

УДК 676.038

## ПЕРЕРАБОТКА ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ КОМБИНИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ СУХИМ СПОСОБОМ

© *Ф.Х. Хакимова\*, А.Г. Прохоров, О.А. Носкова, Р.Р. Хакимов*

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский пр., 29, Пермь, 614990, Россия, psstu@tcbp.ru*

Выполнены исследования по переработке сухим способом комбинированного упаковочного материала – отходов производства кашированной фольги. Это многослойный материал, главные компоненты которого – алюминиевая фольга и бумага-основа, изготавливаемая из весьма дорогой высококачественной беленой сульфатной целлюлозы. Рекуперация и возврат ее в производство является актуальным. Выполнена работа по разделению в сухом состоянии кашированной фольги на главные составляющие фракции – волокнистую и алюминиевую (крупку) – путем использования аэродинамического диспергатора – нового уникального многофункционального аппарата. Аппарат выполняет одновременно две важные функции – роспуск отходов производства кашированной фольги, которые считались неперерабатываемыми, и сортирование продуктов переработки. При этом отделение алюминиевой фракции (крупки) осуществляется настолько эффективно, что она принята к использованию в порошковой металлургии (АО «Русал»). С целью рециклинга волокнистой фракции (для повторного использования при производстве бумаги) проводили исследования, в первую очередь, по удалению из нее остатков алюминиевой фольги. Подобных исследований по возврату волокна, получаемого путем переработки кашированной фольги, в технологию получения бумаги в РФ не проводилось.

С этой целью исследованы различные методы обработки волокнистой фракции. На данном этапе получены результаты – остатки алюминиевой фольги в волокне доведены до содержания около 1% (в исходном материале ее 40%). Получение бумаги из волокнистой фракции дает положительные результаты: по основным показателям механической прочности образец полученной бумаги аналогичен исходной бумаге-основе и бумаге для офисной техники.

**Ключевые слова:** кашированная фольга, компоненты, разделение, фракции, аэродинамический диспергатор, волокнистая часть, алюминиевая фракция, порошковая металлургия, рециклинг, производство бумаги.

---

**Для цитирования:** Хакимова Ф.Х., Прохоров А.Г., Носкова О.А., Хакимов Р.Р. Переработка целлюлозосодержащих комбинированных материалов сухим способом // Химия растительного сырья. 2025. №1. С. 330–340. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250115201>.

---

### ***Введение***

Ускоренный рост материального производства и услуг необратимо приводит к увеличению образования твердых бытовых отходов. Около 50–60% объема и 30% массы ТБО составляют упаковочные отходы, которые представляют собой ценнейшее вторичное сырье [1].

Упаковка играет важную роль в жизни человека, особенно в развитии товарооборота. Однако использованная упаковка представляет огромную опасность для окружающей среды [2].

В настоящее время большинство производителей отдают предпочтение целлюлозосодержащим материалам – бумаге и картону. В силу своей относительной дешевизны и многофункциональности упаковочные бумаги находят применение в различных отраслях промышленности и сфере обслуживания [1].

Однако в настоящее время появилось большое количество комбинированных упаковочных материалов, которые значительно превосходят своих предшественников по прочностным и другим характеристикам, но в то же время усложняют переработку. Особый интерес из них представляет кашированная фольга [1, 2].

Кашированная фольга – это многослойный материал, который состоит из таких компонентов, как алюминиевая фольга, бумага-основа, полиэтиленовая пленка и другие компоненты, придающие материалам дополнительную гибкость, барьерные свойства [3].

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

В настоящее время с целью ресурсо- и материалосбережения актуальным является селективный сбор упаковочных отходов, их переработка и вторичное использование [4]. Поскольку основных компонентов кашированной фольги два – волокнистая фракция и алюминиевая фольга, целесообразно разделить кашированную фольгу на эти фракции и использовать их, соответственно, в целлюлозно-бумажной и алюминиевой отраслях промышленности.

Фактически чистый алюминий в производстве упаковки используется мало, в основном используется различные сплавы (например, алюминиевая фольга), которые позволяют увеличить прочность при одновременном утончении упаковочного материала.

Кашированная фольга является одним из самых популярных материалов для упаковки товаров, намного опередив бумагу и пергамент. Каширование заключается в прочном соединении фольги и бумаги специальным kleem, микровоском или расплавленным полиэтиленом. Полученный материал обладает хорошей плотностью, эластичностью, термостойкостью, непроницаемостью, устойчивостью к ультрафиолетовому излучению и влаге [1, 5, 6].

Однако приданье таких исключительных свойств кашированной фольге затрудняет переработку их отходов (после применения) с целью возврата на повторное использование.

В настоящее время переработка использованных упаковок из многослойного материала, например, «Tetra Pak», осуществляется лишь в небольших количествах, что объясняется сложностью переработки таких материалов.

В аналитическом обзоре [7] представлены результаты по переработке многослойной упаковки – на примере Tetra Pak. В работе показано, что использованная упаковка Tetra Pak является перерабатываемым материалом. Известно [7], что существует два способа переработки упаковки Tetra Pak – мокрый и сухой. Более распространен мокрый способ, несмотря на то что он многоступенчатый, экономически и экологически нецелесообразен.

