

М.А. Мидукова, Е.Г. Смирнова, А.С. Смолин

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФЛОТАЦИИ МАКУЛАТУРЫ ИЗ ОФИСНОЙ БУМАГИ

Введение. Актуальность очистки макулатуры от печатной краски, чернил и тонера в России подтверждается ростом коэффициента использования вторичных волокон. На сегодняшний день он составляет около 73%. В Европе коэффициент использования в среднем составляет 75% [Мальцева, 2018]. Заметная часть санитарно-гигиенических видов бумаги, офисной бумаги и т. п. в Европе производится из вторичного сырья [State..., 2018].

Нужно отметить, что в России переработка макулатуры динамично развивается. Несмотря на то, что в нашей стране слабо развито производство оборудования для подготовки макулатуры, технологические аспекты подготовки вторичного сырья изучены достаточно хорошо и по-прежнему актуальны [Ванчаков и др. 2019; Жирнова и др. 2015]. В условиях дефицита макулатуры из белых сортов бумаги важной стадией подготовки является «деинкинг» (процесс удаления чернил, краски, тонера).

Процесс «деинкинга» макулатуры, в основном, осуществляется флотацией, которая повышает белизну готовой продукции до уровня 80–85%. Однако при этом расходуется большое количество воды (на 0,5–1 кг абсолютно сухого волокна приходится 100 кг воды), кроме того, добавляются дорогостоящие химикаты, в частности, поверхностно-активные вещества, либо используются ферменты [Новожилов, 2013]. Наибольшие трудности возникают при флотировании офисной макулатуры, где тонер наносится на бумагу и закрепляется на ней при высокой температуре, создавая прочные связи с целлюлозными волокнами, что повышает расход химикатов.

Одним из способов снижения расхода химикатов при флотации может быть повышение площади контакта реагентов с тонером, зафиксированным на целлюлозных волокнах. Площадь контакта может быть увеличена с помощью предварительного сухого диспергирования, которое равномерно распределяет запечатанные целлюлозные волокна, перемешивая их в воздушном потоке. Сухое диспергирование целлюлозных волокон применяет-

ся при производстве различных видов бумаги [Дробосюк, 2011], а также для получения особых видов волокнистых материалов [Мидуков и др., 2017, Schrinner 2015]. В [Мидуков, 2018] предложено использовать сухое диспергирование макулатуры для получения многослойного тест-лайнера. Влияние сухого диспергирования макулатуры белых сортов бумаги, содержащих тонер на эффективность процесса «деинкинг» ранее не исследовалось. Поэтому целью данной работы является оценка эффективности двухстадийного диспергирования макулатуры МС-7Б, путём сопоставления вкраплений тонера в образцах бумаги, полученной стандартной флотацией. Кроме того, необходимо оценить влияние предлагаемого способа сухого диспергирования перед стандартной флотацией на механические свойства образцов.

Методика исследования. Объект исследования – макулатура марки МС-7Б (в эту категорию входят офисная, писче-печатная виды бумаги). В экспериментальном исследовании использовалась офисная бумага марки «Svetosory» производства ЗАО «International Paper» (г. Светогорск) с печатью, так как удаление тонера с офисной бумаги, нанесённого лазерной печатью, более сложный и затратный процесс. Печать на бумагу наносилась с помощью лазерного принтера «Canon image runner 3520i». Использовалась макулатура с разным уровнем запечатанности с одной стороны бумаги: 2,5%, 3,9, 8,2, 60% (рис. 1). Уровень запечатанности офисной макулатуры определяли с помощью программы «IpSquare v5.0 for Windows» как отношение площади запечатанной области к общей площади листа (в %).

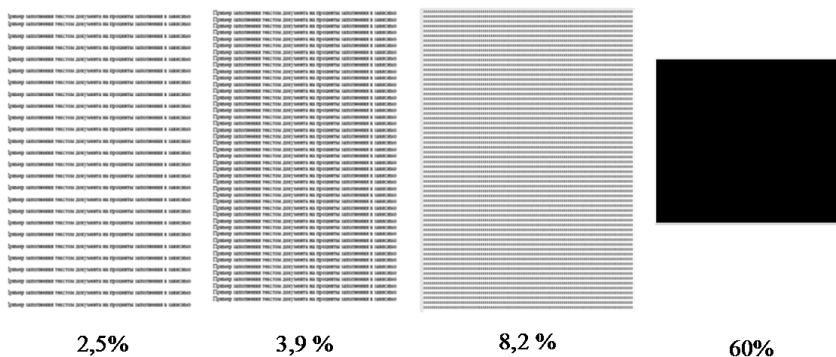


Рис. 1. Офисная макулатура разного уровня запечатанности
Fig. 1. Office recovered paper of different grade of tonered area

