

29–31 мая 2023 г. – Астрахань: АГТУ, 2023. С. 1127–1133.

5. Черная Н. В. Теория и технология клееных видов бумаги и картона (монография). – Минск: БГТУ, 2009. – 394 с.

6. Черная Н. В., Колесников В. Л., Жолнерович Н. В. Технология производства бумаги и картона. – Минск: БГТУ, 2013. – 435 с.

7. Патент ВУ 23441, МПК D 21H 17/50, C 08G 12/12, C 08G 12/40 (2006.01). Способ получения упрочняющей добавки для изготовления бумаги: заявка а 20180530; заявл. 22.12.2018; опубл. 30.08.2020 / Авторы: Флейшер В.Л., Черная Н.В., Шишаков Е.П., Чернышева Т.В.; заявитель БГТУ.

УДК 676.023.1

Ф. В. Лапаев, аспирант,  
Л. Г. Махотина, д-р тех. наук, проф.  
(СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург, Россия)

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОТБЕЛКИ ВТОРИЧНОГО ВОЛОКНА ИЗ МАКУЛАТУРЫ МАРКИ МС-5Б**

В настоящее время производство тароупаковочной продукции продолжает развиваться и остается одним из главных векторов в развитии технологии целлюлозы и композиционных материалов. По данным аналитических компаний рынок гофропродукции по состоянию на 2025 год переживает профицит, в связи с увеличением производственных мощностей, но сдержанным ростом спроса на упаковку и сокращением экспорта [1].

Одним из возможных решений проблемы для производителей является придание уникальных свойств продукции без значительного увеличения его стоимости, что способствует большей конкурентной способности на рынке в условиях профицита. Главной тенденцией в развитии производства тарного картона можно выделить использование вторичного волокна с сохранением прочностных показателей. Так для производства тест-лайнера используют вторичное волокно из макулатуры марки МС-5Б. Оно обеспечивает высокие прочностные свойства, так как состоит в основном из отходов продукции, изготовленной из небеленых волокнистых полуфабрикатов, а также является самым распространенным среди всей собираемой макулатуры.

В данной работе предлагается увеличение оптических и печатных свойств тест-лайнера путем отбеливания вторичного волокна из макулатуры марки МС-5Б. При отбелке целлюлозы основная цель – завершение процесса делигнификации, начатого при варке, за счет

использования химических реагентов, полностью разрушающих остаточный лигнин, повышение белизны и придание волокну определенных физико-химических свойств. В настоящее время в России в основном используется Elemental chlorine free (ECF) bleaching – технология, в которой не используется элементарный газообразный хлор, а используется диоксид хлора, что предотвращает образование диоксинов и диоксиноподобных соединений, канцерогенов.

При отбелке механической (древесной) массы удаляются только хромофоры – группы, вызывающих цвет [2].

Проведенный нами анализ литературных источников позволил определить наиболее перспективный способ отбелки вторичного волокна из макулатуры марки МС-5Б. Это отбелка за счет обесцвечивания хромофорных групп. Данный вид отбелки менее энергозатратный, так как не требуется делигнификация.

Главное преимущество обесцвечивания: оно относится к Total Chlorine Free (TCF) процессу, при котором полностью исключается применение хлорсодержащих реагентов отбелки, и является более безопасным способом отбелки с экологической точки зрения.

Для обесцвечивания вторичных волокон наибольшее распространение получили такие отбеливающие реагенты, как пероксид водорода и дитионит натрия.

Пероксид водорода – окисляющий реагент. Используется вместе со вспомогательными реагентами – NaOH, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, MgSO<sub>4</sub> и комплексообразователем Трилон Б (динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты), которые служат для повышения эффективности процесса отбелки. Использование восстановительного реагента – дитионита натрия, характеризуется более высокой скоростью отбелки и меньшим расходом реагента, относительно использования пероксида водорода. Главной трудностью проведения отбелки является необходимость отсутствия воздуха в системе, так как дитионит натрия разлагается в присутствии воздуха в сравнительно короткое время [3].

В проведенной нами ранее работе [4] была установлена возможность проведения отбелки пероксидом водорода вторичного волокна из макулатуры марки МС-5Б. При отбелке, которая проводилась при низкой концентрации волокнистой массы – 4 %, была достигнута белизна 49 % ISO. Расход отбеливающего реагента оказался достаточно высоким: 250 % от массы а.с. волокна, что является экономически нецелесообразным.

В данной работе в экспериментальной части была проведена отбелка вторичного волокна при высокой концентрации массы (30 %) в две стадии: первая стадия пероксидом водорода, вторая стадия –

дитионитом натрия. Результаты отбелки представлены на рис. 1.

