

УДК 676.038

ПЕРЕРАБОТКА ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ИЗ УПАКОВОЧНОГО МАТЕРИАЛА – ГОФРОКАРТОНА

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

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

Изучена возможность и целесообразность совершенствования технологии переработки бумажной и картонной макулатуры путем перевода на сухой способ диспергирования с получением волокнистой массы. Роспуск макулатуры – важнейшая операция подготовки волокнистых отходов в качестве вторичного сырья бумажного производства. Модернизация процессов утилизации и возврата в производство волокнистых отходов (макулатуры) направлена на решение важнейшей задачи отрасли – повышение экологичности и экономичности процессов переработки вторичного сырья. Сухой способ диспергирования целлюлозных полуфабрикатов и вторичного сырья давно привлекает внимание специалистов как наиболее экологичный и энергосберегающий. В промышленных условиях в направлении реализации сухого способа переработки макулатуры делаются первые шаги – в России пока немного предприятий по переработке макулатуры сухим способом. В целях ускорения процессов реализации современного эффективного сухого способа переработки макулатуры предлагается включить в технологическую схему процесса новый универсальный многофункциональный аппарат – аэродинамический диспергатор, предназначенный для роспуска (диспергирования) макулатуры. Особенности аппарата – одновременно с роспуском сырья аппарат обеспечивает сортирование получаемой макулатурной массы с отделением частиц с большей инерцией, чем волокно, и из аппарата выносятся только единичные волокна. В случае роспуска макулатуры из гофрокартона в диспергаторе предлагаемой конструкции сохраняется длина волокон макулатуры, и все показатели механической прочности волокнистой макулатурной массы превышают соответствующие показатели массы производственного потока из такой же макулатуры. При этом диспергатор заменяет основную часть сортирующего оборудования, что значительно упрощает технологическую схему потока, снижает расходы свежей воды и электроэнергии.

Ключевые слова: бумага, упаковка, переработка, волокнистая масса, сухой роспуск, аэродинамический диспергатор, технологическая схема, экономика, экология.

Для цитирования: Хакимова Ф.Х., Носкова О.А., Хакимов В.Р., Прохоров А.Г. Переработка вторичного сырья из упаковочного материала – гофрокартона // Химия растительного сырья. 2026. №2. С. 409–416. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20260217239>.

Введение

Роль упаковки в жизни человека значительна. Наиболее распространенные в настоящее время упаковочные материалы – бумага и картон. Однако использованная упаковка представляет огромную опасность для окружающей среды [1–3].

Одной из важнейших задач целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) в области переработки макулатуры является повышение эффективности использования древесного сырья путем рекуперации макулатурного волокна с повторным использованием его в качестве полуфабриката в производстве бумаги и картона. Этому же способствует повышение экологических требований к целлюлозно-бумажной отрасли, в частности, по полной утилизации твердых древесных отходов производства бумаги и картона [3–5].

В целях ресурсо- и материалосбережения возникает потребность и становится весьма актуальным селективный сбор упаковочных отходов, их переработка и вторичное использование [6, 7].

Однако анализ состояния переработки макулатуры в стране указывает на несовершенство системы сбора и сортирования макулатуры, использование в промышленности для переработки макулатуры морально устаревшего и физически изношенного оборудования [8].

* Автор, с которым следует вести переписку.

Модернизация процессов утилизации и возврата в производство волокнистых отходов целлюлозно-бумажного производства направлена на решение важнейшей задачи отрасли – повышение экологичности и экономичности процессов переработки вторичного сырья.

Традиционная технология переработки макулатуры (мокрый способ) – весьма сложный и многоступенчатый процесс, связанный с использованием большого количества оборудования с высоким расходом воды и электроэнергии и проблемами очистки и утилизации стоков. Однако в стране используется именно эта технология [7, 8].

В связи с изложенным совершенствование технологии переработки макулатуры с целью упрощения технологической схемы путем использования современного оборудования – весьма важная и актуальная задача [8, 9].

Важнейшей операцией переработки макулатуры и подготовки ее для получения бумаги и картона является стадия роспуска с получением волокнистой макулатурной массы (ММ) и последующее сортирование ее – также сложный многоступенчатый процесс.