Широко обсуждается технология разволокнения сухим способом, без присутствия воды [7].

Однако к настоящему времени в РФ нет предприятий, перерабатывающих кашированную фольгу с целью использования не только алюминиевой фракции, но и получения волокнистого продукта, предназначенногодля повторного использования. Нет также публикаций по переработке кашированной фольги с целью повторного использования ее волокнистой фракции.

Бумага-основа для кашированной фольги изготавливается из высококачественной сульфатной целлюлозы.

В литературе есть статьи по переработке кашированной фольги. Все они направлены на извлечение алюминиевой фольги, а волокнистая часть сжигается или уничтожается другим способом [8].

В данной работе решение этой проблемы предлагается путем использования аэродинамического диспергатора Р.Х. Хакимова (рис. 1) – изобретателя и разработчика уникального многофункционального аппарата, разделяющего в сухом состоянии кашированную фольгу на две главные составляющие фракции – волокнистую и алюминиевую [9].

Диспергатор – компактный аппарат, в котором происходит процесс измельчения и одновременно сортирования с разделением на фракции по плотности материала [10]. Вращающийся ротор с радиальными лопатками создает в аппарате вихревое движение воздуха. Отбор готового продукта осуществляется из центра аппарата под действием вакуума, подключаемого к каналу отбора измельченной массы.

Поток воздуха регулируется таким образом, что из аппарата выносятся только единичные волокна. Продолжительность механического воздействия на макулатуру в зоне роспуска составляет 40–60 с. Куски макулатуры и пучки волокон циркулируют в аппарате до тех пор, пока не будут распущены до отдельных волокон.

Ранее авторы использовали этот аппарат в переработке сухим способом газетной макулатуры [10] с возвратом получаемой макулатурной массы на повторное использование. После роспуска и сортирования в аппарате макулатурная масса сухого роспуска отличается от массы мокрого роспуска меньшими потерями волокна, так как при дальнейшем облагораживании нет необходимости проводить сортирование и очистку макулатурной массы в водной среде в несколько ступеней от примесей различного характера, поскольку эти все операции выполняются в аппарате в сухом виде с отделением от основного потока всех примесей и включений. Макулатурная сухого роспуска отличается также рациональным фракционным составом и оптимальным распределением волокон по длине при равных показателях механической прочности.

Использование при переработке макулатуры диспергатора позволяет упростить технологическую схему при более высоких показателях качества макулатурной массы, значительно уменьшить количество используемого оборудования, расход электроэнергии, свежей воды, снизить потери волокна при получении макулатурной массы необходимого качества. Диспергатор использован также для переработки различных видов макулатуры из бумаги и картона [11, 12]. Проведены исследования по переработке макулатуры – отходов производства гофрированного картона на ООО «ПЦБК». Сравнение результатов подготовки макулатурной массы из гофрокартона на этом предприятии и с использованием нетрадиционного оборудования – аэродинамического диспергатора – показало, что применение диспергатора значительно упрощает технологическую схему и сокращает количество единиц оборудования в технологическом потоке, что снижает капитальные затраты и себестоимость макулатурной массы, т.е. улучшает экономические показатели производства при получении массы одинакового качества. Таким образом, результаты положительные; аппарат признан весьма эффективным в переработке макулатуры из бумаги и картона.

Процесс сухого роспуска и сортирования кашированной фольги с получением двух продуктов – волокнистой фракции и алюминиевой фракции (крупки) реализован автором Прохоровым А.Г. на ООО «ПроГРУПП». Функция разделения кашированной фольги на фракции осуществляется эффективно, в результате один из продуктов – алюминиевая фракция (крупка) – уже сегодня используется непосредственно в порошковой металлургии. Для волокнистой фракции проведены предварительные исследования по получению волокнистого полуфабриката для использования в композиции бумаги и картона.

Новизна и актуальность темы заключаются в разработке технологии переработки отходов производства кашированной фольги сухим способом с разделением на две фракции, одна из которых очень ценна для отечественной порошковой металлургии и является в настоящее время импортозамещением, и второй фракции – волокнистой из высококачественной целлюлозы, возврат которой в производство бумаги не менее актуален.

Цель работы – разработка способа и технологии переработки многослойной и многокомпонентной упаковки (отходов производства) с разделением на главные составляющие – алюминиевую и волокнистую фракции, из которых первая уже используется в порошковой металлургии, вторая требует проведения исследований по возможности получения из нее волокнистого полуфабриката для бумаги и картона.

Задача данного этапа работы – предварительные исследования возможности и целесообразности получения из волокнистой части кашированной фольги, отделяемой в процессе ее сухой переработки в аэродинамическом диспергаторе, волокнистого полуфабриката для производства бумаги и картона.

