

На правах рукописи

**МИДУКОВ НИКОЛАЙ ПЕТРОВИЧ**

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТЕСТ-ЛАЙНЕРА  
С БЕЛЫМ ПОКРОВНЫМ СЛОЕМ**

**05.21.03 – Технология и оборудование химической переработки  
биомассы дерева; химия древесины**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание учёной степени  
доктора технических наук**

**Санкт-Петербург - 2020**

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна».

Научный консультант: **Куров Виктор Сергеевич**  
доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Высшей школы технологии и энергетики ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна».

Официальные оппоненты: **Вураско Алеся Валерьевна**,  
доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой технологии целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»;

**Дулькин Дмитрий Александрович**,  
доктор технических наук, генеральный директор ООО «Объединённые бумажные фабрики»;

**Руденко Анатолий Павлович**,  
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии композиционных материалов и древесиноведения ФГБОУ ВО Сибирского государственного университета науки и технологии им. академика М.Ф. Решетнева.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова».

Защита состоится «14» мая 2020 г. в 11-00 часов на заседании диссертационного совета Д212.236.08 ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по адресу: 198095, г. Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4, зал заседаний Учёного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте [www.stutd.ru](http://www.stutd.ru) ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна».

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Махотина Людмила Герцевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

Импортозамещение и рост ассортимента товаров в современных условиях является одним из основных направлений развития России. При увеличении производства товаров растёт потребность в упаковке. В связи с этим особое внимание уделяется совершенствованию технологии картона, который является основным упаковочным материалом, а также экономному и рациональному использованию сырьевых и энергетических ресурсов при его производстве. Поэтому сокращение энергетических затрат и использование макулатуры вместо первичных волокон при производстве картона является важной и актуальной задачей в мире, которая связана с непосредственным снижением выбросов CO<sub>2</sub>. Одним из способов снижения энергетических затрат является подготовка макулатуры сухим способом. Это достаточно перспективная концепция, заложенная в энергетической дорожной карте СЕРИ 2050, реализация которой определена на период до 2050 года.

Для отечественных предприятий разработка ресурсосберегающей технологии картона, в основном гофрокартона с белым покровным слоем, связана с решением двух основных задач: организация производства белого покровного слоя гофрокартона (тест-лайнера) из 100 % макулатуры (белый покровный слой тест-лайнера в нашей стране производится из первичных волокнистых полуфабрикатов, цена на которые дороже примерно в 3,5 раза, чем на макулатуру); снижение энергетических затрат, что приводит к уменьшению себестоимости готовой продукции и повышению рентабельности производства в целом.

Перечисленные задачи полностью корреспондируются с постановлениями Правительства Российской Федерации: «Импортозамещение товаров народного потребления в России» от 2 октября 2014 г. № 1948-р; «Концепции современного развития промышленности и повышения её конкурентоспособности» от 15 апреля 2014 г. № 328.

Так как основным сырьём при производстве картона являются вторичные волокна, то разработка инновационных методов подготовки макулатуры, в том числе сухим способом, соответствует направлению «Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года», принятой Правительством России в 2018 году.

Для разработки ресурсосберегающей технологии картона тест-лайнера с белым покровным слоем из макулатуры необходимо проведение теоретических и экспериментальных исследований на современном высокотехнологичном оборудовании по международным и российским стандартам. Разработанная технология должна не только сокращать энергетические затраты, но и способствовать сохранению или улучшению качественных показателей картона, что является актуальной задачей для отечественной целлюлозно-бумажной промышленности. Работа выполнялась в рамках Международных российско-германских проектов (Министерство образования и науки РФ - Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD)),

Всероссийских и региональных грантов, а также в рамках государственного задания 10.6052.2017/8.9.

### **Цель и задачи исследования**

Целью работы является разработка научных основ и практических рекомендаций по импортозамещению и ресурсосбережению технологии многослойного тест-лайнера с белым покровным слоем из 100 % вторичных волокон, в том числе с использованием сухой подготовки макулатуры.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Разработка теоретических основ межволоконного связеобразования в картоне, полученном с помощью различных технологий подготовки макулатурной массы, в том числе сухого диспергирования макулатуры.

2. Разработка и апробация методики изучения факторов, определяющих межволоконные силы связи в многослойном картоне, на основе технологии ионной резки с использованием современных графических и расчётных методов.

3. Экспериментальное определение влияния содержания очищенной от печатной краски макулатуры на физико-механические свойства тест-лайнера с белым покровным слоем. Разработка практических рекомендаций по внедрению технологии очистки макулатурной массы на отечественных предприятиях, производящих тест-лайнер.

4. Разработка технологии и оборудования, снижающих энергозатраты при дороспуске в пульсационных диспергаторах, с использованием химических реагентов для повышения бумагообразующих свойств макулатурной массы.

5. Экспериментальное определение зависимости между содержанием волокон, подготовленных сухим способом, и физико-механическими свойствами тест-лайнера с белым покровным слоем. Разработка ресурсосберегающей технологии производства тест-лайнера с белым покровным слоем, с использованием сухой подготовки макулатуры.

6. Проведение промышленных выработок тест-лайнера с белым покровным слоем на отечественном предприятии, с использованием технологии очистки макулатурной массы от печатной краски. Оценка качества картона, полученного на предприятии по предлагаемой технологии.

7. Проведение промышленных испытаний с использованием технологии сухой подготовки макулатуры при производстве тест-лайнера на предприятии. Оценка качества полученного по предлагаемой технологии тест-лайнера и сравнение его физико-механических свойств с картоном, производимым по традиционной технологии.

### **Методы исследования**

Разработан и запатентован метод изучения межволоконных сил связей, основанный на ионной резке многослойного картона, с дальнейшей обработкой цифрового изображения поперечного среза.

Разработана методика формования трёхслойного картона с применением различных технологий получения тест-лайнера, в том числе с вариантами сухой подготовки макулатуры.

Разработан комбинированный способ производства многослойного тест-лайнера с белым покровным слоем, включающий сухую подготовку макулатуры.

Обоснованность и достоверность экспериментальных данных по подготовке массы, формованию многослойного тест-лайнера, контролю качества отливок подтверждаются использованием стандартных международных и российских методов исследований, в соответствии с ISO, ГОСТ, DIN.

### **Научная новизна**

Оценка новизны подтверждена ведущими отечественными и зарубежными учёными и специалистами, работающими в этом направлении, при рецензировании научных статей (входящих в международные базы цитирования, в том числе Web of Science, Scopus и в перечень статей, рекомендуемых ВАК), опубликованных по теме диссертации в России и за рубежом. Экспериментальная часть работы была реализована в рамках германских и российских проектов под руководством соискателя. Проекты, выполненные по теме диссертации, прошли экспертизу на предмет новизны. Научная новизна подтверждена патентами РФ.

Разработана методика оценки связеобразования волокон, базирующаяся на исследовании поперечного среза, полученного ионной резкой с дальнейшей обработкой расчётными и графическими программами. На разработанный метод получено положительное решение по заявке на изобретение.

Впервые предлагается композиция многослойного тест-лайнера с белым покровным слоем, содержащая очищенную от печатной краски макулатуру в среднем слое. В работе рассмотрена перспектива использования сеточных устройств для трёхслойного формования картона тест-лайнера в России.

Разработаны технология и оборудование (защищены патентами РФ), позволяющие снизить энергозатраты и повысить бумагообразующие свойства макулатурной массы при дороспуске в пульсационных диспергаторах с использованием химических реагентов.

Разработана и защищена патентом РФ ресурсосберегающая технология многослойного тест-лайнера, в основе которой метод комбинированной подготовки макулатурной массы, включающий сухую подготовку макулатуры.

### **Практическая значимость**

Разработанные практические рекомендации, полученные на основании экспериментальных исследований физико-механических показателей от содержания очищенной от печатной краски макулатуры, могут быть использованы при создании новых и модернизации существующих технологических потоков производства картона тест-лайнера с белым покровным слоем в России.

Зависимости физико-механических показателей от содержания очищенной от печатной краски макулатуры для среднего слоя картона могут быть учтены при переходе на сеточные устройства для производства трёхслойного тест-лайнера с белым покровным слоем. Опыт проведения промышленной

выработки тест-лайнера с белым покровным слоем имеет важное практическое значение для России, поскольку на сегодняшний день отсутствует технология картона тест-лайнера со стадией очистки макулатурной массы от печатной краски для формования верхнего покровного и среднего слоёв.

Разработанная технология, включающая сухую подготовку макулатуры с последующим размолотом в водной среде, может быть использована предприятиями - производителями картона с целью снижения энергетических затрат и улучшения поверхностных показателей. Целесообразность и эффективность комбинированной технологии подготовки массы с использованием сухого диспергирования макулатуры с последующим размолотом в водной среде подтверждаются промышленной выработкой на предприятии. Практическая значимость разработанной технологии производства тест-лайнера с белым покровным слоем, с использованием технологии сухой подготовки макулатуры, определяется снижением удельных затрат энергии более чем на 50 кВт·ч на тонну выпускаемой продукции.

#### **Апробация работы**

Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на международных научно-технических конференциях: «Новое в технологии и оборудовании для производства гофрокартона и гофротары» (Санкт-Петербург, 2007); «Химия в ЦБП» (Санкт-Петербург, 2008, 2019 г.); «XIII Петербургский Международный Лесной форум» (Санкт-Петербург, 2011); «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов» (Архангельск, 2013, 2019); «Materialien zum wissenschaftlichen Seminar der Stipendiaten der Programme “Michail Lomonosov” und „Immanuel Kant III“» (Moskau, 2013, 2015, 2017); «Новое в технологии ЦБП» (Санкт-Петербург, 2014); «Перспективы развития техники и технологии в целлюлозно-бумажной промышленности» (Пермь, 2014, 2019); «Гофроиндустрия на современном этапе развития» (Санкт-Петербург, 2017, 2018, 2019); «РАР-FOR» (Санкт-Петербург, 2018) и др.

#### **Публикации**

Основные материалы диссертации изложены в 47 научных работах, включая одну монографию, учебное пособие с грифом УМО. В журналах из списка, рекомендованных ВАК РФ по специальности 05.21.03, опубликовано 11 научных работ; 7 статей опубликовано в журналах, которые цитируются в базах Web of science и Scopus; получено 4 патента РФ и 2 положительных решения по изобретениям и полезным моделям.

#### **Структура и объем работы**

Диссертационная работа изложена на 304 страницах машинописного текста, содержит 127 иллюстраций, 13 таблиц. Список цитируемой литературы включает 242 наименования. В 7 приложениях представлены акты проведения промышленных выработок, акты об использовании результатов работы на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности.

#### **На защиту выносятся следующие положения:**

1. Научные представления о связеобразовании волокон при подготовке

макулатуры в комбинации сухого и мокрого способов, основанные на инновационных методах исследований, позволяющих получить новые знания в оценке влияния факторов, определяющих межволоконные силы связи.

2. Методика подготовки и анализа поперечного среза многослойного картона тест-лайнера с белым покровным слоем, основанная на использовании ионной резки, с дальнейшей цифровой обработкой поперечного среза.

3. Практические рекомендации по созданию импортозамещающей технологии тест-лайнера с белым покровным слоем, с использованием стадии очистки макулатуры от печатной краски покровного и среднего слоёв с учетом перспективы развития сеточных формующих устройств для производства трёхслойного картона в три слоя в нашей стране.

4. Экспериментальные зависимости для разработки рекомендаций по снижению энергозатрат и повышению бумагообразующих свойств макулатурной массы при дороспуске в пульсационных диспергаторах с использованием реагентов.

5. Зависимости физико-механических показателей от содержания волокон, подготовленных различными вариантами сухого способа, и практические рекомендации по внедрению технологии сухого диспергирования макулатуры с последующим размолотом в водной среде при производстве многослойного картона тест-лайнера.

6. Результаты промышленной выработки тест-лайнера с белым покровным слоем, полученные с использованием технологии очистки макулатуры от печатной краски на отечественном предприятии.

7. Результаты промышленной выработки многослойного тест-лайнера с белым покровным слоем, произведённым с добавлением волокон, подготовленных сухим способом с последующим размолотом в водной среде.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** дана общая характеристика работы и сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

**В первом разделе** представлен аналитический обзор, в котором оценивается современное состояние заявленной научной проблемы, сравниваются ожидаемые результаты с мировым уровнем.

Наиболее значимые научные результаты в совершенствовании технологии производства многослойного картона в России получены Смолиным А.С. Особое внимание в его работах уделяется многослойному формованию картона для повышения механических характеристик. За счёт оптимального распределения различного по качеству вторичного сырья в слоях картона предлагается более эффективно, с наименьшими потерями механических характеристик, использовать макулатуру при производстве тест-лайнера. Макулатура как вид сырья и ее особенности исследовались Дулькиным Д.А. В его работах даётся представление о макулатуре как о сырье для производства картона, её особенностях и проблемах, связанных со снижением механических характеристик многослойного картона при производстве в России. Под руководством Комарова В.И. и Казакова Я.В. рассмотрены

способы решения проблем, связанных со снижением показателей прочности многослойного тест-лайнера.

Руководители научных групп зарубежных компаний (Voith, Valmet и др.) приводят результаты в области производства многослойного тест-лайнера. Особый интерес представляют современные технические решения, позволяющие получить двух-, трёх-, четырёхслойный картон.