Перспективными для получения распушенной целлюлозы считаются способы сухого роспуска целлюлозных полуфабрикатов и вторичного сырья как наиболее экологичные, водо- и энергосберегающие [10–12].

В работе предлагается новый способ совершенствования и упрощения технологии и процессов переработки бумажной и картонной макулатуры – переход на сухой способ диспергирования макулатуры с использованием специального аппарата, не применяемого в настоящее время в этом производстве [3, 4]. Среди специалистов, в том числе и на интернет-форумах, особенно в последнее время, широко обсуждаются технологии разволокнения сухим методом, без присутствия воды [13–16]. Однако сухая переработка многослойных упаковочных материалов, например, Тетра-Пак, в промышленных объемах в стране не налажена [16]. Есть только два предприятия, перерабатывающие упаковку Тетра-Пак с получением двух продуктов – целлюлозного волокна и полиалюминия.

Экспериментальная часть

С целью перехода на сухой способ переработки макулатуры предлагается использовать в технологической схеме универсальный аппарат – аэродинамический диспергатор Хакимова, который пользуется большим спросом в России и за рубежом; предназначен для роспуска и одновременно сортирования получаемой ММ. Это – новая современная установка, разработанная в г. Перми.

На рисунке 1 представлена схема предлагаемой установки для диспергирования макулатуры – роспуска, сортирования и сепарации в воздушно-сухом состоянии [9–12].

Диспергатор – компактный аппарат, в котором вращающийся ротор с радиальными лопатками производит роспуск макулатуры и сепарацию готового продукта. Отбор готового продукта осуществляется из центра аппарата под действием вакуума, подключаемого к каналу отбора измельченной макулатуры. Поток воздуха регулируется таким образом, что из аппарата выносятся только единичные волокна. При этом крупные и влажные частицы не будут выноситься из аппарата, т.к. обладают большей инерцией, чем мелкие и сухие.

Методы исследования и анализа волокнистой фракции:

– определение прочности при растяжении и разрывной длины – по ГОСТ ИСО 1924-1-96; определение прочности на излом при многократных перегибах – по ГОСТ 13525.2-80; определение сопротивления продавливанию – по ГОСТ 13525.8-86; определение сопротивления торцовому сжатию (ССТ) гофрированного образца – по ГОСТ 28686-90; определение сопротивления плоскостному сжатию гофрированного образца (СМТ) – по ГОСТ 20682-75;

– средневзвешенную длину волокна определяли на аппарате Иванова по методике, изложенной в источнике [17], и с помощью анализатора длины волокна Kajaani FS200 фирмы Metso.

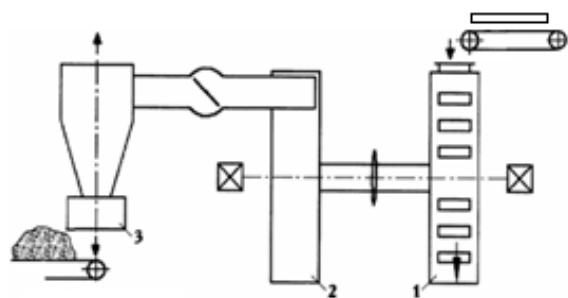


Рис. 1. Схема устройства для роспуска волокнистых материалов (диспергатора): 1 – диспергатор, 2 – вентилятор, 3 – циклон

Обсуждение результатов

Указанные выше особенности аппарата позволяют значительно упростить технологическую схему подготовки макулатурной массы и сделать ее более экономичной.

На данном этапе работы в качестве объекта исследования использована многослойная упаковка – гофрокартон.

Результаты подготовки макулатурной массы оценивали по влиянию их на показатели, имеющие наибольшее значение в производстве бумаги и картона – средневзвешенную длину волокна, распределение волокон на фракции по длине и показатели механической прочности отливок бумаги, полученной из макулатурной массы.

Для сравнения использован также образец массы из исходной макулатуры, отобранной на складе предприятия. Подготовка исходного образца в лабораторных условиях включала лишь увлажнение, разбивку в лабораторном дезинтеграторе, отсортировку крупных включений (образец №1).

