

## РЕЦИКЛИНГ ОТХОДОВ ЖИРОВЛАГОСТОЙКОЙ БУМАГИ С КОМБИНИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПРОКЛЕЙКОЙ

А.А. Пенкин<sup>1</sup>, Я.В. Казаков<sup>2</sup>, А.О. Новиков<sup>3</sup>, А.Н. Кашин<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

<sup>3</sup>УП «Бумажная фабрика» Гознака, Борисов, Беларусь

*Исследован процесс рециклинга отходов влагостойкой жировлагостойкой бумаги с поверхностной проклейкой комбинированными составами на основе окисленного крахмала с добавкой короткоцепочечного фторсодержащего полимера (PFOA-free C6 technology). Показано, что применение системы «окислитель – смачиватель» в определенных температурно-щелочных условиях позволяет более чем в два раза сократить продолжительность роспуска бумажных отходов без ухудшения структурно-морфологических свойств получаемого вторичного волокна*

## RECYCLING OF OIL AND GREASE RESISTANT PAPER WITH WET-STRENGTH PROPERTIES

А.А. Penkin<sup>1</sup>, Y.V. Kazakov<sup>2</sup>, A.O. Novikov<sup>3</sup>, A.N. Kashin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Belarusian state technological university, Minsk, Belarus

<sup>2</sup>Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

<sup>3</sup>UE «Paper-mill» of Goznak, Borisov, Belarus

*The present investigation focuses on the process of oil and grease resistant paper repulping. Recycled wet-strength paper has been surface sized with combined formulations based on oxidized starch and short chain fluorinated polymer (so-called PFOA-free C6 technology). The obtained results clearly indicate that the use of the «oxidizing agent – wetting agent» system under certain thermo-alkaline conditions lead to decline repulping time by more than two times without deterioration of secondary fiber morphological characteristics*

Упаковочные виды бумаги и картона в настоящее время относятся к наиболее динамично развивающимся секторам картонно-бумажного производства. Одним из востребованных в различных отраслях промышленности упаковочных материалов является бумага, обладающая высокими барьерными свойствами, в частности, жировлагостойкая бумага. Она используется для автоматического и ручного упаковывания пищевых продуктов с высоким содержанием влаги и жира, продуктов в замороженном виде, бакалейной и парфюмерно-косметической продукции, товаров бытовой химии, промышленных товаров, для выстилания внутренней поверхности и изготовления комбинированной упаковки и пр.

Выпускаемая в Республике Беларусь жировлагостойкая бумага производится на основе смеси, состоящей из 100 % дорогостоящих беленых первичных полуфабрикатов – целлюлозы сульфатной хвойной и целлюлозы сульфатной лиственной. Высокие барьерные свойства бумаге придаются путем ее поверхностной проклейки комбинированными составами на основе окисленного крахмала с добавкой специального компонента для придания жиростойкости. В качестве последнего используется короткоцепочечный фторсодержащий полимер, не выделяющий перфтороктановой кислоты (PFOA-free C6 technology) и удовлетворяющий требованиям безопасности к материалам, контактирующим с пищевыми продуктами, FDA 21 CFR 176.170 и BfR XXXVI. Принцип действия данного репеллента, в отличие от пленкообразующих материалов, создающих физический барьер к проникновению жидкостей, основан на значительном снижении поверхностной энергии бумаги и, соответственно, ухудшении ее смачивания (увеличении краевого угла смачивания) [1]. Для придания повышенных эксплуатационных свойств, а именно, влагопрочности, в композиционном составе жировлагостойкой бумаги используется полиамидаминэпихлоргидриновая смола. Таким образом, неизбежно образующиеся в производственном цикле технологические отходы жировлагостойкой бумаги, с одной стороны представляют несомненный интерес, так как изготавливаются из высококачественных и дорогих волокнистых полуфабрикатов, а с другой стороны, ввиду плохой смачиваемости и повышенной влагопрочности, требуют подбора особых условий для их эффективной переработки, что и являлось целью данной работы.

Для достижения поставленной цели необходимо было одновременно решить две задачи, обусловленные вышеотмеченными технологическими особенностями производства и свойств жировлагостойкой бумаги: во-первых, существенно снизить прочность бумажных отходов во влажном состоянии в процессе их непосредственной переработки на этапе роспуска, во-вторых, заметно улучшить при этом смачиваемость их поверхности водой.