Проведённый критический анализ литературы показывает, что в рассмотренных работах не учитывается использование волокон, полученных сухим способом, для производства тест-лайнера, а разработанное зарубежными фирмами оборудование для подготовки массы и формования картона не способно эффективно работать при подаче сухих волокон. В то же время сухой способ подготовки макулатуры описан в работах, посвящённых аэродинамическому формованию (АДФ) и сухому диспергированию (Дробосюк В.М., Гущин А.Е., Кроейр К.). Известно, что АДФ и сухое диспергирование не нашли применения при производстве картона и не предусматривали комбинацию сухого и мокрого способов подготовки макулатуры.

Наиболее современные исследования в области сухого диспергирования макулатуры проводятся в Германии под руководством Гроссмана Х. Им и его коллегами опубликованы результаты работ по многослойному формованию специальных видов картона и фильтровальных видов бумаги с использованием технологии сухого диспергирования.

Анализ современного состояния исследований в области сухой подготовки макулатуры показал, что в мировой практике отсутствуют работы, связанные с производством тест-лайнера с использованием сухого способа подготовки макулатуры.

Для разработки ресурсосберегающей технологии картона необходимо понимание процессов связеобразования, происходящих между волокнами при комбинации сухого и мокрого способов подготовки макулатуры. Для разработки теоретических положений о межволоконных связях необходимо в первую очередь определиться, какое сырьё используется при производстве многослойного картона тест-лайнера. Установлено, что точные данные по составу сырья для производства многослойного тест-лайнера с белым слоем получить практически невозможно. Именно поэтому эффективные для однородного состава методы, определяющие связеобразование по теплоте смачивания, или методы, основанные на определении водородных связей в целлюлозных материалах на основе инфракрасной спектроскопии Фурье, не нашли применения при исследовании макулатуры. Метод Скотта Д., наряду со стандартными методами определения прочности на разрыв и продавливание, а также жёсткости картона, показывает результаты взаимодействия волокон между собой и воздействие химических добавок, не раскрывая причин повышения или понижения межволоконных сил связи. Актуальными являются теоретические исследования Акима Э.Л., которые объясняют снижение прочности бумаги, содержащей волокна, диспергированные сухим способом, тем, что целлюлоза в сухом виде



находится в стеклообразном состоянии, что препятствует образованию прочных водородных связей.

Анализируя картину в целом о современном состоянии проблемы, можно отметить, что сухая подготовка волокон для производства картона тест-лайнера не использовалась ранее. Для России ситуация усложнена тем, что производство тест-лайнера с белым покровным слоем из макулатуры отсутствует. В нашей стране в качестве сырья для белого покровного слоя используются первичные волокнистые полуфабрикаты. Отдельные исследования в рамках модернизации некоторых узлов оборудования для массоподготовки не позволяют оценить реальную картину развития технологии производства картона тест-лайнера с белым покровным слоем. Поэтому осуществляемые экспериментальные разработки по производству многослойного тест-лайнера с белым покровным слоем, с использованием технологии сухого диспергирования макулатуры, требуют тщательной проработки в вопросах связеобразования волокон макулатуры разного состава и подтверждения при реализации в промышленных условиях. В связи с этим промышленная выработка на предприятии является важной и весомой частью работы, подтверждающей теоретические и экспериментальные исследования формирования картона с использованием сухой подготовки макулатуры. На основании проведенного критического анализа сформулированы цели и задачи работы.

**Второй раздел** посвящён научным основам связеобразования волокон в многослойном картоне. Основным инструментом исследований является разработанная методика получения поперечного среза с помощью ионной резки картона для оценки основных факторов, определяющих межволоконные связи, а именно: совокупность воздействия сил водородных связей, сил механического сцепления и сил Ван-Дер-Ваальса; природы волокон; взаимного расположения волокон; равномерности распределения волокон; наличия примесей. Оценить, в какой степени воздействуют силы водородных связей, силы механического сцепления или силы Ван-Дер-Ваальса, является сложной задачей для неоднородного и неопределённого состава макулатуры, однако совокупность воздействия этих сил в целом характеризуется сближением волокон и в основном определяет механические показатели картона. Для достоверной оценки факторов и их влияния на физико-механические показатели картона с неопределённым и неоднородным составом недостаточно исследовать межволоконные связи нескольких волокон. Поэтому объектом исследования должен быть поперечный срез высокого качества большой протяженностью.

Разработанный метод даёт возможность получить панорамные изображения поперечного среза для дальнейшей обработки. Анализ панорамных изображений поперечного среза позволил получить новые знания в области изучения физико-механических показателей тест-лайнера с белым покровным слоем, полученным по технологии сухой подготовки макулатуры. Сухой способ подготовки макулатуры, как вариант ресурсосбережения влияет на производственные расходы и качество картона тест-лайнера (таблица 1). От

того, каким образом внедряется сухая подготовка макулатуры в технологию производства картона, зависит изменение энергозатрат, расхода воды, металлоёмкости оборудования и физико-механических показателей картона. Поэтому основной целью теоретических исследований являлся анализ физико-механических показателей картона по микроструктуре поперечных срезов образцов, полученных по технологии, соответствующей различным вариантам подготовки макулатуры.

Таблица 1 - Влияние различных вариантов использования сухого способа на производственные затраты и показатели качества картона

Вариант использования сухого способа	Ресурсосбережение			Показатели качества картона	
	энер-гия	вода	металло-ёмкость	механи-ческие	поверх-ностные
Сухое диспергирование и АДФ (вариант А)	+++*	+++	0	- - -	- -
Сухое диспергирование и традиционное формование (вариант В)	+	0	+	-	++
Сухое диспергирование с последующим размол в водной среде (вариант С)	+	0	++	0	++

\* Степень влияния (от одного до трёх знаков) в положительную сторону (+) (например, сокращение энергозатрат, воды) и в отрицательную (-) (например, ухудшение механических показателей).

Разработанный метод позволил получить поперечные срезы двухслойного картона, покровный слой которого выполнен по различным вариантам сухой подготовки макулатуры. На рисунке 1 представлены поперечные срезы двухслойного картона протяжённостью в 350 мкм. Нижний слой многослойного картона тест-лайнера был изготовлен традиционным мокрым способом из макулатуры гофрокартона во всех трёх вариантах, а в качестве сырья для покровного слоя была использована макулатура на основе офисной бумаги. Механические показатели оценивались по протяжённости линий контакта волокон (зелёные линии), а также равномерности их распределения в поперечном срезе. По равномерности их распределения и протяжённости можно судить о связеобразовании волокон. С увеличением протяжённости линий контакта усиливаются межволоконные силы связи, следовательно, механические показатели картона (таблица 2).

Таблица 2 - Протяжённость линий контакта волокон в поперечном срезе двухслойного картона тест-лайнера

Наименование слоя	Протяжённость контактов волокон, мкм		
	вариант А	вариант В	вариант С
Покровный слой	102	414	625
Нижний слой	394	452	466
Двухслойный картон	496	866	1090

Подача сухих волокон в массу с дальнейшим традиционным мокрым формованием покровного слоя (вариант В) увеличила протяжённость линий контактов в исследуемом поперечном срезе примерно в 4 раза до 414 мкм по сравнению с АДФ (вариант А) (102 мкм), а последующий размол в водной среде повысил протяжённость ещё в 1,5 раза до 625 мкм (вариант С). Равномерность распределения линий контакта волокон определялась по

удаленности линий друг от друга (по минимальному расстоянию между центрами близлежащих линий контакта).

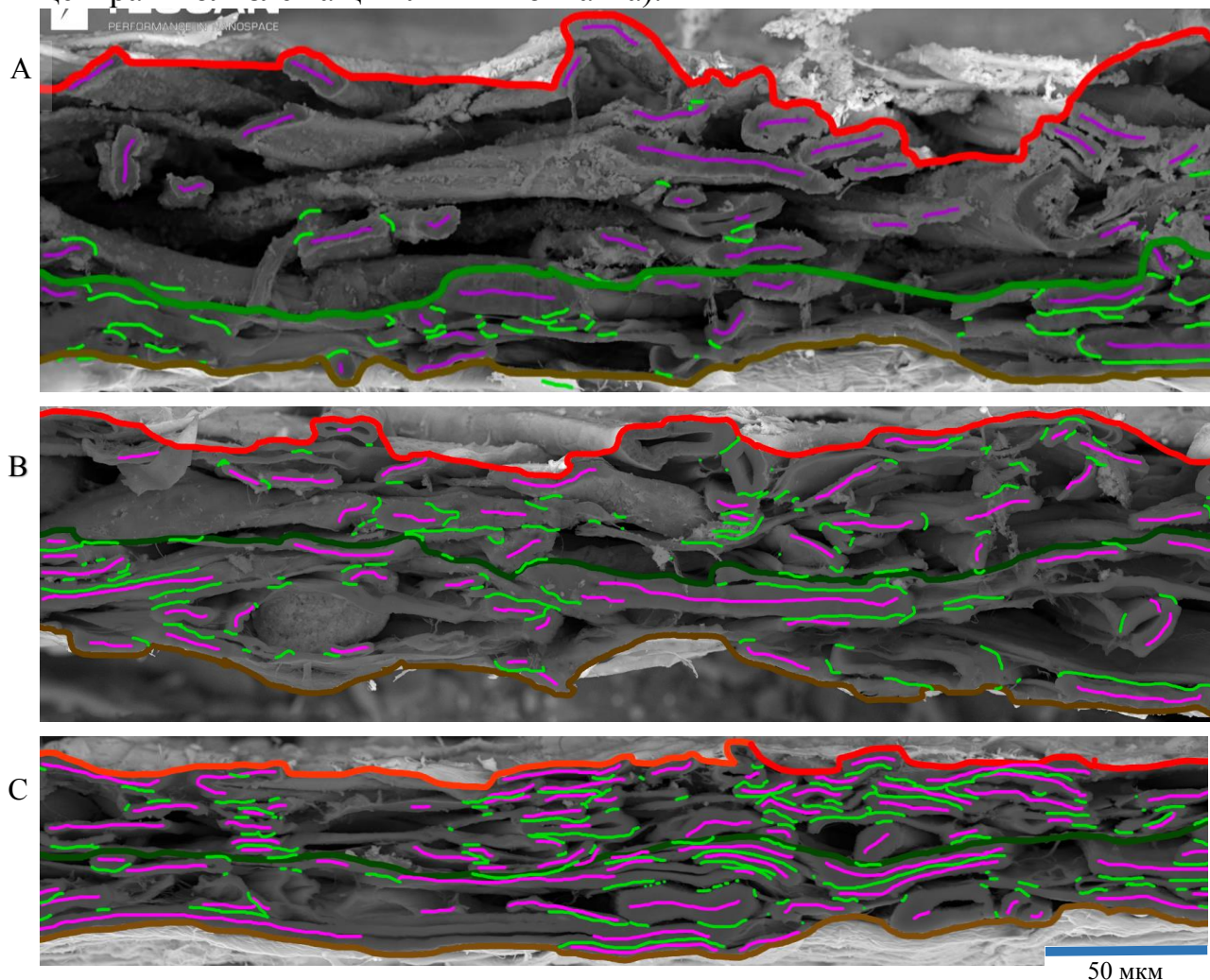


Рисунок 1 - Поперечные срезы двухслойного картона, полученного методом ионной резки после графической обработки: А – покровный слой картона получен АДФ; В – покровный слой картона получен из волокон, подготовленных сухим способом и поданных в массу; С – покровный слой картона получен из волокон, подготовленных сухим способом с дальнейшим размолом в водной среде

По значениям отрезков, которые соединяют близлежащие центры линий контакта волокон, получены диаграммы однородности распределения линий контакта в поперечном срезе двухслойного картона тест-лайнера (рисунок 2), покровный слой которого был подготовлен по различным вариантам технологии, в соответствии с таблицей 1.

