

УДК 676.274

## **ВЛИЯНИЕ СУХОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ МАКУЛАТУРЫ НА СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНОГО КАРТОНА**

© *Т. Шрайннер<sup>1</sup>, Х. Гроссмани<sup>1</sup>, Н.П. Мидуков<sup>2\*</sup>, В.С. Куров<sup>2</sup>, А.С. Смолин<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Технический университет Дрездена, Дрезден, 01062 (Германия)*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Ивана Черных, 4, Санкт-Петербург, 198095 (Россия), e-mail: mnr83@mail.ru*

Статья посвящена актуальному для целлюлозно-бумажной промышленности направлению снижения энергетических затрат при производстве картона из макулатуры с сохранением его механических показателей. Снижение энергетических затрат происходит за счет частичного замещения технологии традиционной мокрой подготовки макулатуры сухим диспергированием. Использование сухого способа диспергирования оказывает влияние на структурные, механические и деформационные свойства картона. Цель работы – получение зависимостей перечисленных характеристик от содержания макулатуры, подготовленной сухим способом. Для сохранения механических и деформационных свойств картона при добавлении волокон, подготовленных сухим способом, необходимо правильно распределить их в слоях тест-лайнера и установить место подачи, подготовленной сухим способом, макулатуры, в технологический поток. Для этого в работе экспериментально анализировались различные варианты использования технологии сухой подготовки макулатуры с подачей в массу и с последующим размолотом в водной среде, а сухие волокна использовались для формования двух- и трехслойного картона тест-лайнера. Максимальное содержание волокон, подготовленных сухим способом для получения многослойного тест-лайнера, составило 50% от массы картона, при этом основные механические и деформационные показатели, в том числе сопротивление на разрыв, жесткость при изгибе, сопротивление сжатию на коротком расстоянии, изменились незначительно. Установленная оптимальная композиция картона позволила рекомендовать результаты экспериментальных исследований при проведении промышленной выработки. В статье также приведена оценка вариантов использования технологии сухой подготовки макулатуры для производства многослойного тест-лайнера.

*Ключевые слова:* макулатура, картон тест-лайнера, сухое диспергирование, свойства картона.

### **Введение**

Макулатура является основным сырьем для производства картона. Доля использования макулатуры при производстве бумаги и картона в некоторых странах может превышать 100%. Например, в Австрии коэффициент использования макулатуры составляет 103.2% благодаря тому, что макулатура закупается для производства бумаги и картона из других стран [1]. В России доля использования макулатуры в настоящий момент составляет примерно 40%, при этом показатель использования с каждым годом увеличивается. В

---

*Шрайннер Томас* – инженер кафедры технологии бумаги, e-mail: Thomas.Schrinner@tu-dresden.de

*Гроссмани Харальд* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии бумаги, e-mail: harald.grossmann@tu-dresden.de

*Мидуков Николай Петрович* – кандидат технических наук, доцент, e-mail: mnr83@mail.ru

*Куров Виктор Сергеевич* – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе, e-mail: vskurov18@mail.ru

*Смолин Александр Семёнович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии бумаги и картона, e-mail: smolin@gturp.spb.ru

отличие от первичного волокнистого сырья, макулатура требует особых условий подготовки, так как содержит примеси, а использование волокон с каждым последующим циклом снижает бумагообразующие свойства волокнистой суспензии [2, 3]. Для подготовки макулатурной массы, из которой затем формируется картон, затрачивается значительное количество энергии на роспуск, дороспуск, первичную очистку, размол и т.д., что связано с транспортировкой и обработкой больших объемов воды. Сухой способ диспергирования макулатуры

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

позволяет сократить эти затраты, но подача макулатуры, подготовленной сухим способом, приводит к снижению механических и деформационных свойств картона. Уменьшить негативное влияние сухого диспергирования можно путем комбинации традиционного мокрого способа подготовки макулатуры с подачей волокон, подготовленных сухим способом, на определенную стадию технологического процесса и в слой двух- и трехслойного картона [4].

В России производят в основном двухслойный тест-лайнер массой квадратного метра от 120 до 150 г. Свойства двухслойных тест-лайнеров, производимых на различных отечественных предприятиях, представлены в работе [5]. Технология двухслойного картона-лайнера благодаря своей простоте и дешевизне эффективно используется в нашей стране. Но стремительный рост доли использования макулатуры и наличие современного высокотехнологичного оборудования для подготовки макулатурной массы и ее очистки от печатной краски позволит отечественным предприятиям при переходе на трехслойное формование.

Технология многослойного формования может частично восстановить механические показатели картона, которые снижаются при использовании волокон, подготовленных сухим способом, из-за низких бумагообразующих свойств. Поэтому для производителей многослойного картона тест-лайнера появляется возможность снижения энергозатрат и металлоемкости оборудования за счет внедрения технологии сухого диспергирования волокнистого сырья.

Одними из основоположников сухого способа производства бумаги в нашей стране и в мире были М.В. Бондаренко и М.Д. Дмитриев [6, 7]. Результатом их работы стали теоретические и экспериментальные данные по получению бумаги сухим способом. Технология сухого диспергирования и формования не позволяет получать бумагу и картон с высокими механическими показателями. Несмотря на существенную экономию энергии и воды за счет сухого диспергирования, результаты их работы не получили промышленного применения. Однако сухое диспергирование в сочетании с аэродинамическим формованием получили свое развитие в Европе при выработке специальных видов бумаги. А наработки ученых нашей страны вызвали большой интерес и нашли продолжение в совместных проектах с Финляндией и Германией [8–11].