Измельчение воздушно-сухой макулатуры осуществлялось на лабораторном стенде для изготовления непрерывного полотна бумаги методом аэродинамического формования в два этапа: на первом этапе листы разрезались на полосы размером 294×15 мм, на втором – полосы диспергировались на волокна.

После измельчения сухие волокна подавались в лабораторный гидроразбиватель, где распускались. В процессе роспуска в первую минуту в гидроразбиватель подавались химикаты: гидроксид натрия, силикат натрия, олеиновая кислота, пероксид водорода. Роспуск проводился при pH раствора 8,0–10,0 в течение 2–5 минут. Затем макулатурная масса подавалась на флотацию, где была разбавлена до концентрации 0,5–1,2%. Время флотации составило 8–10 мин. После флотации из макулатурной массы изготавливали образцы бумаги массой 1 м^2 80 ± 2 г на аппарате Рапид-Кеттен по стандарту ISO 5269-2. Белизну образцов бумаги определяли по ГОСТ 30113–94, разрушающее усилие – по ISO 1924/2, сопротивления продавливанию по ISO 2758, шероховатость – по ISO 8791-4.

Образцы бумаги, полученные из макулатурной массы, обогороженной с помощью флотации с предварительным сухим диспергированием волокон, сравнивались на предмет наличия «вкраплений тонера» с образцами бумаги, полученными из макулатурной массы обогороженной стандартной флотацией в соответствии с методом, общепринятым в Европе для облагораживания макулатуры [INGEDE..., 2015].

Результаты исследования. Наличие вкраплений тонера в образцах бумаги, полученных из макулатуры, обогороженной стандартным методом флотации и стандартным методом флотации с предварительным измельчением и диспергированием макулатуры сухим способом, заметно отличается (рис. 2, а, б).

Измельчение офисной макулатуры и её диспергирование на волокна сухим способом позволяет повысить поверхность взаимодействия целлюлозных волокон, содержащих тонер, с химическими реагентами и водой. Поэтому, несмотря на сокращение времени роспуска с 20 до 5 мин, реагенты и вода быстрее и в полной мере проникают в области волокна, где находится тонер. Кроме того, при сухом диспергировании происходит аэродинамическое перемешивание волокон, содержащих тонер, вследствие чего его частицы равномерно распределяются по площади волокон. Таким образом, снижается остаточное количество тонера в виде «крапинок» при «деинкинге» офисной макулатуры, в которой содержатся области печати, нанесённые на лазерном принтере.