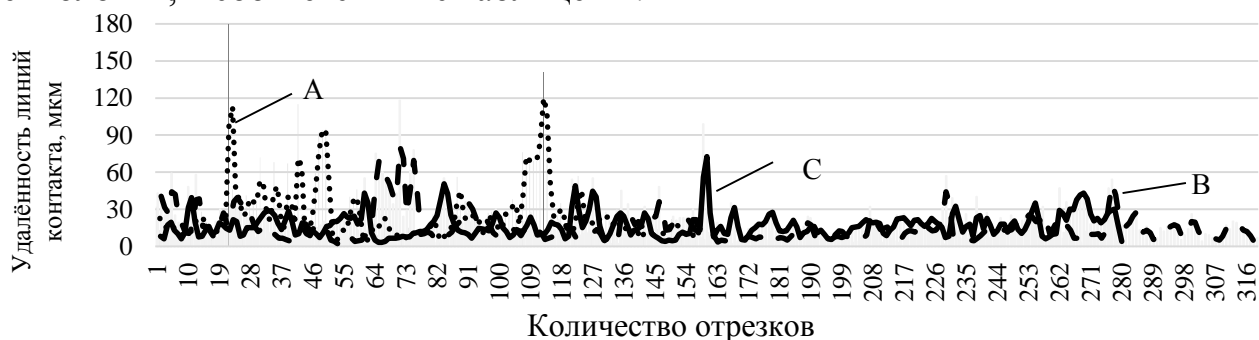


Рисунок 2 - Равномерность распределения линий контакта по площади поперечного среза двухслойного картона: А, В, С – обозначения в соответствии с рисунком 1

Равномерность распределения оценивалась по максимальной удалённости центров близлежащих линий контакта, по средней длине пяти отрезков с максимальным значением и по их количеству в исследуемом поперечном срезе. Из рисунка 2 видно, что подача сухих волокон в массу (вариант В) значительно повышает равномерность распределения линий контакта по сравнению с равномерностью, соответствующей АДФ (вариант А), в частности снизилась максимальная длина отрезка, соединяющего центры близлежащих линий контакта (со 180 до 118 мкм), уменьшилась средняя длина пяти отрезков с максимальным значением (со 126 до 64 мкм), количество отрезков повысилось со 154 до 280. Размол в водной среде волокон, подготовленных сухим способом (вариант С), по сравнению с вариантом В, на среднюю длину пяти отрезков с максимальным значением влияния практически не оказал. Восстановление механических показателей вероятно обусловлено повышением общей протяжённости линий контакта волокон (с 866 до 1090 мкм) и их количеством (с 280 до 316). Кроме участвующих в связеобразовании линий контакта между волокнами, в поперечном срезе существуют линии контакта между стенками волокон, по которым также действует совокупность сил водородных связей, сил Ван-дер-Ваальса и сил механического сцепления. Однако эти линии (отмечены фиолетовым цветом на рисунке 1) соединяют внутренние поверхности стенки волокон и практически не влияют на образование межволоконных связей. Общая протяжённость фиолетовых линий практически не меняется в представленных вариантах подготовки макулатуры для покровного слоя. Рассматриваемые варианты подготовки макулатуры на связеобразование волокон, обусловленных их природой, влияния практически не оказывают.

Следующим фактором, определяющим межволоконные силы связи, является равномерность распределения волокон (рисунок 3).

Сухой способ подготовки массы вносит существенные изменения в образование межволоконных связей, что сказывается на равномерности распределения волокон. Разработанный метод позволил выделить области среза в покровных и основных слоях картона (рисунок 3, варианты А, В, С), а также определить площади среза волокон в покровном и нижнем слоях и в двухслойном картоне в целом (таблица 3).

Таблица 3 - Площади областей среза волокон в поперечном срезе двухслойного картона тест-лайнера

Наименование слоя	Область среза волокон, мкм <sup>2</sup>		
	вариант А	вариант В	вариант С
Покровный слой	4762	4619	4789
Нижний слой	4669	4763	4759
Двухслойный картон	9431	9382	9548

Из таблицы 3 видно, что площадь среза волокон отличается незначительно, несмотря на различие в способах подготовки макулатуры, так как масса квадратного метра, которая определяется в основном волокнистым материалом, была приблизительно равной для каждого слоя.



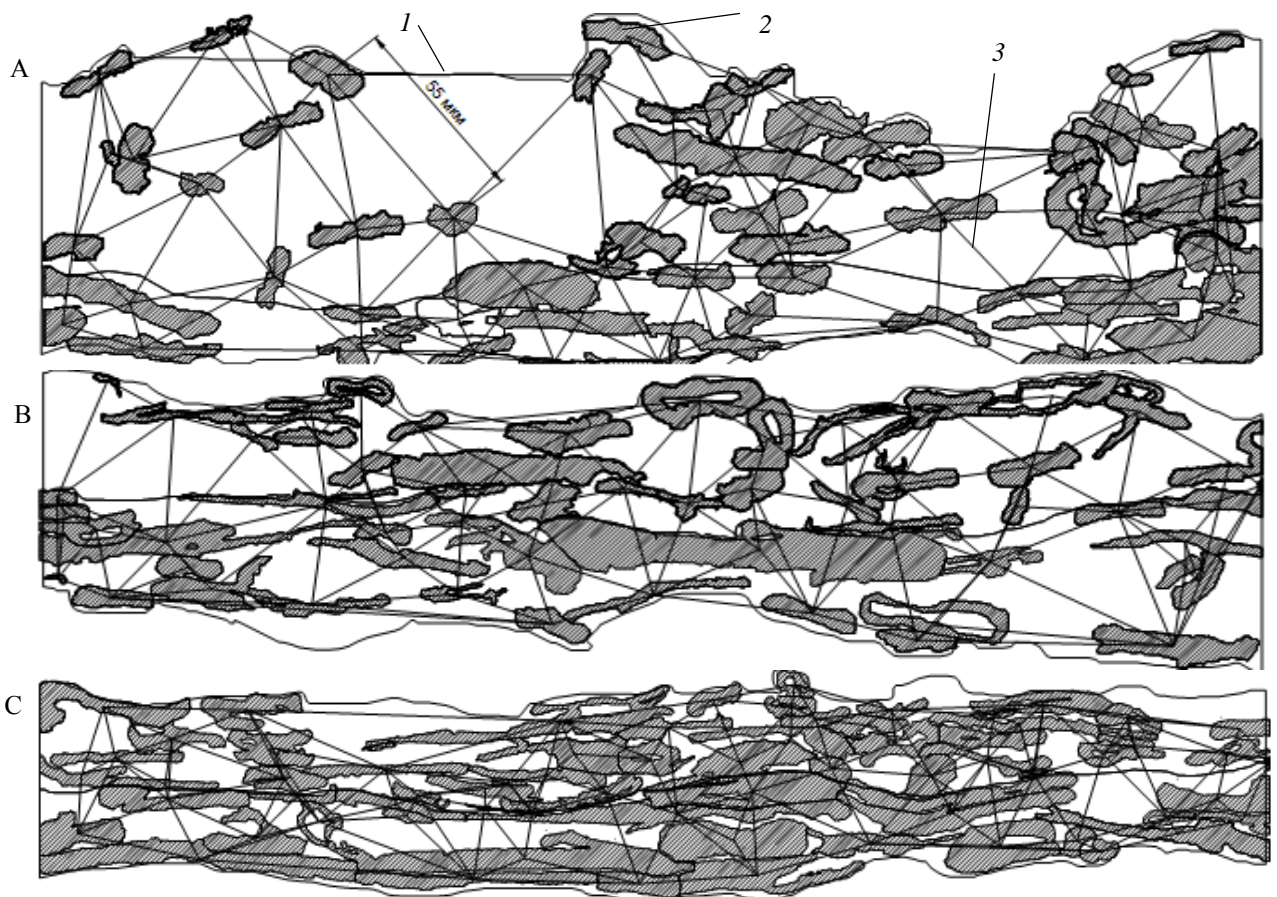


Рисунок 3 - Области среза волокон и метод определения равномерности распределения волокон в поперечном срезе картона: 1 – профили границы слоёв; 2 – область среза волокон; 3 – отрезки, соединяющие центры областей среза волокон; варианты А, В, С –аналогичны подписи рисунка 1

Однако равномерность распределения, которая определяется удалённостью центров областей срезов друг от друга, при разных способах подготовки макулатуры существенно отличается (рисунок 4). Максимальное удаление центров областей среза волокон было отмечено в варианте А. В вариантах В и С повысилось количество отрезков, соединяющих близлежащие области среза волокон, и снизилось среднее значение пяти отрезков с максимальной длиной.

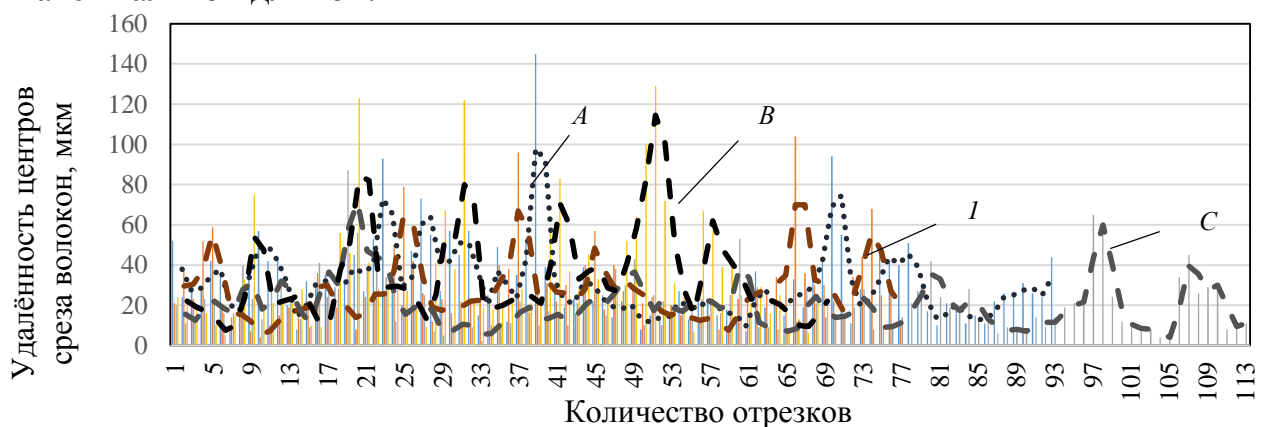


Рисунок 4 - Равномерность распределения волокон в поперечном срезе покровного слоя: варианты А, В, С – обозначение в соответствии с описанием рисунка 1; 1 – традиционный способ подготовки слоя (нижний слой)

Равномерность распределения областей срезов в поперечном сечении зависит от многих факторов (ориентации волокон в машинном и поперечном направлениях для промышленных образцов, морфологическими характеристиками волокон, конструкцией напускных и формующих устройств, режимами их работы и др.). Добавление волокон, подготовленных сухим способом, в массу приводит к тому, что флокул и сгустков в ней становится меньше, поэтому волокна в покровном слое распределяются более равномерно. Согласно морфологическим характеристикам волокон (таблица 4), увеличение грубости и скрученности приводит к увеличению толщины отливки. Повышение толщины при добавлении волокон, подготовленных сухим способом и имеющих менее эластичную структуру (скрученную, грубую), объясняется тем, что волокна не укладываются плотно при формовании, оставляя пустое пространство. Низкая эластичность (при повышенной грубости и скрученности) и большое содержание мелочи отрицательно сказываются на связеобразовании, которое также определяет прочность картона. Повышение толщины картона вызвано изменениями в морфологии волокон (повышении скрученности, грубости) и косвенно объясняет снижение механических характеристик (кроме жёсткости на изгиб), которые зависят от межволоконных сил связей, в большей степени обусловленных совокупностью сил водородных связей, сил механического сцепления и сил Ван-Дер-Ваальса.

Таблица 4 - Морфологические характеристики волокон

Параметры волокон	Способ подготовки макулатуры	
	мокрый способ	сухой способ
Грубость, мг/м	0,24	0,33
Угол изгиба, °	135	134,7
Изогнутые волокна, %	25,9	36,2
Скручиваемость, %	7,3	8,6
Отношение к длине макрофибрилл, %	0,467	0,351
Повреждённые концы, %	30,57	33,04
Площадь мелочи к общей площади объектов, %	9,56	13,62

Мелкие волокна, которых становится больше при сухой подготовке (таблица 4), заполняют пустоты, распределяясь равномерно в массе. Эти два явления положительно сказываются на качестве как покровного слоя, так и картона тест-лайнера в целом, уменьшая шероховатость, улучшая печатные свойства. Разработанный метод позволил выделить профили поверхностей слоёв и границы их раздела – это один из новых и практически значимых результатов, благодаря которому определяются параметры шероховатости: Ra и Rz (ГОСТ-25142-82) (таблица 5).

Таблица 5 – Шероховатость, определённая по профилям слоёв двухслойного картона тест-лайнера

Наименование слоя	Шероховатость, мкм					
	вариант А		вариант В		вариант С	
	Ra	Rz	Ra	Rz	Ra	Rz
Покровный слой	9	30	6	13	2	7
Нижний слой	3	10	5	15	5	11
Граница слоёв	4	11	5	13	4	10

По профилям границ слоёв поперечного среза тест-лайнера, в соответствии с графическим преобразованием изображения, представленного на рисунке 1, определены площади областей поперечного среза каждого слоя. По профилям границ слоёв также можно судить о равномерности формования картона в исследуемой области путём определения равномерности распределения толщины слоя по размерам (рисунок 5). Согласно диаграммам наибольшей толщиной и неравномерностью формования обладает покровный слой, подготовленный по технологии сухого диспергирования и АДФ (рисунок 5, А). Более равномерным и с меньшей толщиной был слой, полученный по технологии сухого диспергирования с последующим размолом массы (рисунок 5, С). Из рисунка также видно, что наибольшее сходство с нормальным распределением по толщине покровного и нижнего слоёв в поперечном срезе картона соответствует варианту С (рисунок 5).