В нашей стране наиболее значимые работы в области высокопроизводительного оборудования сухого диспергирования связаны с мелкосерийным производством бумаги и картона. Известны работы, проводимые в области сухого диспергирования Р.Х. Хакимовым [12, 13], по результатам которых были созданы диспергирующие аппараты. Сухое диспергирование нашло применение при формовании недостающих элементов при реставрации ценных архивных документов [14]. Несмотря на большой вклад в развитие сухого способа подготовки и формования бумаги, эти работы неприменимы в условиях производства многослойного картона тест-лайнера с белым покровным слоем ввиду несоизмеримости объемов производства.

По причине отсутствия опыта получения картона тест-лайнера с белым покровным слоем с использованием сухой подготовки макулатуры на предприятиях необходима оценка получаемых в лаборатории образцов картона с содержанием волокон, подготовленных сухим способом. Сравнение механических и поверхностных показателей образцов картона тест-лайнера позволит изменить устоявшееся мнение ученых о невозможности использования сухого способа подготовки при производстве картона.

Цель данных исследований – получение зависимостей между содержанием волокон, подготовленных сухим способом, в двух- и трехслойном картоне и механическими, деформационными характеристиками картона.

### **Объекты и методы исследования**

Формование основного и покровного слоев картона тест-лайнера осуществлялось в лаборатории подготовки волокнистой суспензии и получения отливок целлюлозосодержащего материала в Дрезденском техническом университете и в Санкт-Петербургском государственном университете промышленных технологий и дизайна, согласно международным и российским стандартам.

В качестве сырья для нижнего слоя картона тест-лайнера использовалась макулатура марки МС-5Б, которая составляла 50% от массы всего картона и для трех- и двухслойного тест-лайнера ( $75 \text{ г/м}^2$  – масса квадратного метра нижнего слоя трехслойного картона и  $60 \text{ г/м}^2$  – для двухслойного картона).

Содержание среднего и покровного слоев трехслойного тест-лайнера менялось, при этом общая масса квадратного метра картона оставалась постоянной. Макулатура, подготовленная сухим способом, подавалась в средний слой тест-лайнера, а покровный слой изготавливался по традиционной технологии. Сырьем для среднего слоя была макулатура из офисной бумаги, ее доля варьировалась от 0 до 50% от массы всего картона в

150 г/м<sup>2</sup>, а покровный слой изготавливался по традиционной технологии из этого же сырья. Макулатура для среднего слоя подготавливалась сухим способом и перед формованием подготавливалась в дезинтеграторе за 300–350 оборотов. При другом варианте подготовки макулатуры эта масса дополнительно размалывалась в водной среде в соответствии со стандартом DIN-54360 [15]. Эксперименты по подготовке макулатуры для трехслойного и двухслойного картона проводились в России и в Германии в разное время из одной марки макулатуры, потенциально содержащей волокна различной природы, поэтому данные по степени помола не сравнивались. Однако размол макулатуры в водной среде для подготовки волокон покровного слоя осуществлялся с тем расчетом, чтобы разница между степенью помола макулатурной до и после размола не отличалась более чем на 5 °ШР, и во всех вариантах помол массы не превышал 35 °ШР.

При формовании двухслойного картона в 120 г/м<sup>2</sup> масса квадратного метра покровного слоя составляла 60 г. В соответствии с предложенными вариантами (вариант I – сухое диспергирование с подачей в массу; вариант II – сухое диспергирование и последующий размол в водной среде) макулатура подготавливалась для формования покровного слоя, при этом волокна, полученная по каждому из вариантов масса смешивались в листоотливном аппарате с традиционно подготовленной макулатурной массой. Доля макулатуры, подготовленной сухим способом, в покровном слое двухслойного тест-лайнера менялась от 0 до 100% от массы покровного слоя.

Из подготовленной макулатуры формовались многослойные отливки в листоотливном аппарате согласно ISO 5269-2 [16]. Методика формования двух- и трехслойного картона с использованием технологии сухой подготовки, разработанной авторами и представленной в работах [17, 18]. Механические показатели картона определялись в соответствии с международными стандартами. Показатели сопротивления картона разрыву определялись в соответствии с ISO 1924-2 [19]. Сопротивление картона сжатию на коротком расстоянии определялось в соответствии с ISO 9895 [20], жесткость при изгибе по DIN 53121 [21], а межслоевая прочность – в соответствии с ГОСТ 13648.6-86 [22].

### *Результаты и обсуждения*

Получены зависимости механических показателей двух- и трехслойного тест-лайнера с белым покровным слоем от содержания макулатуры, подготовленной сухим способом (Вариант I), и от содержания макулатуры, подготовленной сухим способом с последующим размолем в водной среде (Вариант II).

Прочность трехслойного тест-лайнера на разрыв снизилась при подаче 50% волокон, подготовленных сухим способом, с 4.2 до 2.8 км по показателю разрывной длины, а дальнейший размол в водной среде позволил восстановить этот показатель до 4 км (табл. 1. Варианты I, II).

