

«УТВЕРЖДАЮ»

и.о. проректора по научной работе  
и инновационной деятельности,  
проректор по образовательной деятель-  
ности

Ю.Н. Безгина

« 06 » 03 2024 г.

### Отзыв

Ведущей организации на диссертационную работу **Мидуковой Марии Александровны** на тему: «**Совершенствование технологии переработки макулатуры из офисной бумаги с печатью**», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 4.3.4. – «Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства»

#### **Актуальность темы диссертационного исследования**

Повторное использование одного и того же материала в качестве сырья в целлюлозно-бумажной промышленности помогает повысить эффективность использования промышленных ресурсов и минимизировать ущерб окружающей среде. В работе решается актуальная практическая задача переработки документов кратковременного хранения, в частности макулатуры марки МС-7Б, с получением белых сортов бумаги. Для удаления печатных красок наиболее эффективным методом является флотация. Однако флотация является дорогой в силу значительного расхода химикатов, воды и энергии. Очистка офисной бумаги представляет собой проблему из-за высокого содержания тонера, который прочно скрепляется с целлюлозными волокнами. Это увеличивает потребность в химикатах и негативно воздействует на окружающую среду. Для снижения расхода реагентов при флотации автор предложено сухое диспергирование макулатуры для отделения волокон с прикрепленными частицами тонера. В работе также рассмотрены ферментные технологии, эффективно применяемые для повышения степени очистки макулатуры от тонера.

#### **Научная новизна исследований и полученных результатов**

В работе представлены новые данные о влиянии сухого диспергирования на морфологические свойства вторичных волокон бумаги марки SvetoCopy Classic и SvetoCopy ECO запечатанных тонером. Установлено, что сухое диспергирование оказывает незначительное влияние на среднюю длину волокна, которая является одним из определяющих факторов качества бумаги. Соиска-

телем использованы современные методы анализа для оценки влияния сухого диспергирования на оптические и физико-механические характеристики бумаги. Примечательно, что метод диспергирования приводит к равномерному распределению тонера, устраняя видимые включения на бумаге, хотя и приводит к некоторому ухудшению физико-механических свойств.

Кроме того, впервые было обнаружено положительное воздействие ферментов отечественного производства на эффект удаления вкраплений тонера после сухого диспергирования. Сравнительный анализ показал, что среди отечественных ферментов  $\alpha$ -амилаза значительно улучшает оптические свойства вторичных волокон – с 95 до 98%.

Была предложена новая цифровая модель для оценки уровня запечатывания офисной бумаги тонером и оценки последующих изменений оптических свойств бумаги в результате флотации.

### **Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Обоснованность и достоверность результатов и выводов диссертационной работы подтверждается большим объемом проанализированной и обобщенной отечественной и зарубежной литературы по теме диссертации. Экспериментальные данные согласуются с имеющимися литературными данными. Достоверность и значимость результатов работы подтверждается также 10 печатными работами по теме диссертации, в том числе двумя статьями в изданиях, входящих в перечень, утвержденный ВАК РФ по специальности 4.3.4. «Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины», 1 патент РФ. В ходе подготовки к публикации материалы прошли неоднократное рецензирование ведущими специалистами.

Полученные научные результаты прошли апробацию на научно-практических конференциях в крупных научных центрах нашей страны, в которых занимаются изучением свойств бумаги и картона.

### **Теоретическая и практическая значимость диссертационной работы**

Получены сравнительные данные по бумагообразующим свойствам вторично переработанных волокон из офисной бумаги, обработанных методами сухого диспергирования и мокрого роспуска. Для повышения эффективности удаления тонера с вторичных волокон разработаны практические рекомендации с использованием ферментов отечественного производства. Эти рекомендации были впервые применены для очистки макулатуры из бумаги SvetoCopy ECO, в результате чего был получен материал, сравнимый по прочности и оптическим свойствам с образцами промышленной офисной бумаги. Предложенная цифро-



вая модель позволяет оценить эффективность методов флотации и спрогнозировать оптические свойства на основе уровня запечатывания печатной офисной бумаги. Данная цифровая модель имеет практическую значимость для предприятий по сбору и сортировке макулатуры, а также для производителей бумаги и картона при входном контроле качества сырья.

#### **Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации**

Результаты проведенных исследований, в частности защищенный патентом на изобретение РФ способ удаления печатной краски и тонера от макулатуры, рекомендуется использовать на практике производства белых видов бумаги. Целесообразность использования способа и цифровой модели была апробирована для условий ОАО «Каравачево», ведущие инженеры которого подтвердили эффективность предложенных рекомендаций после расчёта срока окупаемости инвестиций на организацию флотации.

Предложенная цифровая модель позволяет оценить эффективность различных способов флотации, а также спрогнозировать оптические свойства по уровню запечатанности офисной бумаги с печатью, что может использоваться на практике предприятиями, собирающими и сортирующими макулатуру, а также предприятиями производителями на стадии входного контроля качества сырья.