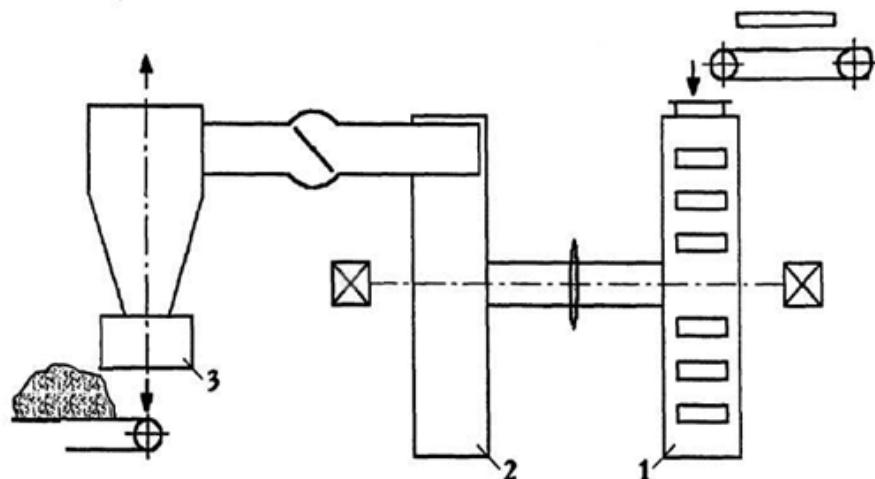


Рис. 1. Схема устройства для роспуска волокнистых материалов (диспергатора): 1 – диспергатор, 2 – вентилятор, 3 – циклон

## Экспериментальная часть

Для исследований использованы отходы производства комбинированного упаковочного материала в виде кашированной фольги.

Путем использования нового уникального многофункционального аппарата – аэродинамический диспергатор – кашированную фольгу разделили в сухом состоянии на две фракции – волокнистую (вторичное целлюлозное волокно) и алюминиевую (алюминиевая крупка).

Схема переработки отходов кашированной фольги сухим способом приведена на рисунке 2.

*Методы анализа волокнистой фракции.* В работе использовали следующие стандартные методы анализа: определение массовой доли влаги – ГОСТ 16932; массовой доли лигнина в целлюлозе – ГОСТ 11960; экстрактивных веществ (смол и жиров) – ГОСТ 6841; золы – ГОСТ 18461-93; альфа-целлюлозы – 6840-78; белизны – ГОСТ 7690; pH водной вытяжки – ГОСТ 12523-77; степени полимеризации – ГОСТ 9105-74.

Определение показателей механической прочности целлюлозы: сопротивления разрыву – по ГОСТ 1924-1-96 (с пересчетом на разрывную длину); прочности на излом при многократных перегибах (сопротивление излому) – по ГОСТ 13525.2.

Показатели механической прочности отливок целлюлозы определяли после размола в мельнице ЦРА до степени помола 27–30 °ШР. Степень помола массы определяли на аппарате СР-2. Образцы бумаги с массой 75 г/м<sup>2</sup> получали на листоотливном аппарате ЛА-2 с вакуум-сушильной камерой.

Подготовку образцов к испытаниям (кондиционирование) проводили согласно ГОСТ 13523.

Фракционный состав по длине и ширине волокон определены на анализаторе волокна MorFi Comact, разработанном исследовательским центром бумаги Франции.

Насыпную массу определяли взвешиванием 100 см<sup>3</sup> волокнистой массы с переводом единиц измерения в кг/м<sup>3</sup>.

Химический состав алюминиевой фракции определен методом ИК-спектроскопии с помощью Фурье-спектрометра Nicolet iS50 FT-IR с помощью приставки НПВО с алмазным кристаллом в области частот 4000–400 см<sup>-1</sup>.

## Обсуждение результатов

В результате экспериментов отходы сухой переработки кашированной фольги в диспергаторе подвергаются роспуску и одновременно разделяются по плотности на две фракции – волокнистую (с содержанием некоторого количества остаточной фольги) и алюминиевую (также содержащую остаточную волокнистую часть).

Результаты определения компонентного состава исходного образца кашированной фольги приведены в таблице 1.



Рис. 2. Схема переработки отходов кашированной фольги сухим способом с использованием аэродинамического диспергатора

Таблица 1. Компонентный состав исходного образца кашированной фольги

Источники	Компоненты, %	
	Волокнистая фракция	Алюминиевая фракция
Разделение в лабораторных условиях	57.8–63.3	36.1–37.6
Данные предприятия-пользователя	60	40
Переработка и утилизация отходов упаковочных материалов [4]	62	38

Компонентный состав кашированной фольги, по данным перерабатывающего фольгу предприятия, – 40% алюминиевой фольги и 60% волокнистой фракции. По результатам определений в лабораторных условиях и по данным литературы состав алюминиевой фракции для кашированной фольги с толщиной фольги 6 мкм различаются незначительно.

Таким образом, компонентный состав алюминиевой фольги можно кратко записать так: алюминиевая фольга : волокнистая фракция – 36 : 64.