Оценку качества ММ, полученной в предлагаемом аппарате – диспергаторе (образец №3), проводили путем сравнения с качеством ММ, получаемой в промышленных условиях на предприятии из того же сырья (образец №2).

На рисунке 2 представлены гистограммы распределения на фракции волокон по длине и величине средневзвешенной длины, определенные на лазерном анализаторе длины волокна Kajaani FS200 фирмы Metso; метод определения основан на лазерном сканировании водной волокнистой суспензии с высокой степенью разбавления, то есть определяется длина каждого волокна.

С целью упрощения анализа результатов фракционирования образцов макулатурной массы волокна по длине распределяли на три фракции:

- А – сумма мелких волокон (длина от 0 до 0.8 мм);
- В – сумма волокон средней длины (от 0.8 до 2.4 мм), на долю которых приходится от 54 до 61%;
- С – сумма длинных волокон (от 2.4 до 3.6 мм).

Результаты фракционирования на аппарате Kajaani использованных образцов приведены в таблице 1.

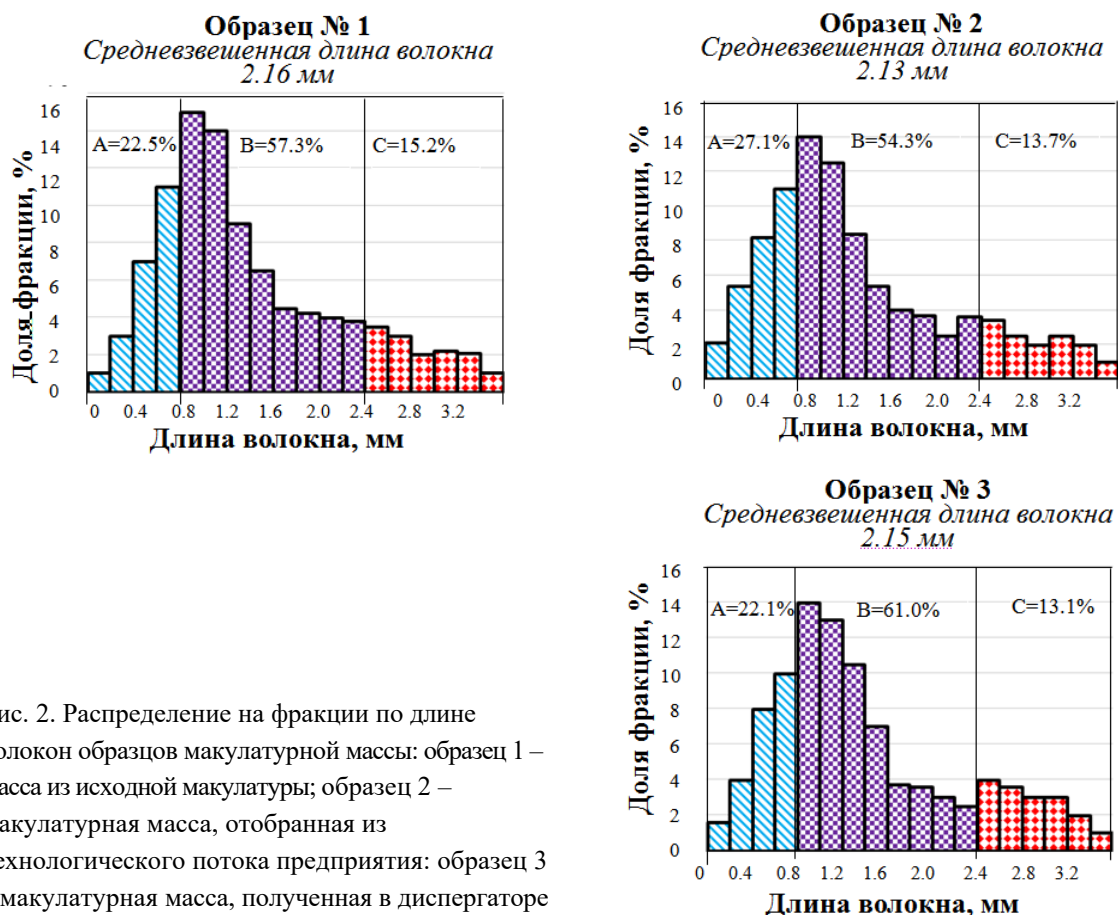


Рис. 2. Распределение на фракции по длине волокон образцов макулатурной массы: образец 1 – масса из исходной макулатуры; образец 2 – макулатурная масса, отобранная из технологического потока предприятия; образец 3 – макулатурная масса, полученная в диспергаторе