Снижение влагопрочности бумажных отходов в процессе их роспуска существенно сокращает его продолжительность, уменьшает расход электроэнергии, увеличивает производительность соответствующего технологического оборудования. Сокращение продолжительности роспуска также может сопровождаться повышением качества получаемого вторичного волокна – улучшением фактора формы волокон, уменьшением количества изломов волокна, уменьшением доли мелочи. Для снижения влагопрочности

бумажных отходов в процессе их роспуска использованы добавки, вызывающие окислительную деструкцию влагопрочной смолы, но практически не оказывающие негативного воздействия на главные компоненты клеточной стенки вторичного волокна. В частности, в качестве такой добавки применен химически активированный персульфат, хорошо зарекомендовавший себя при переработке влагопрочной макулатуры, содержащей полиамид-минэпихлоргидриновые смолы [2, 3].

Улучшение смачиваемости бумажных отходов обеспечивает ускоренный транспорт окислительных реагентов вглубь бумажного полотна и увеличивает эффективность их применения. Для улучшения смачиваемости перерабатываемых отходов могут быть использованы различные виды поверхностно-активных веществ (смачивателей) [4]. Основными критериями для предварительного отбора подходящих смачивателей являлись следующие требования: низкая пенообразующая способность, устойчивость к действию окислителей, возможность «работы» в щелочной среде, низкий расход и индифферентность по отношению к химикатам мокрой части и одежде бумагоделательной машины.

На рис. 1 представлено влияние температурно-щелочных условий, смачивателя и системы «окислитель – смачиватель» на динамику процесса роспуска отходов жировлагостойкой бумаги в лабораторном гидроразбивателе.

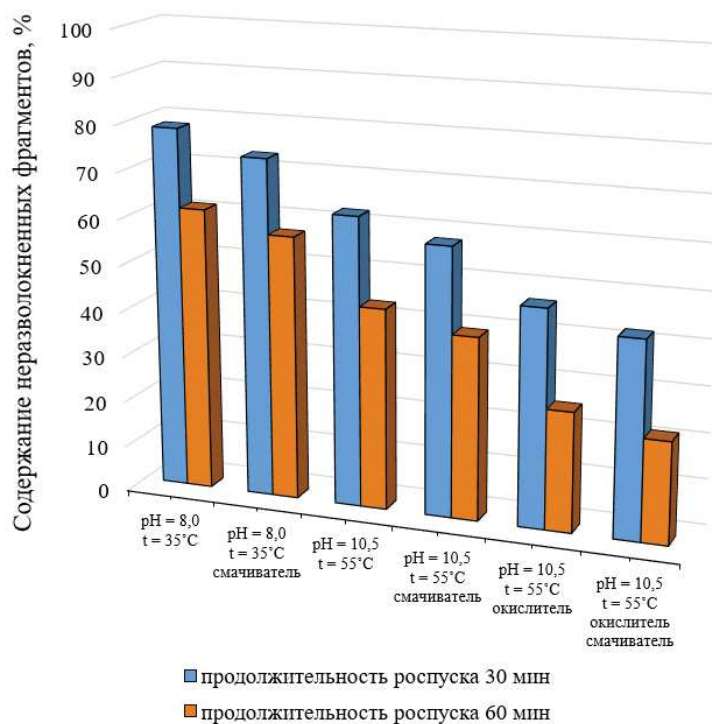


Рис. 1. Влияние температурно-щелочных условий, смачивателя и системы «окислитель – смачиватель» на процесс роспуска отходов жировлагостойкой бумаги

Как видно из рис.1, температурно-щелочные условия оказывают значительное влияние на эффективность роспуска жировлагостойкой бумаги. Повышение рН и температуры в ванне гидроразбивателя соответственно с 8,0 и 35 °С до 10,5 и 55 °С приводит к снижению содержания неразволокненных фрагментов в получаемой бумажной массе при роспуске в течение 60 мин. с 62 до 44 %. Применение окислителя способствует дальнейшему снижению доли хлопьев до 26 %, использование системы «окислитель – смачиватель» – до 22 %. При этом также наблюдается улучшение качественной стороны процесса роспуска, а именно, визуальное уменьшение размера хлопьев. Это имеет практическую значимость, так как исключается риск забивания отверстий в сите гидроразбивателя.

На рис. 2 представлено влияние сорбционных свойств жировлагостойкой бумаги по показателям отталкивающей способности поверхности по Киту и впитываемости воды при одностороннем смачивании по Коббу на динамику процесса роспуска ее отходов в присутствии системы «окислитель – смачиватель».