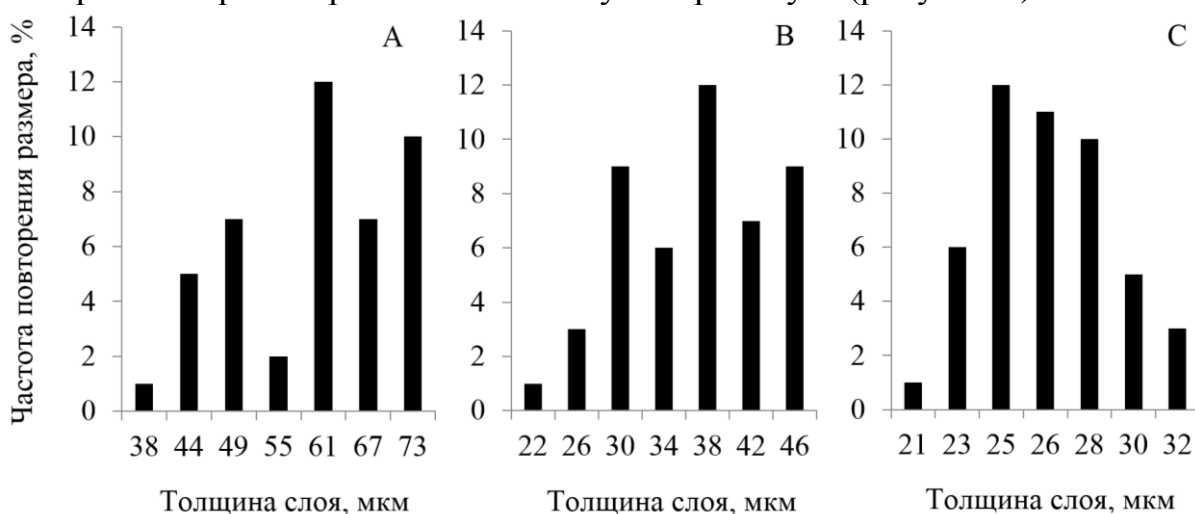


Рисунок 5 - Диаграммы распределения толщины покровных слоёв: А, В, С – варианты в соответствии с описанием рисунка 1

Разработанный метод даёт возможность оценить равномерность распределения толщины каждого слоя, что позволяет при производстве многослойного картона установить недостатки линии подготовки массы для формования определённого слоя.

Кроме равномерности распределения волокон, важным показателем, влияющим на межслоевую прочность, является равномерность распределения наполнителя. Наличие примесей, главным образом мела в белом покровном слое (содержание мела достигает 20 %), является одним из факторов, определяющих межволоконные силы связи.

Доля мела при сухой подготовке макулатуры из писчепечатных и офисных видов бумаги снижается, так как он удаляется с воздушным потоком и при очистке оседает в фильтрах. Согласно проведённым исследованиям около 3 % мела (от массы покровного слоя) уходит с воздушным потоком. Однако в целом содержание мела в двухслойном тест-лайнере с белым покровным слоем не отличается более чем на 1,5 %, что подтверждают показания зольности. В отличие от показателя зольности цифровой метод обработки изображения поперечного среза, в сочетании с энергодисперсионной спектроскопией, позволил оценить равномерность распределения мела в

поперечном срезе. На рисунке 6 видно, что содержание мела при подаче волокон в макулатурную массу заметно снижается. Размол в водной среде на содержание мела в образце влияет незначительно. Содержание мела повышает белизну и снижает шероховатость поверхности, но при этом снижаются механические показатели. Полученная карта распределения мела отражает его влияние на межслоевую прочность, наряду с дозировкой.

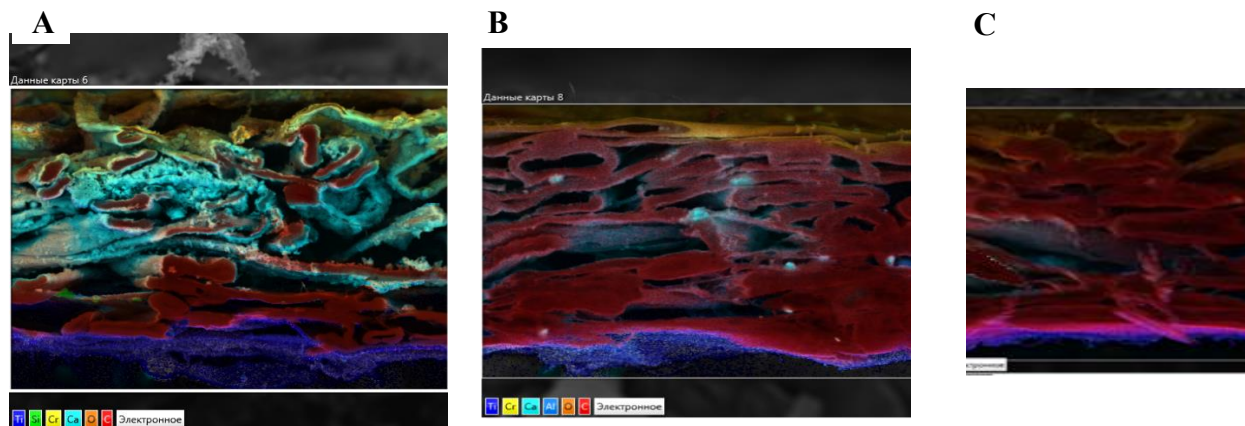


Рисунок 6 - Элементный состав поперечного среза многослойного картона (спектр):  
А, В, С – варианты в соответствии с описанием рисунка 1

Ещё одним фактором, определяющим межволоконные силы связи, является взаимное расположение волокон. Влияние этого фактора на межслоевую прочность оценивается в работе по расположению областей срезанных волокон в поперечном сечении картона и по пористости. Разработанный метод позволяет дать прямую и количественную оценку пористости двухслойного картона тест-лайнера. Новым техническим результатом метода стала возможность определять пористость в каждом слое многослойного картона.

Таблица 6 - Площади пор в поперечном срезе тест-лайнера

Наименование слоя	Площадь области поперечного среза, мкм <sup>2</sup>		
	вариант А	вариант В	вариант С
Покровный слой	15637	7326	3973
Нижний слой	3446	3379	3548
Двухслойный картон	19083	10705	7521

Площадь, занимаемая порами, приблизительно равна разнице между общей площадью поперечного среза каждого слоя или двухслойного картона и площадью, занимаемой областями срезанных волокон и наполнителя. Из таблицы 6. видно, что наиболее плотно уложены волокна покровного слоя, прошедшие размол в водной среде.

Таким образом, оценены основные факторы, влияющие на межволоконные силы связи и определяющие механические и поверхностные свойства. Теоретические представления стали основой для проведения экспериментальных исследований, в которых были подтверждены новые знания, положенные в основу ресурсосберегающей технологии многослойного тест-лайнера с белым покровным слоем.



**В третьем разделе** представлены результаты экспериментальных исследований по разработке ресурсосберегающей технологии многослойного тест-лайнера, направленные на снижение энергетических и сырьевых затрат, при сохранении механических и поверхностных характеристик картона.

Проанализирована перспектива производства в России трёхслойного тест-лайнера на плоскосеточных формующих устройствах. В этой концепции особое внимание уделено технологии очистки среднего слоя макулатуры, определяющего белизну и механические характеристики получаемого картона.

Технология подготовки сырья для среднего слоя трёхслойного тест-лайнера имеет важное значение с позиции сохранения механических характеристик при использовании низкосортной дешёвой макулатуры, например газетной, и для повышения белизны картона. Причём также необходимо обеспечить оптимальную дозировку очищенной от печатной краски газетной макулатуры в среднем слое, которая способствует высокой белизне и при этом не снижает механические показатели многослойного картона тест-лайнера с белым покровным слоем.

В таблице 7 представлены результаты экспериментальных исследований по определению влияния дозировки очищенной от печатной краски газетной макулатуры в среднем слое трёхслойного тест-лайнера.

Таблица 7- Свойства трехслойного тест-лайнера, содержащего очищенную от печатной краски газетную макулатуру в среднем слое

Параметры, размерность	Содержание среднего слоя от массы картона, %					
	0	10	20	30	40	50
Белизна, %	76	77	73,5	70	63,5	56,5
Сопротивление на разрыв, Н	85	90	90	90	87	82
Предел прочности, кН/м	5,8	6	6	6	5,9	5,5
Индекс прочности, Нм/г	35	36	40	38	32	30
Разрывная длина, км	3,7	3,8	4	3,9	3,2	3,1
Удлинение при разрыве, мм	1,7	1,9	2	2	2	1,6
Энергия разрыва, Дж/м <sup>2</sup>	72	87	85	90	89	85
Индекс ТЕА, МДж/г	0,46	0,52	0,55	0,58	0,49	0,48
Модуль упругости, ГПа	3	3	3,2	3	2,9	2,5
Жесткость при разрыве, кН/м	820	810	800	790	770	750
Индекс TSI, кН/г	5,1	5	5,2	5	4,1	4,1
Сопротивление продавливанию, кПа	310	335	340	321	320	319
Сопротивление сжатию (SCT), кН/м	3,2	3,2	3,3	3,4	3,2	3,2
Жесткость на изгиб, кН·м	3,2	3,2	3,3	3,4	3,2	3,2
Межслоевая прочность, Н	120	90	84	82	80	79

Из таблицы 7 видно, что содержание очищенной от печатной краски макулатурной массы в среднем слое трёхслойной отливки снижает её белизну. Данные таблицы выражают зависимость между качественным показателем картона (белизной в %) и расходом недорогого сырья, основы для среднего слоя. Стоимость трёхслойного тест-лайнера с белым слоем зависит от используемого вида сырья и технологии изготовления. Газетная макулатура, основа среднего слоя, является наиболее дешёвым сырьём.

Параметры контроля качества, представленные в таблице 7, позволяют рекомендовать предложенную технологию получения тест-лайнера с белым слоем. Анализ результатов прочностных свойств картона показывает, что при содержании от 20 до 30 % очищенной от печатной краски газетной макулатуры в среднем слое тест-лайнера, прочностные характеристики наиболее высокие и соответствуют показателям, установленным в технических условиях, разработанных на ряде предприятий. В данном варианте белизна трёхслойного картона находится в пределах 70-75 %, что является допустимым для немелованного тест-лайнера с белым покровным слоем, произведённым из 100 % макулатуры. Повышение содержания газетной макулатуры, очищенной от печатной краски, в среднем слое выше 40 % нецелесообразно, так как резко снижаются белизна (менее 70 %) и механические параметры.

Таким образом, наиболее предпочтительным для производства тест-лайнера с белым покровным слоем является технология многослойного формования, с содержанием газетной макулатуры, очищенной от печатной краски, 20 - 30 %. Оптимальной является композиция: 50 % макулатуры МС – 5Б в нижнем слое; 20 % газетной макулатуры в среднем слое, очищенной от печатной краски и 30 % облагороженной писчепечатной или офисной макулатуры в покровном слое. При составлении композиции в массу не добавлялись упрочняющие химикаты, применяемые при производстве и дающие прирост белизны и механических показателей.

Химические добавки в работе применялись с целью снижения связей между волокнами при роспуске и дороспуске макулатуры - основы для получения нижнего слоя. Использование химических добавок (смачивателей) при роспуске макулатуры МС-5Б - основы для нижнего слоя уменьшает время роспуска и позволяет сократить энергетические затраты. В связи с этим экспериментальные исследования по дороспуску макулатуры проводились в поле механических колебаний в пульсационном диспергаторе с применением химических добавок, которые широко используются на предприятиях.

Результаты экспериментальных исследований по определению зависимости содержания нераспущенных пучков волокон от затрат энергии при дороспуске массы в пульсационном диспергаторе при различной дозировке химикатов позволили разработать практические рекомендации по повышению эффективности процесса дороспуска макулатурной массы.

Установлено, что критические точки (для различных дозировок химикатов), при которых снижается эффективность роспуска в пульсационном диспергаторе, находились в диапазоне затрат энергии 0,05 - 0,55 кВт·ч (приблизительное время обработки 35 с). В гидроразбивателе эффективность процесса роспуска снижалась при энергетических затратах в 0,065-0,075 кВт·ч после 5 минут обработки. Содержание нераспущенных пучков волокон в точках снижения эффективности дороспуска находилось в диапазоне 0,5 – 2 %.

Высокая степень роспуска соответствует затратам энергии в 0,115 - 0,120 кВт·ч в пульсационном диспергаторе и 0,240 – 0,250 кВт·ч в

гидроразбивателе. Результаты отсканированных проб подтвердили данные весового метода определения степени роспуска массы по содержанию нераспущенных пучков волокон. Макулатурная масса, доведённая на стадии дороспуска до высокой степени диспергирования (при содержании нераспущенных волокон 0,05 - 0,07 %), может использоваться при получении многослойного картона тест-лайнера с высокими механическими свойствами и низкой стоимостью. Полученные данные использованы для решения практических задач, связанных со снижением затрат энергии в процессе массоподготовки при производстве картона - лайнера из макулатуры МС-5Б.

В целях снижения энергетических затрат и повышения поверхностных показателей с сохранением механических свойств, были проведены экспериментальные исследования по влиянию подготовки макулатуры сухим способом на свойства тест-лайнера с белым покровным слоем. Рассмотрены варианты использования сухой подготовки макулатуры для разработки ресурсосберегающей технологии многослойного тест-лайнера с белым покровным слоем.

В качестве сырья для нижнего слоя картона тест-лайнера использовалась макулатура марки МС-5Б, которая составляла 50 % от массы всего картона и для трёх- и двухслойного тест-лайнера ( $75 \text{ г/м}^2$  – масса квадратного метра нижнего слоя трёхслойного картона и  $60 \text{ г/м}^2$  – для двухслойного картона).

Содержание среднего и покровного слоёв трёхслойного тест-лайнера менялось, при этом общая масса квадратного метра картона оставалась постоянной. Макулатура, подготовленная сухим способом, подавалась в средний слой тест-лайнера, а покровный слой изготавливался по традиционной технологии. Сырьём для среднего слоя была макулатура из офисной бумаги, её доля варьировалась от 0 до 50 % от массы всего картона в 150 г. Макулатура для среднего слоя подготавливалась сухим способом и перед формованием распускалась в дезинтеграторе (вариант В). При другом варианте (С) подготовки макулатуры эта же макулатурная масса дополнительно размалывалась в водной среде.

