

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ
В ТЕХНОЛОГИИ БУМАГИ И КАРТОНА**

**МАТЕРИАЛЫ
МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-
ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

(Санкт-Петербург, 20 апреля 2022 г.)

**Санкт-Петербург
2022**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики
Институт комплексного развития и обучения «КРОНА»**

**МАТЕРИАЛЫ
Международной научно-практической
конференции
«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ
В ТЕХНОЛОГИИ БУМАГИ И КАРТОНА»**

(Санкт-Петербург, 20 апреля 2022 г.)

Научное издание
2022

Под редакцией профессора ВШТЭ СПбГУПТД А. Н. Иванова

Санкт-Петербург
2022

ББК 35.77
УДК 676.056
С 56

С 56 Современные тенденции в технологии бумаги и картона: материалы Международной научно-практической конференции / Минобрнауки РФ; ФГБОУ ВО «С.-Петербург. гос. ун-т промышленных технологий и дизайна»; под ред. проф. А. Н. Иванова. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. – 49 с.

ISBN 978-5-91646-292-0

В настоящем сборнике приведены материалы Международной научно-практической конференции «Современные тенденции в технологии бумаги и картона».

Тезисы докладов, статьи, презентации характеризуют современное состояние проблемных вопросов бумажной промышленности. Подробно и всесторонне рассмотрены проблемы химической технологии, насосного оборудования, сушки бумаг, очистных сооружений и импортозамещения.

Материалы сборника представляют интерес для специалистов, работающих в области целлюлозно-бумажного производства.

Статьи публикуются в авторской редакции.

С предложениями и замечаниями обращайтесь в Институт «КРОНА» при ВШТЭ СПбГУПТД по адресу: 198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4, тел./факс (812) 786-5309 или электронной почте: krona@gturp.spb.ru

УДК 35.77
ББК 676.056

ISBN 978-5-91646-292-0

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2022



УДК 676.014.42

Жильникова М. В.
АО «Пигмент»

ОРГАНИЧЕСКИЕ КРАСИТЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА АО «ПИГМЕНТ»

Основная роль органических красителей в составе окрашенной бумаги – придание декоративных свойств, при этом декоративные свойства готового бумажного изделия должны сохраняться на протяжении всего срока службы.

Направление «Красители» существует на предприятии ОА «Пигмент» более 70 лет. Оно развивается как за счет расширения ассортимента красителей, так и постоянной работы над качественными показателями по причине появления новых требований и обеспечения стабильности достигнутого качества. К примеру, повышаются требования экологической безопасности продуктов, к прочностным свойствам красителей.

Ассортимент органических красителей АО «Пигмент» для производства окрашенной бумаги и картона можно разделить на 3 группы:

– Основные красители катионного типа

*Рекомендованы для крашения и тонирования небеленой целлюлозы и древесной массы, производства картона и упаковочных бумаг из вторичного сырья. Это красители с достаточно низкими прочностными характеристиками (такими как светостойкость, устойчивость к жесткой воде), они обеспечивают высокую яркость цвета при низком расходе. Таким образом, **работает золотое правило: оптимальное соотношение «цена – качество».***

В ассортименте АО «Пигмент» насчитывается более 15 марок основных красителей.

Ключевые марки:

1) коричневые: краситель основной КРАТА БРАУН широко используется для производства картона и упаковочной бумаги из вторичного сырья, натуральной древесины, целлюлозы. С 2018 года АО «Пигмент» запустил новое производство красителя основного КРАТА БРАУН, мощностью 2500 т/год. Данная технология позволяет изменить оттенок и интенсивность красителя под индивидуальные требования потребителя. Автоматизация линии производства позволяет обеспечить стабильность качества продукта от партии к партии. В ассортименте АО «Пигмент» 10 марок с различными цветовыми характеристиками (интенсивность, оттенок).



2) **фиолетовые:** краситель основной фиолетовый К. Ключевая марка красителя для производства газетной бумаги, обладает высоким сродством к небеленой целлюлозе, древесине. Высокая интенсивность цвета сопровождается малыми расходами в производстве. Данная марка красителя представлена в нашем ассортименте с красным и синим оттенком.

3) **зеленые:** краситель основной ярко-зеленый – данный продукт нашел широкое применение в производстве товаров для детского творчества (обложки для тетрадей). Высокая насыщенность цвета. В ассортименте нашего производства представлен в виде 2-х марок – краситель с желтым и синим оттенком.

– **Прямые красители анионного типа**

Для производства бумаг санитарно-гигиенического назначения – преимущество отдается более прочным маркам красителей. Данный тип красителей более экологически безопасный, имеет высокую устойчивость к свету, воде. Широкая цветовая гамма красителей позволяет получить бумажное изделие требуемой насыщенности и оттенка. В ассортименте нашего предприятия более 20 марок красителей. Ключевые марки:

- краситель прямой ярко-желтый 2 «З»
- краситель прямой желтый К
- краситель прямой оранжевый СВ 2 Ж
- краситель прямой алый Ж
- краситель прямой красный 4С
- краситель прямой фиолетовый 5С
- краситель прямой бирюзовый СВ
- краситель прямой голубой
- краситель прямой зеленый 4Ж

– **Катионные красители анионного типа**

Растет применение высокопрочных красителей – катионных анионного типа. Данный тип красителей имеет сродство как к беленой, так и небеленой целлюлозе. Из преимуществ данного типа красителей: высокая насыщенность цвета, яркие оттенки, устойчивость к воде. Однако данный тип красителей уступает по светостойкости, экологической безопасности прямым красителям.

В современных условиях перед отечественным производителем стоят задачи по:

- совершенствованию технологий получения традиционных многотоннажных марок красителей для окрашивания бумаги;



- улучшению потребительских свойств красителей, к примеру, таких как: стабильность цветовых характеристик. Нормы по общему цветовому различию ΔE – от 0,5 до 1, по оттенку ΔH 0.5 единиц по отношению к стандартному образцу в зависимости от марки красителя.

- соответствию постоянно ужесточающимся экологическим требованиям. Красители АО «Пигмент» регулярно проходят проверку на соответствие экологической безопасности. Так, например, краситель основной КРАТА БРАУН соответствует единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям, прошел испытания на соответствие требованиям стандарта FDA, требованиям документа Recommendation XXXVI BfR.

Исходя из всего вышеизложенного, основной целью АО «Пигмент» является предоставление максимального ассортимента красителей, полностью удовлетворяющего требованиям производства современных бумажных изделий. Используя отечественные красители, бумажным компаниям гарантированы наличие качественной продукции, оказание технической поддержки, а также предоставление необходимой сопроводительной документации.



УДК 676.038

Житнюк В. А.
СФТ Групп

ДИВЕРСИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

SFT group предлагает широкий ассортимент тарного картона в совокупности с различной массой m^2 бумажного полотна и форматов ролей, что позволяет увеличивать вариативность при производстве упаковочных решений. Производства тарных картон полностью обеспечивает собственные мощности переработки тарных картонов в гофропродукцию. На данный момент в продуктовую линейку тарных картонов входят: марки картона для плоских слоев гофрированного картона SFT Liner и бумага для гофрирования SFT Medium, а также специализированные виды картона и бумаги марки KS, направленные на производство упаковки с повышенной влагонепрочностью и гофроупаковки, работающей в агрессивных средах и условиях заморозки.

В связи с изменением внешнеполитической конъюнктуры также претерпели изменения условия ведения производственной деятельности, внутренние и внешние рынки картонов и гофропродукции. Сложившаяся ситуация способствует усилению профицита тарных картонов в значительной степени за счет дополнительного объема предложения целлюлозных тарных картонов, которые ранее отправлялись на экспорт. Данное обстоятельство приведет к негативным явлениям на Российском рынке тарных картонов. В связи с этим на уровне управляющей компании было принято решение о перепрофилировании части мощностей по производству тарных картонов на выпуск новых высокомаржинальных продуктов. Одним из наиболее перспективных направлений были определены узкоспециализированные виды технических бумаг, а также крафт-бумага и картон Duplex, объемы производства которых на Российском и Китайском рынке не покрывают существующий спрос по данным видам бумажных изделий.

В целях диверсификации продуктовой линейки планируется освоить производство следующих направлений:

- Охладительно-испарительного картона для производства картриджей для систем охлаждения и вентиляции.
- Картон Duplex.
- Крафт-бумага из 100 % макулатуры марки МС 5Б.
- Картон для электрических плат.
- Бумага-основа для шлифовальной шкурки.
- Бумага основа для производства слоистых пластиков.



Стоит подчеркнуть, что в марте 2022 года на Каменской БКФ в ходе проведения опытно-промышленной выработки была получена крафт-бумага марки «А», предназначенная для производства пакетов и мешков. Внутренний диаметр гильзы – 76 мм, производимые форматы – 740, 1000 мм.

Физико-механические показатели	
масса м ² , г	78±4
влажность, %	8+1-2
разрушающее усилие в поперечном направлении, Н, не менее	44
Относительное удлинение при растяжении в поперечном направлении, %, не менее	3,6
Поверхностная впитываемость воды при одностороннем смачивании (Кобб660), г/м ² , не более	35

В рамках сложившейся ситуации также необходима диверсификация поставщиков в области обеспечения материально-техническими ресурсами в целях минимизации производственных рисков. Наиболее актуальными направлениями в рамках решения данной задачи является замещение позиций химикатов и одежды машин, относящихся к высокой степени риска. В рамках решения данной задачи было принято решение о переориентации закупок промышленных товаров европейских поставщиков на китайские аналоги, а также образование стратегического запаса по позициям с высокой степенью риска. В частности, на данный момент заключены контракты на поставку химикатов и одежды машин с китайской технологической компанией поставщиком оборудования для целлюлозно-бумажной промышленности – YUNCHOU.



УДК 66.023.2

Зильберглейт М. А.

Белорусский государственный технический
университет (г. Минск, Белоруссия)

Мидуков Н. П., Куров В. С., Литвинов М. А.
Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна (Россия)

ОЦЕНКА ПОРИСТОСТИ БУМАГИ И КАРТОНА ПО МИКРОСТРУКТУРЕ ПОПЕРЕЧНОГО СРЕЗА

Одними из наиболее перспективных направлений оценки качества бумаги, в том числе пористости, является цифровая обработка микроструктуры волокон.

Предлагаемая работа направлена на разработку метода определения пористости. Для этого осуществляется сопоставление различных методов определения пористости с помощью программных продуктов, поддерживающих векторные и растровые форматы. Решение этой задачи позволит перейти к созданию новых приборов по контролю качества волокнистых композиционных материалов.

С помощью ионной резки и электронной микроскопии бумаги был получен поперечный срез протяженностью более 3,5 мм. Для графической обработки анализируется область размером в 95 x 840 мкм (рис. 1).

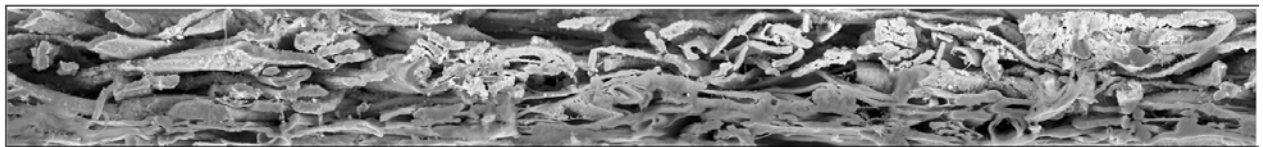


Рис. 1. Изображение микроструктуры поперечного среза картона

Области среза волокнистого материала были выделены вручную в программе AutoCAD. В результате были получены черно-белые изображения поперечного среза волокнистого композиционного материала (рис. 2, 3). На рис. 2 область срезанного волокнистого материала выделена черным цветом, а на рис. 3 – белым.



Рис. 2. Выделенные области среза волокнистого материала (в черном цвете) при работе с векторным форматом в программе AutoCAD



Рис. 3. Выделенные области среза волокнистого материала (в белом цвете) при работе с векторным форматом в программе AutoCAD

Векторный формат файла позволил установить площадь среза волокон, которая составила 28200 мкм^2 из $79\ 800 \text{ мкм}^2$ исследуемой области. Площадь пор в исследуемой области материала определена как разность указанных площадей и равна $51\ 600 \text{ мкм}^2$, пористость составила 64 %. Для ее оценки было затрачено порядка 370 минут. Время на ионную резку и электронную микроскопию не учитывались, так как сопоставлялись затраты времени и точность измерений только графической обработки.

Приблизительные затраты времени на графическую обработку поперечного среза бумаги

Наименование операции	Затраты времени, мин/
«Вставка» изображения поперечного среза в программу AutoCAD и настройка масштаба изображения	5
Выделение областей среза волокнистого материала «полилиниями»	300
Ввод данных площади областей среза в программу «Excel»	60
Расчет пористости в программе «Excel»	5
Итого	370 мин.

Графическая обработка в растровом формате проведена с помощью программы ImageJ, которая позволила в автоматическом режиме перевести изображение в черно-белый цвет. На рис. 4 представлено черно-белое изображение поперечного среза размером в $95 \times 840 \text{ мкм}$, в котором области срезов волокон изображены белым цветом, а области пор – черным. Для сравнения с результатами, полученными при обработке изображения (рис. 5), области среза также переводились в черный цвет.