Согласно таблице 2 содержание макулатуры, подготовленной сухим способом, в покровном слое двухслойного тест-лайнера до 50% оказывает незначительное влияние по варианту II на показатели сопротивления картона разрыву, что отвечает характеристикам, прописанным в технических условиях на промышленных предприятиях.

В работе не исследуется влияние количества слоев на механические и деформационные характеристики, так как трехслойный картон был выполнен в Германии из сырья, содержащего волокна, прошедшие несколько циклов производства, а двухслойный картон был произведен в России, где макулатура из офисной бумаги проходит только один цикл переработки и содержит волокна с высокими бумагообразующими свойствами. По этой же причине не осуществлялось сопоставление толщин получаемых трехслойных и двухслойных образцов. Однако толщина является важным показателем и введение волокон сухого способа подготовки оказывает на нее существенное влияние, особенно это характерно для варианта I (рис. 1).

Было установлено, что толщина тест-лайнера с добавлением волокон сухой подготовки незначительно повышается при постоянной массе квадратного метра, а размол в водной среде выравнивает этот показатель. Повышение толщины тест-лайнера при подаче волокон сухого способа подготовки вызвано изменением в морфологических характеристиках. Волокна, подготовленные сухим способом и поданные в массу, более грубые (на 30%), изогнутые (на 33%), скрученные (на 16%). Эти показатели повышают пористость картона и его толщину, что, казалось бы, положительно должно сказаться на механических свойствах. Однако сухой способ подготовки приводит к повреждению волокна на 10%, увеличивает содержание мелочи на 35%, снижает фибрилляцию волокон на 18% [23]. Изменение этих показателей объясняет снижение механических свойств картона при сухой подготовке. Для трехслойных образцов наблюдалась аналогичная зависимость между толщиной и содержанием волокон, подготовленных сухим способом, в вариантах I, II.

В работе оценивались деформационные характеристики двух- и трехслойного картона тест-лайнера, в частности сопротивление сжатию на коротком расстоянии, жесткость при изгибе для двух вариантов сухой подготовки макулатуры.

Размол макулатурной массы, содержащей волокна после сухого диспергирования, восстанавливает сопротивление сжатию на коротком расстоянии для трехслойного картона с 2.2 до 3.5 кН/м при 50% содержания; при 30% этот показатель восстановился до 3.7 кН/м (рис. 2). Подобная тенденция наблюдается для двухслойного картона (рис. 3).

Испытания картона, произведенного по предлагаемым технологиям сухой подготовки макулатуры, на жесткость при изгибе показали рост этого показателя при трехслойном формовании (рис. 4).

Из рисунков 4, 5 следует, что жесткость при изгибе повышается с подачей макулатуры, подготовленной сухим способом, по предлагаемым вариантам технологии формования картона. При содержании среднего слоя в 50% от массы всего картона жесткость при изгибе повысилась с 3,4 до 4,2 кН·м для трехслойного картона (рис. 5, вариант II). Положительный эффект вызван тем, что подача волокон, подготовленных сухим способом, в средний слой повышает толщину картона, а следовательно, и его жесткость (рис. 4, 5 вариант II), так как размол в водной среде повышает межволоконные связи, что также положительно сказывается и на показателе жесткости при изгибе. Предлагаемые варианты сухого диспергирования макулатуры для производства тест-лайнера с белым покровным слоем повышает жесткость при изгибе как для двух-, так и для трехслойного тест-лайнера.

Многослойное формование может оказывать и отрицательное влияние на механические показатели картона тест-лайнера. Например, межслоевая прочность картона, которая в большей степени определяется межволоконными силами связи, для трехслойного картона, средний слой которого был подготовлен сухим способом, снизилась с 125 Н до 40 Н (рис. 6, 7. I) при содержании 30%. Для двухслойного тест-лайнера этот показатель упал со 125 до 100 Н (рис. 6, 7. II).

Таблица 1. Свойства трехслойного картона тест-лайнера ( $150 \text{ г/м}^2$ ), содержащего макулатуру, подготовленную сухим способом

Параметры, размерность	Содержание макулатуры, подготовленной сухим способом, в среднем слое, %					
	Вариант I			Вариант II		
	0	30	50	0	30	50
Сопротивление на разрыв, Н	103	87	71	103	106	94
Предел прочности, кН/м	6.9	5.8	4.8	6.9	7.1	6.2
Индекс прочности, Нм/г	41.3	35.2	27.8	41.3	42.8	38.7
Разрывная длина, км	4.2	3.6	2.8	4.2	4.4	4
Удлинение при разрыве, мм	2.2	1.7	1.6	2.2	2	1.9
Энергия разрыва, Дж/м <sup>2</sup>	105	69	52	105	97	94
Индекс ТЕА, МДж/г	0.7	0.4	0.3	0.7	0.6	0.5
Модуль упругости, ГПа	3.3	2.9	2.3	3.3	2.6	2.9

Таблица 2. Свойства двухслойного картона тест-лайнера ( $120 \text{ г/м}^2$ ), содержащего макулатуру, подготовленную сухим способом