При формовании двухслойного картона массой квадратного метра в 120-125 г масса покровного слоя составляла примерно 60 г. В соответствии с предложенными вариантами (вариант В - сухое диспергирование с подачей в массу; вариант С - сухое диспергирование и последующий размол в водной среде) покровный слой формовался из макулатуры, подготовленной сухим способом, после чего, полученные волокна, смешивались с традиционно подготовленной макулатурной массой. Доля макулатуры, подготовленной сухим способом, менялась от 0 до 100 % от массы покровного слоя. Упрочняющие химикаты в композицию картона не добавлялись.

На основании анализа механических и поверхностных показателей картона сравнивалась разработанная технология комбинированной мокрой и сухой подготовки макулатуры с традиционной мокрой. Полученные результаты экспериментальных исследований позволили определить влияние дозировки макулатуры, подготовленной сухим способом (варианты ресурсосберегающей технологии), на основные механические показатели

двух- и трёхслойного картона тест-лайнера с белым покровным слоем. Согласно экспериментальным данным, разрывная длина снизилась при подаче 50 % волокон, подготовленных сухим способом, с 4,2 до 2,8 км, а последующий размол в водной среде восстановил этот показатель до 3,9 км (таблица 8: вариант В - сухое диспергирование с подачей в массу; вариант С - сухое диспергирование и размол в водной среде).

Таблица 8 - Свойства трёхслойного картона тест-лайнера, содержащего волокна, подготовленные сухим способом

Параметры, размерность	Содержание волокон, подготовленных сухим способом, %					
	вариант В			вариант С		
	0	30	50	0	30	50
Соппротивление на разрыв, Н	103	87	71	103	106	94
Предел прочности, кН/м	6,85	5,80	4,78	6,86	7,05	6,24
Индекс прочности, Нм/г	41,3	35,2	27,8	41,3	42,8	38,7
Разрывная длина, км	4,2	3,6	2,8	4,2	4,4	4
Удлинение при разрыве, мм	2,2	1,7	1,6	2,2	2	1,9
Энергия разрыва, Дж/м <sup>2</sup>	105	69	52	105	97	94
Индекс ТЕА, МДж/г	0,7	0,4	0,3	0,7	0,6	0,5
Модуль упругости, ГПа	3,3	2,9	2,3	3,3	2,6	2,9

Такая же тенденция наблюдалась и для прочности на разрыв, а также модуля упругости (таблица 8) и других показателей, определяющих способность картона сопротивляться разрыву. Подобный характер разрушения при растяжении наблюдался и для двухслойного (таблица 9) и трёхслойного тест-лайнера. По сопротивлению на разрыв, покровный слой тест-лайнера может быть полностью сформован по технологии сухого диспергирования макулатуры с последующим размолом в водной среде.

Таблица 9 - Свойства двухслойного картона тест-лайнера, содержащего волокна, подготовленные сухим способом

Параметры, размерность	Содержание волокон, подготовленных сухим способом, %							
	В				С			
	0	30	50	100	0	30	50	100
Соппротивление на разрыв, Н	113	100	94	40	113	106	98	94
Предел прочности, кН/м	7,5	6,7	6,3	2,7	7,5	7,1	6,6	6,3
Индекс прочности, Нм/г	65	56	54	22	65	61	56	55
Разрывная длина, км	6,7	5,7	5,5	2,3	6,7	6,3	5,8	5,6
Удлинение при разрыве, мм	2,4	1,8	2,4	3,8	2,4	2,4	2	2,4
Энергия разрыва, Дж/м <sup>2</sup>	127	83	104	76	127	119	92	107
Индекс ТЕА, МДж/г	1,1	0,7	0,9	0,6	1,1	1	0,8	0,9
Модуль упругости, ГПа	5,3	4	4,1	1,42	5,3	5	4,7	4,4
Жесткость при разрыве, кН/м	854	843	676	287	854	817	786	717
Индекс TSI, кН/г	7,4	7	5,8	2,4	7,4	7	6,8	6,3

Согласно экспериментальным данным при подаче 30 % волокон, подготовленных сухим диспергированием, в средний слой трёхслойного тест-лайнера, сопротивление продавливанию уменьшается с 390 до 270 кПа; при

подаче 50 % - снижается примерно в два раза. Размол волокон в водной среде, предварительно подготовленных сухим способом, позволяет восстановить сопротивление продавливанию трёхслойного тест-лайнера до 370 кПа при 30 % и до 330 кПа – при 50 %, что соответствует показателю картона, прописанному в технических условиях. Аналогичная тенденция наблюдалась для двухслойного картона. С точки зрения сохранения сопротивляемости картона продавливанию, предпочтительным вариантом является подача 30 % волокон, подготовленных по предлагаемой технологии. Подобная тенденция наблюдалась для сопротивления картона сжатию на коротком расстоянии (рисунок 7).

Размол макулатурной массы, содержащей волокна после сухого диспергирования, восстановил сопротивление сжатию на коротком расстоянии с 2,2 до 3,5 кН/м при 50 % содержания волокон, подготовленных сухим способом, а при 30 % этот показатель восстановился до 3,7 кН/м, что удовлетворяет качеству картона тест-лайнера, рекомендованному в технических условиях предприятия. С точки зрения жёсткости картона на изгиб, предлагаемая технология подготовки макулатуры сухим способом имеет положительный эффект при трёхслойном формовании картона тест-лайнера. Так, например, из рисунка 8 видно, что жёсткость при изгибе повышается с появлением среднего слоя, подготовленного по предлагаемой технологии. При содержании волокон, подготовленных сухим способом в 50 % жёсткость при изгибе повысилась с 3,4 до 4,2 кН·м.

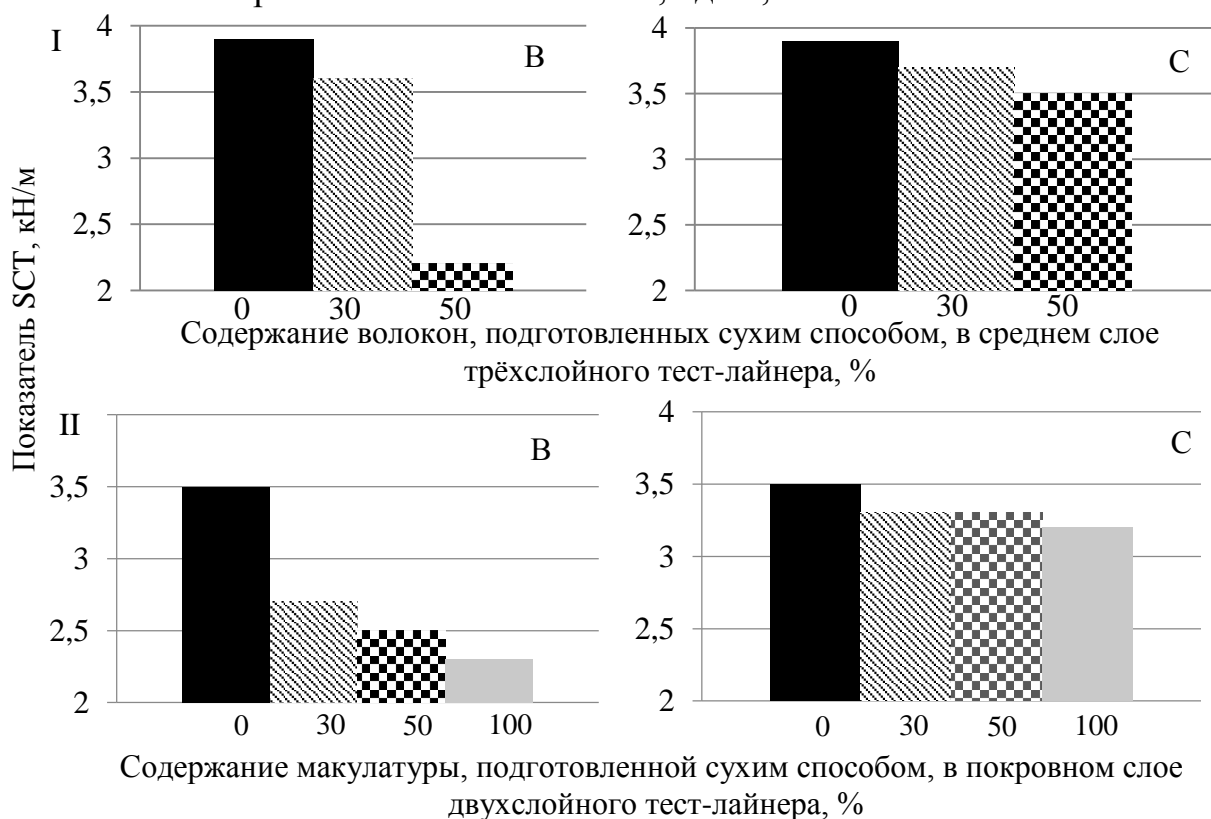


Рисунок 7 - Зависимость сопротивления сжатию на коротком расстоянии от содержания макулатуры, подготовленной сухим способом: I - трёхслойный тест-лайнер (150 г/м<sup>2</sup>); II - двухслойный тест-лайнер (120 г/м<sup>2</sup>); B - сухое диспергирование с подачей в массу; C - сухое диспергирование с последующим размол в водной среде

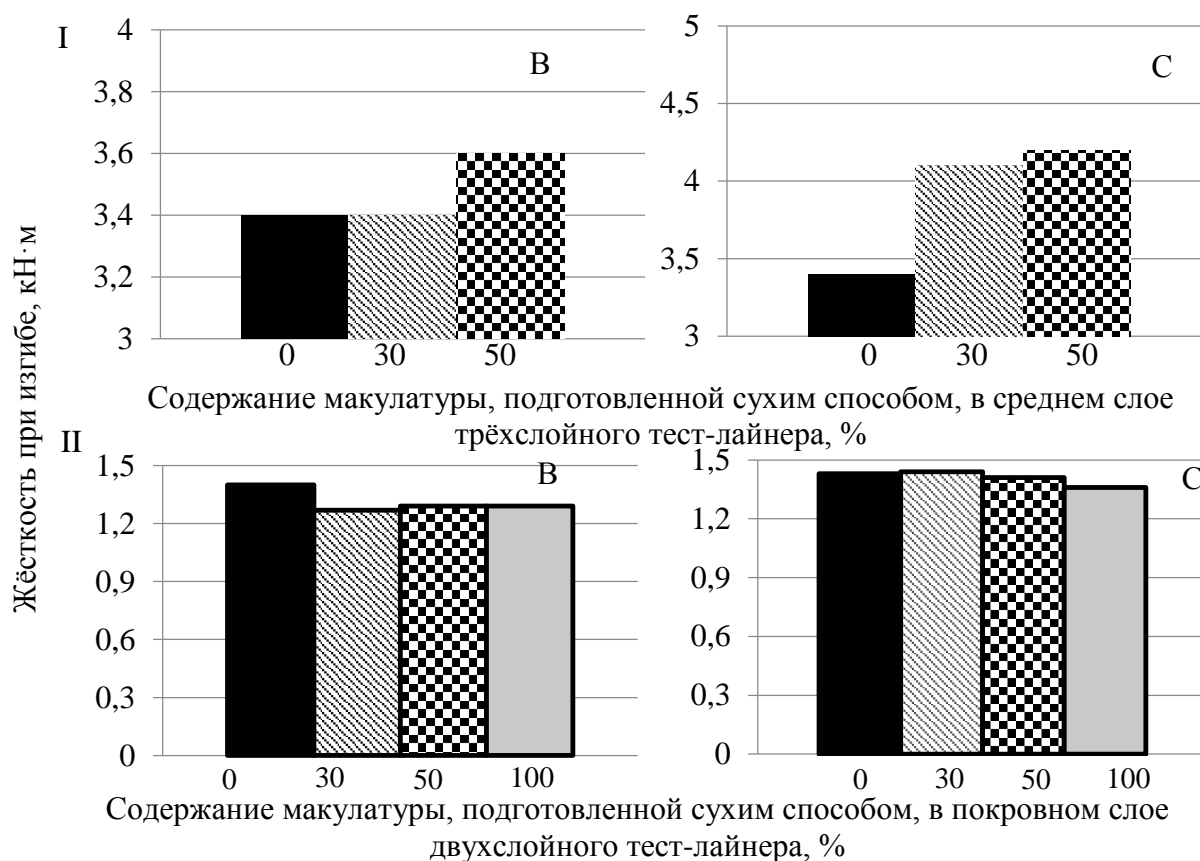


Рисунок 8 - Зависимость жёсткости при изгибе от содержания макулатуры, подготовленной сухим способом: I - трехслойный тест-лайнер (150 г/м<sup>2</sup>); II - двухслойный тест-лайнер (120 г/м<sup>2</sup>); В - сухое диспергирование с подачей в массу; С - сухое диспергирование с последующим размолем в водной среде

Положительный эффект вызван тем, что подача волокон, подготовленных сухим способом, в средний слой повышает толщину картона, следовательно, его жёсткость на изгиб (рисунок 8, В), при этом жёсткость практически не снижается из-за ослабления межволоконных связей в варианте С (рисунок 9, С). Предлагаемая ресурсосберегающая технология тест-лайнера с белым покровным слоем оказывает положительное влияние на жёсткость при изгибе для трёхслойного тест-лайнера и практически не оказывает негативного влияния на двухслойный тест-лайнер.