Рис. 4. Выделенные области среза волокнистого материала (в черно-белом цвете) при работе с растровым форматом в программе ImageJ



Рис. 5. Выделенные области среза волокнистого материала (в инвертированном цвете) при работе с растровым форматом в программе ImageJ

При работе с программой ImageJ точность определения площади пор зависит от выбора контрастности изображения, а также выбора оттенка цвета, который будет определять области среза. Согласно расчетам по программе ImageJ, площадь пор и соответственно пористость в исследуемой области определялась соотношением между «черным» и «белым» изображением и составила 60,5 %.

Для оценки пористости было затрачено 10 мин. Скорость обработки данных с помощью программы ImageJ и автоматизация исследований в перспективе могут способствовать созданию прибора для оценки пористости бумаги и картона. Однако точность измерений существенно уступает ручной обработке изображения поперечного среза, так как выбранный цвет для области среза волокна может соответствовать области, которая определяет объекты, находящиеся за пределами исследуемого поперечного сечения (в глубине до 10 мкм).

Таким образом, в работе определена пористость с помощью программ, работающих в векторном и в растровом форматах. Согласно графической обработке изображения поперечного среза волокнистого композиционного материала в векторном формате пористость составила 64 % при этом затрачено было около 340 минут. Использование программы ImageJ, работающей в растровом формате, позволяет получить пористость близкую к той, которая определена в векторном формате (60,5 %) за 10 мин., но при этом необходимо правильно выбрать контрастность изображения при переводе в черно-белый цвет для того, чтобы средние тона не снижали достоверность измерения.

Благодарность

Авторы благодарят сотрудников центра коллективного пользования «Биорефайнинг древесины и нанотехнологии» при Санкт-Петербургском государственном технологическом университете промышленных технологий и дизайна» за помощь в получении опытных образцов волокнистого композиционного материала, а также сотрудников центра коллективного пользования при НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» за сканирующую электронную микроскопию и ионную резку образцов.



УДК 676.038

Кейзер П. М., Смирнова Е. Г., Быстрова А. А.
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных
технологий и дизайна. Высшая школа технологии и энергетики

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ПРИ ЦИКЛИЧНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

В настоящее время в связи с повышенным спросом на тароупаковочные материалы потребление макулатурных тарных картонов, составляющих более 70 % совокупного потребления сырья для изготовления упаковки, приблизилось к отметке 3 миллиона тонн. Это влечет за собой повышение требований к качеству готовой продукции. При этом у предприятий, занимающихся переработкой вторичного сырья, возникает проблема снижения прочностных характеристик волокна, ранее использованных для изготовления бумаги и картона. На это снижение влияет изменение бумагообразующих свойств целлюлозных волокон из-за воздействия различных факторов (например, температуры, роспуска, размола), а также процессы старения, ороговления и загрязнения во время использования.

Целью данной работы являлось изучение влияния термической и механической обработки растительных волокон при производстве гофрированного картона на механические свойства картона.

Первые образцы изготавливали из неразмолотой целлюлозы. А потом провели размол до 30 ± 2 °ШР. Сульфатную небеленую хвойную целлюлозу подвергали роспуску и размолу до степени помола 30 ± 2 °ШР в ролле «Валлей». На листоотливном аппарате изготавливали образцы картона для плоского слоя гофрокартона массой $1 \text{ м}^2 - 125 \text{ г}$. Далее образцы подвергали термической обработке на аппарате «Горка» (для имитации влияния гофровалов) при температуре 165 ± 5 °С). У образцов измеряли разрушающее усилие (Р), сопротивление продавливанию (П), а также исследовались морфологические свойства волокон в бумаге на анализаторе волокна «MorFi».

Как видно на рис. 1, 2 на первом цикле повышаются механические показатели. Это связано с тем, что на нулевом цикле образцы картона изготавливались из неразмолотой сульфатной целлюлозы, последующий размол которой привел к повышению механических показателей. С первого по пятый цикл механические показатели снижались.

Снижение прочностных показателей связано с явлением «необратимого ороговления», физический смысл которого заключается в снижении степени полимеризации и повышении кристалличности целлюлозного волокна в условиях повышенных температур. Снижаются степень набухания волокон,



силы сцепления между ними, поверхность волокон приобретает более гидрофобные свойства.



Рис. 1. Зависимость разрушающего усилия от количества циклов переработки



Рис. 2. Зависимость сопротивления продавливанию от количества циклов переработки

Изменения морфологических характеристик волокон представлено в таблице.



Морфологические характеристики волокна в зависимости от цикла использования

№ цикла	Длина волокна, Lс, мм	Ширина волокна, мкм	Грубость, мг/м	Угол изгиба, °	Изогнутость, %	Скручиваемость, %	Поврежденные концы, %	Количество мелочи, млн объектов/г
0	2,158	28,5	0,1290	135	33,0	10,4	40,13	104
1	1,693	30,1	0,1481	134	22,2	8,4	45,0	132
2	1,624	29,3	0,1380	134	20,3	7,7	44,2	165
3	1,615	29,5	0,1289	134	20,7	7,7	44,28	128
4	1,595	28,8	0,1142	134	20,5	7,5	43,56	138
5	0,997	32,5	0,1697	131	24,4	8,4	49,38	134

Исследования показали следующие тенденции изменений свойств волокон в зависимости от циклов переработки:

- снижается средняя длина волокна;
- повышается грубость волокон;
- увеличивается количество поврежденных концов волокон;
- увеличивается количество мелочи;
- снижается количество изогнутых и скрученных волокон, происходит выравнивание волокон за счет обрыва сегментов волокон по локальным деформациям (складки, сжатие, перегибы, перекручивания и т. п.), что подтверждается увеличением количества мелочи и поврежденных концов волокон, а также снижением числа изгибов волокна.

На первых четырех циклах переработки происходит, вероятно, разработка поверхности волокон с незначительным снижением длины (1 – 4 %) и невысоким содержанием мелочи. Это подтверждается изменением гибкости волокна (снижение изогнутости, снижение скручиваемости, снижение числа изгибов на волокнах) и грубости волокна, которая уменьшается с 0,1481 мг/м до 0,1142 мг/м. На 5 цикле переработки происходит значительное снижение длины волокна на 37 % и повышение грубости, однако, это не приводит к критичному снижению механических показателей.



УДК 676.011

Линдблад Г.
Элоф Ханссон Интернешнл АБ (Швеция)
Юха Ю.
независимый эксперт

МЕТОД TSO – ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ БДМ И КДМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КАРТОНА ДЛЯ ПЛОСКИХ СЛОЕВ И БУМАГИ ДЛЯ ГОФРИРОВАНИЯ

Представлена методология оптимизации работы БДМ и КДМ с помощью метода TSO для получения лайнера и флютинга оптимального качества. Показано, что профили угла TSO и индексов жесткости бумаги позволяют настроить работу БДМ так, чтобы получать оптимальные механические свойства продукта – сопротивление сжатию, продавливание, сопротивление сжатию на коротком расстоянии, эластические свойства.

TSO METHOD-OPTIMIZATION OF PAPER AND BOARD MACHINES OPERATION AT THE PRODUCTION OF LINER AND FLUTING

Lindbald G.
Elof Hansson International AB (Sweden)
Yukha J.
Elof Hansson Trade AB (Russia)

The method for paper and board machines optimization at the production of liner and fluting by means of TSO measurements is presented. It is shown that TSO angle and tensile stiffness indices' profile allow to adjust PM operation in order to obtain optimal mechanical properties of the product – RCT, SCT, BST, elasticity

Ультразвуковой метод испытаний – это неразрушающий и быстрый метод определения эластических свойств материалов, этот метод получил широкое распространение для определения свойств бумаги.

Метод был разработан в 1960-х, а к 1980-м были найдены зависимости скорости прохождения ультразвука в плоскости бумаги с ее эластичностью, поведением при гигрорасширении, а также со стандартными механическими свойствами, такими, как сопротивление разрыву, раздиранию, сжатию и продавливанию. Тогда было начато промышленное производство приборов для ультразвукового тестирования бумажных материалов.

При традиционном испытании бумажных материалов на сопротивление разрыву вместо традиционного модуля упругости (модуля



Юнга) используют понятие жесткость при разрыве, то есть модуль упругости, деленный на плотность бумаги (рис. 1).

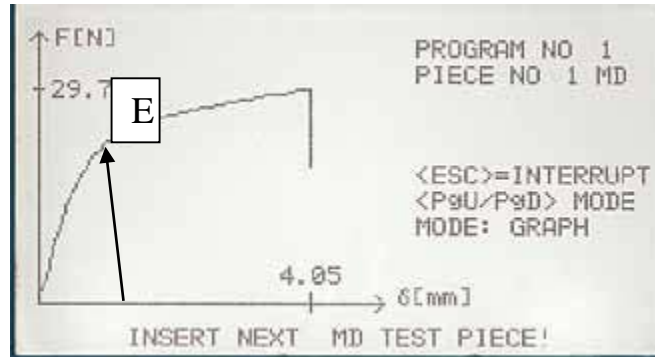
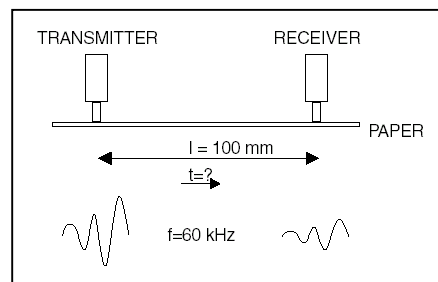


Рис. 1. Кривая зависимости разрывного усилия от удлинения для бумаги (с прибора код 062 – L&W горизонтальная разрывная машина)

Скорость прохождения ультразвука в плоскости бумаги связана с индексом жесткости бумаги. Принцип измерения заключается в пропускании импульсов с частотой 60 кГц вдоль плоскости бумаги так, что возможно измерить скорость прохождения импульса (рис. 2):



TRANSMITTER = ПЕРЕДАТЧИК RESEIVER = ПРИЕМНИК
PAPER = БУМАГА
mm = мм kHz = кГц

Рис. 2. Принцип измерения

Расстояние между передатчиком и приемником составляет 100 мм. Ультразвуковой импульс с частотой 60 кГц посылается от передатчика вдоль образца бумаги к приемнику. Измеряют время прохождения сигнала до приемника. Можно рассчитать среднее значение скорости.



Соотношение между коэффициентом жесткости при разрыве, которое соотносится с модулем упругости и скоростью распространения УЗ импульса, описывается следующим уравнением:

$$E_{us}^w = c \times v^2,$$

где E_{us}^w – жесткость при разрыве в кН х м/г (w означает индексацию по удельной массе, us означает, что эта величина относится к УЗ методу); c – безразмерная константа, величина которой незначительно отличается от единицы; v – скорость ультразвукового импульса в км/сек.

Соотношение между модулем Юнга и жесткостью при разрыве описывается следующим уравнением:

$$E_{us} = \delta \times E_{us}^w,$$

где E_{us} – модуль упругости в МПа; δ – плотность в кг/м².

В данной публикации мы будем использовать сокращение TSI для термина “Tensile Stiffness Index = Индекс жесткости при разрыве” вместо рекомендуемого обозначения E_{us}^w .

Все результаты измерений в данной публикации представляют собой результаты измерений, проведенных с использованием тестера L&W TSO (TSO = Tensile Stiffness Orientation = направление максимальной упругости волокон, далее – TSO).

Этот прибор состоит из измерительной головки, механизма подачи, электронных устройств и персонального компьютера для управления данными и сбора данных.

Измерительная головка имеет восемь пар источников и приемников УЗ сигнала, расположенных по окружности, что означает, что скорость прохождения УЗ сигнала, и, соответственно, индекс жесткости определяется по всем направлениям бумаги, а не только в машинном и поперечном, как на разрывной машине. В результате в каждой точке измерения получаем график (рис. 3).

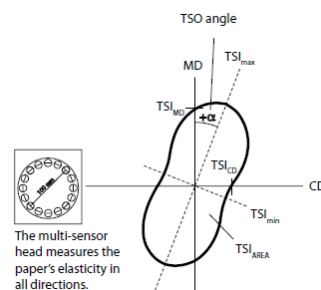


Рис. 3 Полярная диаграмма, представляющая все эластические свойства бумаги: α – угол TSO (угол направления максимальной эластичности бумаги)



На основе полученных углов TCO и индексов жесткости в машинном и поперечном направлениях строится профиль по каждому из этих свойств в направлении от лица БДМ к приводу. Эти профили служат для оценки работы БДМ и оптимизации ее работы.

Наилучшие результаты оптимизации достигаются для плоскосеточных машин. Применение метода также возможно для машин других типов, но для многослойных продуктов сложнее выделить проблемный слой.

Подробно метод и примеры его применения описаны в монографии [1].

Рассмотрим пример оптимизации работы БДМ и КДМ на российском комбинате – производителе картона для плоских слоев (лайнера) и бумаги для гофрирования (флютинга).