#### **Личный вклад автора**

Автор, при поддержке научного руководителя, определил цели и задачи работы, проводил экспериментальные работы, обрабатывал полученные результаты, участвовал в их обобщении и формулировке выводов. Занимался подготовкой и оформлением полученных результатов к опубликованию в научных изданиях. Автором предложены основные идеи по совершенствованию технологии очистки офисной бумаги с печатью от тонера с помощью флотации. Разработана и опробована на практике цифровая модель для оценки вкраплений тонера и прогнозирования оптических свойств.

#### **Оценка содержания диссертации**

Диссертационная работа Мидуковой М.А. изложена на 119 страницах машинописного текста, содержит 42 рисунка и 21 таблицу. Работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы из 131 наименования и одного приложений в виде акта внедрения.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, показана научная новизна, а также теоретическая и практическая значимость.

**В первом разделе** представлен аналитический обзор, в котором оценивается современное состояние исследований в области удаления тонера с целлюлозных волокон. Приводится критический анализ источников литературы, посвящённых механизмам нанесения тонера на целлюлозные волокна, способам отделения краски, чернил, тонера от волокон, ферментативной обработке офисной бумаги с печатью с целью её очистки от тонера, а также анализируются промышленные способы очистки макулатуры.

**Второй раздел** посвящён сравнению очистки стандартного мокрого роспуска макулатуры перед флотацией и сухого диспергирования макулатуры перед флотацией. Также представлена цифровая модель, с помощью которой можно определять процент запечатанности образцов бумаги до флотации, а также спрогнозированы оптические показатели готовых образцов бумаги после флотации.

**В третьем разделе** представлены результаты экспериментальных исследований по оценке запечатанности офисной бумаги и прогнозированию оптических свойств бумаги, полученной из переработанной макулатуры различными способами. Так же в третьем разделе рассматривается влияние ферментов отечественного производства на оптические и механические свойства бумаги при очистке. Также представлены результаты сопоставления морфологических характеристик волокон после флотации с применением сухого диспергирования и классического мокрого роспуска при очистке макулатуры из газетной и офисной видов бумаги.

**В четвёртом разделе** рассматривается модернизация технологической линии на примере бумажной фабрики ОАО «Караваново». Для этого была проведена оценка окупаемости инвестиций для организации процесса флотационной очистки на требуемое количество запечатанной макулатуры из архива.

#### **Соответствие диссертации и автореферата требованиям положения о порядке присуждения учёных степеней**

Основные положения диссертации изложены в 10 публикациях, в том числе две публикации – статьи в журналах из списка ВАК РФ и 1 патент. Материалы диссертации были доложены и обсуждены на международных и всероссийских научно-технических конференциях. Тематика конференций, преимущественно, посвящена проблемам целлюлозно-бумажной промышленности, очистке тонера от вторичных волокон, что соответствует теме исследований диссертационной работы.

Автореферат и диссертация полностью соответствуют требованиям Положения о порядке присуждения учёной степени кандидата технических наук



по специальности 4.3.4. – «Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства». Область исследований в диссертации соответствует п. 4 паспорта специальности (технология и продукция в производствах: лесохозяйственном, лесозаготовительном, лесопильном, деревообрабатывающем, целлюлозно-бумажном, лесохимическом и сопутствующих им производствах).

#### **Замечания и вопросы по диссертационной работе**

В работе неоднократно упоминается об использовании при флотационной очистке офисной макулатуры таких реагентов как NaOH,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , жирной кислоты (в данном случае олеиновой),  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Но ведь известно, и давно обосновано применение этих реагентов при флотационной очистке макулатурной массы от частиц типографской краски, с соответствующим положительным эффектом. А состав типографской краски и способ ее закрепления на поверхности волокон кардинально отличается от состава и способа закрепления тонера. При очистке макулатурной массы от частиц типографской краски, каждый из перечисленных реагентов выполняют определенную функцию. В частности, NaOH вступает в реакцию омыления (гидролиза) со связующими компонентами типографской краски, представляющих собой смесь смоляных и жирных кислот, тем самым переводит их в «водорастворимое» состояние, и частицы типографской краски отделяются от поверхности волокон, что является основной предпосылкой к их флотации.

Механизм закрепления тонера, как абсолютно верно отмечено автором работы, имеет другую природу. Применение в данном исследовании реагентов, традиционно используемых при очистке макулатурной массы от частиц типографской краски, в данной работе автором не изучены, и отчасти не обоснованы.

Использование указанных реагентов не способствует отделению тонера от волокон, соответственно, отсутствует главная предпосылка к процессу флотации частиц тонера, и очевиден неудовлетворительный результат флотационной очистки с использованием традиционного (мокрого) способа подготовки волокнистой массы.

Исследуемым и перспективным является использование ферментов в технологиях очистки макулатурной массы от частиц краски, что и было отмечено в данной работе. Однако автором не приведены данные об изучении количественного влияния (расхода) ферментов на эффективность флотационной очистки.