Многослойное формование может оказывать и отрицательное влияние на механические показатели картона тест-лайнера, при подаче волокон, подготовленных сухим способом. Например, межслоевая прочность картона, которая в большей степени определяется межволоконными силами связи, для трёхслойного картона, средний слой которого был подготовлен сухим способом, снизилась с 125 Н до 40 Н (рисунок 9, В) при содержании 30 % волокон, подготовленных сухим способом. Для двухслойного тест-лайнера этот показатель упал с 125 до 100 Н (рисунок 9, С). В данном случае преимущество двухслойного формования объясняется тем, что волокна, подготовленные сухим способом, были перемешаны с волокнами, подготовленными традиционным способом, поэтому межволоконные силы связи в покровном слое двухслойного тест-лайнера снизились незначительно, в отличие от трёхслойного картона, где средний слой был полностью произведен из волокон, подготовленных сухим способом. Полученные

результаты являются практическими рекомендациями для предприятий - производителей картона тест-лайнера с белым покровным слоем и для предприятий, которые планируют модернизацию формирующей части картоноделательной машины.

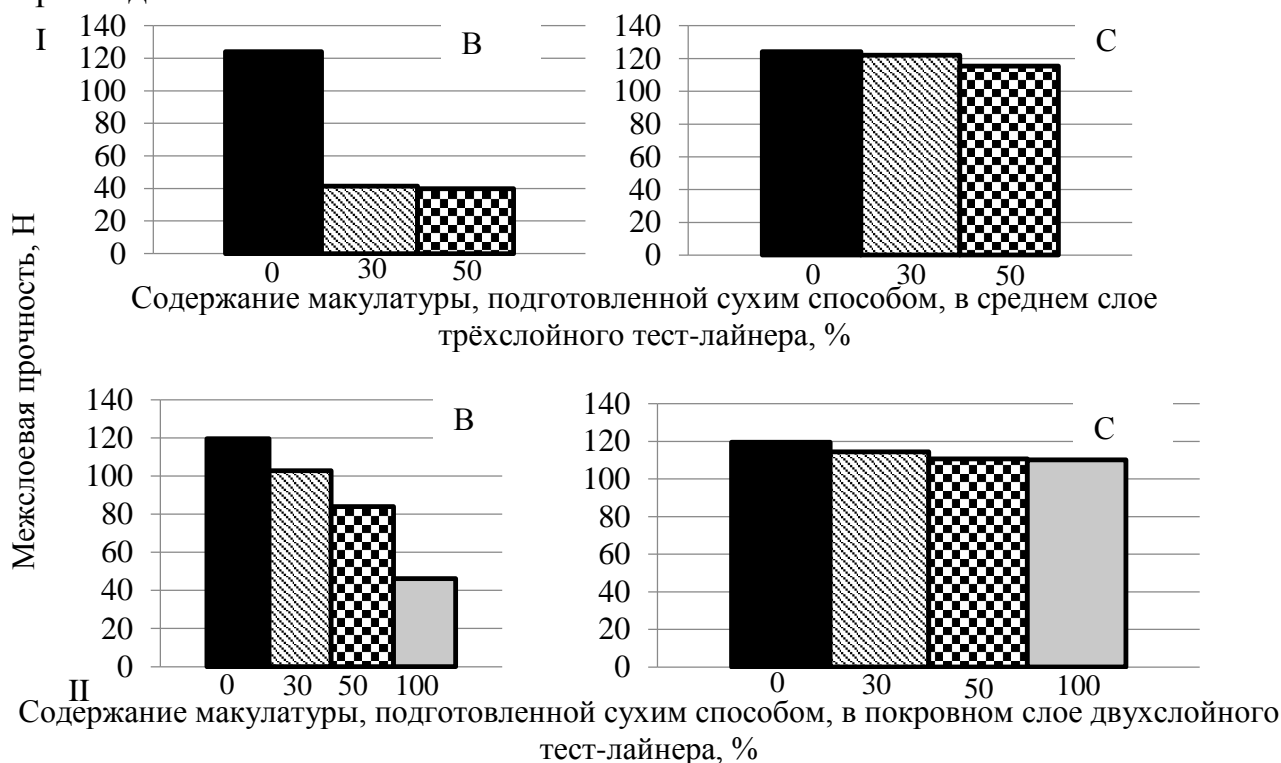


Рисунок 9 - Зависимость сопротивления расслаиванию от содержания макулатуры, подготовленной сухим способом: I - трехслойный тест-лайнер (150 г/м<sup>2</sup>); II - двухслойный тест-лайнер (120 г/м<sup>2</sup>); В - сухое диспергирование с подачей в массу; С - сухое диспергирование с последующим размол в водной среде

Оценка вариантов подготовки макулатуры в производство двух- или трёхслойного тест-лайнера при оптимальной дозировке волокон (30 %), полученных сухим способом, представлена в таблице 10.

Таблица 10 - Влияние сухого способа подготовки макулатуры на производство двух- или трёхслойного тест-лайнера

Технология формования		Наличие оборудования		Ресурсосбережение		Качество картона							
		Германия	Россия	энергия	металлоёмкость	шероховатость	равномерность формования	белизна	показатели разрыва	сопротивление продавливанию	сопротивление сжатию	жесткость при изгибе	межслоевая прочность
2 слоя	В	+	+	++	++	+	+	+	-	-	-	-	-
	С	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3 слоя	В	+	0	++	++	0	0	+	+	+	+	+	---
	С	+	0	++	+	0	0	+	+	+	+	+	+

\* Степень влияния (от одного до трёх знаков) в положительную сторону (+) (например, сокращение энергозатрат, воды) и в отрицательную (-) (например, ухудшение механических показателей).

В таблице 10 даётся представление о преимуществах и недостатках технологии двух- и трёхслойного формования с применением различных вариантов сухой подготовки (В - сухое диспергирование с подачей в массу; С - сухое диспергирование и последующий размол в водной среде). Из таблицы видно, что способ двухслойного формования в комбинации с использованием технологии сухого диспергирования с последующим размолом в водной среде может быть реализован на производстве. Одним из направлений развития для России, с точки зрения ресурсосбережения, является трёхслойное формование, которое позволит снизить энергетические затраты и затраты на оборудование с сохранением основных показателей качества картона тест-лайнера. По таблице 10 определён вариант для организации и проведения промышленной выработки картона по методу двухслойного формования с использованием сухого диспергирования и размола макулатуры в водной среде (2 слоя, вариант С при подаче от 20 до 30 % макулатуры, подготовленной сухим способом, Патент № 2687982).

**В четвёртом разделе** для подтверждения результатов теоретических и экспериментальных исследований была проведена промышленная выработка на картоноделательной машине предприятия ОАО «Каравеево» (Московская область) производительностью 60 т/сут. Массоподготовительный отдел предприятия не снабжен оборудованием для очистки волокон от печатной краски, поэтому флотация макулатурной массы проводилась на ОАО «Монди Сыктывкарский ЦБК» в г. Семибратово Ярославской области с последующей доставкой на ОАО «Каравеево».

Целью промышленной выработки являлось производство многослойного картона тест-лайнера с белым покровным слоем из макулатуры, очищенной от печатной краски. На основании анализа поверхностных и механических показателей образцов готовой продукции, полученных по предлагаемой и существующей технологиям (таблица 11), разрабатывались практические рекомендации по модернизации технологии картона для производства тест-лайнера с белым покровным слоем на отечественных предприятиях.

Полученный по предлагаемой технологии двухслойный картон тест-лайнер из макулатуры массой квадратного метра 120-125 г тестировался в соответствии с российским стандартом. По мере подачи очищенной от печатной краски макулатуры в производство картона её доля в верхнем слое повышалась с выработкой каждого последующего рулона. Последний произведенный рулон содержал в основном флотированную макулатуру (F\_125), а первый рулон был произведён из макулатуры, изначально не содержащей печатную краску (отходы брака с производства офисной бумаги с других предприятий, не содержащих печатную краску) (NF\_125). Белизна тест-лайнера (более 70 %) удовлетворяла требованиям заказчиков, поэтому полученный гофрокартон в дальнейшем использовался для верхнего слоя гофрокартона. Образцы под маркой В\_125 соответствовали тест-лайнеру с бурым покровным слоем из макулатуры МС-5Б.



Таблица 11- Физико-механические показатели тест-лайнера, полученного с использованием технологии очистки от печатной краски

Параметры, размерность	Исследуемые образцы				
	Ориентация волокон	B_125	NF_125	F50_125	F_125
Белизна, %		22	71	72	73
Максимальное усилие, Н	MD	71	76	76	78
	MC	37	40	39	41
Разрывная длина, км	MD	3,8	4	4,1	4,2
	MC	2	2,1	2,2	2,2
I – индекс сопротивления, Нм/г	MD	37,2	39,3	41,5	41,4
	MC	19,6	20,7	21,3	22
Модуль упругости, ГПа	MD	4,77	5,05	5,21	5,16
	MC	2,51	2,66	2,67	2,72
Сопротивление продавливанию, кПа		210	248	255	258
Сопротивление сжатию на коротком расстоянии (SCT), кН/м	MD	3,14	-	-	3,6
	MC	1,8	-	-	1,9
Жесткость на изгиб, кН·м	MD	3,1	-	-	3,7
	MC	1,8	-	-	1,9
Межслоевая прочность, Н		109	-	-	152

Положительным эффектом от внедрения флотированной макулатуры для белого слоя является некоторое повышение сопротивления продавливанию, так как перед флотацией макулатура очищалась и от примесей, отрицательно влияющих на механические параметры. По этой же причине повысилась и межслоевая прочность со 109 до 152 Н.

Анализ физико-механических показателей произведённого по предлагаемой технологии картона позволяет рекомендовать технологию очистки макулатуры для производства тест-лайнера из 100 % вторичного полуфабриката на отечественных предприятиях. Экономический эффект будет в основном зависеть от разницы цен на макулатуру и первичный белёный полуфабрикат, а также от стоимости оборудования для флотации.

Второй важной задачей являлось сокращение затрат энергии. Для этого выработка проводилась с подачей макулатуры, подготовленной сухим способом с последующим традиционным размолем, в технологический поток. Производство картона по предлагаемой технологии комбинирования сухого и мокрого способов подготовки макулатуры проводилось также на предприятии ОАО «Каравачево». Подготовка сухих волокон для промышленной выработки осуществлялась с помощью роторно-вихревой мельницы РВМ-22, адаптированной под сухое диспергирование макулатуры на предприятии ООО «Дробтехмаш». Сопоставление механических показателей многослойного тест-лайнера из волокон, полученных традиционным (мокрым) способом, с картоном, произведенным из волокон, полученных сухим диспергированием макулатуры с последующим размолем в водной среде, позволило оценить возможность применения предлагаемого способа в промышленности.

Разработанная ресурсосберегающая технология тест-лайнера, включающая в себя комбинацию сухой и мокрой подготовки макулатуры, впервые применялась в мировой практике. Она была запатентована как способ переработки целлюлозосодержащих отходов, а промышленная выработка осуществлялась по одному из примеров, представленных в описании патента на изобретение № 2687982 (рисунок 10).

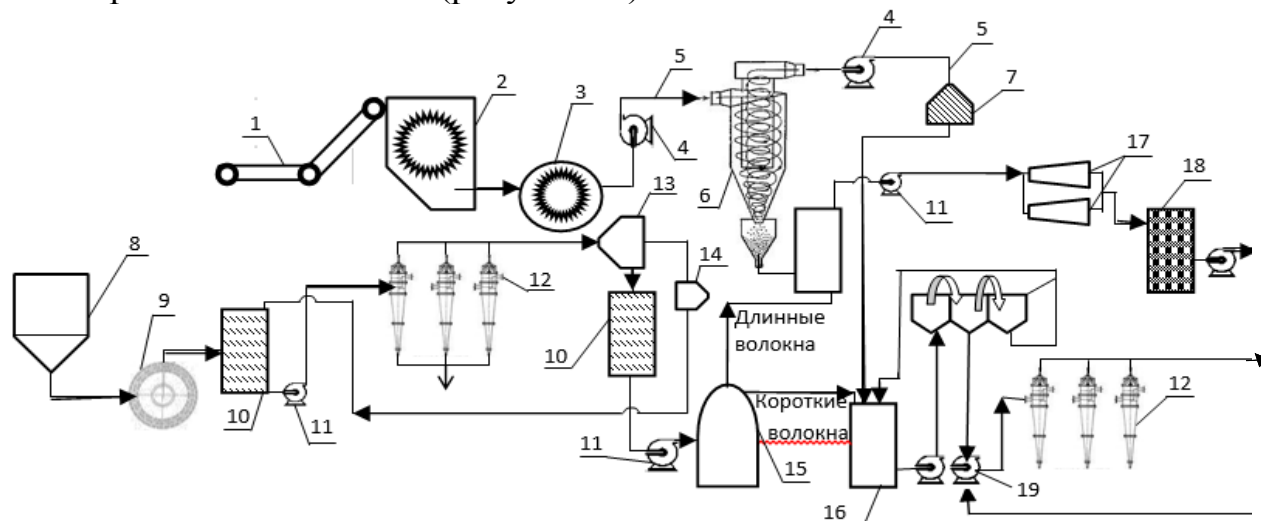


Рисунок 10 - Технологическая схема комбинированного способа подготовки макулатуры для производства тест-лайнера: 1 – конвейер; 2 - первая ступень диспергирования; 3 - вторая ступень диспергирования; 4 – вентилятор; 5 – трубопроводы; 6 – аэроциклон; 7 - воздушный фильтр; 8 - гидроразбиватель; 9 – пульсационный насос; 10 – бассейн; 11 – насос; 12 – гидроциклон; 13 – турбосепаратор; 14 – вибросортировка; 15 – фракционирование; 16 - массный бассейн; 17 – размол макулатуры в водной среде; 18 - композиционный бассейн; 19 - смесительный насос

Данная технология включает измельчение макулатуры в воздушной среде с дальнейшим выводом через камеру с разрежением воздуха (рисунок 10, поз. 1-7); подготовку макулатуры традиционным мокрым способом включая размол в водной среде (рисунок 10, поз.8 - 19).