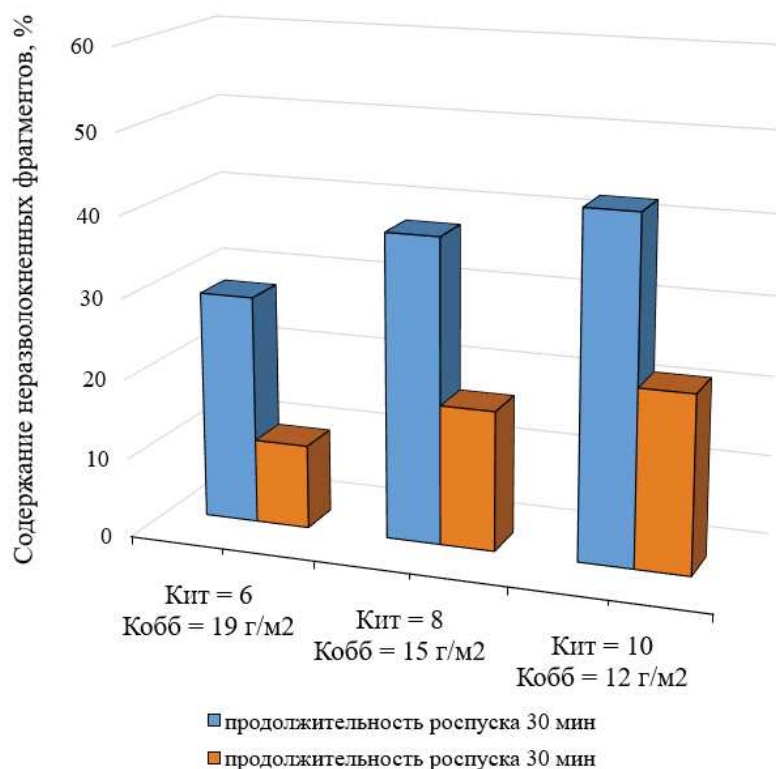


Рис. 2. Влияние сорбционных свойств жировлагостойкой бумаги на динамику процесса роспуска ее отходов

Как видно из рис. 2, существенный рост отталкивающей способности поверхности по Киту и снижение впитываемости воды при одностороннем

смачивании по Коббу, достигаемые в результате поверхностной проклейки бумаги комбинированными составами на основе окисленного крахмала и фторсодержащего репеллента, значительно замедляет процесс роспуска бумажных отходов.

В таблице приведены структурно-морфологические свойства вторичного волокна, полученного в результате роспуска отходов жировлагостойкой бумаги без использования химикатов и с применением системы «окислитель – смачиватель».

Таблица 1. Структурно-морфологические свойства вторичного волокна из отходов жировлагостойкой бумаги (L&W Fiber Tester)

Наименование показателей	Значения показателей	
	pH = 10,5 $t = 55^{\circ}\text{C}$ $\tau = 120$ мин без химикатов	pH = 10,5 $t = 55^{\circ}\text{C}$ $\tau = 60$ мин окислитель смачиватель
Средняя длина $L_1$ , мм	0,74	0,73
Средняя ширина $W_1$ , мкм	24,0	23,7
Средний фактор формы $S_i$ , %	89,2	89,3
Средний угол излома	45,8	45,3
Число изломов на 1 мм	0,643	0,661
Число больших изломов на 1 мм	0,128	0,130
Число изломов на волокно	0,474	0,484
Средняя длина сегмента, мм	0,651	0,641

Как видно из таблицы, применение системы «окислитель – смачиватель» в определенных температурно-щелочных условиях роспуска бумажных отходов позволяет за существенно меньшее время получать вторичное волокно с показателями практически идентичными показателям волокна без использования специальных химикатов.

На рис. 3 показаны кривые роспуска жировлагостойкой бумаги в лабораторном и промышленном гидроразбивателе до и после внедрения системы «окислитель – смачиватель».

Да данным, изображенным на рис. 3, можно сделать несколько выводов. Во-первых, кривые роспуска отходов жировлагостойкой бумаги, как в лабораторном, так и промышленном гидроразбивателе в целом близки между собой и по отдельности близки по характеру к экспоненциальным кривым, что свидетельствует о том, что процесс дезинтеграции может быть описан кинетическим уравнением первого порядка.

