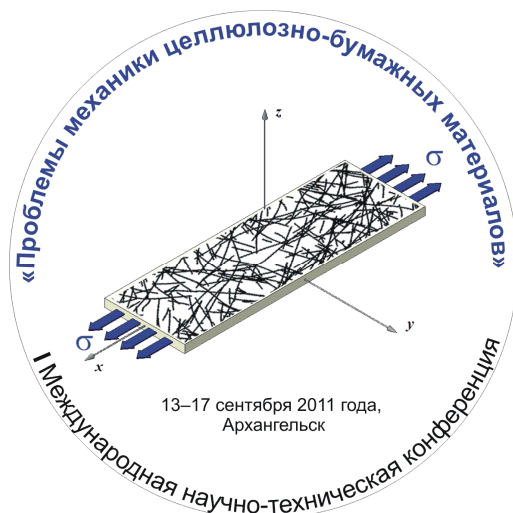




Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»

ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ



МАТЕРИАЛЫ I МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

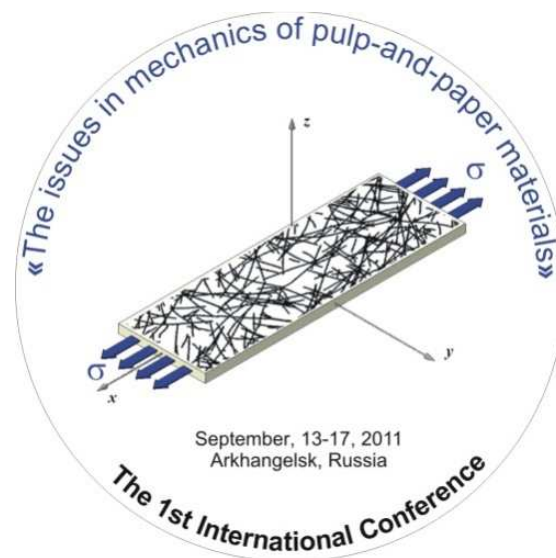
13–17 сентября 2011 г.

Архангельск
2011



Ministry of Education and Science of the Russian Federation
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

THE ISSUES IN MECHANICS OF PULP-AND-PAPER MATERIALS



PROCEEDINGS Ist INTERNATIONAL CONFERENCE

September 13–17, 2011

Arkhangelsk
Russia

УДК 676.017
ББК 35.77
П 78

Отв. за выпуск:

Я.В. Казаков, канд. техн. наук, доц.;
Е.В. Дьякова, канд. техн. наук, доц.

Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы I Междунар. науч.-техн. конф / – Архангельск; Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2011. –316 с.

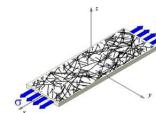
П 78

ISBN 978-5-261-00636-7

Представлены материалы докладов по фундаментальным и прикладным исследованиям в области механики целлюлозно-бумажных материалов по следующим направлениям: физические основы и методы оценки механического поведения технической целлюлозы, бумаги и картона; новые технологические решения для достижения повышенного уровня деформационных и прочностных характеристик бумаги и картона; прогрессивные решения и технологии полуфабрикатов, обеспечивающие заданный уровень механических свойств технической целлюлозы.

УДК 676.017
ББК 35.77

© Северный (Арктический)
федеральный университет
имени М.В. Ломоносова, 2011



Организаторы конференции



Министерство образования и науки
Российской Федерации



Российский фонд фундаментальных исследований



Министерство образования, науки и культуры
Архангельской области



Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова

Конференция проводится при поддержке



ОАО «Архангельский ЦБК»



ОАО «Управляющая компания «Объединенные бумажные фабрики»



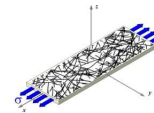
ООО «ОПТЭК»



Журнал «Целлюлоза. Бумага. Картон.»