Получаемая в результате распуска и сортированная в диспергаторе алюминиевая фракция непосредственно используется в порошковой металлургии. По ориентировочным данным наших исследований, алюминиевая фракция, отделенная в диспергаторе, содержит ~8% волокнистой фракции; волокнистая фракция, в свою очередь, содержит ~7–8% алюминиевой фракции.

Химический состав алюминиевой фракции приведен в таблице 2.

Предприятие, использующее алюминиевую фракцию, считает целесообразным улучшить состав алюминиевой фракции путем снижения в составе крупки примесей, в том числе волокнистых.

Неметаллы в составе алюминиевой фракции, возможно, волокнистого характера. Все остальные присадки, особенно железо и марганец, придают прочность, формируемость, однородность структуры, барьерные свойства, пластичность, эластичность, устойчивость к износу, адгезию и другие специальные свойства алюминиевой фольги [13, 14].

Главная задача исследований на данном этапе – возможно более полное освобождение волокнистой фракции кашированной фольги от примесей алюминиевой фракции. В таблице 3 приведена характеристика бумаги-основы кашированной фольги.

Из таблицы 3 следует, что исходная целлюлоза для изготовления бумаги-основы характеризуется химической чистотой (низкая доля смол и жиров, а также лигнина) и довольно высокой механической прочностью (даже при степени помола 20 °ШР разрывная длина 5100 м).

От качества исходной целлюлозы, естественно, зависит качество бумаги-основы и, соответственно, кашированной фольги [15].

В лабораторных условиях на предварительном этапе рассмотрели ряд возможных вариантов удаления кусочков алюминиевой фольги из волокнистой фракции.

В таблице 4 приведена характеристика волокнистой фракции после распуска кашированной фольги в аэродинамическом диспергаторе.

Из таблицы 4 следует, что длина волокон в процессе размола, вероятно, не подверглась существенному укорочению. Как видно из примечаний к таблице 4, длина волокон полуфабриката, полученного нами в процессе распуска в диспергаторе, в полной мере сопоставима с длиной волокон сульфатной целлюлозы Братского ЛПК из лиственных пород древесины.

Таблица 2. Химический состав алюминиевой фракции (крупки) после распуска кашированной фольги в диспергаторе

Элемент	Al	Na	K	Ca	Cu	Fe	Mn	Неметаллические включения
Массовая доля, %	90	0.6	0.1	0.1	0.1	0.6	0.4	8.1

Таблица 3. Характеристика бумаги-основы в составе кашированной фольги и целлюлозы для получения бумаги-основы

Показатели	Единицы измерения	Величины показателей
Характеристика бумаги-основы		
Механическая прочность (28°ШР):		
– разрывная длина	м	5100
– сопротивление разрыву при растяжении	Н/м	1827
Характеристика целлюлозы		
Степень помола	°ШР	20
Массовая доля в целлюлозе:		
– альфа-целлюлозы	%	86.03
– влаги	%	4.69
– смол и жиров	%	0.24
– лигнина	%	0.87

Таблица 4. Характеристика волокнистой фракции кашированной фольги после роспуска в аэродинамическом диспергаторе

№ п/п	Наименование показателя	Единицы измерения	Значение показателя
1	Цвет	—	серый
2	Запах	—	—
3	Длина волокна (средневзвешенная)	мм	0.851
4	Толщина волокна (средняя)	$\text{м} \cdot 10^{-6}$	0.024
5	Величина pH водной вытяжки:		
	— при холодном экстрагировании	—	8.92
	— при горячем экстрагировании	—	9.17
6	Насыпная масса:	$\text{г}/\text{дм}^3$	
	— без уплотнения		25
	— с уплотнением		53
7	Массовая доля:	%	
	— воды		3.96
	— золы		6.54
8	Степень полимеризации		890–1050

Примечание. Средняя длина волокон (для сравнения): нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы (березовой) – 0.8 мм; сульфатной лиственной целлюлозы (Братский ЛПК) – 0.9 мм; сульфатной хвойной целлюлозы (Братский ЛПК) – 2.0 мм.

Поскольку точное определение алюминия в виде различных сплавов в целлюлозно-бумажной продукции затруднительно, в работе на начальном этапе ориентировались по величине зольности, так как в данном случае источником золы в волокнистой фракции являются главным образом остатки алюминиевой фракции (алюминиевые сплавы).

Из данных таблицы следует, что в процессе роспуска и сортирования в диспергаторе из кашированной фольги отделено ~33% алюминиевой фракции (от общей массы фольги) (в исходной кашированной фольге – алюминиевой фракции ~40%, зольность волокнистой фракции ~7%).

Степень полимеризации исследованных образцов различается заметно, что объясняется присутствием в волокнистой фракции посторонних включений – различных алюминиевых сплавов, остатков клея, фольги и др.

На рисунках 3 и 4 приведен фракционный состав (по длине и ширине волокон) волокнистой фракции после сухого роспуска и сортирования кашированной фольги в диспергаторе. Определение проводилось на анализаторе волокна MorFi Compact.

