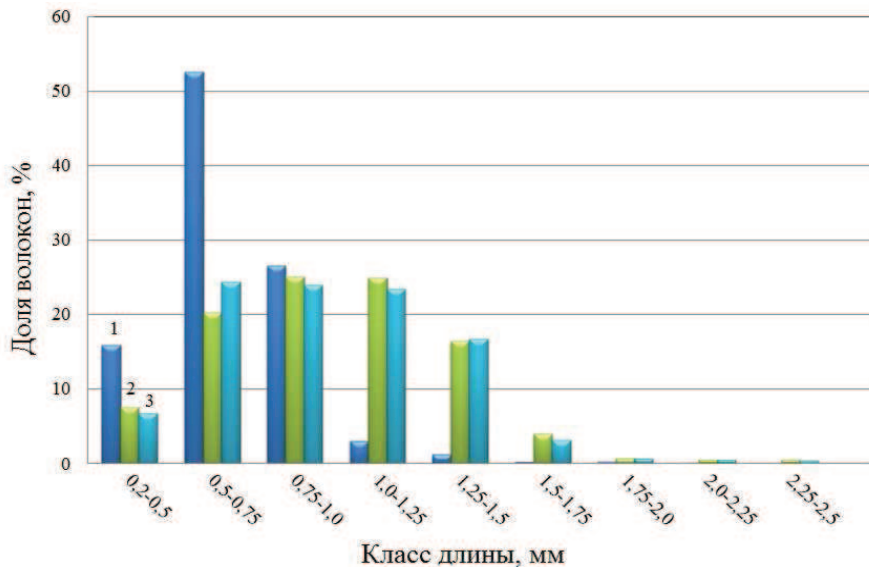
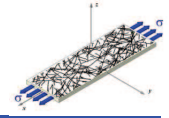


Рис. 1. Распределение волокон по классам длины: 1 – отходы грубого сортирования лиственной небеленой целлюлозы; 2 – отходы сортирования беленой лиственной целлюлозы; 3 – товарная лиственная беленая целлюлоза

Средняя доля волокон в лиственной беленой целлюлозе, имеющих длину в диапазоне 0,2-0,5 мм, составляет 16 %, при этом характерная средневзвешенная длина волокон находится в диапазонах 0,2-1,0 мм. Как следствие, центр статистического распределения волокон по длине для товарной целлюлозы нормального выхода, по сравнению с исследованными образцами волокон сучковой массы, смещается в сторону более высоких значений длины. Волокна из отходов машинного сортирования занимают промежуточное положение, но по уровню структурно-морфологических характеристик и по распределению фракционного состава более близки к волокнам товарной целлюлозы.

Таким образом, по совокупности структурно-морфологических характеристик волокна из отходов грубого сортирования лиственной целлюлозы имеют специфические особенности, которые следует учитывать при их использовании в качестве сырья для формованных изделий с регулируемым уровнем физико-механических свойств.

Для оценки физико-механических свойств образцов структуры формованных изделий из отходов грубого сортирования лиственной целлюлозы в экспериментах использовали три основных вида испытаний: сопротивление растяжению, сжатию и изгибу, которые количественно выража-



ются соответственно разрывной длиной ( $L$ ), сопротивлением торцевому сжатию ( $ECT$ ) и жесткостью при изгибе ( $S_b$ ). Результаты данной части исследований авторов представлены в работе [3], где показано, что прочность и жесткость образцов формованных изделий имеет существенно более низкий уровень по сравнению с аналогичными материалами из технической целлюлозы, что очевидно обусловлено высокой пухлостью и недостаточным связеобразованием волокон в структуре.

В дополнении к указанной оценке выполнен анализ зависимостей «напряжение-деформация» (« $\sigma$ - $\epsilon$ »), полученных при испытаниях на растяжение лабораторных образцов волокнистых структур формованных изделий из отходов сортирования сульфатной целлюлозы. В эксперименте варьировались степень помола волокон сучковой массы после роспуска и масса  $1 \text{ м}^2$  лабораторных образцов. Результаты представлены на рис. 2.