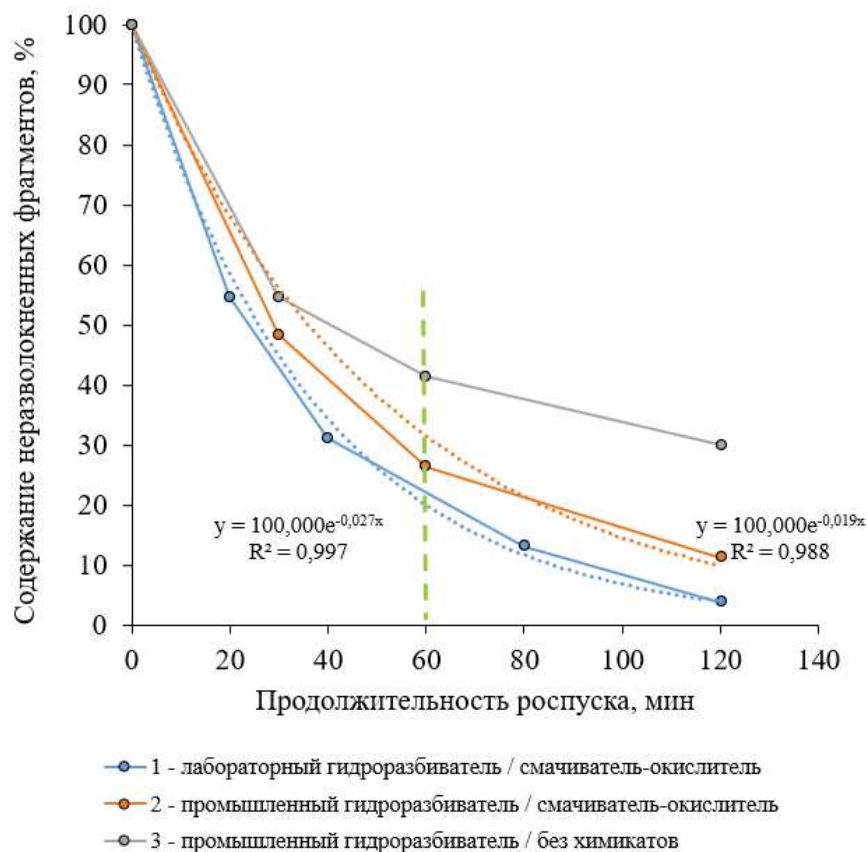


Рис. 3. Кривые роспуска жировагостойкой бумаги в лабораторном и промышленном гидроразбивателе

Это хорошо согласуется с литературными данными [5, 6], которые также показывают, что процесс роспуска других видов макулатуры, в том числе влагопрочных, протекает в соответствии с кинетикой первого порядка. Во-вторых, использование системы «окислитель – смачиватель» в определенном температурно-щелочном режиме позволяет существенно интенсифицировать процесс роспуска отходов жировагостойкой бумаги в реальных производственных условиях. Так, например, время роспуска до минимально приемлемого содержания неразволокненных фрагментов в бумажной массе (порядка 25–30 %) может быть сокращено приблизительно в 2,5 раза – с 2–2,5 часов до 50–60 мин. Визуальная оценка бумажной массы при этом показывает значительное уменьшение размеров остаточных неразволокненных фрагментов исходного бумажного сырья и отсутствие крупных фрагментов размером более 10...15 мм, которые могут забивать отверстия сита гидроразбивателя ( $d = 8...10$  мм) и создавать проблемы при перекачивании бумажной массы на последующие стадии переработки.

### Список литературы

1. Hubbe M.A., Pruszynski P. (2020). Greaseproof paper products: A review emphasizing ecofriendly approaches. *BioResources*, 2020, vol. 15, no 1, pp. 1978–2004. <https://doi.org/10.15376/BIORES.15.1.1978-2004>
2. Yang R., Luettgen C. Repulping of wet strength paper towel with potassium monopersulfate. *TAPPI Journal*, 2020, vol. 19, no 9, pp. 463–470. <https://doi.org/10.32964/TJ19.9.463>
3. Пенкин А.А., Казаков Я.В. Изменение структурно-морфологических свойств вторичного волокна из влагопрочного сырья при мягком размоле. Часть 1. Свойства волокон // Изв. вузов. Лесн. журн. 2022. № 5. С. 155–172.
4. Дулькин Д.А. Особенности разволокнения макулатуры и размол волокна с интенсификацией новым смачивателем // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2007. № 1. С. 20–23.
5. Vilaseca F., Puig J., Angels Pelach M., El Mansouri N.-E., Alcalá M., Roux J.-C., Mutje P. Study and modeling of the disintegration kinetics of coated paper // *BioResources*, 2011, vol. 6, no 2, pp. 1659–1669. <https://doi.org/10.15376/BIORES.6.2.1659-1669>
6. Пенкин А.А. Рециклинг влагопрочной бумаги санитарно-гигиенического назначения. Ч. 1. Кинетика дезинтеграции вторичного сырья при роспуске // Химия растит. сырья. 2022. № 1. С. 355–365 <https://doi.org/10.14258/jcprgm.2022019893>