Основная фракция с длиной волокон от 0.5 до 1.25 мм составляет 60%. В композиции бумаги используются полуфабрикаты после размола, где происходит и укорочение, и фибролитрование волокон; при изготовлении бумаги в процессе сушки происходит сжатие и коробление клеточных оболочек; повторный роспуск при переработке использованной фольги также снижает размеры волокон.

Несмотря на такие серьезные изменения в процессе размола, сушки и повторного роспуска волокнистого полуфабриката, длина волокон оказалась на уровне длины волокон лиственной целлюлозы Братской ЛПК.



Рис. 3. Фракционный состав волокнистой фракции кашированной фольги по длине волокна

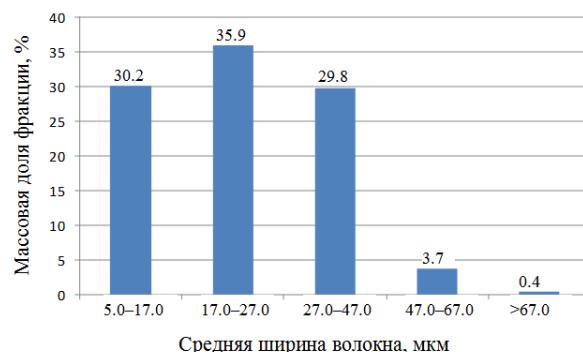


Рис. 4. Фракционный состав волокнистой фракции кашированной фольги по ширине волокна

Таким образом, по фракционному составу (по длине волокон) волокнистая фракция кашированной фольги может служить полуфабрикатом для производства бумаги и картона.

Более подробная характеристика волокнистой фракции кашированной фольги приведена в таблице 5.

С целью выяснения возможности и целесообразности удаления из волокнистой фракции примесей алюминиевой фольги использовали различные методы обработки – в водной, кислотной и щелочной средах.

Результаты исследований приведены в таблице 6.

Зольность волокнистой фракции снижается при всех способах обработки, т.е. во всех случаях снижается доля остатков алюминиевых примесей в волокнистой фракции.

Наибольшее снижение в волокнистой фракции массовой доли алюминиевой фольги (до ~1.0%) получено при обработке волокнистой фракции соляной кислотой. Выход волокна после обработки составил 92.3%. При такой обработке в кислой среде протекают окислительные деструктивные процессы, а катализическая активность соляной кислоты в реакциях гидролиза целлюлозы в два раза превышает этот показатель для серной кислоты [16].

Обработка волокнистой фракции серной кислотой [17] дал аналогичные результаты по выходу, но величина зольности снизилась только до 3.3%.

При обработке волокнистой фракции минеральными кислотами происходит взаимодействие с ними алюминия с образованием растворимых солей ( $AlCl_3$  и  $Al_2(SO_4)_3$ ).

Обработка гидроксидом натрия [18] дала результат по зольности, аналогичный обработке соляной кислотой, однако выход волокна снизился существенно – 81.6%, т.е. потери составили ~20% как за счет растворения алюминиевой фракции, так и за счет растворения в щелочной среде низкомолекулярных фракций целлюлозы [16].

Неплохие результаты по снижению зольности дала многократная промывка водой – по выходу и зольности аналогичные результатам промывки серной кислотой.

Все принятые способы обработки волокнистой фракции влияют на белизну. Белизна исходной бумаги-основы кашированной фольги – 85%. В результате распуска с измельчением и волокна, и алюминиевой фольги белизна волокнистой фракции снизилась до 51%. В результате обработки с целью отделения остатков соединений алюминия белизна заметно повышается (на ~20% белого) в случае химической обработки и на 12% белого – после многократной промывки водой.

Таким образом, наиболее эффективным способом удаления остаточного алюминия из волокнистой фракции на данном этапе можно считать обработку раствором соляной кислоты при заданных условиях (ГМ – 50 : 1, температура – 18–20 °C, продолжительность – 4 ч).

В таблице 7 приведены физико-механические показатели сравниваемых образцов бумаги.

Исходный образец «бумаги» (кашированная фольга) имеет довольно высокие показатели разрывной длины и, вероятно, благодаря алюминиевой фольге, модуля эластичности. Упаковка из кашированной фольги должна хорошо сохранять форму – свидетельство высокой эластичности материала, что является немаловажным показателем при фасовке и дальнейшем использовании [13]. Полученные нами механические показатели использованной в исследованиях упаковки говорят о его хорошем качестве.

После отделения алюминиевой фольги показатель модуля эластичности, соответственно, несколько снизился, но остался на довольно высоком уровне. Показатель разрывной длины практически не изменился, а удлинение при разрушении, естественно, несколько снизилось.