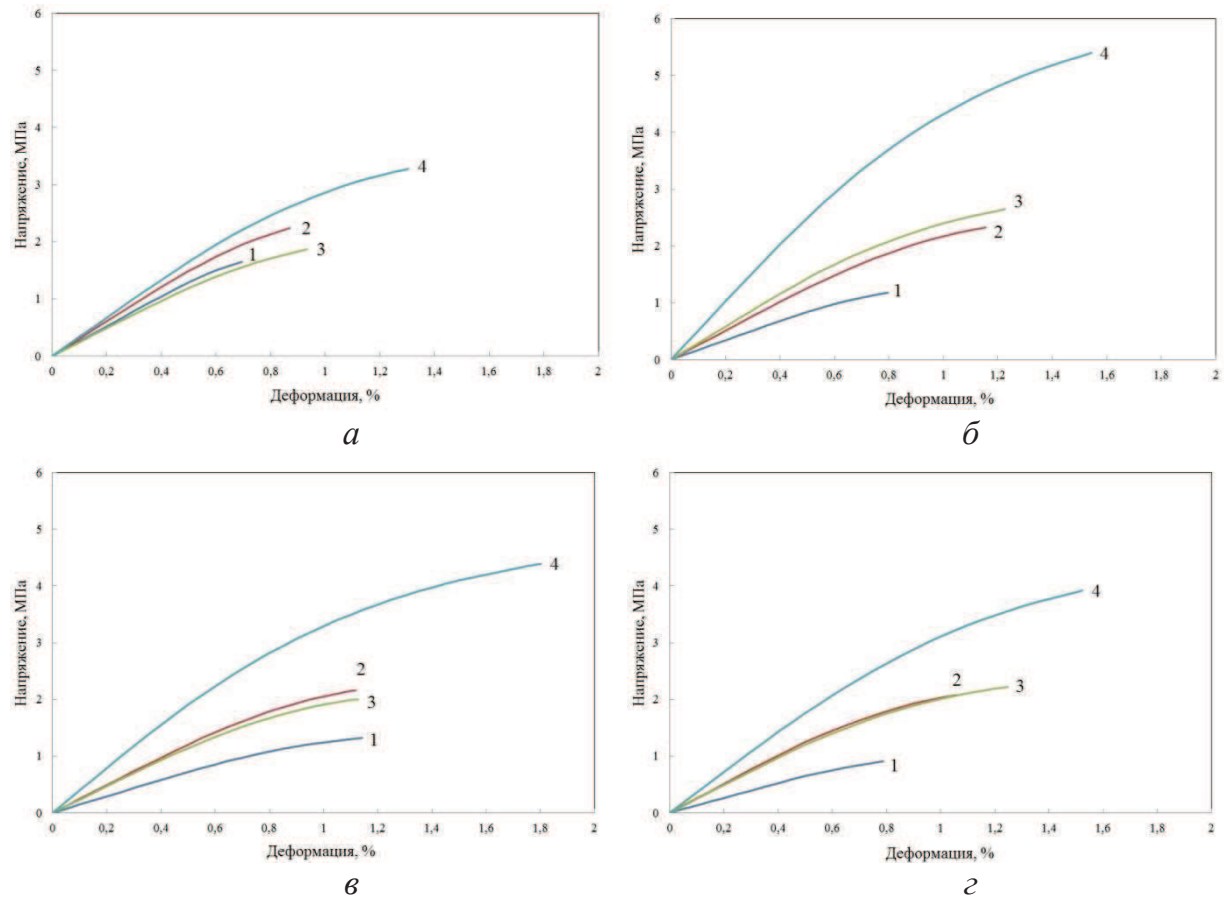
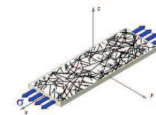


Рис. 2. Зависимости « $\sigma$ - $\epsilon$ » образцов формованных изделий из отходов грубого сортирования лиственной сульфатной небеленой целлюлозы массой  $1 \text{ м}^2$  ( $a$  – 400 г,  $б$  – 500 г,  $в$  – 600 г,  $г$  – 700 г) при степени разработки волокон: 1 – 14 °ШР, 2 – 16 °ШР, 3 – 18 °ШР, 4 – 20 °ШР





Очевидно, что максимальный уровень комплекса деформационно-прочностных свойств материалов вне зависимости от массы  $1 \text{ м}^2$  образцов структуры формованных изделий достигается на верхней границе принятого диапазона степени помола волокон. При этом следует отметить, что абсолютные значения характеристик в точке разрушения образцов даже при степени разработки волокон  $20 \text{ }^\circ\text{ШР}$  в диапазоне изменения массы  $1 \text{ м}^2$  400...7000 г имеют крайне низкие значения: разрушающее напряжение 3,3 – 5,4 МПа, деформация разрушения 1,3 – 1,8 %.

Также на основе методики, предложенной В.И. Комаровым [4] была выполнена оценка динамики изменения стадий развития деформаций, предшествующих окончательному разрушению в зависимости от степени разработки волокон. Для этого кривые « $\sigma$ – $\epsilon$ » образцов формованных изделий были преобразованы в зависимость модуля общей деформации ( $E_{\text{од}}$ , МПа) от текущей деформации ( $\epsilon$ , %). В качестве примера такая зависимость проиллюстрирована на рис. 3 применительно к образцам массой  $700 \text{ г/м}^2$ . Для образцов, имеющих более низкие значения массы  $1 \text{ м}^2$ , зависимости имеют аналогичный характер.