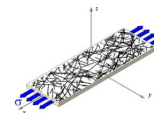


Лесной журнал. Известия высших учебных заведений



Организационный комитет

Кудряшова Е.В. <i>председатель</i>	ректор, д-р филос. наук, профессор, САФУ, Россия
Комаров В.И. <i>сопредседатель</i>	д-р техн. наук, профессор, САФУ, Россия
Аким Э.Л. <i>сопредседатель</i>	член Консультативного Комитета ФАО ООН по бумаге и древесным продуктам, д-р техн. наук, профессор, СПбГТУРП, Россия
Дьякова Е.В. <i>секретарь</i>	канд. техн. наук, доцент, САФУ, Россия
Белоглазов В.И.	советник ген. директора ОАО «Архангельский ЦБК», канд. техн. наук, профессор, Россия
Боголицын К.Г.	директор ИЭПС УрО РАН, проректор по научной работе, д-р хим. наук, профессор, САФУ, Россия
Гурьев А.В.	начальник научно-исследовательского управления, канд. техн. наук, доцент, САФУ, Россия
Дацыкова Г.А.	начальник организационного управления, САФУ, Россия
Дубовый В.К.	д-р техн. наук, профессор, СПбГТУРП, Россия
Дулькин Д.А.	ген. директор УК «Объединенные бумажные фабрики», д-р техн. наук, профессор, Россия
Ельцова О.А.	начальник управления информационной политики, САФУ, Россия
Иванкин И.И.	министр образования, науки и культуры Правительства Архангельской области, Россия
Казаков Я.В.	канд. техн. наук, доцент, САФУ, Россия
Комарова Г.В.	директор Института теоретической и прикладной химии, канд. хим. наук, САФУ, Россия
Смолин А.С.	д-р техн. наук, профессор, СПбГТУРП, Россия



Программа мероприятий в рамках конференции

Понедельник, 12 сентября

Заезд участников. Размещение в гостиницах

Вторник, 13 сентября

9:30 Регистрация участников
11:00 Открытие конференции
11:30–16:00 Пленарное заседание
13:00–14:00 Обед
17:00 Автобусная экскурсия по городу
19:00 Ужин

Среда, 14 сентября

9:00–13:00 Сессия «Физические основы и методы оценки механического поведения технической целлюлозы, бумаги и картона»
13:00–14:00 Обед
14:00–16:00 Сессия «Прогрессивные решения и технологии полуфабрикатов, обеспечивающие заданный уровень механических свойств технической целлюлозы»
17:00 Экскурсия по САФУ, лаборатории кафедры технологии ЦБП, ЦКП «Арктика»

Четверг, 15 сентября

9:00–10:30 Сессия «Прогрессивные решения и технологии полуфабрикатов, обеспечивающие заданный уровень механических свойств технической целлюлозы»
11:00–16:00 Сессия «Новые технологические решения для достижения повышенного уровня деформационных и прочностных характеристик бумаги и картона»
13:00–14:00 Обед
16:00–17:00 Стендовая сессия

Пятница, 16 сентября

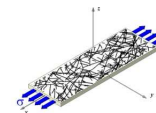
10:00 Выезд в Малые Карелы
11:00–13:00 Сессия «Новые технологические решения для достижения повышенного уровня деформационных и прочностных характеристик бумаги и картона»
13:00–14:00 Круглый стол. Закрытие конференции
14:00–15:00 Обед
15:00–17:00 Экскурсия в музей деревянного зодчества «Малые Карелы»
18:00 Товарищеский ужин

Суббота, 17 сентября

9:00–18:00 Экскурсия в Антониево-Сийский монастырь

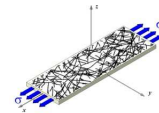
Воскресение, 18 сентября

Отъезд участников

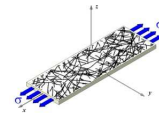


СОДЕРЖАНИЕ

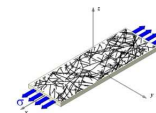
<i>В.И. Комаров, Я.В. Казаков.</i> Проблемы исследований механического поведения волокнистых целлюлозно-бумажных материалов	15
<i>Э.Л. Аким.</i> Релаксационное состояние полимерных компонентов бумаги и его влияние на механические свойства	24
<i>Д.А. Дулькин.</i> Производство гофротары с заданными потребительскими свойствами из макулатуры и низкосортной древесины	34
<i>А.С. Смолин, Р.О. Шабиев, Е.С. Николаев.</i> Структурообразование в гидросуспензиях растительных волокон	40
<i>В.К. Дубовый.</i> Состояние и перспективы использования минеральных волокон в производстве бумаги и картона	45
<i>И.Н. Ковернинский, Д.А. Дулькин, С.Ю. Кожевников.</i> Теоретические основы и технология придания прочности целлюлозно-бумажным материалам полиионполимерами	52
<i>В.И. Белоглазов, В.И. Комаров, Е.В. Дьякова, А.В. Гурьев.</i> Структурно-размерные свойства волокон полуфабрикатов как фактор, определяющий качество тарного картона	57
<i>С.А. Евтюхов, Е.М. Лоцманова, Е.Г. Смирнова.</i> Прогнозирование показателей механической прочности различных видов целлюлозы и композиций на их основе	64
<i>Е.В. Дьякова, В.И. Комаров.</i> Критерии и методы механики разрушения структуры бумаги	70
<i>Г. Линдبلاد, Ю.С. Юха.</i> Настройка БДМ для оптимизации прочностных свойств картона для плоских слоев гофрированного картона и бумаги для гофрирования с помощью анализа на TSO тестере	78
<i>Я.В. Казаков.</i> Практика использования характеристик деформативности для оценки качества бумаги и картона	88
<i>В.В. Абрамова, А.В. Гурьев, М.А. Холмова, О.Б. Дмитриева.</i> Анализ равномерности формирования макроструктуры бумаги в 2-D и 3-D проекциях	95
<i>А.Г. Ульяненок, В.С. Власенко, И.А. Башкова, В.А. Плешанов, К.А. Атласов.</i> Исследования и анализ свойств природных растительных объектов и продуктов их переработки методами атомно-силовой, электронной и оптической микроскопии	102