После распуска в диспергаторе зольность волокнистой фракции составляет 6.5% (табл. 6), поэтому образец бумаги не изготавливался из-за высокого содержания в нем алюминиевой фракции. Из образцов волокнистой фракции после отделения части алюминиевых примесей получили образцы бумаги (размол до 28–30 °ШР). Результаты анализов их показали, что лучшие результаты получены в случае удаления алюминиевых примесей обработкой соляной кислотой. При нормальных величинах

Таблица 5. Общая характеристика волокнистой фракции

Показатели	Значения
Волокно	5058 шт.
Средневзвешенная длина волокна	0.851 мм
Среднеарифметическая длина волокна	0.628 мм
Ширина	24.0 мкм
Грубость	0.0191 мг/м
Изогнутость волокон	39.2 %
Угол излома,	127°
Скручиваемость	14.1 %
Фибрillation	1.915 %
Обломанные концы	39.38 %
Тонкие (мелкие) элементы	46.9 % (по длине)

выхода волокнистой массы после обработки (обр. 5, табл. 6) получены более высокие показатели механической прочности (обр. 3.1, табл. 7): основной показатель – разрывная длина – такая же, как исходной бумаги, и на уровне разрывной длины кашированной фольги; величина сопротивления излому, характеризующая гибкость и эластичность (важнейшие свойства этого вида упаковки), также аналогична показателю исходной кашированной фольги.

Таблица 6. Результаты обработок волокнистой фракции кашированной фольги с целью удаления из нее остаточной алюминиевой фольги

№ п/п	Способ обработки волокнистой фракции кашированной фольги	Выход волокнистой фракции, %	Показатели волокнистой фракции	
			Зольность, %	Белизна, %
1	Исходная бумага (после отделения алюминиевой фольги вручную)	64.2	1.84	85.1–85.5
2	Волокнистая фракция, полученная при роспуске кашированной фольги в диспергаторе	62.0	6.52	51.4
3	Промывка водой:			
	– 5-кратная	93.2	3.12–3.71	64.0
	– 10-кратная	90.5	2.85–3.19	64.3
4	Обработка 5% $\text{H}_2\text{SO}_4$	91.3	3.27	73.4
5	<b>Обработка 5% <math>\text{HCl}</math></b>	<b>92.3</b>	<b>0.93–1.15</b>	<b>73.9</b>
6	Обработка 5% $\text{NaOH}$	81.6	1.13	70.1

Таблица 7. Физико-механические показатели сравниваемых образцов бумаги, полученной из волокнистой фракции после удаления остатков соединений алюминия

№ образца	Наименование образца	Показатели					
		Степень помола, °ШР	Сопротивление разрыву при растяжении, Н/м	Разрывная длина, км	Удлинение при разрушении, %	Модуль эластичности, Н/мм <sup>2</sup>	Сопротивление излому, ч.д.п.
1	Кашированная фольга	–	2791	5.47	2.04	15271	39
2	Исходная бумага после отделения алюминиевой фольги	28	1827	5.10	1.51	13899	58
3	Обработка волокнистой фракции кашированной фольги:						
3.1	– <b>соляной кислотой</b>	<b>30</b>	<b>3728</b>	<b>5.07</b>	<b>1.88</b>	<b>5171</b>	<b>30</b>
3.2	– серной кислотой	27	3014	4.10	1.54	4768	15
3.3	– гидроксидом натрия	28	2580	3.51	1.30	9344	12
4	Бумага для офисной техники (для сравнения)	–	4365	5.56	1.24	7283	56

Примечание. Образцы бумаги 3.1–3.3 получены в лабораторных условиях в аппарате ЛА.

## Выходы

1. Впервые исследована возможность и целесообразность переработки сухим способом отходов производства кашированной фольги с разделением ее на две фракции – волокнистую и алюминиевую.
2. Использован универсальный и многофункциональный аппарат – аэродинамический диспергатор, успешно и эффективно выполняющий работу по роспуску и сортированию кашированной фольги (сухим способом) с разделением на два основных компонента – волокнистый и алюминиевый.
3. Разделение кашированной фольги на фракции выполнено эффективно – алюминиевая фракция фольги (крупка) принята к использованию в порошковой металлургии (АО «Русал» совместно с ООО «ПроГРУПП» разработаны технические условия на алюминиевую крупку).
4. Путем кислотной обработки волокнистой фракции (после диспергатора) получен волокнистый полуфабрикат с низкой долей остатков алюминиевых примесей и с хорошими показателями механической прочности, соответствующими аналогичным показателям кашированной фольги и исходной бумаги.

## Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Пермского национального исследовательского политехнического университета. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

**Конфликт интересов**

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

**Открытый доступ**

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии *Creative Commons Attribution 4.0* (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию *Creative Commons* и укажете, были ли внесены изменения.