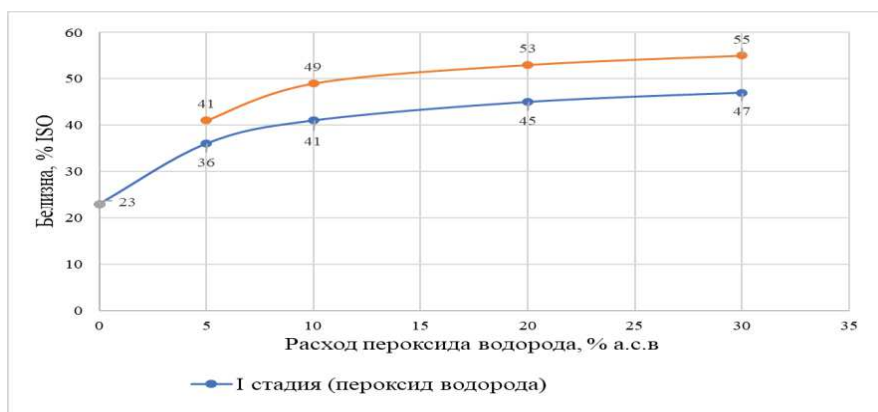


Рисунок 1 – Результаты отбелки вторичного волокна

Анализ результатов показал, что повышение концентрации волокнистой массы существенно сокращает расход отбеливающих реагентов. Вероятно, это связано с тем, что при повышении концентрации массы увеличивается концентрация пероксида водорода по отношению к отбеливаемому волокну, а также снижается концентрация ионов переходных металлов – катализаторов разложения пероксида водорода, находящихся в воде. Данные значения расходов пероксида водорода являются приемлемыми с экономической точки зрения.

Увеличение расхода дитионита натрия свыше 3 % от массы а.с. волокна не привело к повышению белизны волокна.

По результатам проведенного исследования можно отметить относительно высокую степень белизны (50-55 % ISO) вторичного волокна из макулатуры марки МС-5Б после отбелки при высокой концентрации массы. Потенциально, упаковка, произведенная с использованием тест-лайнера из данного волокна, будет иметь бóльшую конкурентную способность за счет повышения оптических и печатных свойств, а также с экологической точки зрения, так как используется вторичное волокно, и отбелка проходит без содержания хлорсодержащих соединений.

Дальнейшее исследование будет направлено на изучение влияния процесса отбелки на физико-механические свойства волокна.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рынок тарных картонов и гофропродукции в России: что будет дальше? // Центр системных решений. 2025. URL: [www.centrsr.com](http://www.centrsr.com)
2. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. I. Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 3. Производство полуфабрикатов. СПб: Политехника, 2004. – 316 с.
3. Ванчаков М.В., Кулешов А.В., Александров А.В., Гаузе А.А.

Технология и оборудование переработки макулатуры. Учебное пособие. Часть III. СПб: ВШТЭ СПбГУПТД, 2019. – 139 с.

4. Лапаев Ф.В., Махотина Л.Г. Выбор экологичных способов отбеливания вторичного волокна из макулатуры марки МС-5Б // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы VIII международной научно-технической конференции имени профессора В. И. Комарова. Архангельск. 2025. – С. 246–251.

УДК 691.14

Н. П. Мидукова, канд. техн. наук, ст. препод.  
(СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург, Россия)

### **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ФЕРМЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ ЦЕЛЛЮЛАЗЫ В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

В последние десятилетия наблюдается значительный рост интереса к инновационным биотехнологиям в различных отраслях промышленности, и целлюлозно-бумажная промышленность не является исключением. В условиях глобальных экологических вызовов, таких как изменение климата и истощение природных ресурсов, необходимость в разработке более эффективных и экологически чистых методов производства становится особенно актуальной. В этом контексте ферментативные технологии представляют собой перспективное направление, способное не только улучшить качество конечной продукции, но и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

Ферменты, как биокатализаторы, играют ключевую роль в различных биохимических процессах, включая разложение сложных органических соединений. В целлюлозно-бумажной промышленности ферменты применяются в виде ферментных препаратов и могут использоваться для улучшения оптических и механических свойств, что повышает качество бумаги и снижает экологическую нагрузку на производство. В частности, ферменты, такие как  $\alpha$ -амилаза и целлюлаза способны при взаимодействии со вторичными волокнами ослаблять связи между волокном и тонером, в конечном итоге повышая оптические свойства бумаги. Это открывает новые горизонты для оптимизации процессов переработки и производства бумаги из макулатуры.

Поиск новых ферментов подразумевает применение инновационных методов, позволяющих не только обнаруживать, но и создавать биокатализаторы с необходимыми характеристиками. Так, изучение целлюлазных и гемицеллюлазных ферментов значительно продвину-