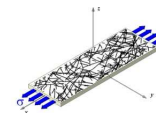
<i>Д.А. Сухов.</i> Модель строения физической структуры целлюлозы и ее применения при рассмотрении процессов размола	104
<i>Ю.В. Севастьянова, В.И. Комаров, Л.А. Миловидова.</i> Влияние параметров варки и породного состава сырья на характеристики деформативности и прочности лиственной сульфатной целлюлозы	110
<i>И.В. Лавров, Ю.В. Севастьянова, А.В. Синчук, Д.А. Дулькин.</i> Современные требования и оценка способности к переработке картона-лайнера и бумаги для гофрирования различных производителей	116
<i>Н.В. Сысоева.</i> Бумагоподобные композиты широкого спектра применения на основе минеральных волокон и неорганических связующих. Обзорная информация	121
<i>А.И. Безлаковский.</i> Особенности технологии получения стеклянных волокон как сырья для бумажной промышленности	125
<i>Е.В. Новожилов, А.В. Кондаков, Д.Г. Чухчин, Д.Н. Пошина, К.Ю. Терентьев, Е.В. Смирнов.</i> Потенциал ферментных технологий для развития бумагообразующих свойств первичных и вторичных волокон	130
<i>У.О. Цибульски, В.И. Комаров, Л.А. Миловидова, Г.В. Комарова, Т.А. Королева.</i> Влияние добавок диспергаторов на степень кислородной делигнификации на эффективность обработки, химический состав и белимость сульфатной целлюлозы из лиственных пород древесины	136
<i>Т.Е. Карманова, В.И. Комаров, Л.А. Миловидова.</i> О возможности использования показателя вязкости технической целлюлозы для прогнозирования прочностных характеристик	142
<i>Л.Г. Махотина.</i> Применение поверхностной обработки для увеличения прочностных свойств упаковочной бумаги	149
<i>Л.Р. Мусина, М.Ф. Галиханов.</i> Комплексные решения в использовании барьерных материалов на основе гофрокартона	154
<i>А.В. Синчук, И.В. Лавров, В.А. Спиридонов.</i> Стабилизация важнейших свойств тарного картона из макулатуры – устойчивая тенденция на ближайшую перспективу	160
<i>В.И. Темрук, А.Н. Кашин, В.В. Горжанов, Т.В. Соловьева.</i> Управление свойствами бумаги многоступенчатым размолотом целлюлозы на дисковых мельницах	167



<i>Т.В. Соловьева, А.А. Каверина, В.В. Горжанов, А.А. Пенкин.</i> Повышение прочностных свойств бумаги для печати из вторичных полуфабрикатов направленным регулированием процесса их размола	171
<i>Г.Й. Долинская.</i> Применение системного анализа в решении проблемы конкурентоспособности гофрированного картона	177
<i>В.А. Спиридонов, Д.А. Дулькин, Е.А. Овсянникова, А.В. Синчук.</i> Исследование водопользования и химии короткой циркуляции БДМ в производстве тарного картона из макулатуры.	183
<i>С.Л. Андреева, Д.А. Дулькин, В.А. Спиридонов.</i> Особенности формования многослойного тарного картона из макулатуры	188
<i>K. Schreiber, R. Berger.</i> Wet end survey provides machine optimization and big increase in productivity	194
<i>Ф.Н. Капуцкий, Н.В. Черная, Н.В. Жолнерович, Д.И. Шиман, С.Г. Грибовская.</i> Направленное применение вспомогательных добавок для упрочнения бумаги	195
<i>А.А. Красикова.</i> Технологические решения в проектах по реконструкции и модернизации предприятий ЦБП	201
<i>Е.В. Куркова, Г.Е. Иванов.</i> Бумага с повышенной влагопрочностью	207
<i>В.И. Темрук, А.Н. Пенкин, Т.В. Соловьева.</i> Повышение прочностных и печатных свойств специальных видов бумаги за счет использования модифицированных карбонатных наполнителей	213
<i>Э.Л. Алимбиев, Я.В. Казаков.</i> Возможность применения статистических методов для отбора технологических факторов процесса, управляемого АСУТП, критичных для прочностных характеристик крафт-лайнера	219
<i>М.В. Ванчаков, А.В. Кулешов.</i> Совершенствование технологии подготовки массы из макулатуры с целью повышения физико-механических показателей бумаги и картона	225
<i>М.А. Холмова, В.И. Комаров, А.В. Гурьев, Л.А. Миловидова.</i> Получение полуфабриката для тарного картона с повышенными прочностными и деформационными свойствами	231
<i>В.В. Коваленко, Н.В. Сысоева, В.К. Дубовый, А.И. Безлаковский.</i> Изменения фракционного состава минеральных волокон в процессах обработки и переработки	238