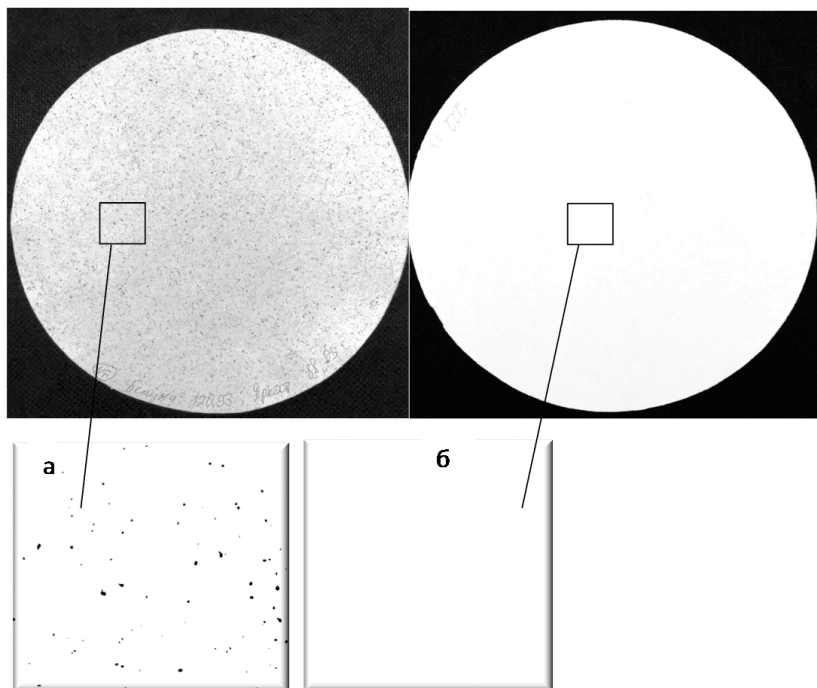


Рис. 2. Образцы бумаги, полученные из макулатурной массы, облагороженной с помощью стандартной флотации (а) и с помощью стандартной флотации с предварительным измельчением и диспергированием сухим способом (б)

Fig. 2. Paper samples obtained from recovered paper deinked with flotation (a); flotation with pre-grinding and dry dispersion (b)

Важным условием целесообразности применения предлагаемого способа флотации с предварительным измельчением макулатуры в две стадии является сохранение механических и оптических показателей. Свойства образцов бумаги представлены в таблице.

Как видим из таблицы, разрушающее усилие образцов бумаги после флотации с предварительным сухим диспергированием практически не зависит от уровня запечатанности макулатуры, а белизна образцов снижается. Однако даже при 60%-й запечатанности макулатуры белизна образцов бумаги остается на уровне 80%, что приемлемо для производства санитарно-гигиенических видов бумаг, писче-печатных и плоского слоя гофрокартона с белым покрывным слоем.

**Свойства образцов бумаги, полученных предлагаемым способом
деинкинга**

Properties of paper samples obtained by the proposed deinking method

Параметры	Уровень запечатанности макулатуры, %			
	2,5	3,9	8,2	60
Время роспуска, мин	2	2	3	5
Разрушающее усилие, Н	42,6	48,7	44,3	48,3
Белизна, %	94	93	91	80

Сухое диспергирование макулатуры перед флотацией приводит к небольшому повышению сопротивления продавливанию образцов бумаги на 9,3 и 4,7% соответственно для макулатуры со степенью запечатанности 2,5 и 3,9%.

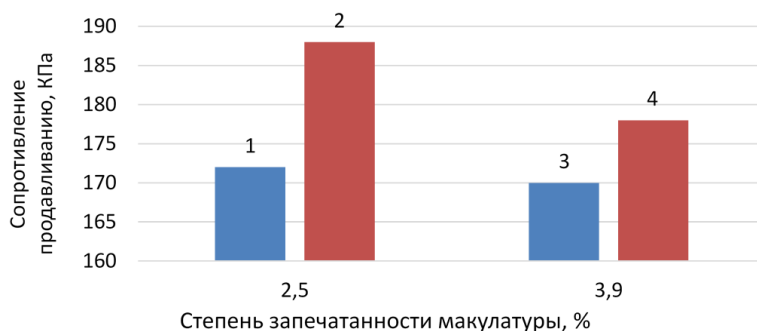


Рис. 3. Влияние предварительного сухого диспергирования на сопротивление продавливанию образцов (при уровне запечатанности в 2,5 и 3,9%):

- 1, 3 – образцы, полученные из флотированной массы;
- 2, 4 – образцы, полученные из флотированной массы с предварительным сухим диспергированием

Fig. 3. Influence dry defibration resistance strength of samples (at toned area of 2.5 and 3.9%):

- 1, 3 – samples obtained from floated stock;
- 2, 4 – samples obtained from flotated stock with dry dispersion

Выводы. Таким образом, в результате проведения экспериментального исследования по совершенствованию технологии подготовки макулатурной массы из офисной макулатуры путем предварительного сухого диспергирования в две стадии установлено следующее:

- наличие вкраплений тонера в образцах бумаги, полученной из макулатуры марки МС-7Б, облагороженной флотацией с предварительным двухстадийным сухим диспергированием, практически отсутствует, в отличие от образцов бумаги из макулатуры, облагороженной стандартной флотацией;
- разрушающее усилие образцов бумаги после флотации с предварительным сухим диспергированием практически не зависит от уровня запечатанности макулатуры;
- предварительное сухое диспергирование макулатуры марки МС-7Б перед флотацией способствует повышению сопротивления продавливанию образцов бумаги.