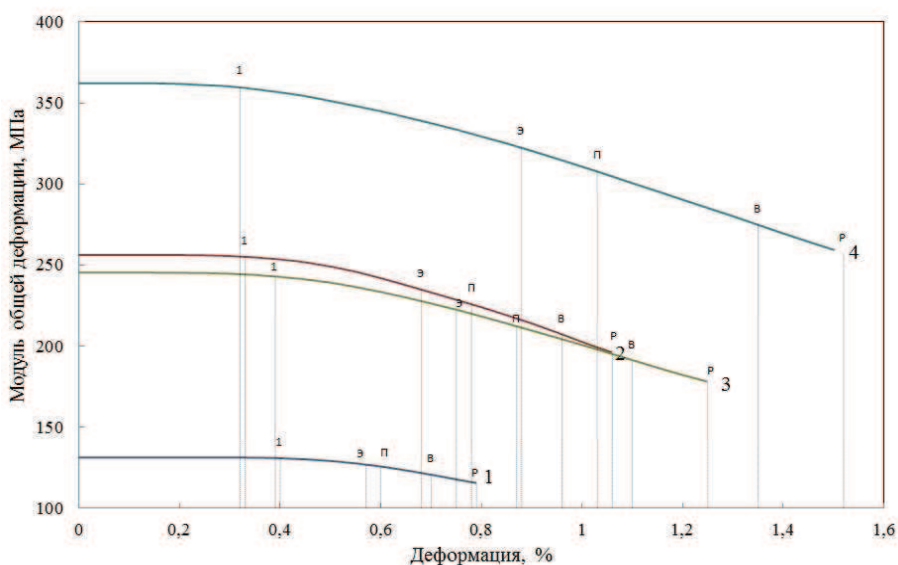
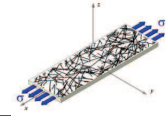


Рис. 3. Зависимость «модуль общей деформации-деформация» образцов формованных изделий, полученных из отходов сортирования лиственной сульфатной небеленой целлюлозы массой  $700 \text{ г/м}^2$ : 1 –  $14 \text{ }^\circ\text{ШР}$ , 2 –  $16 \text{ }^\circ\text{ШР}$ , 3 –  $18 \text{ }^\circ\text{ШР}$ , 4 –  $20 \text{ }^\circ\text{ШР}$

Как следует из представленных данных, минимальным уровнем общей деформации обладают образцы из волокон с минимальной степенью разработки ( $14 \text{ }^\circ\text{ШР}$ ). При этом упругая зона деформирования (от  $\epsilon = 0$  до точки 1 на графиках) составляет 50 % от общей деформации, а замедленно-



упругая (участок от точки предела упругости 1 до точки начала пластического течения П) и пластическая (участок от точки П до точки разрушения Р) – соответственно лишь по 25 %, что свидетельствует о преимущественном хрупком характере деформирования и разрушения образцов структуры формованных изделий из неразработанных волокон сучковой массы. При постепенном увеличении степени разработки волокон до 20 °ШР наблюдается перераспределение соотношения упругой, замедленно-упругой и пластической составляющих общей деформации при ее одновременном увеличении практически в 2 раза. Перераспределение носит следующую направленность (рис. 3): упругая составляющая деформации последовательно снижается в абсолютном выражении на 20 %, в относительном – с 50 % до 20 %; замедленно-упругая составляющая становится преобладающей, ее доля возрастает с 25 % до 47 %; доля пластической составляющей соответственно возрастает от 25 % до 33 %.

Таким образом, умеренная разработка волокон позволяет повысить эластичность структуры формованных изделий из отходов грубого сортирования лиственной небеленой целлюлозы за счет развития преимущественно замедленно-упругой составляющей деформации. Жесткость материала при растяжении, сжатии и изгибе сохраняется при этом на достаточно высоком уровне вследствие значительной толщины (момента инерции) и пухлости структуры формованных изделий.

*При выполнении исследований использовано оборудование Инновационно-технологического центра «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова), созданного при финансовой поддержке Минобрнауки России.*

### Список литературы

1. ГОСТ Р 53636–2009. Целлюлоза, бумага, картон. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2011. 65 с.
2. ИСТ 1-2015. Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона. – Введ. 01.07.2016.
3. Поташев А.В., Гурьев А.В. Физико-механические свойства структуры формованных изделий из отходов сортирования сульфатной целлюлозы / Системы, методы, технологии. *В печати.*
4. Комаров В.И. Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов. Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2002. 440 с.