Параметры, размерность	Содержание волокон, подготовленных сухим способом, в покровном слое %							
	Вариант I				Вариант II			
	0	30	50	100	0	30	50	100
Сопротивление на разрыв, Н	113	100	94	40	113	106	98	94
Предел прочности, кН/м	7.5	6.7	6.3	2.7	7.5	7.1	6.6	6.3
Индекс прочности, Нм/г	65	56	54	22	65	61	56	55
Разрывная длина, км	6.7	5.7	5.5	2.3	6.7	6.3	5.8	5.6
Удлинение при разрыве, мм	2.4	1.8	2.4	3.8	2.4	2.4	2	2.4
Энергия при разрыве, Дж/м <sup>2</sup>	127	83	104	76	127	119	92	107
Индекс ТЕА, МДж/г	1.1	0.7	0.9	0.6	1.1	1	0.8	0.9
Модуль упругости, ГПа	5.3	4	4.1	1.42	5.3	5	4.7	4.4

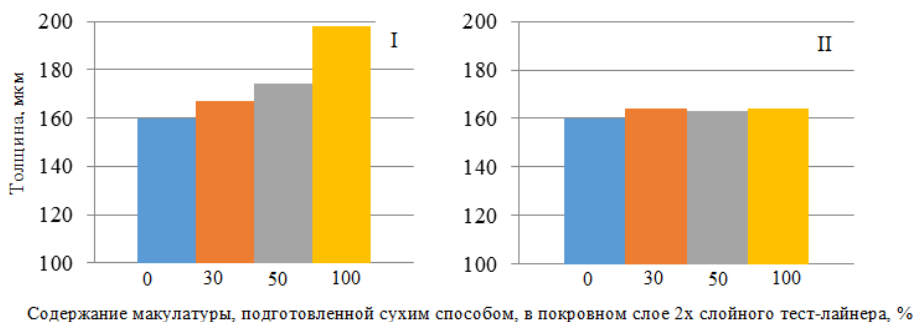


Рис. 1. Изменение средней толщины двухслойного картона при подаче волокон сухого способа подготовки в покровный слой: I – сухое диспергирование с подачей в массу; II – сухое диспергирование и размол в водной среде



Рис. 2. Зависимость сопротивления сжатию на коротком расстоянии от содержания макулатуры, подготовленной сухим диспергированием в среднем слое трехслойного тест-лайнера (150 г/м<sup>2</sup>): I – сухое диспергирование с подачей в массу; II – сухое диспергирование и размол в водной среде

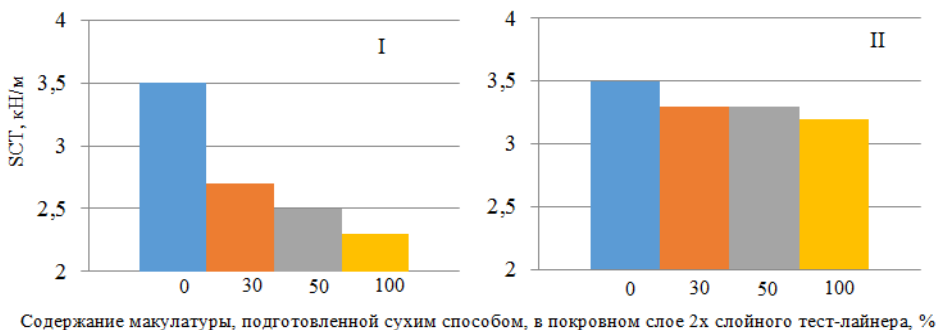


Рис. 3. Зависимость сопротивления сжатию на коротком расстоянии от содержания макулатуры, подготовленной сухим диспергированием в покровном слое двухслойного тест-лайнера (120г/м<sup>2</sup>): I – сухое диспергирование с подачей в массу; II – сухое диспергирование и размол в водной среде

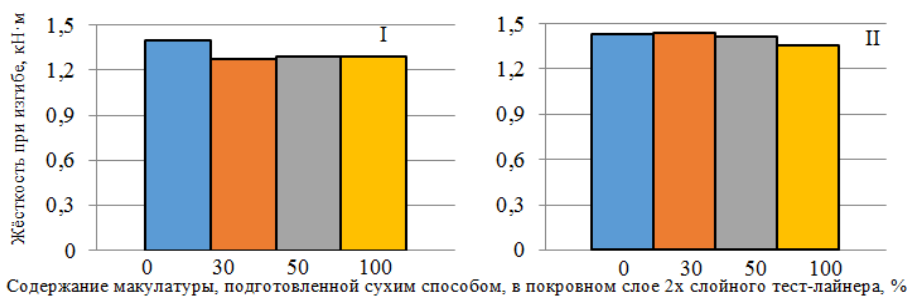


Рис. 4. Зависимость жёсткости при изгибе от содержания макулатуры, подготовленной сухим диспергированием в покровном слое двухслойного тест-лайнера (120г/м<sup>2</sup>): I – сухое диспергирование с подачей в массу; II – сухое диспергирование и размол в водной среде



Рис. 5. Зависимость жесткости при изгибе от содержания макулатуры, подготовленной сухим диспергированием в среднем слое трехслойного тест-лайнера ( $150 \text{ г/м}^2$ ): I – сухое диспергирование с подачей в массу; II – сухое диспергирование и размол в водной среде