Таблица 1. Фракционный состав и средневзвешенная длина волокна сравниваемых образцов макулатурной массы

Показатели	Исходная макулатура	Механическая масса	
		из технологического потока	полученная после диспергатора
Номер образца	1	2	3
Средневзвешенная длина волокна, мм	2.16	2.13	2.15
Фракции волокна по длине, %:			
А – от 0 до 0.8 мм	22.5	27.1	22.1
В – от 0.8 до 2.4 мм	57.3	54.3	61.0
С – 2.4 до 3.6 мм	15.2	13.7	13.1

Как следует из приведенных данных, по средневзвешенной длине волокна сравниваемые образцы различаются незначительно, однако этот показатель выше для образца, полученного в диспергаторе (образец №3). Фракционный состав сравниваемых образцов несколько различен в зависимости от способа подготовки макулатурной массы.

При подготовке макулатурной массы на предприятии (образец №2) заметно увеличилось количество мелкой фракции; сократилось количество волокон средней длины, очевидно, за счет измельчения части волокон и перехода их в мелкую фракцию; таким же образом уменьшилась фракция длинных волокон.

При роспуске в диспергаторе (образец №3) количество мелкой фракции осталось без изменения; за счет уменьшения доли длинной фракции значительно увеличилось количество фракции средней длины (до 61%). Во всех трех образцах наибольшее количество (60–62%) составляют волокна длиной 0.4–1.6 мм (рис. 2).

При сравнении способов подготовки макулатурной массы установлено, что доля фракции длинных волокон изменяется одинаково в обоих случаях, а доля мелкой фракции заметно увеличивается в процессе, который проходил в производственных условиях. В случае использования диспергатора наибольшая доля приходится на волокна средней длины, т.е. получается более рациональное распределение волокон по длине.

В таблице 2 приведены показатели механической прочности сравниваемых образцов макулатурной массы. Поскольку макулатурная масса может быть использована как в производстве картона, так и бумаги для гофрирования, определены и показатели, нормируемые для флутинга. Все показатели механической прочности определены при одинаковых значениях степени помола.

Показатели средневзвешенной длины волокна определяли как на установке FS 200, так и на аппарате Иванова [17]. Как следует из приведенных данных, по абсолютной величине результаты определения на аппарате Иванова несколько выше, чем на установке Kajaani FS200. При определении любым способом величина длины волокна получается несколько выше в случае подготовки макулатурной массы с роспуском в диспергаторе. Соответственно, и все показатели механической прочности выше для этого образца макулатурной массы.

Таблица 2. Сравнительные характеристики исследованных образцов макулатуры

Образцы макулатурной массы	Степень помола, °ШР	Средневзвешенная длина волокна, мм		Показатели механической прочности бумаги из макулатурной массы					
		на установке Kajaani FS200	на аппарате Иванова	Разрывная длина, км	Удельное сопротивление разрыву, кН/м	Сопротивление			
						излому, ч.д.п.	продавливаю, кПа	плоткостному сжатию, Н	торцовому сжатию, кН/м
Из исходной макулатуры	23	2.16	2.33	5.73	5.99	1400	390	174	1.20
Отобранной из потока предприятия	24	2.13	2.25	5.58	5.52	1610	344	173	1.24
Распущенной в диспергаторе	23	2.15	2.30	5.95	5.96	1730	380	176	1.30
Бумага для гофрирования марки Б-0 (ГОСТ Р 53206)	28–35	–	–	–	≥6.0	–	≥195	≥180	≥0.8

Показатель удельного сопротивления разрыву всех образцов на нижнем уровне требований норм, т.к. этот показатель нормируется для машинного направления бумаги и картона, а мы в лабораторных условиях получаем отливки на листоотливном аппарате с равномерными показателями во всех направлениях.