В работе не приведены данные о размерах частиц тонера, отделившихся от волокон, а ведь размер частиц относится к определяющим факторам эффективности их извлечения. Размер частиц определяет механизм их закрепления на пузырьке. Известно, что для крупных частиц характерен механизм закрепления за счет образования трехфазного периметра смачивания, но и вынос их на поверхность требует определенных размеров пузырьков, которые будут обладать достаточной подъемной силой. Данных о размерах пузырьков, образующихся при использованном способе их получения тоже не обнаружено в работе.

А вот как раз сухой способ подготовки макулатуры к флотации дает возможность получить мелкодисперсные частицы тонера, не требующие от пузырьков большой подъемной силы, снижает вероятность повторного осаждения частиц из пены в массу во время процесса флотации, что в целом положительно сказывается на эффекте флотационной очистки.

Также, положительный эффект от извлечения частиц тонера из массы, подготовленной сухим способом, может быть связан с механизмом закрепления мелких частиц на поверхности пузырька. Так как на поверхности мелких частиц, в следствие их малых размеров, невозможно или затруднено образование трехфазного периметра смачивания, то в этом случае, взаимодействие частицы с пузырьком может проходить, за счет действия поверхностных зарядов частицы и пузырька и зависит от расстояния между ними. Такое обоснование взаимодействия частицы с пузырьком, основано на известных положениях теории устойчивости и коагуляции лиофобных дисперсных систем – теории ДЛФО. Возможные особенности взаимодействия частицы тонера с пузырьком не представлены в диссертационной работе.

Известно, что процесс флотации является функцией нескольких вероятностей. Вероятности столкновения пузырек-частица, вероятности адгезии частицы к пузырьку и вероятности закрепления (удержания, стабилизации) частицы на пузырьке. Очевидно, что начальной является вероятность столкновения, а эта вероятность, кроме гидродинамических особенностей поведения волокнистой суспензии при флотации, зависит от размеров частиц (дисперсность которых чаще всего не представляется возможным регулировать) и дисперсности пузырьков воздуха, а этот показатель, в более обобщенном понимании, может характеризоваться расходом воздуха, подводимого в процессе флотации. Однако в работе не обнаружена информации о расходе воздуха.

Естественным явлением при флотации является унос вместе с частицами тонера и частиц наполнителей некоторого количества волокнистой части су-



пензии. В работе отмечен унос мелкого волокна, но, кроме этого, происходит унос в пену и хорошего волокна, что связано с недостаточной избирательностью процесса адгезии и стабилизации системы пузырек/частица. Оценить этот унос (эти потери) можно разными способами, однако в работе не приводятся таких данных. Каковы потери волокна при флотационной очистке макулатурной массы предложенными в работе способами?

В диссертационной работе не представлены конкретные режимы технологии переработки макулатуры из офисной бумаги, не конкретизированы условия флотационной очистки.

Не корректно сформулирован вывод № 3 о том, что применение ферментов: «...позволяет повысить оптические свойства бумаги SvetoCopy Classic...». Данные, представленные в таблице 3.6 и характеристики бумаги SvetoCopy Classic, приведенные в подписи к рисунку 3.1а, не доказывают это утверждение.

Внимания заслуживает предложенная цифровая модель оценивания эффективности флотационной очистки. Интересен подход к возможности прогнозирования оптических свойств (эффекта от флотации) по уровню запечатанности листа бумаги.

В целом работа представляет определенный практический интерес, в части технологий переработки макулатуры из офисной бумаги с элементами рекомендаций по её очистке от частиц тонера.

Результаты работы могут являться основой для дальнейшего более углубленного изучения особенностей флотационной очистки макулатурных масс в том числе от красок, используемых в современных способах печати.

#### **Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней**

Приведенные замечания не снижают научный уровень и практическую ценность рецензируемой диссертации. Автореферат и опубликованные статьи в полной мере отражают содержание диссертации. Актуальность темы, степень обоснованности выводов и научных положений работы, достоверность и новизна результатов позволяют заключить, что диссертация Мидуковой Марии Александровны на тему: «Совершенствование технологии переработки макулатуры из офисной бумаги с печатью», представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой предложено научно обоснованное решение задачи удаления тонера и печатной краски от вторичных волокон целлюлозы, а также спрогнозированы оптические свойства получаемых образцов бумаги с помощью цифровой модели. Диссертация соответствует требованиям п.9

«Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. ред. от 01.10.2018 г., с изм. от 26.05.2020), предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор Мидукова Мария Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.4. – «Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства».

Настоящий отзыв рассмотрен на заседании кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров (протокол № 8 от 06.03.2024)

Отзыв составлен

Доктором технических наук (специальность 05.21.03. «Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины»), профессором кафедры технологии целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров, ФГБОУ ВО Уральский государственный лесотехнический университет.

620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, д. 37,  
телефон +7 904 383-46-63,  
e-mail: vuraskoav@m.usfeu.ru

Вураско Алеся Валерьевна \_\_\_\_\_

Заведующим кафедрой технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров, ФГБОУ ВО Уральский государственный лесотехнический университет, кандидат технических наук (05.21.03 – Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины), доцент,

Савиновских Андрей Викторович \_\_\_\_\_

06.03.2024