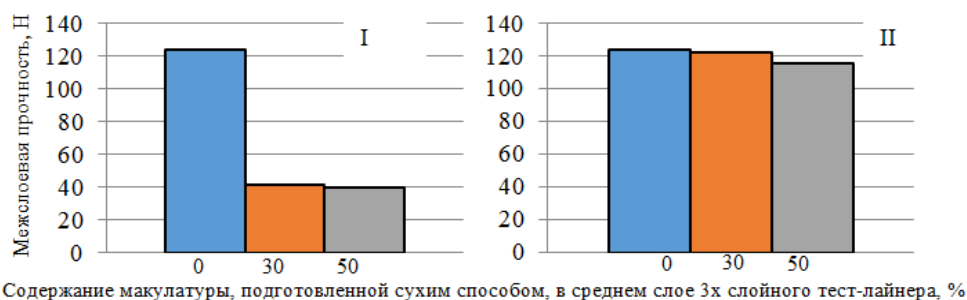


Рис. 6. Зависимость сопротивления расслаиванию от содержания макулатуры, подготовленной сухим диспергированием в среднем слое трехслойного тест-лайнера ( $150 \text{ г/м}^2$ ): I – сухое диспергирование с подачей в массу; II – сухое диспергирование и размол в водной среде

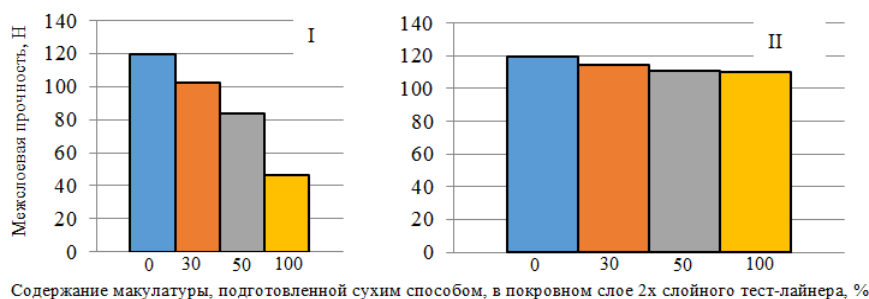


Рис. 7. Зависимость сопротивления расслаиванию от содержания макулатуры, подготовленной сухим диспергированием в покровном слое двухслойного тест-лайнера ( $120 \text{ г/м}^2$ ): I – сухое диспергирование с подачей в массу; II – сухое диспергирование и размол в водной среде

В данном случае преимущество двухслойного формования объясняется тем, что волокна, подготовленные сухим способом, перемешаны и размолоты в водной среде с волокнами, подготовленными традиционным способом, поэтому межволоконные силы связи в покровном слое снизились незначительно в отличие от трехслойного картона, где средний слой был полностью произведен из макулатуры, подготовленной сухим способом. Для повышения межслоевой прочности трехслойного тест-лайнера существует возможность подать макулатуру, подготовленную сухим способом, не только в средний слой, но в покровный и средний, перемешивая с волокнами, подготовленными традиционным способом.

Разрушение волокнистой структуры при традиционном мокром формовании происходит в основном по границе слоев, о чем свидетельствует большое содержание волокон белого цвета на фоне нижнего слоя бурого цвета (рис. 8). Такое расслаивание характерно для двухслойного тест-лайнера, полученного традиционным способом. В отличие от традиционного, сухой способ подготовки снижает межволоконные силы связи в тест-лайнере.

При этом межволоконные связи в слое, в котором содержатся волокна, подготовленные сухим способом, ослабляются настолько, что разрушение волокнистой структуры идет не по границе, а внутри слоя.

На рисунке 9 представлен характер расслаивания тест-лайнера с белым покровным слоем, сформированным полностью из волокон, подготовленных сухим способом без размола в водной среде. Из рисунка 9 следует, что оба элемента устройства для расслаивания, между которыми располагался многослойный картон, содержат белые волокна, что свидетельствует о разрушении микроструктуры не по границе слоев, а внутри покровного слоя. Очевидно, что покровный слой обладает низким сопротивлением расслаиванию, что связано с ослаблением связей между волокнами при применении сухой технологии подготовки макулатуры. Так как волокна, подготовленные традиционным мокрым способом, обладают более прочными межволоконными связями и вступают во взаимодействие на границе слоев с волокнами, подготовленными сухим способом, то сопротивление расслаиванию на границе слоев выше и волокнистая структура прочнее, чем в покровном слое тест-лайнера. Поэтому расслаивание произошло по покровному слою тест-лайнера (рис. 9).

В трехслойном картоне разрушение волокнистой структуры происходит в среднем слое.

Полученные результаты являются практическими рекомендациями для предприятий-производителей картона тест-лайнера с белым покровным слоем и для предприятий, которые планируют производство картона в три слоя.

Влияние технологии сухого способа подготовки макулатуры для производства двух- или трехслойного тест-лайнера при оптимальной дозировке волокон (до 30%), подготовленных сухим способом, на затраты энергии, оборудования и качество картона представлено в таблице 3.



Рис. 8. Расслаивание двухслойного тест-лайнера с белым покровным слоем, полученного традиционным мокрым способом



Рис. 9. Расслаивание двухслойного картона тест-лайнера с белым покровным слоем, содержащим волокна, подготовленные сухим способом без размола в водной среде

Таблица 3. Влияние технологии сухого способа подготовки макулатуры при производстве двух- или трехслойного тест-лайнера на затраты энергии, оборудования и качество картона

Технология формования		Наличие оборудования		Ресурсосбережение		Качество картона							
		Германия	Россия	энергия	металлоемкость	шероховатость	равномерность формования	белизна	показатели разрыва	сопротивление продавливанию	сопротивление сжатию на коротком расстоянии	жесткость при изгибе	межслоевая прочность
2 слоя	I	да	да	++	++	+	+	+	-	-	-	-	-
	II	да	да	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3 слоя	I	да	нет	++	++	0	0	+	+	+	+	+	-
	II	да	нет	+	+	0	0	+	+	+	+	+	+

\* Степень влияния (от одного до двух знаков) в положительную сторону (+) (например, сокращение энергозатрат, воды) и в отрицательную (-) (например, ухудшение механических показателей), 0 – без изменений.