Тема исследования весьма актуальная и в целом ряде институтов проводятся исследования по данному вопросу. Особенно привлекателен сухой способ диспергирования в переработке сложных целлюлозных материалов. Однако на сегодня ряд исследований с использованием различных видов диспергаторов привели к заключению, что при сухом роспуске волокнистых полуфабрикатов отмечается ухудшение качественных показателей распущенной целлюлозы из-за укорочения волокон, наличия узелков и сгустков неразбитой массы [18, 19]. Для повышения способности волокон к образованию межволоконных связей после сухого диспергирования целлюлозный материал обрабатывают водой или проводят дополнительный водный размол массы, что увеличивает время и энергоёмкость процесса [18, 19].

Результаты наших исследований показали, что в случае использования при подготовке макулатурной массы вместо традиционного оборудования аэродинамического диспергатора Хакимова сохраняется длина волокон макулатуры и все показатели этой массы превышают соответствующие показатели макулатурной массы производственного потока.

Таким образом, успехи в исследованиях по переработке макулатуры сухим способом очевидны и, кстати, весьма, уместно предложение «Курс на новые технологии» [20].

На рисунке 3 приведена схема подготовки макулатурной массы сухим способом с роспуском и сортированием в аэродинамическом диспергаторе.

Как следует из рисунка 3, схема подготовки ММ значительно упрощена, однако термодисперсионная установка, возможно, потребуется при диспергировании более загрязненных видов сырья и придания продукции из макулатуры необходимого внешнего вида [16].

Таким образом, использование в подготовке макулатурной массы аэродинамического диспергатора позволяет упростить технологическую схему подготовки макулатурной массы и улучшить экономические и экологические показатели производства при получении массы одинакового качества.

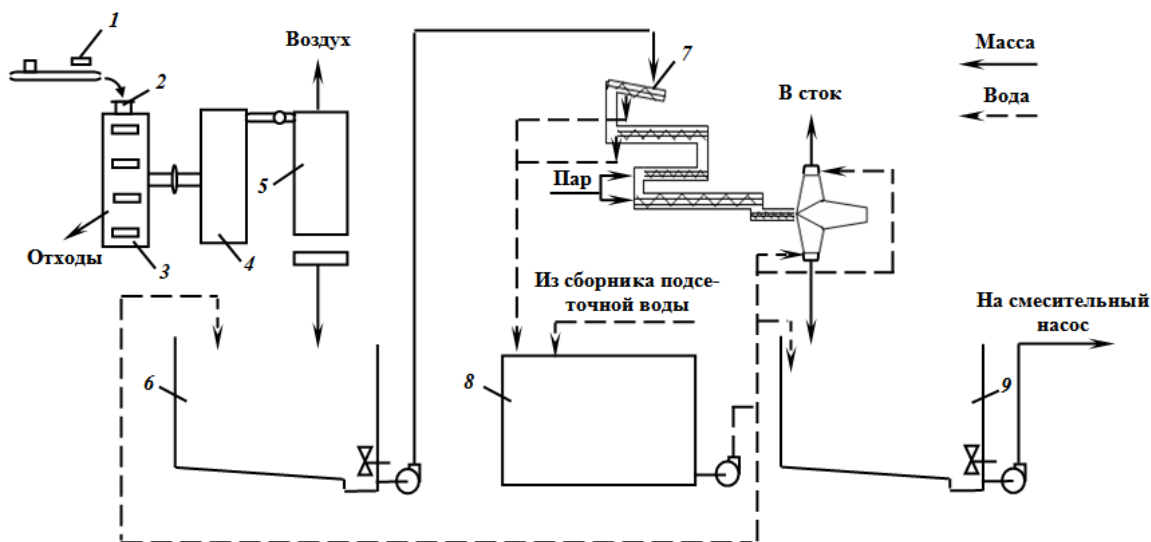


Рис. 3. Технологическая схема подготовки макулатурной массы сухим способом с использованием аэродинамического диспергатора: 1 – постоянный магнит; 2 – воронка диспергатора; 3 – диспергатор; 4 – вентилятор; 5 – циклон; 6 – промежуточный бассейн массы; 7 – термодисперсионная установка; 8 – сборник оборотной воды; 9 – бассейн готовой массы

Заключение

1. Показана возможность и целесообразность использования в переработке макулатуры из упаковочного материала – гофрокартона *нетрадиционной установки*, основным агрегатом которой является

аэродинамический диспергатор Хакимова – компактный многофункциональный аппарат, в котором одновременно происходят процессы роспуска макулатуры, сортирования и сепарации.