При рассмотрении графиков TCO используются следующие обозначения:

RCT – сопротивление сжатию кольца;

SCT – сопротивление сжатию на коротком расстоянии;

Burst – сопротивление продавливанию;

BW – масса кв. метра;

Thickness – толщина;

TSI-geom. – среднее геометрическое индексов жесткости при растяжении:
 $\sqrt{\text{TSI-MD} \cdot \text{TSI-CD}}$;

TSO-angle – угол TCO;

TSI-MD – индекс жесткости в машинном направлении;

TSI-CD – индекс жесткости в поперечном направлении.

Примечание: индекс жесткости при растяжении соответствует модулю упругости.

TSI MD/CD – соотношение индексов жесткости в машинном и поперечном направлении.

КОМБИНАТ А. КДМ шириной 6200мм, сырье – первичная хвойная целлюлоза

КДМ1

Измерения на тамбуре 754, выработанном при стандартном режиме работы машины, показали, что угол TCO является неоптимальным, но приемлемым, в то время как графики TSI-MD указывают на слабые кромки, а график TSI-MD/CD указывает на то, что при производстве картона стремятся больше к получению высоких значений по продавливанию, чем к получению высоких значений по RCT. Такой подход более типичен для России, и для прошлых десятилетий в мире, в то время как сейчас в мире производители картона для плоских слоев и их покупатели более стремятся к высоким значениям RCT, что обеспечивает более высокие прочностные свойства коробов из гофрокартона.



Лабораторные испытания показали хорошую корреляцию между результатами по ТСО и свойствами картона, измеренными на 5 образцах по всему профилю с шагом 130 – 140 мм (рис. 7 – 9). Данные корреляции являются только примером того, как данные ТСО могут быть использованы для быстрой оценки качества картона и оценки, как будут изменяться его показатели при изменении режим работы машины.

В целом, при стремлении получить более высокие механические свойства картона, работают при соотношении скоростей напуска и сетки меньше 1, а при стремлении улучшить формование работают при соотношении скоростей больше 1.

В любом случае, выбор режима определяется компромиссом между получаемыми свойствами картона, что позволяет производителю выбирать тот режим, который обеспечивает высокие показатели по тем свойствам, которые в данное время предпочитает их покупатель.

Для выявления тенденций по свойствам картона, полученным при обычном режиме работы машины, были взяты 10 образцов с тамбура 809. Параллельно с испытаниями на ТСО 2 полосы были испытаны в лаборатории с шагом 200 мм по всему профилю. При испытании 10 образцов с тамбура 809 были отмечены значительнее вариации по свойствам как в поперечном, так и в машинном направлениях.

После получения результатов было принято решение увеличить соотношение скорости напуска к скорости сетки на первом напорном ящике до 0,92 (0,99). При измененных условиях был получен тамбур 822. Профили свойств ТСО усредненных показателей по каждому тамбуру (см. рис. 4 – 7).

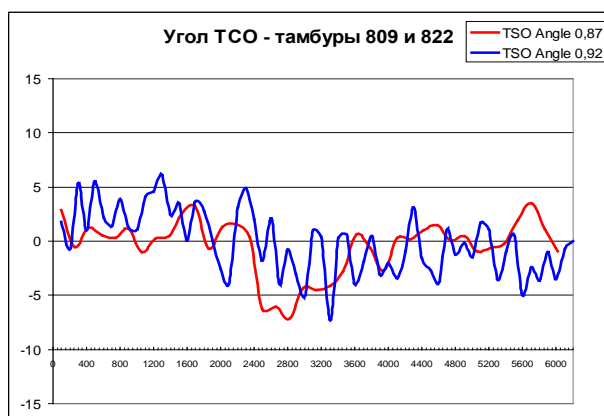


Рис. 4. Профили угла ТСО при соотношении скоростей напуск / сетка 0,87 и 0,92

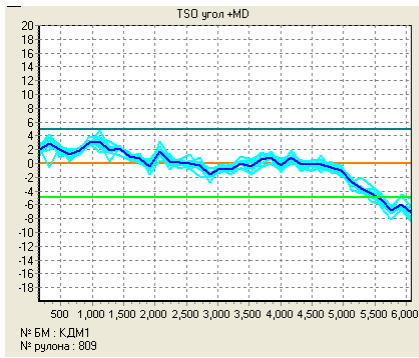


Рис. 5

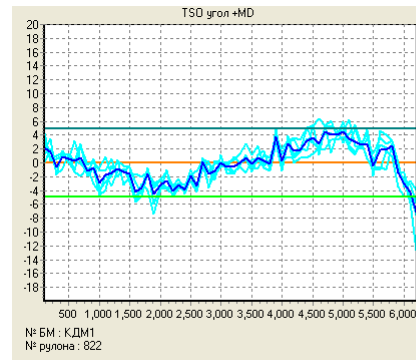


Рис. 6

Профили по углу ТСО для тамбуров 809 и 822 (средние и индивидуальные профили по 10 образцам тамбура 809 и 5 образцам тамбура 822)

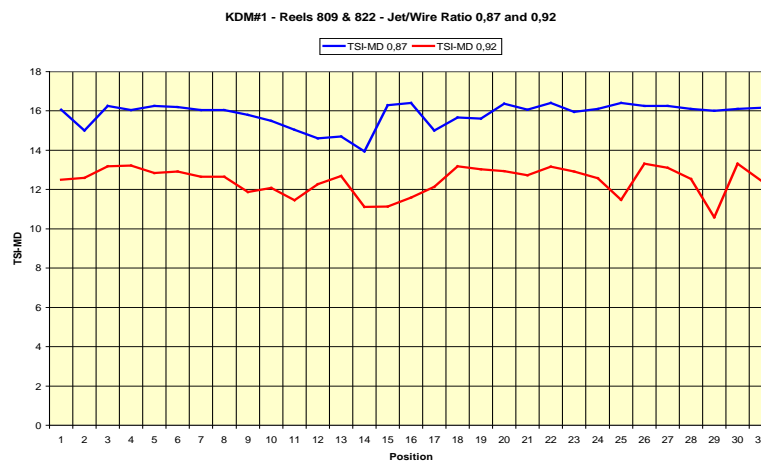


Рис. 7. Профили TSI-MD для тамбуров 809 и 822

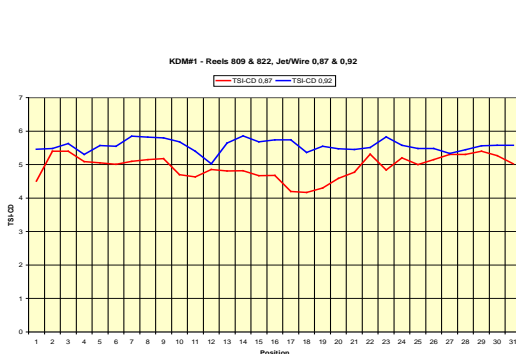


Рис. 8. Профили TSI-CD для тамбуров 809 и 822

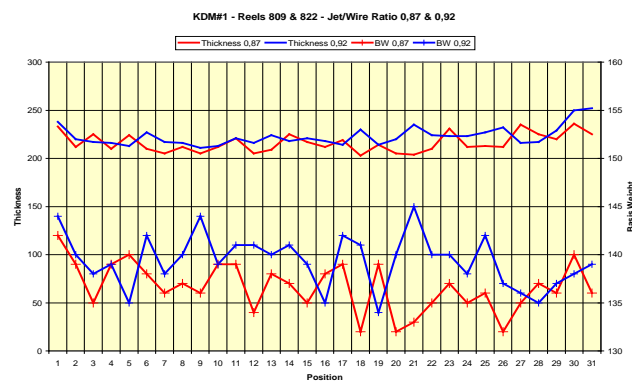


Рис 9. Профили по толщине и массе кв.м для тамбуров 809 и 822

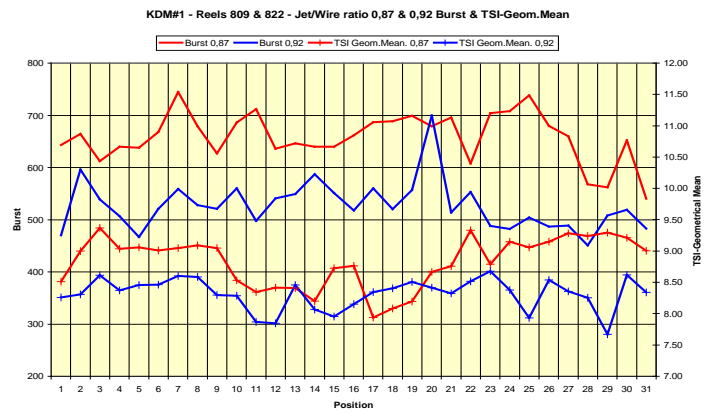


Рис. 10. Профили продавливания в сравнении с TSI-геом для тамбуров 809 и 822

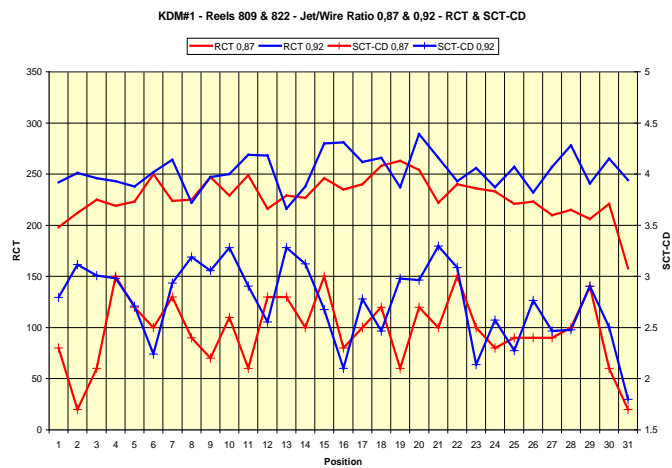


Рис. 11. Профили по RCT и SCT для тамбуров 809 и 822

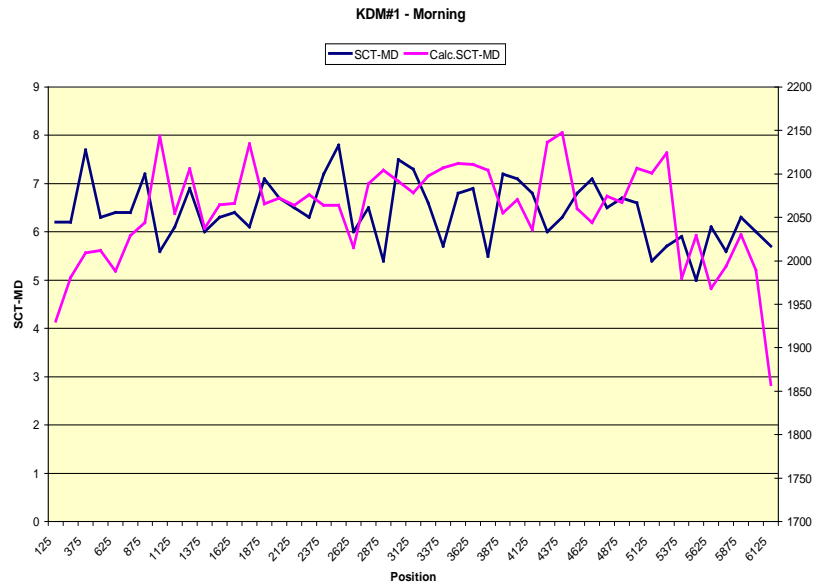


Рис. 12. SCT расчетное на основе данных ТСО и по данным лабораторных тестов

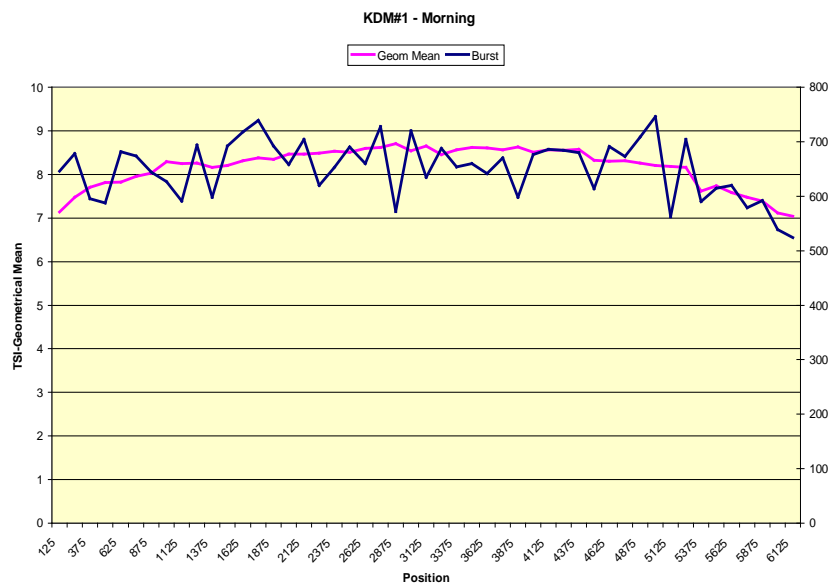


Рис. 13. Продавливание расчетное по данным ТСО и по лабораторным тестам (тамбур 754)

Как видно из рис. 4 – 8, при увеличении соотношения скорости напуска и скорости сетки (Н-С) на 1 напорном ящике (НЯ1) профиль угла ТСО улучшился, а направленность изменилась на противоположную. Можно предположить, что в реальности Н-С оказалось выше 1. Визуально формование улучшилось, что также подтверждает переход Н-С за 1. Профиль TSI-MD изменился на зеркальный, а его значение снизилось.