Положительный эффект, заключающийся в отсутствии вкраплений тонера при сухом диспергировании, связан с тем, что предлагаемый способ позволяет распустить всю макулатуру на отдельные волокна и интенсивно перемешать их в воздушной среде. Тогда как при традиционной флотации в водной среде присутствуют нераспущенные пучки волокон, на которых есть тонер, поэтому визуально наблюдается их присутствие. Перемешивание в водной среде менее интенсивное, чем в воздушной.

Сведения о финансировании исследования и благодарности. Работа выполнялась в рамках второго года учебы в аспирантуре на кафедре технологии бумаги и картона Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД. Авторы статьи благодарят центр коллективного пользования «Биорефайнинг древесины и нанотехнологии», созданного на базе кафедры технологии целлюлозы и композиционных материалов, за использование оборудования по контролю качества образцов бумаги.

Библиографический список

Ванчаков М.В., Кулешов А.В., Александров А.В., Гаузе А.А. Технология и оборудование переработки макулатуры / ВШТЭ СПбГУПТД. СПб, 2019. Ч. 1. 107 с.

Дробосюк В.М. Технология изготовления бумаги аэродинамическим способом / СПбГТУРП. СПб., 2011. 56 с.

Жирнова И.М., Севастьянова Ю.В., Дулькин Д.А. Электрокинетические свойства вторичных полуфабрикатов. Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов : матер. III науч.-практ. конф. Архангельск, 2015. С. 177–181.

Мальцева О.Н. Проблемы очистки макулатуры от краски и клея. Твердые бытовые отходы // Отраслевые ведомости. 2018. № 12. С. 43–44.

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. 22–26.

Мидуков Н.П., Куров В.С., Смолин А.С. Производство многослойного картона тест-лайнера с белым слоем. СПб.: Изд.-полиграф. ассоц. высш. учеб. завед., 2018.

Новожилов Е.В. Применение ферментных технологий в целлюлозно-бумажной промышленности: моногр. / САФУ. Архангельск, 2013.

INGEDE Method 7: Visual Inspection for Recovered Paper for Deinking, Unbaled Delivery. PaperCon. 2015. URL: www.ingede.org

Schrinner T., Gailat T., Grossmann H. Dry Defibration – A waterless preparation process for difficult to recycle paper and board products // TAPPI. 2015.

State of the global paper industry. Full report. Environmental paper network, 2018. 90 p. URL: <https://environmentalpaper.org>

References

Drobosyuk V.M. Technology of paper production by aerodynamic method. SPbGTURP. St. Petersburg, 2011. 56 p. (In Russ.)

INGEDE Method 7: Visual Inspection for Recovered Paper for Deinking, Unbaled Delivery. PaperCon. 2015. URL: www.ingede.org.

Maltseva O.N. Problems of cleaning waste paper from paint and glue. Solid household waste. *Industry statements*, 2018, no. 12, pp. 43–44. (In Russ.)

Midukov N.P., Efremkina P.A., Malinovskaya G.K., Kurov V.S., Smolin A.S. Preparation of a three-layer white liner from secondary fibers by aerodynamic molding. *Chemical fibers*, 2017, no. 1, pp. 22–26. (In Russ.)

Midukov N.P., Kurov V.C., Smolin A.S. Production of multilayer cardboard test-liner with white layer. St. Petersburg: Publishing and Printing Association of Higher Education Institutions, 2018. (In Russ.)

Novozhilov E.V. Application of enzyme technologies in the pulp and paper industry: monograph. SAFU. Arkhangelsk, 2013. (In Russ.)

Schrinner T., Gailat T., Grossmann H. Dry Defibration – A waterless preparation process for difficult to recycle paper and board products. *TAPPI*, 2015.

State of the global paper industry. Full report. Environmental paper network, 2018. 90 p. URL: <https://environmentalpaper.org>

Vanchakov M.V., Kuleshov A.V., Alexandrov A.V., Gauze A.A. Waste paper processing technology and equipment: training manual / HShTE SPbGUPTD. St. Petersburg, 2019. part 1. 107 p. (In Russ.)