2. В случае роспуска макулатуры в диспергаторе предлагаемой конструкции сохраняется длина волокон макулатуры и все показатели механической прочности массы превышают соответствующие показатели макулатурной массы производственного потока из такой же макулатуры.

3. В подготовке макулатурной массы для производства бумаги и картона диспергатор заменяет гидроразбиватели и основную часть сортирующего оборудования, что значительно упрощает технологическую схему потока, снижает металлоемкость, повышает производительность системы, снижает расходы свежей воды и электроэнергии.

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. Дулькин Д.А., Ковернинский И.Н., Комаров В.И., Спиридонов В.Д. Мировые тенденции в развитии техники и технологии переработки макулатуры. Архангельск, 2002. 109 с.
2. Гончаренко В.Л., Боравский Б.В. Современное состояние и перспективы развития обращения упаковки и упаковочных отходов: отечественный и зарубежный опыт // Обзор информации ВИНТИ. Серия. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2002, №8. С. 16–30.
3. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. 1. Ч. 3. Сырье и производство полуфабрикатов. Производство полуфабрикатов. СПб, 2004. 316 с.
4. Хакимова Ф.Х., Хакимов Р.Р., Куликов Т.А. Утилизация и повторное использование древесных волокон из многослойной упаковки – гофрокартона // Химия. Экология. Урбанистика: материалы Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). Пермь, 2024. Т. 2. С. 118–121.
5. Бутовский М.Э. Пути утилизации отходов бумаги и картона // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2009. №1. С. 46–50.
6. Пен Р.З., Каретникова Н.В. Технология древесной и макулатурной массы. Красноярск, 2008. 346 с.
7. Зиновьев Л.В. Вполне перерабатываемый Tetra Pak // Твердые бытовые отходы. 2019. №5.
8. Акулов Б.В., Хакимова Ф.Х., Ковтун Т.Н., Хакимов Р.Р. Исследование возможности роспуска газетной макулатуры полусухим способом // Химия растительного сырья. 2010. №3. С. 167–172.
9. Патент №2759321 (РФ). Диспергатор / Р.Х. Хакимов. – 11.11.2021.
10. 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. <https://doi.org/10.14258/jcprgm.2018033698>.
11. Хакимова Ф.Х., Хакимов Р.Р., Куликов Т.А. Совершенствование технологии переработки макулатуры в производстве бумаги и картона // Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации – 2023: материалы XXIV Всероссийской научно-технической конференции. Пермь, 2023. С. 227–229.
12. Хакимова Ф.Х., Прохоров А.Г., Хакимов Р.Р. Совершенствование технологии рекуперации газетной макулатуры с использованием современного оборудования // Сборник научных статей по материалам XII Международной научно-практической конференции. Актуальные проблемы науки и техники. Уфа, 2023. С. 55–64.
13. Мидуков Н.П., Лялина Ю.А., Куров В.С., Смолин А.С. Морфологические свойства волокон сухого способа подготовки макулатуры при производстве картона // Химия растительного сырья. 2020. №1. С. 365–372. <https://doi.org/10.14258/jcprgm.2020014821>.
14. Мидуков Н.П., Ефремов Д.С., Санников А.В., Зимин Р.А., Куров В.С. Разработка и промышленное внедрение технологии подготовки макулатуры сухим способом при производстве тест-лайнера // Гофроиндустрия на современном этапе развития. XVII международная научно-практическая конференция. СПб, 2018. С. 59–63.
15. Лыченко А.А. Применение сухого диспергирования отходов производства бумаги и бумажной продукции в процессе массоподготовки: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2017. 18 с.
16. Ванчаков М.В., Кулешов А.В., Коновалова Г.Н. Технология и оборудование для переработки макулатуры. Ч. 1: учебное пособие. СПб, 2011. 119 с.