Как и предполагалось, при увеличении Н-С снизились показатели по продавливанию, и существенно возросли показатели по RCT и SCT, коррелирующие с TSI-CD.

Профили по массе кв. м и толщине несущественно изменились по значениям, но также стали зеркальными.

Во всех случаях при всех режимах отмечаются более низкие прочностные показатели по кромкам, что хорошо отражают и профили TCO и TSI-MD

КДМ2

Испытывали образцы бумаги для гофрирования 112 г/м² и образцы универсального картона 125 г/м² с КДМ2. Режим работы машины – обычный.

Профиль угла TCO для бумаги для гофрирования 112 г/м² значительно отклоняется от оптимального (рис. 14). Вместо середины машины график пересекает линию 0 градусов (все волокна параллельны машинному направлению) близко к приводной части. Отклонение угла TCO составляет +6 – -18° при норме +5°.

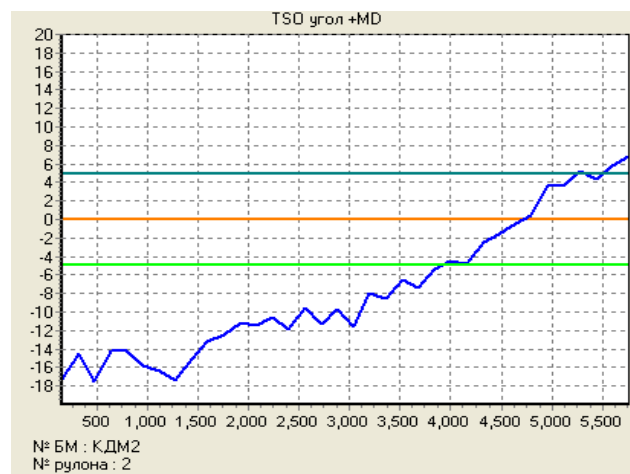


Рис. 14. Профиль угла TCO для бумаги для гофрирования 112 г/м²

Профиль угла TCO, наблюдаемый для универсального картона, показывает, что нет пересечения линии 0°, т. е. все волокна идут в одном направлении. Это может быть связано как с неоптимальным соотношением Н-С, так и плохой регулировкой рециркуляции в НЯ, т. е. с неравномерностью давления в нем. Форма графика хорошая, т. е. при возможности поднять прямую угла TCO так, чтобы она пересекала линию 0 в середине машины, это бы обеспечило повышение прочности картона по всем показателям и улучшило бы качество кромок. График профиля TSI-MD показывает критическое снижение прочности кромок. Соотношение TSI MD/CD в целом находится в допустимых пределах.



Выводы

1. Дальнейшие действия по оптимизации работы БМ1 могут быть направлены на поиск оптимального соотношения скоростей напуска и сетки (Н-С), выравнивании давления в напорном ящике 1 за счет настройки рециркуляции
2. Оптимизация работы прессовой части КДМ1 и КДМ2 должна способствовать улучшению прочностных свойств кромок. Необходимо регулярно (не реже 2 раз в неделю) проводить измерения проницаемости и влагосодержания сукон, поскольку профиль проницаемости сукна и его влагосодержания коррелирует с профилем TSI-MD. Поддержание сукон чистыми может обеспечить поддержание качества бумаги.
3. Для обеспечения стабильности процесса следует убедиться, что волокна (масса) достаточно промыты и имеют правильный заряд.
4. Во избежание ненужных вариаций в машинном направлении важно, чтобы клинеры, сита и другие устройства на короткой рециркуляции были в хорошем состоянии. Это также включает насос оборотной воды, который должен иметь достаточную мощность, чтобы обеспечивать работу при всех допустимых уровнях.

Рекомендации для дальнейшей работы:

1. Проверить короткую рециркуляцию.
2. Убедиться, что масса имеет постоянное качество.
3. Проверить настройки прессов, особенно первого пресса, поскольку он является наиболее важным при обезвоживании в прессовой части.
4. Провести опыты по изменению соотношения скоростей Н-С. Сначала только для основного слоя, а потом повторить вместе с покровным слоем. Предполагая, что вы начинаете с 0,87, предлагаем проводить опыт по шагам от 0,82, предпочтительно так далеко, как вы сможете после достижения Н-С больше 1. Пожалуйста, не забудьте, что угол TCO перевернется после прохождения точки Н-С, равной 1.
5. В то же время отслеживайте лабораторными методами RCT, продавливание, массу кв. м и толщину (оцените также формование).

Библиографический список

1. Lindblad G., Furst T. Ultrasonic methods for testing paper, Stockholm, L&W, 1992.



УДК 676.088

Смирнов М. Н.
ООО «КВИ Интернешнл»

ВОДА В ПРОИЗВОДСТВЕ БУМАГИ И КАРТОНА (ОЧИСТКА ВОДЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ)

Производство ЦБП является потребителем большого количества воды. Хотя водные ресурсы на данный момент велики, а цена свежей воды сравнительно мала, для многих предприятий все же существует проблема нехватки чистой воды на производство, особенно в летний период времени. Нехватка воды приводит к временной остановке предприятия и влечет за собой большие убытки.

Создание замкнутого водооборота способно решить данную проблему, однако полностью замкнутый водооборот на предприятии – это утопия, т. к. всегда будут существовать невозвратные потери воды на создание пара, сушку бумаги и т. д. Дополнительно стоит отметить, что при полностью замкнутом водообороте происходит накопление в водной системе трудно очищаемых веществ выраженных через показатель ХПК и солей, из-за которых ухудшается весь технологический процесс и снижается качество выпускаемой продукции.

Для правильного создания максимально возможного водооборота и минимизации потребления чистой воды следует создать водный баланс предприятия, на котором отметить все существующие технологические потоки и качество воды, которое необходимо в каждом из них. После этого объединить потоки максимально близкие по качеству, и определить, в каких местах можно использовать воду с небольших локальных систем очистки с невысокими требованиями к самой воде.

Создав локальные системы очистки следует переходить к модернизации общезаводских очистных сооружений для создания максимально замкнутого водооборота. Если предприятие производит сброс в водный объект, то требования к сбросу обычно выше, чем качество воды в самой реке или озере, откуда производится водозабор. Однако требования на сброс обычно более жесткие, чем качество воды, которое требуется на производстве и поэтому при проектировании очистных сооружений еще на этапе разработки ТЗ можно учесть возможность возврата воды в производство.

Возврат очищенной воды в производство позволит сократить объем станции водоподготовки на предприятии, т. к. снизится количество потребляемой свежей воды, снизить затраты на подогрев воды (очищенная вода после ОС всегда имеет температуру выше, чем вода из источника) и уменьшить платы за сброс в окружающую среду, т. к. сократится объем воды, которая сбрасывается непосредственно в водный объект.



УДК 676.04

Таборский Л. Ю., Митцель Ю. Ю.
ООО «Неохим»

РОССИЙСКАЯ ХИМИЯ ДЛЯ ЦБП

Сейчас, открывая новости ЦБП, обязательно встречаешь строки: «проблемы с импортом технических химикатов», «комбинат зависит от импортных химикатов», «нарушения логистических цепочек», «ищем альтернативных поставщиков». Многие иностранные производители химии вынуждены отказаться от сотрудничества с российскими предприятиями ЦБП.

В настоящее время им приходится заменять привычные химикаты максимально быстро. Процесс переориентации на других поставщиков требует большого количества времени. Когда проводятся опытные выработки новой химии, целесообразно тестировать средства сразу нескольких производителей, чтобы была возможность максимально быстро их заменять в условиях постоянно меняющейся внешней среды.

Химический завод «Неохим» работает в России с 2006 года. За это время логистика и обеспечение производства сырьем выстроены таким образом, чтобы минимально зависеть от внешних обстоятельств. Предприятие находится в Санкт-Петербурге, поэтому всегда будет сотрудничать с российскими компаниями ЦБП.

«Неохим» предлагает Вам не только своевременные бесперебойные поставки химической продукции европейского качества для процессов целлюлозно-бумажного производства, но и знания, опыт и помощь высококвалифицированных специалистов по их внедрению и применению.

Специалисты микробиологической лаборатории «Неохим» в кратчайшие сроки окажут техническую поддержку по предотвращению микробиологического заражения в любой точке предприятия ЦБП – от входящего сотрудника до выпускаемой продукции и сбрасываемых сточных вод:

В рамках импортозамещения в области ЦБП к «Неохим» уже обратились «Кама Картон», «Светогорский ЦБК» и др. Более чем 10-летнее успешное сотрудничество с финской компанией «Vanmark» в рамках производства продуктов, а также технической поддержки – микробиологического мониторинга, сейчас получило активный рост и развитие.

Компания «Неохим» своим партнерам гарантирует:

- подтвержденные сроки выполнения заказа;
- контроль качества на всех этапах производства;



- использование только качественного сырья от проверенных поставщиков. Сырье проверяется лабораторией качества по специальным методикам;
- качество продукции гарантируется сертификатом ISO 9001 «Система менеджмента качества», успешным прохождением ежегодных аудитов, например, крупнейших DIY сетей, а также трехступенчатым контролем качества продукции в лабораторных условиях. В 2018 году British Standards Institution (BSI) после аудита «Неохим» как поставщика присвоил компании высшую категорию А – «Лучший поставщик».

«Неохим» предоставляет не просто готовый продукт, а специально разработанную методику комплексных работ по его производству и проверке качества, что позволит вам не только укрепить свои позиции, но и менее зависеть от внешнеполитических факторов.

Подробнее об импортозамещении Вы можете прочитать на нашем сайте:



А также посмотрите фильм о заводе «Неохим»:





СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

УДК 676.012.3

Бойков Л. М.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. Высшая школа технологии и энергетики

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СУШКИ БУМАГИ И КАРТОНА НА МАШИНАХ

В целлюлозно-бумажной промышленности для сушки бумаги и картона широкое применение получили многоцилиндровые сушильные установки бумагоделательных и картоноделательных машин (БДМ и КДМ).

Перед каждым предприятием отрасли в качестве первоочередных стоят задачи повышения производительности машин, снижение затрат теплоты, улучшения качества продукции и освоения нового ассортимента. Чаще всего препятствием к достижению данных целей является состояние и технический уровень БДМ и КДМ. Лишь единичные технологические потоки можно отнести к среднеевропейскому уровню. Основной же парк БДМ и КДМ по своему техническому состоянию, набору узлов и элементов, степени автоматизации устарели в моральном и физическом отношении и нуждаются в замене или модернизации. Соответственно, конкурентоспособность продукции, полученной на таких машинах, всегда снижена, и экономическая эффективность подобных производств явно недостаточна.

Выход на современные рынки, где предъявляются повышенные требования как к продукции, так и к уровню технологий, требуют от бизнеса больших усилий и затрат на внедрение инновационных технических решений, освоения нового инновационного оборудования и внедрения научных разработок в производство. В этих условиях вопросы увеличения производительности БДМ и КДМ, снижения затрат теплоты на сушку бумаги и картона, повышения качества продукции решаются путем технического перевооружения предприятий с выполнением модернизации пароконденсатных систем (ПКС) сушильных установок. При этом в большинстве случаев модернизация БДМ и КДМ включает не только замену физически изношенного оборудования на аналогичные по конструкции, но и установку современных узлов, позволяющих повысить эффективность работы машин в целом.

В настоящее время при расчете современных контактных сушильных установок широко используется методика определения зависимости производительности бумаго- и картоноделательных машин от активной поверхности сушильных цилиндров [7]. Повышение эффективности работы



сушильной части бумагоделательных и картоноделательных машин во многом определяется этой методикой теплового расчета контактно-конвективных сушильных установок.

К основным показателям эффективности работы сушильных установок бумагоделательных и картоноделательных машин относятся следующие: удельные расходы теплоты и пара на единицу вырабатываемой продукции, на единицу испаряемой влаги из полотна, удельный расход испаряемой влаги на 1 тонну бумаги или картона. Кроме того, важным показателем является также производительность машины, которая зависит от интенсивности сушки полотна.

Производительность сушильной установки G_M , кг/ч, рассчитывается по уравнению вида:

$$G_M = 60 W_M b_{\Pi} P_{СП},$$

где W_M – скорость движения полотна, м/мин; b_{Π} – обрезаемая ширина полотна, м; $P_{СП}$ – масса 1 м² сухого полотна, кг/м².

Теоретические (расчетные) удельные расходы теплоты и пара на выработку 1 тонны бумаги или картона рассчитываются по уравнениям вида:

$$\text{- для теплоты} \quad q_{Б}^T = \frac{Q_C}{G_M}, \text{ ГДж/т продукции;}$$

$$\text{- для пара} \quad d_{Б}^T = \frac{D_C}{G_M}, \text{ т пара /т продукции,}$$

где суммарный расход тепла на сушку Q_C состоит из затрат теплоты на прогрев материала $Q_{ПР}$, первый и второй периоды сушки соответственно:

$$Q_C = Q_{ПР} + Q_1 + Q_2, \text{ кДж/ч;}$$

D_C – расход пара на сушку, кг/ч.