Zhirnova I.M., Sevastyanova Yu.V., Dulkan D.A. Electro kinetic properties of secondary semi-finished products. *Problems in the mechanics of pulp and paper materials* : materials III scientific. conf. Arkhangelsk, 2015, pp. 177–181. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 01.07.2021

Мидукова М.А., Смирнова Е.Г., Смолин А.С. Совершенствование технологии флотации макулатуры из офисной бумаги. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 238. С. 267–275. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.267-275

Исследована возможность повысить эффективность очистки макулатуры марки МС-7Б от тонера, нанесённого на лазерном принтере путём сухого двухстадийного диспергирования перед флотацией. Использовалась макулатура с разным уровнем запечатанности с одной стороны бумаги: 2,5%, 3,9, 8,2, 60%. Степень запечатанности офисной макулатуры определяли с помощью программы «lpSquare v5.0 for Windows» как отношение площади запечатанной области к общей площади листа (в %). Уровень очистки макулатуры от вкраплений тонера определяли с помощью графической программы, которая позволяла установить площадь области чёрного цвета. Установлено, что разработанная технология подготовки макулатурной массы, включающая двухстадийное сухое диспергирование и последующую флотацию, эффективно удаляет вкрапления тонера в образцах бумаги. Вкрапления тонера в образцах бумаги, полученной из макулатуры облагороженной флотацией с предварительным двухстадийным сухим диспергированием, практически отсутствуют, в отличие от образцов бумаги из макулатуры, облагороженной стандартной флотацией. Оценка механических свойств образцов бумаги осуществлялась по изменению показателей – сопротивления продавливанию и сопротивления разрыву. Показано, что подготовка макулатурной массы методом флотации с предварительным сухим диспергированием способствует небольшому повышению механических показателей образцов бумаги. Механические показатели образцов бумаги практически не зависят от уровня запечатанности макулатуры.

Ключевые слова: макулатура, сухое диспергирование, флотация, оптические и механические показатели, деинкинг.

Midukova M.A., Smirnova E.G., Smolin A.S. Improving of deinking technology of printing recovered paper. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2022, iss. 238, pp. 267–275 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.267-275

The possibility of improving the efficiency of deinking «МС-7Б» grade recovered paper from toner applied on a laser printer by dry two-stage dispersion before flotation was investigated. Recovered paper was used with a different level of toner print on one side of the paper: 2.5%; 3.9%; 8.2%; 60%. The degree of toner prints of office recovered paper was determined by the program «lpSquare v5.0 for Windows» as the ratio of the area of the printed area to the total area of the sheet in %. The level of cleaning recovered paper from toner embossments was determined using a graphic program that made it possible to establish the area of the black area. It has been found

that the developed recovered paper stock preparation technology involving two-stage dry dispersion and subsequent flotation effectively removes toner print area in paper samples. Toner print area in samples of paper obtained from floated recovered paper with preliminary two-stage dry dispersion are practically absent, unlike samples of paper from recovered paper ennobled with standard flotation. Assessment of mechanical properties of paper samples was carried out by changing the values of bursting and tinsel strength. It is shown that preparation of recovered paper stock by method of flotation with preliminary dry dispersion contributes to small increase of mechanical indices of paper samples. The mechanical properties of paper samples practically does not depend on the level of toner print area of recovered paper.

Key words: recovered paper, dry dispersion, flotation, optical and mechanical parameters, deinking

МИДУКОВА Мария Александровна – аспирант кафедры технологии бумаги и картона ВШТЭ СПбГУПТД.

198095. E-mail: maria.tikhomirova.92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1916-4104>

MIDUKOVA Maria A. – PhD student of the Department of Paper and Cardboard Technology, HSTE SPbGUPTD.

198095. E-mail: maria.tikhomirova.92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1916-4104>

СМИРНОВА Екатерина Григорьевна – профессор, зав. кафедры технологии бумаги и картона ВШТЭ СПбГУПТД, доктор технических наук.

198095. E-mail: smirnovalta@gmail.com

SMIRNOVA Ekaterina G. – Professor, DSc (Technical), Head of the Department of Paper and Cardboard Technology, HSTE SPbGUPTD,

198095. E-mail: smirnovalta@gmail.com

СМОЛИН Александр Семенович – профессор Санкт-Петербургского университета промышленной технологии и дизайна, доктор технических наук.

198095, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: smolin@grup.spb.ru

SMOLIN Alexander S. – DSc (Technical), Professor of St-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.

198095. Ivan Chernykh str. 4. St. Petersburg. Russia. E-mail: smolin@grup.spb.ru