17. Дубовый В.К., Гурьев А.В., Казаков Я.В. и др. Лабораторный практикум по технологии бумаги и картона: учеб. пособие. СПб, 2006. 230 с.
18. Малиновская Г.К., Смирнова Е.Г. Диспергирование целлюлозных материалов аэродинамическим способом // Химия растительного сырья. 2023. №3. С. 329–336.
19. 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. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020046956>.
20. Чуйко В.А. Курс – на новые технологии // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2015. №10. С. 5–11.

Поступила в редакцию 16 апреля 2025 г.

После переработки 30 июня 2025 г.

Принята к публикации 2 марта 2026 г.

*Khakimova F.Kh.**, *Noskova O.A.*, *Khakimov V.R.*, *Prokhorov A.G.* RECYCLING OF RECYCLED MATERIALS FROM MULTILAYER PACKAGING – CORRUGATED CARDBOARD

Perm National Research Polytechnic University, ave. Komsomolskiy, 29, Perm, 614990, Russia, tcbp@pstu.ru

The possibility and expediency of improving the technology of recycling paper and cardboard waste paper by transferring to a dry method of dispersion to obtain fibrous mass has been studied. Dispersion of waste paper is the most important operation of fibrous waste preparation as a secondary raw material of paper production. Modernisation of the processes of utilisation and return to production of fibrous waste (waste paper) is aimed at solving the most important task of the industry – to increase the environmental friendliness and efficiency of recycling processes of secondary raw materials. The dry method of dispersion of cellulose semi-finished products and secondary raw materials has long attracted the attention of specialists as the most environmentally friendly and energy-saving. In industrial conditions, the first steps are being made towards the realization of the dry method of waste paper recycling – there are still few enterprises in Russia that recycle waste paper by dry method. In order to accelerate the processes of realisation of modern effective dry method of waste paper recycling it is proposed to include in the technological scheme of the process a new universal multifunctional apparatus - aerodynamic disperser designed for dissolution (dispersing) of waste paper. Features of the apparatus - simultaneously with dissolution of raw materials the apparatus provides sorting of the received waste paper mass with separation of particles with greater inertia than fibre and only single fibres are taken out of the apparatus. In case of waste paper pulping from multilayer corrugated cardboard in the disperser of the proposed design the length of fibres of waste paper is preserved and all indicators of mechanical strength of fibrous waste paper mass exceed the corresponding indicators of mass of the production flow from the same waste paper. At the same time, the disperser replaces the main part of sorting equipment, which significantly simplifies the technological scheme of the flow, reduces the costs of fresh water and electricity.

Keywords: paper, packaging, recycling, fibre mass, dry pulping, aerodynamic disperser, technological scheme, economy, ecology.

For citing: Khakimova F.Kh., Noskova O.A., Khakimov V.R., Prokhorov A.G. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2026, no. 2, pp. 409–416. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20260217239>.

References

1. Dul'kin D.A., Koverninskiy I.N., Komarov V.I., Spiridonov V.D. *Mirovyie tendentsii v razvitiitekhniki i tekhnologii pererabotki makulatury*. [World trends in the development of equipment and technology for processing waste paper]. Arkhangel'sk, 2002, 109 p. (in Russ.).
2. Goncharenko V.L., Boravskiy B.V. *Obzor informatsii VINITI. Seriya. Problemy okruzhayushchey sredy i prirodnykh resursov*, 2002, no. 8, pp. 16–30. (in Russ.).
3. *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. V 3 t. T. 1. Ch. 3. Syr'ye i proizvodstvo polufabrikatov. Proizvodstvo polufabrikatov*. [Pulp and paper production technology. In 3 volumes. Vol. 1. Part 3. Raw materials and production of semi-finished products. Production of semi-finished products]. St. Petersburg, 2004, 316 p. (in Russ.).
4. Khakimova F.Kh., Khakimov R.R., Kulikov T.A. *Khimiya. Ekologiya. Urbanistika: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (s mezhduнародным uchastiyem)*. [Chemistry. Ecology. Urban studies: proceedings of the All-Russian scientific and practical conference (with international participation)]. Perm, 2024, vol. 2, pp. 118–121. (in Russ.).
5. Butovskiy M.E. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2009, no. 1, pp. 46–50. (in Russ.).