Количество испаряемой влаги из влажного полотна находится из уравнения:

$$M = G_M (U_0 - U_2), \text{ кг влаги/ч,}$$

где U_0, U_2 – влагосодержание материала до и после сушильной установки.

Интенсивность сушки бумаги (картона) или удельный влагосъем с 1 м² полотна в единицу времени определяется из выражения:

$$m = \frac{M}{n_{Ц} \cdot h_{АЦ}}, \text{ кг влаги/ (м}^2 \cdot \text{ч).}$$

где $n_{Ц}$ – количество сушильных цилиндров; $h_{АЦ}$ – активная поверхность цилиндра, определяемая из уравнения вида:



$$h_{\text{АЦ}} = \pi D_{\text{Ц}} b_{\text{П}} \varphi_{\text{Ц}},$$

где $D_{\text{Ц}}$ – диаметр цилиндра; $\varphi_{\text{Ц}}$ – угол обхвата цилиндра полотном.

Теоретический удельный расход теплоты на 1 тонну испаряемой влаги:

$$q_{\text{ВЛ}}^{\text{T}} = \frac{Q_{\text{С}}}{M}, \text{ ГДж/т влаги};$$

Теоретический удельный расход пара на 1 тонну испаряемой влаги:

$$d_{\text{ВЛ}}^{\text{T}} = \frac{D_{\text{С}}}{M}, \text{ т пара / т влаги.}$$

На основании многочисленных расчетов сушильных установок бумаго- и картоноделательных машин, работающих на производствах, теоретические удельные расходы теплоты и пара при выработке бумаги или картона составляют $q_{\text{Б}}^{\text{T}} = 4,19 - 5,03$ ГДж/т бумаги; $d_{\text{Б}}^{\text{T}} = 1,8 - 2,4$ т пара /т бумаги. Для целлюлозы эти показатели соответственно составляют: $q_{\text{Ц}}^{\text{T}} = 3,35 - 4,19$ ГДж/т целлюлозы и $d_{\text{Ц}}^{\text{T}} = 1,6 - 1,9$ т пара /т целлюлозы.

Фактические затраты теплоты и пара на действующих машинах, как правило, превышают теоретические на 20 – 40 %, что обусловлено следующими причинами:

- использование на ряде машин параллельной схемы теплоснабжения;
- разбивка цилиндров по паровым группам не соответствует закономерностям сушки;
- расход пара на каждый сушильный цилиндр не соответствует расчетному значению;
- большое количество пролетного пара, который часто используется для транспортировки конденсата от машины к баку-сборнику конденсата;
- нестабильность теплового и гидравлического режимов работы сушильных установок;
- низкие значения начальной сухости полотна перед сушильной установкой;
- неудовлетворительный температурный график работы сушильных цилиндров;
- несоблюдение закономерностей сушки и не учитываются формы связи влаги с материалом;
- отсутствие системы контроля и управления сушильным процессом;
- низкий удельный влагосъем;
- низкое качество выпускаемой продукции;
- не используются авторские свидетельства;
- частые обрывы полотна;



- неудовлетворительный профиль влажности по ширине полотна, кромки полотна после сушки остаются влажными по сравнению с основной шириной полотна;
- периодически меняется ассортимент выпускаемой продукции;
- низкие значения давления пара по паровым группам и малые перепады давления между группами;
- неудовлетворительная работа системы вентиляции БДМ и КДМ;
- схемы пароконденсатных систем БДМ и КДМ не соответствуют современному уровню развития сушильной техники.

Эти же причины приводят к снижению производительности машин и интенсивности сушки бумаги и картона. Интенсивность сушки или удельный влагосъем на работающих сушильных установках, как правило, находится в диапазоне $m = 9 - 15$ кг влаги/(м².ч), в то время как на современных машинах после реконструкции пароконденсатных систем БДМ и КДМ находится в пределах $m = 25 - 34$ кг влаги/(м².ч).

Цель дальнейшей работы – снижение удельных затрат теплоты на сушку и повышение производительности сушильных установок бумагоделательных и картоноделательных машин.

Задачи работы: разработать и внедрить в производство пароконденсатные системы сушильных установок БДМ и КДМ с минимальными затратами теплоты, максимальной производительностью при минимальных капитальных затратах денежных средств и малым сроком коммерческой окупаемости (6 – 9 месяцев).

Сушка целлюлозы, бумаги и картона неразрывно связана с тепловыми процессами, интенсивность которых во многих случаях определяет производительность сушильных установок БДМ и КДМ. При контактно-конвективной сушке влажного тонколистового материала происходят сложные процессы тепло- и массообмена, протекающие в нестационарных условиях и с фазовыми превращениями.

Известно [1– 6, 8, 9], что перемещение влаги в материале происходит в виде жидкости и пара при наличии насыщенного и ненасыщенного слоя пористой структуры у греющей поверхности. Соответственно, на разных стадиях сушки полотна будут и разные процессы тепломассопереноса. Интенсивность контактно-конвективной сушки картона и бумаги определяется внешними и внутренними условиями процессов, в зависимости от которых в материале протекают следующие механизмы тепломассопереноса: диффузионный, фильтрационный и фильтрационно-диффузионный. На каждой стадии сушки действует свой специфический механизм переноса теплоты и массы, который описывается соответствующими дифференциальными уравнениями [1 – 6].

На основании научных разработок автора, новейших достижений в сушильной технике и накопленного сорокалетнего опыта изучения работы БДМ и КДМ в течение последних пятнадцати лет мною проведена



модернизация пароконденсатных систем ПКС сушильных установок на 30 БДМ и КДМ.

На всех объектах получены положительные результаты. Имеются три акта внедрения: на КДМ-1 и КДМ-3 Рязанского картонно-рубероидного завода; на БДМ Алатырской бумажной фабрики. Имеются также 16 отзывов с предприятий и организаций.

Анализ полученных данных приводит к выводу, что по показателю снижения удельных расходов теплоты наибольшие успехи отмечены на бумагоделательной машине № 6 ООО «Окуловская бумажная фабрика» и на картоноделательной машине ООО «Кузбасский скарабей», г. Кемерово. На этих объектах удельные расходы теплоты сократились в 2 раза и более. На всех остальных объектах реконструкция ПКС в сушильных установках БДМ и КДМ обеспечила снижение удельных расходов теплоты в пределах 12 – 38 %.

Одновременно с этим, за счет интенсификации сушильных процессов достигнуто увеличение производительности на всех объектах, где осуществлялась модернизация ПКС. Наибольший показатель роста производительности машины (в 2 раза) отмечен на БДМ – 6 ООО «Окуловская бумажная фабрика». До реконструкции ПКС на машине производилось 36 т бумаги для гофрирования в сутки, после – 100 т/сутки. Причем, при эксплуатации машины в течение последующих 15 лет производительность машины достигла 130 т/сутки.

Существенное повышение производительности достигнуто также при модернизации ПКС картоноделательной машины польской фирмы «Фампа», установленной в г. Учалы (ООО «Картон и упаковка») и предназначенной изначально для выпуска кровельного картона, однако, затем на ней стали изготавливать бумагу для гофрирования и картон для плоских слоев. Ширина полотна составляет 4,2 м, число цилиндров – 77. До реконструкции КДМ производительность машины составляла 165 т/сутки, после выполненной модернизации ПКС – 330 т/сутки.

Опыт эксплуатации машин, где проведена модернизация ПКС на БДМ и КДМ, свидетельствует, что нередко по регламенту машина должна вырабатывать одну какую-либо продукцию, а машина вырабатывает другую продукцию или сразу два или три вида ассортимента. Для таких машин пришлось разрабатывать и внедрять *универсальные* ПКС, которые способствовали бы повышению производительности сушильных установок до максимума и снижению удельных расходов теплоты на сушку до минимума. К таким разработкам относятся следующие объекты: КДМ – 3 ЗАО «Рязанский КРЗ»; КДМ ООО «Кузбасский скарабей», г. Кемерово; БДМ – 1, ЗАО «Маяк», г. Пенза; КДМ ОАО «Мягкая кровля», г. Самара.

Особо хочется отметить модернизацию ПКС на КДМ, установленную в г. Кемерово на предприятии ООО «Кузбасский скарабей». На КДМ смонтировано 42 цилиндра и выпускаются три вида продукции: кровельный



картон, картона для плоских слоев (КПС) и бумага для гофрирования (БГ). Ширина полотна при выпуске кровельного картона составляет 2 м, а при выпуске КПС и БГ – 2,1 м. При этом ширина цилиндров № 1 – 24 составляет 2,1 м, а для цилиндров № 25 – 42 ширина имеет размер – 2 м.

На накате машины при изготовлении БГ и КПС отмечалась большая влажность кромок, больше чем требуется по регламенту. В результате часть продукции шла в брак. Проблема кромок была решена следующим образом. Нами совместно с персоналом предприятия была замерена влажность полотна по длине машины и построена кинетическая кривая сушки при выпуске БГ и КПС. Самый важный результат, который был получен из анализа кинетической кривой, заключается в том, что процесс сушки для БГ и КПС заканчивается на первых по ходу полотна 24 цилиндрах.

Влажность полотна после 24 цилиндра составляла 9 %. Это означает, что модернизацию ПКС необходимо делать лишь для 24 цилиндров. Модернизация сушильной установки КДМ с применением универсальной схемы ПКС для 24 цилиндров выполнена на предприятии. Получены следующие результаты реконструкции: удельные расходы теплоты сократились в 2 раза, производительность машины увеличилась на 5 %. При этом кромки полотна высушивались до требуемых по регламенту значений влажности. Машина стала работать рентабельно.

В 2008 г. была модернизирована пароконденсатная система сушильной установки туннельного типа (СУТТ), установленная на Каменской бумажно-картонной фабрике (г. Кувшиново).

Особенность работы СУТТ заключалась в том, что влажный листовой картон, расположенный в два яруса, высушивался конвективным способом с помощью нагретого (до 103 °С) воздуха. Сушильная установка состоит из 18 сушильных секций с переменной поверхностью нагрева калориферов. Сушильный воздух подается вентиляторами каждой секции на лицевой и приводной сторонах в калориферы, где происходит его нагрев. Затем по системе каналов воздух подается на дутьевые ящики, расположенные сверху и снизу полотна каждого яруса. После обдува полотна воздух забирается теми же вентиляторами и заново подается на калориферы секции. Испаряемая из полотна влага удаляется естественным способом через три окна в колпаке сушильной установки за счет разности парциальных давлений водяных паров, содержащихся в сушильном воздухе и в окружающей среде.

При модернизации схемы пароконденсатной системы СУТТ применен последовательный перепуск пара по группам калориферов вместо параллельного. В главный паропровод из котельной в сушильную установку поступает пар с давлением 1,1 МПа и температурой около 190 °С. На первую паровую группу калориферов пар поступает с давлением 0,85 МПа при той же температуре.



После реконструкции ПКС производительность СУТТ увеличилась на 6,8 % и составила 1 т/ч, что достигнуто за счет интенсификации процесса сушки, в связи с увеличением температуры воздуха до 110 °С. Следует отметить, что при начальной сухости полотна 50 % смонтированная сушильная установка способна выйти на производительность 1,7 т картона/ч. При этом была разработана специфическая методика теплового расчета конвективной сушильной установки применительно к существующей конструкции сушильной установки.

При разработке и модернизации пароконденсатных систем сушильных установок БДМ и КДМ были использованы следующие *передовые научные разработки и инновационные технологии* [1 – 9]:

- авторские свидетельства и патенты;
- использован более совершенный механизм сушки при одностороннем подводе теплоты к полотну [1 – 6] с отключением по пару и конденсату цилиндров нижнего ряда (на КДМ, ОАО Слонимский КБЗ «Альбертин»; БДМ – 4 ОАО «Архангельский ЦБК»; БДМ – 3, 4, 7, 8, Кондопожского ЦБК; КДМ, ООО «Картон и упаковка», г. Учалы);
- расчет температуры бумажного полотна производился по методике [1 – 6, 9];
- разработана универсальная методика теплового расчета контактных сушильных установок [1 – 6, 9], применяемая для модернизации ПКС сушильных установок БДМ и КДМ;
- разработана и апробирована на производстве (КДМ, ОАО «Каменская БКФ», г. Кувшиново) методика теплового расчета конвективной сушильной установки туннельного типа (СУТТ);
- в схемах ПКС, предназначенных для модернизации сушильных установок, учтены закономерности сушки и формы связи влаги с материалом;
- произведено перераспределение расходов пара по цилиндрам и цилиндров по паровым группам в соответствии с кинетикой сушки и методикой теплового расчета сушильных установок;
- составлена программа теплового расчета на ЭВМ контактных сушильных установок применительно к модернизации ПКС;
- для экономии теплоты в схемах ПКС использованы дроссельные шайбы фиксированного проходного сечения, работающие на группы цилиндров, объединенных по одинаковому расходу пара;
- на быстроходных бумагоделательных машинах использованы термопанки, установленные внутри цилиндров для разрушения конденсатного кольца;
- использованы синтетические сетки вместо хлопчатобумажных сукон;



- использованы теплообменные аппараты для утилизации теплоты паров вторичного вскипания и теплоты конденсата, отводимого от машины;
- из схемы ПКС исключены конденсатоотводчики, создающие большое гидравлическое сопротивление;
- верхние и нижние цилиндры сушильных установок разъединены по конденсатным коллекторам, т. к. они работают при разном давлении даже в одной паровой группе;
- в схемах ПКС организован свободный слив конденсата от цилиндров в сепараторы;
- подача острого пара осуществлялась только в первую паровую группу, последующие паровые группы питаются вторичным и третичным паром без дополнительной подачи острого пара;
- использованы многофункциональные пароструйные эжекторы;
- использованы приборы контроля и управления за процессом сушки.