Предлагаемая технология сокращает энергозатраты на производство картона за счёт сухой подготовки макулатуры. При этом полностью сохраняются механические характеристики картона. Сопоставление физико-механических показателей тест-лайнера, произведённого по запатентованной технологии и по традиционному способу, представлены в таблице 12.

Белизна тест-лайнера с белым покровным слоем, содержащая волокна, подготовленные сухим способом, несколько выше белизны картона, произведённого традиционным мокрым способом. Небольшой прирост белизны связан с более высоким содержанием наполнителя (мела) и более высокой белизной макулатуры, из которой были получены сухие волокна, а также от небольшого увеличения толщины белого покровного слоя. Положительным эффектом от внедрения технологии сухого диспергирования макулатуры для белого покровного слоя является снижение шероховатости, что благоприятно сказывается на качестве нанесения текста или изображения на картон. Картон, полученный по предложенной технологии сухого диспергирования макулатуры, имеет более равномерную поверхность, что

вызвано следующими факторами: во-первых, при подготовке волокон сухим способом фракционный состав значительно отличается от волокон, подготовленных традиционным мокрым способом (мелкие волокна, полученные сухим способом, более равномерно распределялись по поверхности картона); во-вторых, технология сухого диспергирования уменьшает фибрилляцию волокон, так как при сухой подготовке макулатуры, несмотря на дальнейший размол в водной среде, поверхность волокон недостаточно открыта для фибриллирования из-за незначительного снижения времени взаимодействия волокон с водой.

Таблица 12. Физико-механические показатели тест-лайнера, полученного с использованием технологии сухой подготовки макулатуры

Параметры, размерность	Способ подготовки макулатуры			
	существующий		предлагаемый	
	MD	MC	MD	MC
Белизна, %	75	75	76	76
Шероховатость, мл/мин	3040	3040	2400	2400
Толщина, мкм	237	237	261	261
Максимальное усилие, Н	89	43	88	45
Разрывная длина, км	4,5	2,2	4,7	2,3
I – индекс сопротивления, Нм/г	46	22,2	44	22,7
Модуль упругости, МПа	3249	1419	2679	1244
Сопротивление продавливанию, кПа	256		265	
Сопротивление сжатию (SCT), кН/м	3,6	1,9	3,5	2
Жесткость на изгиб, кН·м	2,1	0,6	2,2	0,9
Межслоевая прочность, Н	152		134	

Этот фактор особенно характерен для вторичных волокон, способность которых к набуханию значительно ниже, в отличие от первичных волокон. Для вторичных волокон требуется больше времени пребывания в водной среде для появления микрофибрилл на поверхности волокна. Снижение фибрилляции волокон приводит к тому, что в макулатурной массе уменьшается вероятность образования флокул, сгустков и агломератов волокон, что положительно сказывается на равномерности распределения волокон в массе.

Тест-лайнер, содержащий волокна, подготовленные сухим способом, отличался толщиной от картона, полученного по традиционной технологии. Добавление 25-30 % от массы картона и 50 % от массы покровного слоя волокон, подготовленных сухим способом, повысило толщину тест-лайнера примерно на 10 %. Несмотря на разбавление водой и дальнейший размол в водной среде, волокна, подготовленные сухим способом, менее эластичны, поэтому при формовании картона (при одинаковых условиях прессования и сушки) толщина слоя заметно увеличивается, даже при доле волокон, подготовленных сухим способом, в 25-30 %. Сопротивление продавливанию образцов картона с содержанием волокон, подготовленных сухим способом, повысилось на 3 %.

Испытания на разрыв картона производились в машинном (MD) и поперечном (MC) направлениях. Сопротивляемость разрыву картона,

полученного традиционным мокрым и комбинированным способами, отличаются незначительно. Из механических показателей снизилась только межслоевая прочность со 152 до 134 Н, однако это показатель достаточно высокий для многослойного тест-лайнера и соответствует требованиям, представленным в технических условиях. В остальном удалось сохранить механические показатели и повысить поверхностные. Экономический эффект от внедрения технологии сухой подготовки основывался на снижении энергии.

Для оценки энергетических затрат были подробно рассмотрены стадии подготовки макулатуры, начиная с подачи транспортёром и до стадии размола (рисунок 11). Изменение энергетических затрат при работе транспортёра, гидроразбивателя, насосов, турбосепаратора и перемешивающего устройства обусловлено снижением нагрузки на работу оборудования для обработки волокнистой суспензии при подаче сухих волокон в бассейн перед размолом.

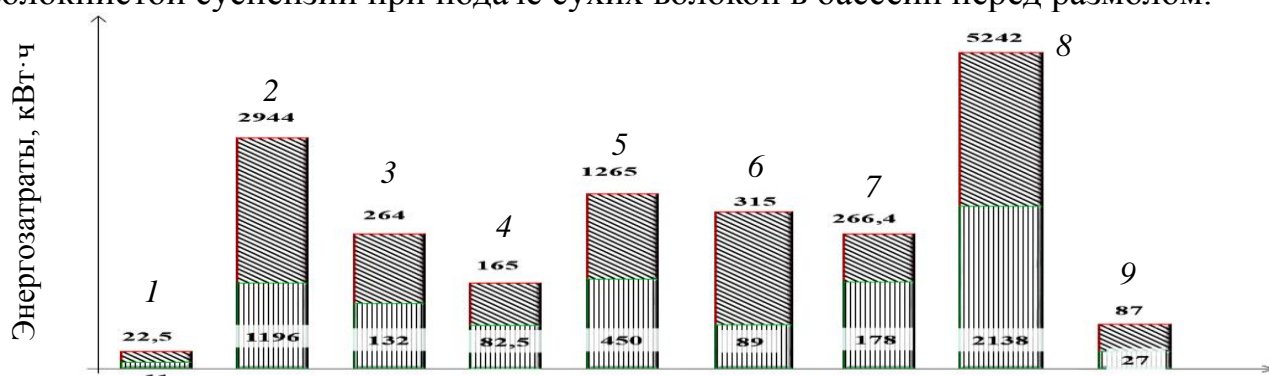




Рисунок 11 - Затраты энергии на подготовку макулатуры при подаче сухих волокон в массу на участке от роспуска до размола:  - базовый вариант, мокрая подготовка макулатуры;  - при подаче макулатуры, подготовленной сухим способом; 1 – затраты энергии на транспортёр в сутки; 2 – на роспуск в гидроразбивателе в сутки; 3, 4, 6 – на транспортировку макулатурной массы в насосах в сутки; 5 – на дороспуск в турбосепараторе в сутки; 7 – на перемешивание в массном бассейне в сутки; 8 – сумма энергозатрат на стадиях от роспуска до размола в сутки; 9 – сумма энергозатрат на стадиях от роспуска до размола на тонну картона

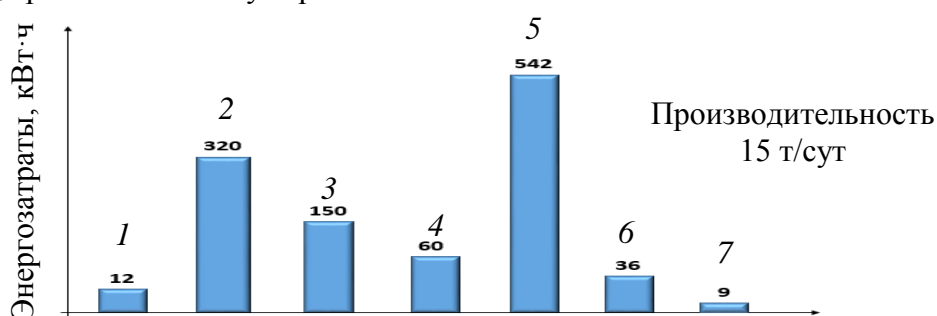


Рисунок 12 - Оценка энергетических затрат сухой подготовки макулатуры по стадиям процесса в сутки и на тонну сухого волокна и картона: 1 – затраты энергии на транспортёр в сутки; 2 – на измельчение в шредере; 3 – на диспергирование в мельнице; 4 - на транспортировку аэрозвеси вентиляторами; 5 - сумма энергозатрат по стадиям; 6 - сумма энергозатрат по стадиям на тонну волокна; 7 - сумма энергозатрат по стадиям на тонну картона

Из рисунка 11 видно, что расход энергии по предлагаемой технологии сокращается с 87 до 27 кВт·ч на тонну картона. При производительности картоноделательной машины 60 т/сут сухого волокна было добавлено 25-30 % от массы двухслойного картона. На подготовку сухих волокон затрачивается

около 9 кВт·ч энергии на тонну картона (согласно расчётам, полученным от ООО «ДробТехМаш») (рисунок12).

В таком варианте без ущерба качеству значительно сокращаются расходы на электроэнергию на участке от роспуска до размола макулатурной массы для покровного слоя (около 51 кВт·ч на тонну картона). Сухое диспергирования предполагает использование оборудования с более низкой производительностью и стоимостью на участке от роспуска до размола массы. При проектировании новых и модернизации существующих линий производства тест-лайнера с белым слоем с использованием технологии сухого диспергирования необходимо учитывать также эффект от снижения металлоёмкости оборудования. По результатам проведённых промышленных выработок было установлено, что технология сухой подготовки макулатуры для белого слоя картона тест-лайнера может быть использована на действующем промышленном производстве, так как не снижает механические показатели при использовании сухих волокон в 25-30 % от массы картона с подачей перед размолотом массы.

### **Общие выводы**

1. Разработаны научные основы процессов связеобразования между волокнами в картоне тест-лайнере, полученном с помощью различных технологий подготовки массы, в том числе сухого диспергирования макулатуры.

2. Разработана методика оценки факторов, определяющих межволоконные силы связи в многослойном картоне, с помощью технологии ионной резки и использованием современных графических и расчётных программ.

3. Экспериментально определены зависимости между содержанием очищенной от печатной краски макулатуры и физико-механическими свойствами тест-лайнера с белым покровным слоем. Разработаны практические рекомендации по внедрению технологии очистки макулатурной массы на отечественных предприятиях, производящих тест-лайнер.

4. Разработаны технология и оборудование, снижающие энергозатраты и повышающие бумагообразующие свойства макулатурной массы при дороспуске в пульсационных диспергаторах с использованием химических реагентов.

5. Экспериментально определены зависимости между поверхностными и механическими свойствами тест-лайнера с белым покровным слоем и содержанием волокон, подготовленных сухим способом. Разработана импортозамещающая технология производства тест-лайнера с белым покровным слоем, с использованием сухой подготовки макулатуры.

6. Разработана и внедрена в производство технология тест-лайнера с белым покровным слоем на отечественном предприятии, с использованием технологии очистки макулатурной массы от печатной краски. Проведено сопоставление качества полученного на производстве картона с производимым по существующей технологии.

7. Снижение удельных затрат энергии на производство тест-лайнера с белым покровным слоем составило более 50 кВт·ч на тонну картона по

предлагаемой технологии сухой подготовки макулатуры на предприятии ОАО «Каравачево» и для трёхслойного картона тест-лайнера на предприятии ООО «Прикамский картон».