* Corresponding author.

6. Pen R.Z., Karetnikova N.V. *Tekhnologiya drevesnoy i makulturnoy massy*. [Technology of wood and waste paper pulp]. Krasnoyarsk, 2008, 346 p. (in Russ.).
7. Zinov'yev L.V. *Tverdye bytovyye otkhody*, 2019, no. 5. (in Russ.).
8. Akulov B.V., Khakimova F.Kh., Kovtun T.N., Khakimov R.R. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2010, no. 3, pp. 167–172. (in Russ.).
9. Patent 2759321 (RU). 11.11.2021. (in Russ.).
10. Midukov N.P., Yefremov D.S., Kurov V.S., Smolin A.S. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, no. 3, pp. 279–286. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2018033698>. (in Russ.).
11. Khakimova F.Kh., Khakimov R.R., Kulikov T.A. *Aerokosmicheskaya tekhnika, vysokiye tekhnologii i innovatsii – 2023: materialy XXIV Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. [Aerospace technology, high technology and innovation – 2023: proceedings of the XXIV All-Russian scientific and technical conference]. Perm, 2023, pp. 227–229. (in Russ.).
12. Khakimova F.Kh., Prokhorov A.G., Khakimov R.R. *Sbornik nauchnykh statey po materialam XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Aktual'nyye problemy nauki i tekhniki*. [Collection of scientific articles based on the materials of the XII International Scientific and Practical Conference. Actual problems of science and technology]. Ufa, 2023, pp. 55–64. (in Russ.).
13. Midukov N.P., Lyalina Yu.A., Kurov V.S., Smolin A.S. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2020, no. 1, pp. 365–372. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020014821>. (in Russ.).
14. Midukov N.P., Yefremov D.S., Sannikov A.V., Zimin R.A., Kurov V.S. *Gofroindustriya na sovremennoy etape razvitiya. XVII mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. [Corrugated industry at the current stage of development. XVII international scientific and practical conference]. St. Petersburg, 2018, pp. 59–63. (in Russ.).
15. Lychenko A.A. *Primeneniye sukhogo dispergirovaniya otkhodov proizvodstva bumagi i bumazhnoy produktitsii v protsesse massopodgotovki: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk*. [Application of dry dispersion of waste from the production of paper and paper products in the process of stock preparation: author's dis. ... cand. tech. sciences]. Arkhangel'sk, 2017, 18 p. (in Russ.).
16. Vanchakov M.V., Kuleshov A.V., Konovalova G.N. *Tekhnologiya i oborudovaniye dlya pererabotki makulatury. Ch. 1: uchebnoye posobiye*. [Technology and equipment for waste paper processing. Part 1: textbook]. St. Petersburg, 2011, 119 p. (in Russ.).
17. Dubovyy V.K., Gur'yev A.V., Kazakov Ya.V. i dr. *Laboratornyy praktikum po tekhnologii bumagi i kartona: ucheb. posobiye*. [Laboratory practical training in paper and cardboard technology: textbook]. St. Petersburg, 2006, 230 p. (in Russ.).
18. Malinovskaya G.K., Smirnova Ye.G. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2023, no. 3, pp. 329–336. (in Russ.).
19. Shrayner T., Grossmann Kh., Midukov N.P., Kurov V.S., Smolin A.S. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 251–260. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020046956>. (in Russ.).
20. Chuyko V.A. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2015, no. 10, pp. 5–11. (in Russ.).

Received April 16, 2025

Revised June 30, 2025

Accepted March 2, 2026

Сведения об авторах

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

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

Хакимов Вячеслав Рашидович – аспирант, tcbp@pstu.ru

Прохоров Андрус Гедрысович – аспирант, andrus89@mail.ru

Information about authors

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

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

Khakimov Vyacheslav Rashidovich – Postgraduate Student, tcbp@pstu.ru

Prokhorov Andryus Gedryusovich – Postgraduate Student, andrus89@mail.ru