Таким образом, успешно проведена промышленная реконструкция ПКС на тридцати действующих БДМ и КДМ. Полученные положительные результаты при модернизации ПКС подтверждают правильность выбранной концепции развития сушильной техники в отрасли. Результаты работ можно применить к модернизации ПКС как тихоходных, так и быстроходных машин.

Работы [1 – 9] посвящены вопросам энергосбережения и повышения эффективности работы сушильных установок БДМ и КДМ. Они относятся к разработке приоритетных направлений науки и техники, способствующих осуществлению российскими предприятиями целлюлозно-бумажной промышленности существенного научного и технологического прорыва, а также обеспечению лидерства Российской Федерации в научном мире.

Библиографический список

1. Бойков, Л. М. Совершенствование процессов контактно-конвективной сушки картона и бумаги: автореф. Дис. д-ра техн. наук / Л. М. Бойков. – СПб.: СПб ГТУ РП, 2001. – 32 с.
2. Бойков, Л. М. Повышение эффективности сушки путем модернизации пароконденсатных систем бумагоделательных, картоноделательных машин и гофроагрегатов / Л. М. Бойков. – СПб.: СПб ГТУ РП, 2014. – 511 с.
3. Бойков, Л. М. Повышение эффективности сушки путем модернизации пароконденсатных систем бумагоделательных, картоноделательных машин и гофроагрегатов / Л. М. Бойков. – СПб.: СПб ГТУ РП, 2015. – 575 с.
4. Бойков, Л. М. Энергосбережение и ускорение сушки бумаги и картона / Л. М. Бойков. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2018. – 279 с.
5. Бойков, Л. М. Вентиляция бумаго- и картоноделательных машин / Л. М. Бойков. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2018. – 258 с.



6. Бойков, Л. М. Теплотехника целлюлозно-бумажного производства. Теплоэнергетические и теплотехнологические установки, Ч. 2 и 3: учеб. пособие для вузов / Л. М. Бойков, Н.С. Нечаев; под ред. д-ра техн. наук Л. М. Бойкова – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2017. – 423с.
7. Жучков, П. А. Тепловой и гидравлический режимы работы бумагоделательных и картоноделательных машин / П. А. Жучков, В. И. Саунин. – М.: Лесная промышленность, 1972. – 152 с.
8. Karisson, M. Papermaking. Science and Technology / Papermaking. Part 2. Drying. – Helsinki. Finland, 2000.
9. Бойков, Л. М. Универсальная методика расчета контактных сушильных установок / Л. М. Бойков // Химия и технология целлюлозы и полуцеллюлозы: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1989. – С. 28–32.



УДК 676.012.3

Бойков Л. М.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. Высшая школа технологии и энергетики

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕХАНИЗМА СУШКИ БУМАГИ И КАРТОНА

Анализ изучения кинетики и механизма сушки [1 – 7] позволил научно обосновать и предложить более совершенный механизм цилиндровой сушки бумаги и картона. Он связан с заменой *двухстороннего* подвода теплоты от пара к влажному полотну, который в настоящее время повсеместно применяется на большинстве сушильных установок, на *односторонний* подвод теплоты к влажному полотну (рис. 1 – 4).

На действующих бумагоделательных и картоноделательных машинах (БДМ и КДМ) односторонний подвод теплоты к влажному полотну можно достичь путем отключения пара и конденсата к цилиндрам нижнего яруса [1–4]. На основании анализа графика (см. рис. 1) установлено [2, 3], что количество испаряемой влаги при *двухстороннем* подводе теплоты к полотну составляет на каждом цилиндре 52,5 %, а на участке межцилиндрового пробега полотна – 47,5 %. При *одностороннем* подводе теплоты к полотну (см. рис. 2) влага испаряется в следующей пропорции: на сушильном цилиндре – 35,5 %; на конвективном участке – 41 % и с помощью вакуумного вала удаляется до 23,5 % влаги.

Были выполнены тепловые расчеты многочисленных сушильных установок бумагоделательных и картоноделательных машин.

Из сравнения графиков и произведенных тепловых расчетов сушильных частей БДМ и КДМ следует, что при *одностороннем* подводе теплоты сушка протекает более интенсивно (на 15 %), чем при *двухстороннем* процессе. Ускорение сушки обусловлено следующими причинами:

- увеличивается перепад температур между греющим паром и полотном, так как полотно охлаждается до более низкой температуры (с 92 до 72 °С). В результате этого возрастают удельные тепловые потоки, теплота на сушку и количество испаряемой влаги с 1 м² полотна в час (т. е. возрастает интенсивность сушки);

- влага концентрируется только у одной поверхности материала, в результате чего она быстрее испаряется из открытых макропор, расположенных у поверхности полотна;

- отсутствует бесполезный транспорт влаги от одной поверхности полотна к другой, в результате расход теплоты на сушку сокращается примерно на 10 %;

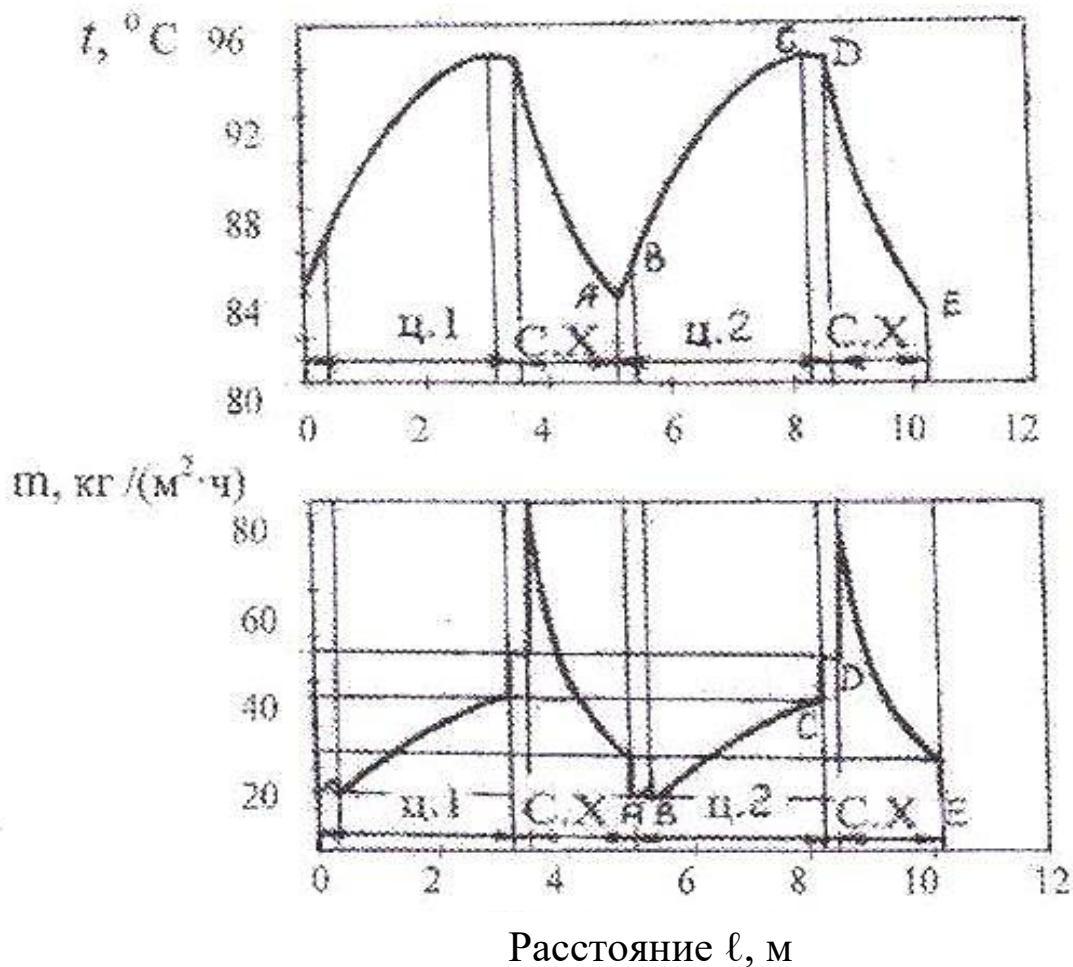


Рис. 1. Изменение температуры (t , $^{\circ}\text{C}$) и интенсивности сушки бумаги (m , кг влаги/ $(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$) при традиционном двухстороннем обогреве паром верхних и нижних цилиндров:

ABCD, DE – пребывание полотна на нагретой поверхности цилиндра и участке межцилиндрового пробега; ц.1, 2 – цилиндры 1 и 2; С.Х – участок свободного хода полотна

- совпадают потоки переноса теплоты и влаги в полотне, что способствует интенсификации сушки;
- меняется механизм сушки, причем на разных стадиях сушки действуют различные локальные диффузионно-фильтрационные механизмы переноса теплоты и влаги [1 – 4];
- при одностороннем подводе теплоты к влажному материалу длина свободного хода полотна приближается к оптимальной длине [1–4], что приводит к оптимальному соотношению испаряемой влаги из полотна при нахождении его на цилиндре и в межцилиндровом пространстве;



- существенное количество влаги (до 23,5 %) удаляется из полотна, когда оно контактирует с вакуумным отсасывающим валом;
- при проводке синтетической сетки по траектории движения полотна, т. е. по системе «слалом», увеличивается угол обхвата цилиндра полотном (с 63 до 85 %). При этом увеличивается активная поверхность цилиндров;
- при проводке сетки по системе «слалом» (см. рис. 4) улучшаются условия для отвода паровоздушной смеси от полотна и циркуляция воздуха внутри застойных зон, в результате чего ускоряется сушильный процесс;

В основе интенсификации процесса и сокращения затрат теплоты на сушку лежит тепловой расчет сушильных установок бумагоделательных и картоноделательных машин.

Методика теплового расчета быстроходных бумагоделательных машин требует дополнительной проработки. Она значительно отличается от существующей методики расчета тихоходных и среднеходных машин:

- расчет следует вести не по методике П. А. Жучкова [5], в соответствии с которой производительность сушильной установки определяется в зависимости от количества цилиндров, а в зависимости от количества испаряемой влаги в каждом сушильном цикле «сушильный цилиндр – свободный пробег полотна между цилиндрами» [1–4, 7];
- при однорядном расположении цилиндров в сушильной установке отмечаются не два участка, на которых происходит испарение и удаление влаги из полотна, а три: на контактном и конвективном участках, а также на вакуумном отсасывающем валу;
- на основе тепловых расчетов и опыта эксплуатации установок следует, что на быстроходных машинах коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи примерно в два раза выше, чем на тихоходных или среднеходных машинах;
- при одностороннем подводе теплоты от пара к влажному полотну существенно меняется механизм переноса теплоты и влаги внутри материала на отдельных стадиях сушки, на каждой стадии сушки действует свой фильтрационно-диффузионный механизм сушки, который описывается соответствующими дифференциальными уравнениями [1–4];
- с целью интенсификации сушки и при переводе работы цилиндрических сушильных установок с двухрядной на однорядную компоновку необходимо учитывать также особенности и закономерности сушки различных материалов и форм связи влаги с материалом [1–4];
- для оптимизации конструкции сушильной установки необходимо знать соотношение количества удаляемой влаги из полотна на контактном участке сушильного цилиндра, конвективном участке межцилиндрического пробега полотна и вакуумном валу.