**Список литературы**

1. Шайбакова Ю.А. Кашированная фольга как современный упаковочный материал // Молодой ученый. 2015. №5(85). С. 201–204.
2. Гончаренко В.Л., Боравский Б.В. Современное состояние и перспективы развития обращения упаковки и упаковочных отходов: отечественный и зарубежный опыт // Обзор информ. ВИНИТИ. Серия. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2002. №8. С. 16–30.
3. Куприн В.И. Бумага. Картон. Краткий терминологический словарь. М., 1996. 48 с.
4. Губанов Л.Н., Зверева А.Ю., Зверева В.И. Переработка и утилизация отходов упаковочных материалов: учебное пособие. Н. Новгород, 2015. 117 с.
5. Ганиева Н.М., Филенко Н.И., Эпштейн М. Оптимизация структуры кашированного продукта // Полиграфия: технология, оборудование, материалы: материалы XII Международной научно-практической конференции. Омск, 2021. С. 186–192.
6. Шайбакова Ю.А. и др. Совершенные тенденции в области кашированных упаковочных материалов // Молодой ученый. 2015. №9(89). С. 345–347.
7. Зиновьев Л.В. Вполне перерабатываемый Tetra Pak // Твердые бытовые отходы. 2019. №5.
8. Kaiser K., Schmid M., Schlummer M. Recycling of Polymer-Based Multilayer Packaging: A Review // Recycling. 2018. Vol. 3, no. 1. Pp. 1–26. <https://doi.org/10.3390/recycling3010001>.
9. Хакимова Ф.Х., Хакимов Р.Р., Куликов Т.А. Совершенствование технологии переработки макулатуры в производстве бумаги и картона // Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации: материалы XXIV Всероссийской научно-технической конференции (г. Пермь, 15–17 ноября 2023 г.). Пермь, 2023. С. 227–229.
10. Хакимова Ф.Х., Прохоров А.Г., Хакимов Р.Р. Совершенствование технологии рекуперации газетной макулатуры с использованием современного оборудования // Актуальные проблемы науки и техники: сборник научных статей по материалам XII Международной научно-практической конференции (6 июня 2023 г., г. Уфа). В 3 ч. Уфа, 2023. Ч. 2. С. 55–64.
11. Хакимов Р.Х., Хакимова Ф.Х., Ковтун Т.Н. Применение аэродинамического диспергатора при подготовке макулатуры для использования в композициях бумаги и картона // Лесной журнал. 2013. №3. С. 121–128.
12. Хакимова Ф.Х., Носкова О.А., Хакимов Р.Р. Вариант переработки макулатуры – отходов производства и потребления гофрированного картона // Интеграционные процессы в современной науке: сборник научных трудов по материалам X Международной научно-практической конференции (Анапа, 25 июля 2020 г.). Анапа, 2020. С. 15–20.
13. Шакарова С.Е., Абдрахманов Е.С. Исследование и анализ технологии производства фольги из алюминия // Наука и техника Казахстана. 2014. №1–2. С. 100–105.
14. Moris B.A. The Science and Technology of Flexible Packaging. Multilayer Films from Resin and Process to End Use. Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2016.
15. Иванов С.Н. Технология бумаги. Изд. 3-е. М., 2006. 696 с.
16. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров: учебник для вузов. 3-е изд., стер. СПб, 2021. 620 с.
17. Патент №2336342 (РФ). Способ переработки алюминиевой фольги / С.В. Махов. – 2008.
18. Патент №636308 (СССР). Способ переработки отходов кашированной алюминиевой фольги / В.Г. Гопиенко, А.К. Ярмолович. – 1978.

Поступила в редакцию 15 мая 2024 г.

После переработки 21 сентября 2024 г.

Принята к публикации 24 сентября 2024 г.

*Khakimova F.Kh.\*, Prokhorov A.G., Noskova O.A., Khakimov R.R. DRY PROCESSING OF CELLULOSE-CONTAINING COMBINED MATERIALS*

*Perm National Research Polytechnic University, Komsomolskiy av., 29, Perm, 614990, Russia, [psu@tcbp.ru](mailto:psu@tcbp.ru)*

Research has been carried out on dry processing of combined packaging materials – laminated foil production waste. This is a multilayer material, the main components of which are aluminium foil and backing paper made of very expensive high quality bleached kraft pulp. Its recovery and return to production is relevant. The work on separation in dry state of laminated foil into the main constituent fractions - fibrous and aluminium (coarse) – by means of aerodynamic disperser - a new unique multifunctional apparatus has been carried out. The apparatus fulfils two important functions at the same time - the dissolution of laminated foil production waste, which was considered non-recyclable, and the sorting of the recycled products. At the same time, the separation of the aluminium fraction (coarse) is so efficient that it has been accepted for use in powder metallurgy (JSC Rusal). In order to recycle the fibrous fraction (for reuse in paper production), studies were conducted, first of all, on removal of aluminium foil residues from it. Similar studies on the return of fibre obtained by processing of laminated foil into the technology of paper production have not been conducted in the Russian Federation.

For this purpose, various methods of fibre fraction processing have been investigated. At this stage the results were obtained – the residues of aluminium foil in the fibre were brought to the content of about 1% (of the initial material it is 40%). Obtaining paper from the fibre fraction gives positive results: in terms of the main indicators of mechanical strength, a sample of the obtained paper is similar to the original base paper and paper for office equipment.

**Keywords:** backed foil, components, separation, fractions, aerodynamic disperser, fibrous fraction, aluminium fraction, grits, powder metallurgy, recycling, paper production.

**For citing:** Khakimova F.Kh., Prokhorov A.G., Noskova O.A., Khakimov R.R. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 1, pp. 330–340. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250115201>.