Таблица 3 показывает преимущества и недостатки технологии двух- и трехслойного формования с использованием различных вариантов сухой подготовки (I – сухое диспергирование с подачей в массу; II – сухое диспергирование и размол в водной среде). Способ двухслойного формования в комбинации с технологией сухого диспергирования с размолом в водной среде может быть реализован на практике производства картона в России. Одним из направлений развития производства картона с позиции ресурсосбережения является внедрение технологии сухой подготовки при трехслойном формовании тест-лайнера. Сухая подготовка макулатуры позволит сократить энергетические затраты и расходы на закупку оборудования при этом основных показателей качества картона тест-лайнера останутся практически неизменными.

Анализ механических и деформационных показателей, полученных на основании экспериментальных исследований, определил вариант (2 слоя, вариант II при подаче до 30% волокон от массы двухслойного картона и до 50% от массы покровного слоя, волокон, подготовленных сухим способом) для организации и проведения промышленной выработки картона в России по методу двухслойного формования с использованием сухого диспергирования и размола макулатуры в водной среде. Полученные результаты были использованы при промышленной выработке двухслойного тест-лайнера на предприятие ОАО «Караваяев» [23, 24].

### Выводы

По сопротивлению тест-лайнера растягиванию покровный слой может быть полностью подготовлен по технологии сухого диспергирования макулатуры с дальнейшим размолом в водной среде, так как показатели прочности на растяжение сохраняются. Согласно экспериментальным данным, прочность картона на разрыв снизилась при подаче 50% волокон, подготовленных сухим способом, с 4.2 до 2.8 км по показателю разрывной длины, а дальнейший размол в водной среде восстановил этот показатель до 3.9 км. Такая же тенденция наблюдалась и для прочности на разрыв, модуля упругости и других показателей, определяющих способность картона сопротивляться разрыву. Подобный характер разрушения при растяжении наблюдался и для двухслойного, и для трехслойного тест-лайнера.

Размол макулатурной массы, содержащей волокна после сухого диспергирования, восстановил сопротивление сжатию на коротком расстоянии с 2.2 до 3.5 кН/м при 50% содержания; при 30% этот показатель восстановился до 3.7 кН/м. С точки зрения жесткости картона на изгиб предлагаемая технология подготовки макулатуры сухим способом имеет положительный эффект при трехслойном формовании картона тест-лайнера. При содержании среднего слоя в 50% жесткость при изгибе повысилась с 3.4 до 4.2 кН·м. Положительный эффект вызван тем, что подача волокон, подготовленных сухим способом, в средний слой повышает толщину картона, следовательно, его жесткость, при этом практически не снижается механический показатель ослаблением межволоконных связей.

Предлагаемая ресурсосберегающая технология тест-лайнера с белым покровным слоем оказывает положительное влияние на жесткость при изгибе для трехслойного тест-лайнера и практически не оказывает негативного влияния на двухслойный тест-лайнер.

Многослойное формование может играть и отрицательную роль в механических показателях картона тест-лайнера. Например, межслоевая прочность картона, в большей степени определяемая межволоконными силами связи, для трехслойного картона, средний слой которого был подготовлен сухим способом, снизилась с 125 до 40 Н при содержании 30%. Для двухслойного тест-лайнера этот показатель упал со 125 до 100 Н, что



допустимо. В данном случае преимущество двухслойного формования объясняется тем, что волокна, подготовленные сухим способом, были перемешаны с волокнами, подготовленными традиционным способом, поэтому межволоконные силы связи в покровном слое снизились незначительно в отличие от трехслойной отливки, где средний слой был полностью подготовлен из волокон, подготовленных сухим способом.

Таким образом, установлены зависимости механических и деформационных показателей картона от содержания волокон, подготовленных сухим способом. Рассмотрены варианты использования макулатуры, подготовленной сухим способом, при производстве двух- и трехслойного картона, что позволило определить оптимальное содержание сухих волокон в общей массе картона.