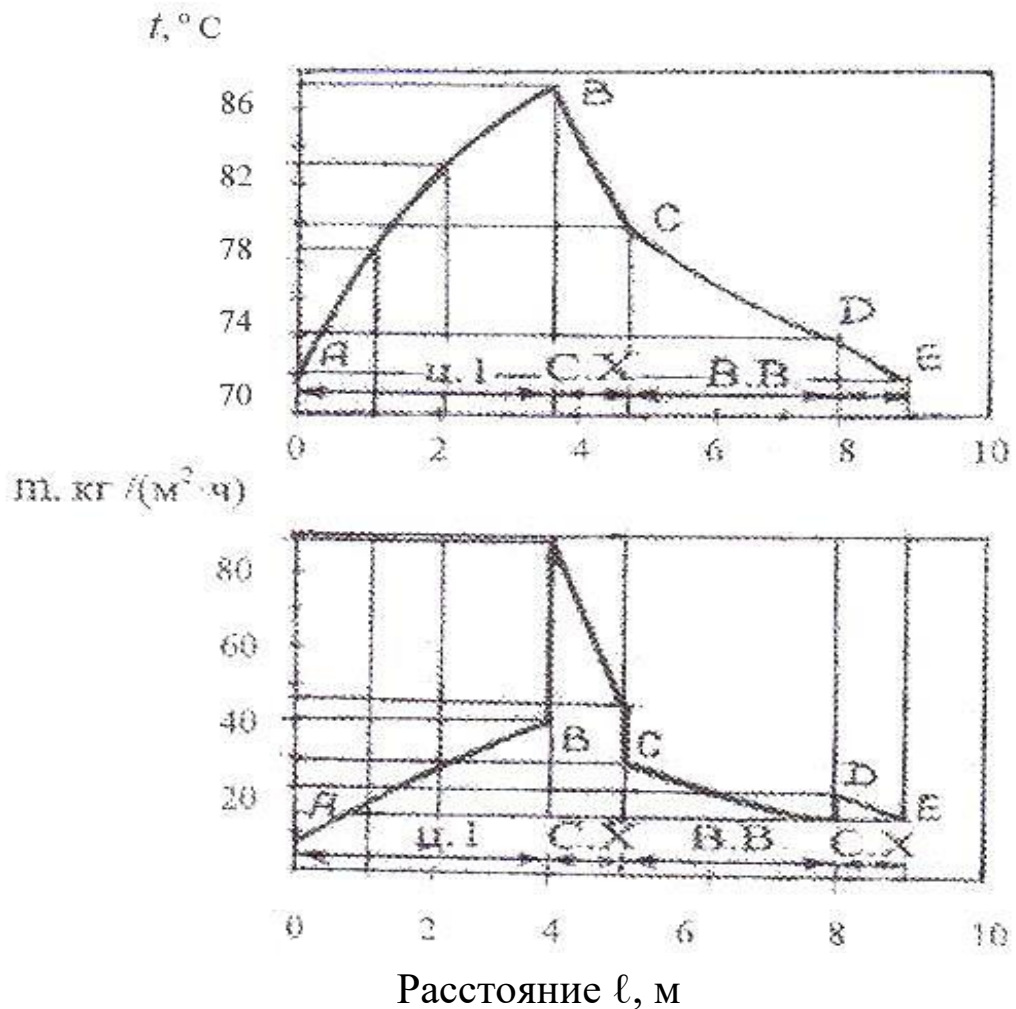


Рис. 2. Изменение температуры (t , °C) и интенсивности сушки бумаги (m , кг влаги/($m^2 \cdot ч$)) при одностороннем обогреве паром только верхних цилиндров: АВ, ВС, CD и DE – пребывание полотна на нагретой поверхности цилиндра, первом участке межцилиндрового пробега, вакуумном валу (В.В) и втором участке межцилиндрового пробега; ц.1 – цилиндр 1; С.Х – участок свободного хода полотна

Разработанная методика теплового расчета многоцилиндровых контактно-конвективных сушильных установок [1 – 4, 7] по отдельным циклам «сушильный цилиндр – свободный ход» позволяет более точно определить конструктивные характеристики сушильной установки по заданному температурному графику сушки, производительности машины и виду выпускаемой продукции. Чем больше масса 1 m^2 полотна, тем эффективнее применение одностороннего подвода теплоты. Поэтому такой способ сушки целесообразно применять особенно для сушки толстых материалов, таких как картон и целлюлоза.



Для того чтобы улучшить качественные показатели готовой продукции, необходимо на сушильной установке обеспечить чередование одностороннего подвода теплоты на нижних или на верхних цилиндрах.

Отключение сушильных цилиндров по пару и конденсату можно применить не только для толстых видов картона и целлюлозы, но и для тонких видов бумаги. Например, при выработке газетной бумаги на БДМ-8 ОАО «Кондопога» отключено 42 % всех цилиндров, на БДМ-4, 7, 9 – до 30 %. При этом отключенные цилиндры работают в качестве валов большего диаметра. Поэтому в этом случае целесообразно нижние цилиндры заменить отсасывающими валами меньшего диаметра, при этом металлоемкость установки резко снижается.

Вакуумный вал (рис. 3) состоит из внутренней неподвижной камеры, двух плоских сопел и перфорированного вращающегося корпуса [2 – 4].

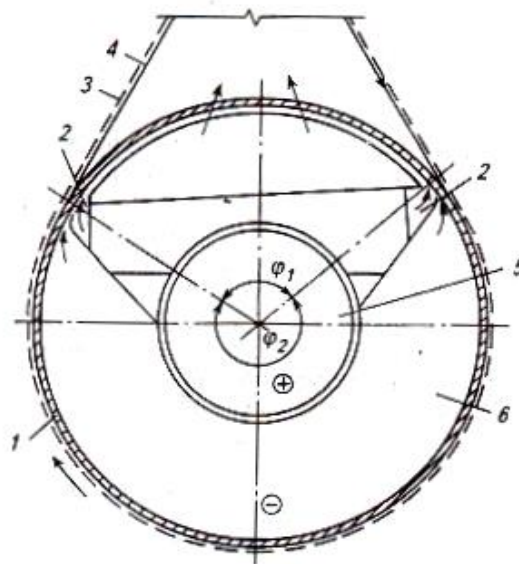


Рис. 3. Вакуумный направляющий валик для «безобрывной» проводки бумажного полотна:

- 1 – перфорированный корпус; 2 – сопло; 3 – бумажное полотно;
4 – сушильная сетка; 5 – напорная камера; 6 – зона вакуума

Воздух под избыточным давлением через торцы вала подается в центральную неподвижную напорную камеру, откуда через сопла, которые образованы вращающимся корпусом вала и неподвижной направляющей пластиной, вытекает с большой скоростью. Под действием кинетической энергии вытекающей струи из нижней камеры отсасывается воздух и создается вакуум, в результате полотно плотно прилегает к сетке. Воздух через перфорацию в верхней части вала вытекает в межцилиндровое пространство, в результате чего активизируется воздухообмен, улучшаются



условия сушки бумажного полотна. Основным достоинством данного вала является отсутствие уплотнений и трущихся неподвижных и вращающихся частей.

На рис. 4 представлена схема проводки бумажного полотна и синтетической сетки по сушильной части бумагоделательной машины (БДМ) с использованием вакуумных валов.

Конструкция сушильной установки при этом упрощается, а двухрядное расположение цилиндров заменяется однорядным (например, на БДМ-10, ОАО «Кондопога»).

Преимущества более совершенных теплообменных процессов при одностороннем подводе теплоты к влажному полотну следующие:

1. Влага концентрируется у открытой поверхности материала и остается на одной и той же поверхности контактного слоя в течение всего процесса сушки.

2. Нет потерь теплоты на бесполезный возвратно-поступательный транспорт влаги от одной поверхности полотна к другой. Экономия теплоты при этом составляет примерно 10 %.

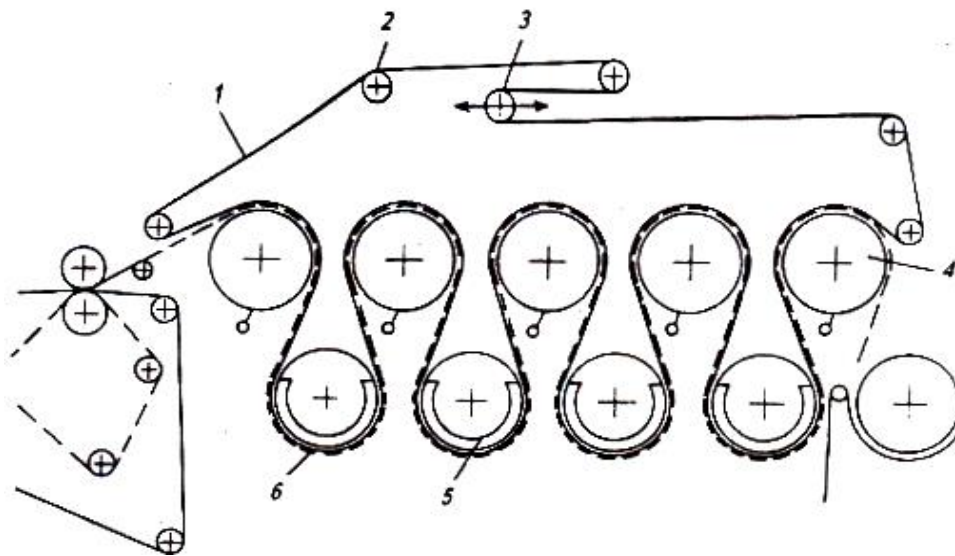


Рис. 4. Схема проводки бумажного полотна и синтетической сетки в сушильной части бумагоделательной машины с использованием вакуумных валов: 1 – сушильная сетка; 2 – направляющий валик; 3 – валик для натяжения сетки; 4 – сушильный цилиндр; 5 – вал с вакуумной камерой; 6 – бумажное полотно

3. Интенсифицируется сушка, так как на участке свободного хода полотна снижается его температура (с 95 – 90 °С до 75 – 70 °С) и существенно



возрастают удельные тепловые потоки от пара к влажному полотну.

4. В зоне контакта верхних цилиндров с полотном не образуется пленка пара, которая создает значительное термическое сопротивление переносу теплоты. При этом средний коэффициент теплопередачи (например, на современной бумагоделательной машине № 8 ОАО «Кондопога») остается довольно высоким, порядка 700 – 1000 ккал/(м²·ч·°С).

5. Так как при однорядном расположении цилиндры работают на одном геометрическом уровне и при одном давлении пара, то стабилизируются тепловой и гидравлический режимы работы сушильных установок.

6. Нет гистерезиса в процессе переноса теплоты и влаги в полотне, так как линии кипения и конденсации совпадают.

7. Совпадают направления потоков переноса теплоты q_T и массы влаги q_M в полотне, что способствует ускорению сушки.

8. Меняется характер изменения температуры в полотне на нижних цилиндрах и увеличивается градиент температуры в полотне на верхних цилиндрах.

9. Улучшается качество высушиваемого материала, так как имеется возможность задавать любой температурный график сушки.

Промышленная апробация одностороннего подвода теплоты произведена на действующих сушильных установках бумагоделательных и картоноделательных машин: БДМ-3, 4, 7, 8, 9 ОАО «Кондопога»; БДМ-4 ОАО «Архангельский ЦБК»; пресспат ОАО «Целлюлозный завод «Питкяранта»; КДМ ОАО Слоимского картоно-бумажного завода «Альбертин».

Таким образом, установлено, что на каждой стадии сушки действуют специфические механизмы, которые описываются соответствующими дифференциальными уравнениями переноса теплоты и влаги внутри высушиваемого материала [1 – 4]. Анализ изучения кинетики и механизма сушки картона и бумаги позволил научно обосновать и предложить более совершенный механизм тепломассопереноса с односторонним подводом тепла, который успешно апробирован в производственных условиях.

Библиографический список

1. Бойков, Л. М. Совершенствование процессов контактно-конвективной сушки картона и бумаги: автореф. Дис.... д-ра техн. наук / Л. М. Бойков. – СПб.: СПб ГТУ РП, 2001. – 32 с.

2. Бойков, Л. М. Повышение эффективности сушки путем модернизации пароконденсатных систем бумагоделательных, картоноделательных машин и гофроагрегатов / Л. М. Бойков. – СПб.: СПб ГТУ РП, 2014. – 51 с.



3. Бойков, Л. М. Повышение эффективности сушки путем модернизации пароконденсатных систем бумагоделательных, картоноделательных машин и гофроагрегатов / Л. М. Бойков. – СПб.: СПб ГТУ РП, 2015. – 575с.
4. Бойков, Л. М. Энергосбережение и ускорение сушки бумаги и картона/ Л. М. Бойков. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2018. – 279с.
5. Жучков, П. А. Тепловой и гидравлический режимы работы бумагоделательных и картоноделательных машин / П. А. Жучков, В. И. Саунин. – М.: Лесная промышленность, 1972. – 152 с.
6. Karisson, M. Papermaking. Science and Technology / Papermaking. Part 2. Drying. – Helsinki. Finland, 2000.
7. Бойков, Л. М. Универсальная методика расчета контактных сушильных установок / Л. М. Бойков // Химия и технология целлюлозы и полуцеллюлозы: межвуз. сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1989. – С. 28 – 32.



УДК 66.023.2

**Чорноус А. С., Распопов И. А.,
Мидуков Н. П.**

Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ МОКРЫМ И СУХИМ СПОСОБАМИ

В настоящее время наблюдается тенденция к переходу на биоразлагаемые материалы, главным образом к которым относится бумага и изделия из нее [1]. Так же с каждым годом развиваются аддитивные технологии (3D-печати и 3D-моделирования) и находят применение во множестве отраслей промышленности. Наибольший потенциал аддитивных технологий в целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) может быть раскрыт в области изготовления форм для литой тары, одного из самых экологичных видов упаковки.

При производстве бумажных изделий используется большое количество воды, доходящее до 80 м³/т бумаги. Ее забор, очистка, транспортировка и хранение – это затратные операции, снижающие эффективность работы предприятий. Решением этой проблемы могло бы стать использование сухого формования при производстве литой тары, при котором расход воды снижается в разы, однако полностью исключить воду из процесса не удастся, т.к. она участвует в образовании водородных связей между волокнами, значительно увеличивая физико-механические свойства получаемой продукции [2 – 4].

Главным образом изделия, полученные из сухого волокна, можно применить в качестве тары упаковки. Поскольку в России качество литой тары не нормируется, нет конкретных требований к прочности, жесткости и другим параметрам. Главным условием, которому должны отвечать подобные изделия – это сохранение первоначальной формы.