### References

1. Shaybakova Yu.A. *Molodoy uchenyy*, 2015, no. 5(85), pp. 201–204. (in Russ.).
2. Goncharenko V.L., Boravskiy B.V. *Obzor inform. VINITI. Seriya. Problemy okruzhayushchey sredy i prirodykh resursov*, 2002, no. 8, pp. 16–30. (in Russ.).
3. Kuprin V.I. *Kuprin V.I. Bumaga. Karton. Kratkiy terminologicheskiy slovar'*. [Paper. Cardboard. Brief terminological dictionary]. Moscow, 1996, 48 p. (in Russ.).
4. Gubanov L.N., Zvereva A.Yu., Zvereva V.I. *Pererabotka i utilizatsiya otkhodov upakovochnykh materialov: uchebnoye posobiye*. [Processing and utilization of waste packaging materials: a tutorial]. N.Novgorod, 2015, 117 p. (in Russ.).
5. Ganiyeva N.M., Filenko N.I., Epshteyn M. *Poligrafiya: tekhnologiya, oborudovaniye, materialy: materialy XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Printing: technology, equipment, materials: materials of the XII International scientific and practical conference]. Omsk, 2021, pp. 186–192. (in Russ.).
6. Shaybakova Yu.A. i dr. *Molodoy uchenyy*, 2015, no. 9(89), pp. 345–347. (in Russ.).
7. Zinov'yev L.V. *Tverdyye bytovyye otkhody*, 2019, no. 5. (in Russ.).
8. Kaiser K., Schmid M., Schlummer M. *Recycling*, 2018, vol. 3, no. 1, pp. 1–26. <https://doi.org/10.3390/recycling3010001>.
9. Khakimova F.Kh., Khakimov R.R., Kulikov T.A. *Aerokosmicheskaya tekhnika, vysokiy tehnologii i innovatsii: materialy XXIV Vserossiyskoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii (Perm', 15-17 noyabrya 2023 g.)*. [Aerospace technology, high technology and innovation: proceedings of the XXIV All-Russian scientific and technical conference (Perm, November 15-17, 2023)]. Perm', 2023, pp. 227–229. (in Russ.).
10. Khakimova F.Kh., Prokhorov A.G., Khakimov R.R. *Aktual'nyye problemy nauki i tekhniki: sbornik nauchnykh statey po materialam XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (6 iyunya 2023 g., Ufa) V 3 ch.* [Actual problems of science and technology: collection of scientific articles based on the materials of the XII International scientific and practical conference (June 6, 2023, Ufa) In 3 parts]. Ufa, 2023, part. 2, pp. 55–64. (in Russ.).
11. Khakimov R.Kh., Khakimova F.Kh., Kovtun T.N. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 3, pp. 121–128. (in Russ.).
12. Khakimova F.Kh., Noskova O.A., Khakimov R.R. *Integratsionnyye protsessy v sovremennoy naуke. Sbornik nauchnykh trudov po materialam X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Anapa, 25 iulya 2020 g.)*. [Integration processes in modern science. Collection of scientific papers based on the materials of the X International Scientific and Practical Conference (Anapa, July 25, 2020)]. Anapa, 2020, pp. 15–20. (in Russ.).
13. Shakarova S.Ye., Abdurakhmanov Ye.S. *Nauka i tekhnika Kazakhstana*, 2014, no. 1-2, pp. 100–105. (in Russ.).
14. Moris B.A. *The Science and Technology of Flexible Packaging. Multilayer Films from Resin and Process to End Use*. Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2016.
15. Ivanov S.N. *Tekhnologiya bumagi. Izd. 3-ye*. [Paper technology. Ed. 3rd.]. Moscow, 2006, 696 p. (in Russ.).
16. Azarov V.I., Burov A.V., Obolenskaya A.V. *Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov: uchebnik dlya vuzov. 3-ye izd., ster.* [Chemistry of wood and synthetic polymers: textbook for universities. 3rd ed., reprinted]. St. Petersburg, 2021, 620 p. (in Russ.).
17. Patent 2336342 (RU). 2008. (in Russ.).
18. Patent 636308 (USSR). 1978. (in Russ.).

Received May 15, 2024

Revised September 21, 2024

Accepted September 24, 2024

\* Corresponding author.

**Сведения об авторах**

*Хакимова Фирдавес Харисовна* – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии полимерных материалов и порохов, tcbp@pstu.ru

*Прохоров Андрюс Гедрюсович* – аспирант, andrus89@mail.ru

*Носкова Ольга Алексеевна* – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии полимерных материалов и порохов, oa-noskova@mail.ru

*Хакимов Ростислав Рашидович* – аспирант, tcbp@pstu.ru

**Information about authors**

*Khakimova Firdaves Harisovna* – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technology of Polymer Materials and Gunpowder, tcbp@pstu.ru

*Prokhorov Andrius Gedryusovich* – Postgraduate Student, andrus89@mail.ru

*Noskova Olga Alekseevna* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology of Polymer Materials and Gunpowder, oa-noskova@mail.ru

*Khakimov Rostislav Rashidovich* – Postgraduate Student, tcbp@pstu.ru