### Список литературы

1. Бондаренко А. Макулатурные дела // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2014. №2. С. 38–39.
2. Кулешов А.В., Смолин А.С. Влияние цикличности использования макулатурного волокна на бумагообразующие свойства // Известия вузов. Лесной журнал. 2008. №4. С. 131–139.
3. Кожевников С.Ю., Ковернинский И.Н., Канарский А.В. Влияние циклов переработки макулатуры на длину волокон и качество бумаги и картона // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 2. №5. С. 81–86.
4. Патент №2687982 (РФ). Способ переработки целлюлозосодержащих отходов / Н.П. Мидуков, Д.С. Ефремов, В.С. Куров, А.С. Смолин. 2019.
5. Комаров В.И., Яблочкин Н.И., Дулькин Д.А., Ковернинский И.Н. Формирование свойств тест-лайнера в процессе производства. Архангельск, 2005. 162 с.
6. Рюхин Н.В. Изобретатели М.Д. Дмитриев, М.В. Бондаренко // Бумажная промышленность. 1939. №2. С. 18–21.
7. Дмитриев М.Д., Бондаренко М.В. Сухой способ изготовления длинноволокнистой бумаги // Науч. тр. ЦНИИБ. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1956. Вып. 41. С. 22–26.
8. Schrinner T., Gailat T., Grossmann H. Dry defibration – A waterless preparation process for difficult-to-recycle paper and board products // TAPPI Paper Con, Proceedings, Atlanta, Georgia, USA, 2015.
9. Schrinner T., Gailat T., Heinemann S., Lundberg M. Selected pulp properties after dry defibration of several paper products // PTS Pulp Symposium. München, 2015.
10. Kleinert R., Großmann H., Gailat T., Weber P., Greiffenberg I. New Application Areas for Cellulose Fibres // Paper and Paper Converting Industry. 2016. N15. Pp. 43–46.
11. Midukov N.P., Smolin A.S., Kurov V.S., Schrinner T., Grossmann H. Combination of Aerodynamic and Traditional methods of forming in the Production of a multi-Layer white-liner // Materialien zum wissenschaftlichen Seminar der Stipendiaten der Programme “Michail Lomonosov” und „Immanuel Kant III“. Moscow, 2017. Pp. 68–71.
12. Хахимов Р.Х., Хахимова Ф.Х., Ковтун Т.Н. Применение аэродинамического диспергатора при подготовке макулатуры для использования в композициях бумаги и картона // Известия вузов. Лесной журнал. 2013. №3/333. С. 121–128.
13. Акулов Б.В., Хахимова Ф.Х., Ковтун Т.Н., Хахимов Р.Х. Исследование возможности роспуска газетной макулатуры полусухим способом // Химия растительного сырья. 2010. №3. С. 167–172.
14. Патент №2633535 (РФ). Способ введения наполнителя при аэродинамическом формировании бумаги / Л.В. Литвинова, Г.К. Малиновская. 2017.
15. DIN-54360. Testing of Pulp; Laboratory Beating of Pulp with the Jokro Mill. Germany, 1977. 4 p.
16. ISO 5269-2. Pulps – Preparation of laboratory sheets for physical testing. Part 2. Rapid-Köthen method. Geneva, Switzerland, 2004. 8 p.
17. Мидуков Н.П., Ефремкина П.А., Малиновская Г.К., Куров В.С., Смолин А.С. Получение трехслойного вайт-лайнера из вторичных волокон методом аэродинамического формования // Химические волокна. 2017. №1. С. 2–26.
18. Мидуков Н.П., Ефремов Д.С., Куров В.С., Смолин А.С. Сухой способ диспергирования волокон для последующего производства картона // Химия растительного сырья. 2018. №3. С. 279–286.
19. ISO 1924-2. Paper and board - Determination of tensile properties. Part 2. Constant rate of elongation method. Geneva, Switzerland, 2008. 12 p.
20. ISO 9895. Paper and board – Compressive strength – Short-span test. Geneva, Switzerland, 2008. 8 p.
21. DIN 53121. Testing of paper and board – Determination of the bending stiffness by the beam method. Berlin, Germany, 2014. 8 p.
22. ГОСТ 13648.6-86. Бумага и картон. Метод определения сопротивления расслаиванию. М.: Издательство стандартов, 1986. 6 с.
23. Мидуков Н.П., Куров В.С., Смолин А.С., Власов А.В., Дубравина Т.В. Импортзамещающая технология производства картона вайт-лайнера из 100 % макулатуры // Химическая технология. 2019. №1. С. 29–34.
24. Мидуков Н.П., Куров В.С., Смолин А.С., Власов А.В., Дубравина Т.В. Технология многослойного композиционного картона тест-лайнера с использованием сухих волокон // Химическая технология. 2019. №10. С. 445–452.

*Поступила в редакцию 11 декабря 2019 г.*

*После переработки 19 июня 2020 г.*

*Принята к публикации 20 июня 2020 г.*

**Для цитирования:** Шрайнер Т., Гроссманн Х., Мидуков Н.П., Куров В.С., Смолин А.С. Влияние сухого диспергирования макулатуры на свойства многослойного картона // Химия растительного сырья. 2020. №4. С. 251–260. DOI: 10.14258/jcprm.2020046956.

Shreinner T.<sup>1</sup>, Grossmann H.<sup>1</sup>, Midukov N.P.<sup>2\*</sup>, Kurov V.S.<sup>2</sup>, Smolin A.S.<sup>2</sup> EFFECT OF DRY DEFIBRATION OF RECOVERED PAPER ON MULTILAYER CARDBOARD PROPERTIES

<sup>1</sup> Technical University of Dresden, Dresden, 01062 (Germany)

<sup>2</sup> St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, ul. Ivana Chernykh, 4, St. Petersburg, 198095 (Russia), e-mail: mnp83@mail.ru