В работе представлены возможности формования изделий из вторичного сырья (макулатуры) различными методами на сетке, изготовленной при помощи 3D-печати. В результате работы на лабораторной установке были получены образцы методом классического (мокрого) литья и сухим формованием. Для этого создана установка, основным элементом которой является изготовленная с помощью 3D-принтера форма. В отличие от стандартного листоотливного аппарата установка позволяет одно и тоже изделие изготовить по технологии мокрого и сухого формования. Изготавливаемое изделие может быть сложной формы, которая задается в программах, формирующих образы и поверхности в 3D-проекции.

Экспериментальные исследования по формованию изделий из вторичных волокон проводились с помощью разработанной установки, которая представлена на рис. 1. Установка позволяет формировать образцы изделий формата А4 с возможностью изменения конфигурации поверхности за счет изготовления специальных форм на 3D-принтере.

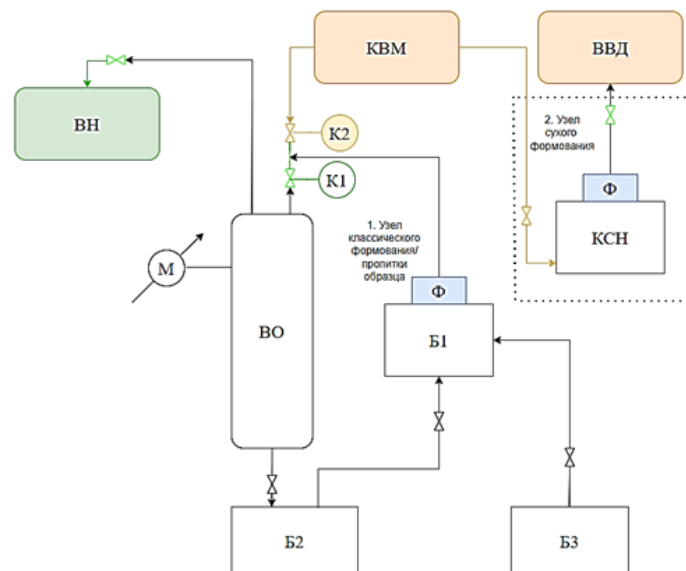


Рис. 1. Схема установки. Б1 – бак готовой массы; Б2 – бак оборотной воды; Б3 – бак массы высокой концентрации; ВН – вакуумный насос; ВО – водоотделитель; ВВД – вакуумная воздуходувка; КСН – камера сухого напыления; КВМ – компрессор; К1 – клапан подачи вакуума на форму; К2 – клапан подачи сжатого воздуха на форму; М – манометр; Ф – форма.

Тестирование установки и получение образцов для контроля качества проводились с помощью плоской формы, представляющей собой сетку (рис. 2а). Изделия со сложной поверхностью не исследовались по физико-механическим показателям, а оценивались только визуально. Для формирования сложных поверхностей, изготавливались специальные формы, пример которой представлен на рис. 2б.

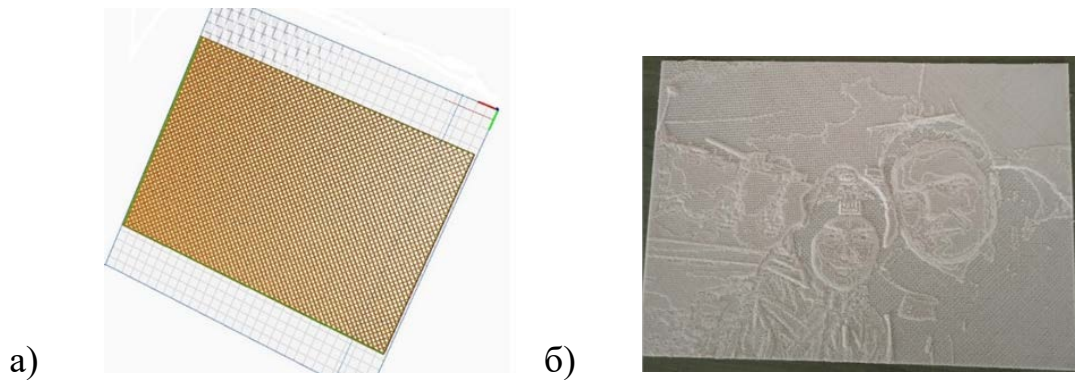


Рис. 2. Формующие сетки, изготовленные на 3D – принтере: а – сетка для формования стандартного листа, формата А4; б – сетка для формования бумажного изделия со сложной поверхностью

Режим мокрого формования организовывался следующим образом:

В баке Б1 подготавливалось заданное количество бумажной массы с концентрацией 0,03 – 0,04 %. Клапан К1 открывался и соединял форму с линией вакуума при 0,4 – 0,5 бар. Время формования составляло 30 – 90 секунд, при этом через поверхность сетки проходила вся масса, находящаяся в баке Б1. После формования волокнистый слой около 20 секунд продолжали удерживать под вакуумом, после чего клапан К1 закрывали и открывали клапан К2. За счет подачи сжатого воздуха изделие удалялось с сетки, а фильтрат из ВО удалялся в бак обратной воды Б2. Данная вода, содержащая небольшое количество мелочи затем использовалась повторно для изготовления следующего изделия.

Режим сухого формования организовывался следующим образом:

В герметичную емкость КСН насыпалось предварительно измельченное целлюлозное волокно. Внутри КСН размещалась форма с подключенной воздуходувкой. Форма направлена вниз рабочей поверхностью. Зона формования на поверхности формы предварительно смачивается водой для лучшей фиксации. КСН компрессором подается воздух под давлением 3 – 5 бар, а форму соединяется с линией вакуума – 0,15 бар. Под действием вакуума из полученной внутри камеры (аэровзвеси) происходило постепенное формование листа.

По окончании формования линия вакуума соединялась с формой. На финальном этапе форма совместно со слоем волокон под вакуумом погружалась на 10 – 60 секунд в бак обратной воды, в результате чего происходила пропитка сформованного бумажного волокна водой. При этом объем воды, перекачиваемой через водоотделитель в режиме пропитки сухого волокна, в 4 – 6 раз меньше, чем при классическом формовании. После завершения пропитки образец перемещался на приемный стол, где высушивался до равновесной с атмосферной влажности (7 – 9 %).



В качестве сырья для экспериментальных исследований использовалась газетная макулатура.

Образцы тестировались на сопротивляемость разрыву.

Толщина измерялась по ГОСТ 27015-86, разрывная длина – по ГОСТ ИСО 1924-1-96 (прибор Hounsfield TX0154-H1KS), влажность – по ГОСТ 13525.19-91 (прибор Sartorius ma45c-000230v1) [5 – 8].

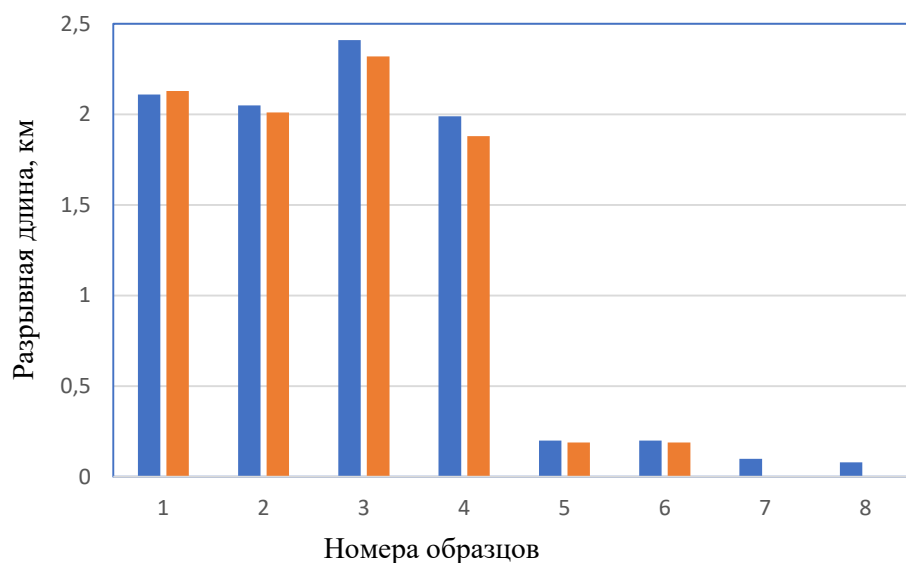
Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

№ образца	Масса, м ²	Разрывная длина в направлении А, км	Разрывная длина в направлении Б, км	Толщина, мм	Влажность, %
1	115	2,11	2,13	0,77	9,9
2	115	2,05	2,01	0,46	9,4
3	115	2,41	2,32	0,52	9,9
4	115	1,99	1,88	0,58	9,1
5	260	0,2	0,19	1,57	8,3
6	260	0,2	0,19	1,57	8,3
7	340	0,1	-	2,24	6,7
8	280	0,08	-	2,35	7,1

Результаты экспериментальных исследований по изучению сопротивляемости образцов разрыву представлены на рис. 3. Из диаграммы видно, что бумажные изделия практически не имеют анизотропии, а разница между значениями разрывной длины в различных направлениях близка к погрешности.

Бумажные листы, полученные из сухого волокна, имеют большую толщину, но существенно малую разрывную длину (таблица 1).





Бумажные листы, полученные методом классического (мокрого) литья, оказались значительно прочнее чем полученные путем аэродинамического формования, как и предполагалось. При этом анизотропия всех образцов незначительна. Для повышения сопротивляемости бумажных изделий необходимо использовать связующее вещество. У всех образцов довольно высокая пухлость, что благоприятным образом может сказаться при производстве литой тары такими методами, так как стенки тары будут сжиматься при механических воздействиях и демпфировать удары.

Предложенная установка для изготовления образцов может быть использована при формировании изделий как сухим, так и мокрым способом.

Библиографический список

1. Didone Mattia, Saxena Prateek, Meijer Ellen Brillhuis, Tosello Guido, Bissacco Giuliano, McAloone Tim C., Pigosso Daniela Cristina Antelmi, Howard Thomas J. Moulded Pulp Manufacturing: Overview and Prospects for the Process Technology // *Packaging Technology and Science*. 2017. №4 (30)0. – P. 231 – 249.

2. Способ изготовления целлюлозного продукта, устройство для формования целлюлозного продукта и целлюлозный продукт: патент RU 2018136582 А / ЛАРССОН, Ове, ЛАРССОН, Линус; Пулпак АБ; опуб. 20.04.2020. (сухое формование).

3. Способ изготовления целлюлозного продукта, устройство для формования целлюлозного продукта и целлюлозный продукт: патент RU 2735554 С2 / ЛАРССОН, Ове, ЛАРССОН, Линус; Пулпак АБ; опуб. 03.11.2020. (сухое формование с прессом).

4. Дробосюк В.М. Технология изготовления бумаги аэродинамическим способом. СПб.: Книга, 2011. – 56 с.

5. ГОСТ 27015-86. Бумага и картон. Методы определения толщины, плотности и удельного объема. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 4 с.

6. ГОСТ ИСО 1924-1-96. Бумага и картон. Определение прочности при растяжении. М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 11 с.

7. ГОСТ 13525.19-91. Бумага и картон. Определение влажности. М.: Стандартинформ, 2007. – 10 с.

8. Sikora M., Danielewicz D. Production of unitary moulded pulp products using Rapid-Köthen apparatus // *BioResources*. 2019. №4 (14). – P. 9781 – 9785.



СОДЕРЖАНИЕ

Жильникова М. В. Органические красители производства АО «Пигмент»	3
Житнюк В. А. Диверсификация производства в условиях новых возможностей.....	6
Зильберглейт М. А., Мидуков Н. П., Куров В. С., Литвинов М. А. Оценка пористости бумаги и картона по микроструктуре поперечного среза	8
Кейзер П. М., Смирнова Е. Г., Быстрова А. А. Изменение свойств волокнистых полуфабрикатов при циклическом использовании	11
Линдبلاد Г., Юха Ю. Метод ТСО – оптимизация работы БДМ и КДМ при производстве картона для плоских слоев и бумаги для гофрирования	14
Смирнов М. Н. Вода в производстве бумаги и картона (очистка воды и возможности повторного использования).....	24
Таборский Л. Ю., Митцель Ю. Ю. Российская химия для ЦБП.....	25

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

Бойков Л. М. Повышение эффективности сушки бумаги и картона на машинах.....	27
Бойков Л. М. Совершенствование механизма сушки бумаги и картона ...	36
Чорноус А. С., Распопов И. А., Мидуков Н. П. Применение технологии 3D-печати для формования изделий мокрым и сухим способами.....	44

МАТЕРИАЛЫ
Международной научно-практической конференции
«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ
В ТЕХНОЛОГИИ БУМАГИ И КАРТОНА»

2022

Редактор и корректор А. А. Чернышева
Техн. редактор А. А. Чернышева

Темплан 2022 г., поз.5009а/22

Подписано к печати 19.04.2022. Формат 60x84/16. Бумага тип № 1.
Печать офсетная. Печ. л. 3,2. Уч.-изд. л. 3,2.
Тираж 50 экз. Изд. № 5009а/22. Цена «С». Заказ №

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД,
198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4.