### Список публикаций

#### Статьи в журналах из списка, рекомендованного ВАК РФ

1. Мидуков, Н.П. Повышение эффективности процесса диспергирования волокнистой суспензии в роторно-пульсационном аппарате / Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.О. Никифоров // Изв. вузов. Лесной журнал. – 2008. – №4. – С. 116–119.
2. Мидуков, Н.П. Диспергирование волокнистой суспензии в роторно-пульсационном аппарате / Н.П. Мидуков, А.О. Никифоров, В.С. Куров // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2010. – № 2. – С. 62 – 65.
3. Мидуков, Н.П. Использование роторно-пульсационного аппарата для получения проклеивающего состава на основе алкилкетендимера / Н.П. Мидуков, Р.О. Шабиев, В.С. Куров, А.С. Смолин // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2012. – № 9. – С. 68 – 71.
4. Шрайнер, Т. Влияние дозировки свежего волокна на показатели прочности и жёсткости трёхслойного тест - лайнера / Т. Шрайнер, Х. Гроссман, Н.П. Мидуков, А.С. Смолин, В.С. Куров // Целлюлоза. Бумага. Картон. - 2013. – №3. - С. 60-65.
5. Шрайнер, Т. Оценка технологических и энергетических параметров при подготовке бумажной массы для получения трёхслойного тест-лайнера / Т. Шрайнер, Х. Гроссман, Н.П. Мидуков, А.С. Смолин, В.С. Куров // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2013. – №7. – С. 34-37.
6. Шрайнер, Т. Исследование влияния дозировки облагороженной газетной макулатуры на основные свойства трёхслойного лайнера с белым слоем / Т. Шрайнер, Х. Гроссман, Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.С. Смолин // Целлюлоза. Бумага. Картон. - 2015. – №3. – С. 54-57.
7. Шрайнер, Т. Использование облагороженной газетной макулатуры в технологии производства картона вайт-лайнера / Т. Шрайнер, Х. Гроссман, Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.С. Смолин // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2016. - № 4. – С. 58 – 61.
8. Мидуков, Н.П. Повышение эффективности дороспуска макулатурной массы в пульсационном диспергаторе / Н.П. Мидуков, О.С. Варыгина, П.В. Осипов, В.С. Куров // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2016. – № 5. – С. 56 - 59.
9. Мидуков Н.П. Получение трехслойного вайт-лайнера из вторичных волокон методом аэродинамического формования / Н.П. Мидуков, П.А. Ефремкина, Г.К. Малиновская, В.С. Куров, А.С. Смолин // Химические волокна. - 2017. - №1. - С. 2-26.
10. Мидуков, Н.П. Сухой способ диспергирования волокон для последующего производства картона / Н.П. Мидуков, Д.С. Ефремов, В.С. Куров, А.С. Смолин // Химия растительного сырья. - 2018. – №3. – С. 279-286.
11. Мидуков Н.П., Куров В.С., Эрматова К.Х., Смолин А.С., Сомов П.А. Исследование поперечного среза многослойного картона с использованием

технологии ионной резки //Химия растительного сырья. - 2019.- №4. С. 387–397.

### **Патенты**

12. Пат. №70154 РФ Роторно-пульсационный аппарат/ Мидуков Н.П., Никифоров А.О., Куров В.С.; опубл. 20.01.08, Бюл. № 2.

13. Пат. №2410148 РФ Установка для приготовления волокнистой суспензии с наполнителем / Мидуков Н.П., Никифоров А.О., Куров В.С.; опубл. 27.01.2011, Бюл. № 3.

14. Пат. № 163756 РФ Многоступенчатый фракционатор для очистки волокнистого материала/Мидуков Н.П., Куров В.С.; опубл.10.08.2016, Бюл. №22.

15. Пат. № 2687982 РФ Способ переработки целлюлозосодержащих отходов/ Мидуков Н.П., Ефремов Д.С., Куров В.С., Смолин А.С.; опубл. 17.05.2019. Бюл. № 4.

### **Статьи в журналах, индексируемых в Web of Science, Scopus**

16. Midukov, N.P. Effect of virgin fiber content on strength and stiffness characteristics of a three-layer testliner/ N.P. Midukov, T. Schrinner, H. Grossmann, A.S. Smolin and V.S. Kurov // BioRes. - USA.– 2015. - Vol. 10(1). - P.1747-1756.

17. Midukov, N.P. 3D-technology in production of sealed containers for chemical industry devices / N.P. Midukov, M. A. Fadeeva, P.V. Kaurov, V.S. Kurov, P.A. Gashin // Journal of Industrial Engineering and Management (IJEM) - Serbia – 2016. - Vol.7. - № 3. – P. 87-92.

18. Мидуков, Н.П. Импортзамещающая технология производства картона вайт-лайнера из 100 % макулатуры / Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.С. Смолин, А.В. Власов., Т.В. Дубравина//Химическая технология.– 2019. – №1.– С. 29-34.

19. Мидуков, Н.П. Технология многослойного композиционного картона тест-лайнера с использованием сухих волокон / Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.С. Смолин, А.В. Власов, Т.В. Дубравина // Химическая технология. – 2019. - - №10 - С. 445-452.

### **Прочие публикации**

20. Мидуков, Н.П. Повышение эффективности процесса диспергирования многофазных систем при производстве бумаги и картона/ Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.О. Никифоров // Новое в технологии и оборудовании для производства гофрокартона и гофротары: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. / СПбГТУРП.– СПб., 2007. – С. 80-82.

21. Мидуков, Н.П. Интенсификация процесса диспергирования волокнистой суспензии с красителем на предприятии ЗАО «ГОТЭК-ЛИТАР»/ Н.П. Мидуков, А.О. Никифоров, В.С. Куров, П.В. Осипов, Р.Н. Гулякин, В.В. Выборнов// Химия в ЦБП: матер. Междунар. науч.-практ. конф./ СПбГТУРП. – СПб., 2008. – С. 78-81.

22. Мидуков, Н.П. Определение конструктивных параметров роторно-пульсационного аппарата для диспергирования волокнистой суспензии /Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.О. Никифоров // Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства: межвуз. сб. науч. тр./ СПбГТУРП. - СПб., 2010. – С. 75-78.

23. Мидуков, Н.П. Диспергирование многофазных систем при производстве бумаги и картона/ Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.О. Никифоров // Гофрокартон от сырья до печати (24-25 апреля): сб. тр. 2-й Междунар. науч.-практ. конф. / СПБГТУРП. – СПб., 2008. – С. 87-90.

24. Midukov, N.P. Development and testing of new structure of three-layers test liner cardboard / N.P. Midukov, A.S. Smolin, V.S. Kurov, T. Schrinner, H. Grossmann // Materialien zum wissenschaftlichen Seminar der Stipendiaten der Programme “Michail Lomonosov” und Immanuel Kant III (26 -27. April). – Moskau. – 2013. - P. 53-56.

25. Мидуков, Н.П. Рациональные пути повышения прочности материалов на основе вторичного волокна / Н.П. Мидуков, А.С. Смолин, Р.О. Шабиев, С.Ю. Кожевников // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: матер. 2-й Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. памяти проф. В.И.Комарова. - Архангельск: АГТУ. - 2013. – С. 23-26.

26. Шрайнер, Т. Получение нового вида картона тест-лайнера/ Т. Шрайнер, Х. Гроссман, Н.П. Мидуков, А.С. Смолин, В.С. Куров // Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства: межвуз. сб. науч. тр. / СПБГТУРП. - СПб., 2013. - С. 7-12.

27. Мидуков, Н.П. Трёхслойный картон тест-лайнер с высокими механическими показателями / Н.П. Мидуков, А.С. Смолин, В.С. Куров, А.Р. Сальманов // Новое в технологии ЦБП: матер. Междунар. науч.-практ. конф. / СПБГТУРП. – СПб., 2014. – С. 77-83.

28. Мидуков, Н.П. Повышение эффективности облагораживания газетной макулатуры при производстве картона вайт-лайнера с высокой белизной, механическими свойствами и низкой стоимостью // Девятнадцатая Санкт-Петербургская Ассамблея молодых учёных и специалистов: сб. тез. - СПб. – 2014. – 238 с.

29. Midukov, N.P. Development of white-liner cardboard with high brightness and mechanical parameters from 100 % of recovered paper / N.P. Midukov, A.S. Smolin, V.S. Kurov, T. Schrinner, H. Grossmann // Materialien zum wissenschaftlichen Seminar der Stipendiaten der Programme “Michail Lomonosov” und „Immanuel Kant III“ (24-25. April). – Moskau. – 2015. - P. 68-71.

30. Мидуков, Н.П. Повышение эффективности дороспуска макулатурной массы в пульсационном диспергаторе / Н.П. Мидуков, О.С. Варыгина, П.В. Осипов, В.С. Куров // Новое в технологии ЦБП: технологический процесс, оборудование, энерго- и ресурсосбережение: матер. Междунар. науч.-практ. конф./ СПБГТУРП. – СПб., 2016. – С. 33-36.

31. Мидуков, Н.П. Получение трёхслойного вайт-лайнера методом аэродинамического формования / Н.П. Мидуков, П.А. Ефремкина, Е.В. Семёнова, Г.К. Малиновская, В.С. Куров, А.С. Смолин // Новое в технологии ЦБП: технологический процесс, оборудование, энерго- и ресурсосбережение: матер. Междунар. науч.-практ. конф. / СПБГТУРП. – СПб., 2016. – С. 37-41.

32. Midukov, N.P. Deinked newsprint recovered paper for white-liner cardboard production / N.P. Midukov, A.S. Smolin, V.S. Kurov // 2<sup>th</sup> International Integrated



(Web & Offline) Conference & Concept on Convergence, ICCS 2016. – Saint-Petersburg. – August 7-14. – 2016. – P. 185 – 189.

33. Мидуков, Н.П. Изготовление герметичных корпусов с помощью 3D-технологии. / Н.П. Мидуков, М.А. Фадеева, П.А. Гашин, В.С. Куров // Вестник СПбГУПТД. - 2016 - № 4.– С. 32 – 36.

34. Мидуков, Н.П. Получение трёхслойного вайт-лайнера методом аэродинамического формования / Н.П. Мидуков, П.А. Ефремкина, Г.К. Малиновская, В.С. Куров, А.С. Смолин// Современные задачи промышленных технологий в теплоэнергетическом и лесопромышленном комплексах: матер. научно-практической конференции студентов и аспирантов / ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2016. – С. 4-6.

35. Midukov, N.P. Combination of Aerodynamic and Traditional methods of forming in the Production of a multi-Layer white-liner / N.P. Midukov, A.S. Smolin, V.S. Kurov, T. Schrinner, H. Grossmann // Materialien zum wissenschaftlichen Seminar der Stipendiaten der Programme “Michail Lomonosov” und „Immanuel Kant III“.– Moskau. – 2017. – P. 68-71.

36. Мидуков, Н.П. Производство многослойного тест-лайнера с белым покрывным слоем в России / Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.С. Смолин. //Гофроиндустрия на современном этапе развития: XVI Междунар. науч.-практ. конф. / СПбГУПТД. – СПб., 2017. – С. 8-9.

37. Мидуков, Н.П. Подготовка макулатуры сухим способом / Н.П. Мидуков, Д.С. Ефремов, А.В. Санников, Р.А. Зимин, В.С. Куров, А.С. Смолин //Гофроиндустрия на современном этапе развития: XV Междунар. науч.-практ. конф./ СПбГУПТД. – СПб., 2017. – С. 59-63.

38. Мидуков, Н.П. Подготовка волокон для получения картона /Н.П. Мидуков, Д.С. Ефремов, В.С. Куров, А.С. Смолин, Т. Шрайнер, Х. Гроссманн //Вестник СПбГУПТД. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2017. – № 4. – С. 56 – 61.

39. Мидуков, Н.П. Межслоевая прочность картона /Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.С. Смолин, А.П. Михайловская, В.А. Липин //Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2018. – № 1. – С. 63-67.

40. Мидуков, Н.П. Производство многослойного картона тест-лайнера с белым слоем в России / Н.П. Мидуков, А.С. Смолин, В.С. Куров, Д.С. Ефремов //Производство бумаги и картона для гофротары и упаковки: XIX Междунар. науч.-практ. конф. 24-25 мая 2018 г. – Караваево. - 2018. - С. 5-6.

41. Мидуков, Н.П. Разработка и промышленное внедрение технологии подготовки макулатуры без воды при производстве картона // Двадцать третья Санкт-Петербургская Ассамблея молодых учёных и специалистов: сб. тез. / СПбГУПТД. - СПб., 2018. – 161 с.

42. Мидуков, Н.П. Технология ионной резки при исследовании многослойного картона / Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.С. Смолин, П.А. Сомов //Гофроиндустрия на современном этапе развития: сб. тр. XVII Междунар. науч.-практ. конф. / СПбГУПТД. – СПб., 2018. – С. 10-13.

43. Мидуков, Н.П. Разработка и промышленное внедрение технологии

подготовки макулатуры без воды при производстве картона / Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.С. Смолин, А.В. Власов, Т.В. Дубравина // Гофроиндустрия на современном этапе развития: сб. тр. XVII Междунар. науч.-практ. конф. / СПбГУПТД. – СПб., 2018. – С. 14-16.

44. Мидуков, Н.П. Исследование поперечного среза многослойного картона с использованием технологии ионной резки / Н.П. Мидуков, Я.В. Казаков, В.С. Куров, А.С. Смолин, С. Хейнман: матер. V Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. памяти проф. В.И. Комарова: (Архангельск. 11-14 сентября). – Архангельск: САФУ. - 2019. - С. 65-67.

45. Мкртычан А.И. Перспектива использования технологии трёхслойного формования тест-лайнера с белым покровным слоем в России. / А.И. Мкртычан, Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.С. Смолин // Перспективы развития техники и технологии в ЦБП и Лесоперерабатывающей промышленности: сб. тр. VII Всероссийской отраслевой науч.-практ. конф./ Пермь. –2019. - С. 44-48.

#### **Монография**

46. Мидуков, Н.П. Производство многослойного картона тест-лайнера с белым слоем / Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.С. Смолин. – СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2018. – 208 с.

#### **Учебное пособие**

47. Мидуков, Н.П. Перемешивание в целлюлозно-бумажной промышленности. / Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.О. Никифоров, Д.М. Сивцов: уч. пособие. - 3-е изд., перераб. и доп. СПбГТУРП. - СПб., 2012. - 81 с. (Рецензия № 1780 от 6 апреля 2012 г.).