The article focuses on the relevant for the pulp and paper industry in the direction of reduction of energy consumption for the production of cardboard from recovered paper with the preservation of its mechanical parameters. The reduction cost is due to the partial replacement of the technology of traditional conventional preparation of the recovered paper with dry defibration. The dry defibration method affects the structural, mechanical and deformation properties of the cardboard. The purpose of the work is to obtain dependencies, listed characteristics on recovered paper content prepared by dry method. In order to maintain the mechanical and deformation properties of the cardboard when adding dry-defibrated fibers, it is necessary to correctly distribute them in the test liner layers and to set the stage of supply of dry-defibrated recovered paper into the process flow. To this end, various applications of the dry recovered paper preparation technique were experimentally analyzed, fed to and ground in an aqueous medium, and dry fibers were used to form a two-layer and three-layer test-liner cardboard. The maximum content of fibers prepared by the dry method to obtain a multilayer test-liner was 50% by weight of the cardboard, even though the main mechanical parameters, including tensile strength, bending stiffness, and short-span compression strength (SCT), changed slightly. Established optimal composition of cardboard, allowed using the results of experimental studies for industrial development. The article also provides a technical and economic estimation of different ways of dry defibration technology.

**Keywords:** recovered paper, cardboard test-liner, dry defibration, parameters of cardboard.

### References

1. Bondarenko A. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2014, no. 2, pp. 38–39. (in Russ.).
2. Kuleshov A.V., Smolin A.S. *Izv. vuzov. Lesnoy zhurnal*, 2008, no. 4, pp. 131–139. (in Russ.).
3. Kozhevnikov S.Yu., Koverninskiy I.N., Kanarskiy A.V. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*, 2016, vol. 2, no. 5, pp. 81–86. (in Russ.).
4. Patent 2687982 (RU). 2019. (in Russ.).
5. Komarov V.I., Yablochkin N.I., Dul'kin D.A., Koverninskiy I.N. *Formirovaniye svoystv test-laynera v protsesse proizvodstva*. [Formation of the properties of the test liner in the production process]. Arkhangelsk, 2005, 162 p. (in Russ.).
6. Ryukhin, N.V. *Bumazhnaya promyshlennost'*, 1939, no. 2, pp. 18–21. (in Russ.).
7. Dmitriyev M.D., Bondarenko M.V. *Nauchnyye trudy TsNIB*. [Scientific works CSRIP]. Moscow, Leningrad, 1956, no. 41, pp. 22–26. (in Russ.).
8. Schrinner T., Gailat T., Grossmann H. *TAPPI Paper Con*, Proceedings, Atlanta, Georgia, USA, 2015.
9. Schrinner T., Gailat T., Heinemann S., Lundberg M. *PTS Pulp Symposium*, München, 2015.
10. Kleinert R., Großmann H., Gailat T., Weber P., Greiffenberg I. *Paper and Paper Converting Industry*, 2016, no. 15, pp. 43–46.
11. Midukov N.P., Smolin A.S., Kurov V.S., Schrinner T., Grossmann H. *Materialien zum wissenschaftlichen Seminar der Stipendiaten der Programme "Michail Lomonosov" und „Immanuel Kant III“*, Moscow, 2017, pp. 68–71.
12. Khakimov R.Kh., Khakimova F.Kh., Kovtun T.N. *Izv. vuzov. Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 3/333, pp. 121–128. (in Russ.).
13. Akulov B.V., Khakimova F.Kh., Kovtun T.N., Khakimov R.Kh. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2010, no. 3, pp. 167–172. (in Russ.).
14. Patent 2633535 (RU). 2017. (in Russ.).
15. DIN-54360. *Testing of Pulp; Laboratory Beating of Pulp with the Jokro Mill*, Germany, 1977, 4 p.
16. ISO 5269-2. *Pulps – Preparation of laboratory sheets for physical testing. Part 2. Rapid-Köthen method*, Geneva, Switzerland, 2004, 8 p.
17. Midukov N.P., Yefremkina P.A., Malinovskaya G.K., Kurov V.S., Smolin A.S. *Khimicheskiye volokna*, 2017, no. 1, pp. 2–26. (in Russ.).
18. Midukov N.P., Yefremov D.S., Kurov V.S., Smolin A.S. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2018, no. 3, pp. 279–286. (in Russ.).
19. ISO 1924-2. *Paper and board – Determination of tensile properties. Part 2. Constant rate of elongation method*, Geneva, Switzerland, 2008, 12 p.
20. ISO 9895. *Paper and board – Compressive strength – Short-span test*, Geneva, Switzerland, 2008, 8 p.
21. DIN 53121. *Testing of paper and board – Determination of the bending stiffness by the beam method*, Berlin, Germany, 2014, 8 p.
22. GOST 13648.6-86. *Bumaga i karton. Metod opredeleniya soprotivleniya rasslaivaniyu*. [GOST 13648.6-86. Paper and cardboard. Method for determination of peel strength]. Moscow, 1986, 6 p. (in Russ.).
23. Midukov N.P., Kurov V.S., Smolin A.S., Vlasov A.V., Dubravina T.V. *Khimicheskaya tekhnologiya*, 2019, no. 1, pp. 29–34. (in Russ.).
24. Midukov N.P., Kurov V.S., Smolin A.S., Vlasov A.V., Dubravina T.V. *Khimicheskaya tekhnologiya*, 2019, no. 10, pp. 445–452. (in Russ.).

Received December 11, 2019

Revised June 19, 2020

Accepted June 20, 2020

**For citing:** Shreinner T., Grossmann H., Midukov N.P., Kurov V.S., Smolin A.S. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 251–260. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2020046956.

\* Corresponding author.