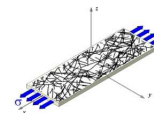


<i>Т.В. Воробьева, Я.В. Казаков.</i> Исследование кинетических параметров формирования усадочных напряжений в структуре картона в процессе сушки.	244
<i>О.С. Бровко, Я.В. Казаков, Т.А. Бойцова, И.А. Паламарчук.</i> Применение целлюлозных волокон для повышения прочности полимерных диализных мембран	251
<i>А.О. Крыжановский, А.Н. Журавлева, Я.В. Казаков, А.В. Петухова.</i> Прогнозирование способности гофроящиков к штабелированию по результатам кратковременных испытаний на сжатие	257
<i>Е.С. Носкова, Е.В. Дьякова, В.И. Комаров.</i> Применение двухпараметрического критерия разрушения структуры бумаги в практических исследованиях	263
<i>В.И. Комаров, Е.Ю. Ларина.</i> Количественная оценка пластических деформаций при изгибе целлюлозно-бумажных материалов	268
<i>М.В. Шуралев, Н.В. Сысоева, В.И. Комаров.</i> Подбор размольной гарнитуры – залог оптимальных бумагообразующих характеристик волокнистого полуфабриката	274
<i>Т.Н. Манахова, Я.В. Казаков, В.И. Белоглазов.</i> Анализ нисходящей ветви кривой нагрузка-удлинение для образцов хвойной сульфатной небеленой целлюлозы	280
<i>А.А. Драчев, В.И. Комаров, Ю.В. Севастьянова.</i> Влияние числа Каппа на деформационные и прочностные характеристики небеленой хвойной сульфатной целлюлозы	286
<i>М.Е. Романов, В.И. Комаров, Л.А. Миловидова, Т.А. Королева.</i> Влияние условий варки и КЩО на фундаментальные, деформационные и прочностные характеристики лиственной сульфатной целлюлозы	292
<i>Г.Е. Коротаев, В.И. Комаров, Ю.В. Севастьянова.</i> Сравнение деформационных и прочностных характеристик хвойной сульфатной целлюлозы, полученной из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины	298
<i>М.Л. Демидов, А.В. Гурьев.</i> Влияние способа получения и породного состава сырья на прочностные и жесткостные характеристики полуцеллюлозы	305
<i>Т.А. Королева, Н.А. Онохина.</i> Автоматизация обработки данных при расчете вязкости целлюлозы с применением современного языка программирования	311

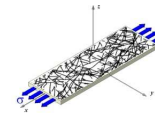


CONTENTS

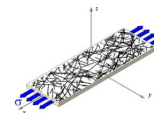
<i>V. Komarov, Y. Kazakov.</i> The issues in researches of mechanical behavior of fibrous pulp-and-paper materials	15
<i>E. Akim.</i> Relaxation condition of paper's polymeric components and its influence on mechanical properties	24
<i>D. Dulkin.</i> Manufacture corrugated boxes with the set consumer properties from recycling fibers and low-grade wood	34
<i>A. Smolin, R. Shabiev, E. Nikolaev.</i> Structure formation in plant fibers gidrosuspensionian	40
<i>V. Dubovy.</i> Status and prospects use of mineral fibers in the manufacture of paper and paperboard	45
<i>I. Koverninsky, D. Dulkin, S. Kozhevnikov.</i> Theoretical foundations and technology giving of strength pulp and paper materials polyionpolymers	52
<i>V. Beloglazov, V. Komarov, E. Dyakova, A. Guriev.</i> Structurally-dimensional properties of pulp fibers as the factor defining quality of a cardboard for package	57
<i>S. Evtyukhov, E. Lotsmanova, E. Smirnova.</i> Prediction of mechanical strength indices for different pulp types and their compositions	64
<i>E. Dyakova, V. Komarov.</i> Criteria and methods of failure mechanics of paper structure	70
<i>G. Lindblad, J. Ukha.</i> TSO method – optimization of paper and board machines operation at the production of liner and fluting	78
<i>Y. Kazakov.</i> Practice of using of deformation characteristics for an estimation of paper and cardboard quality	88
<i>V. Abramova, A. Guriev, M. Holmova, O. Dmitrieva.</i> The analysis of formation uniformity of a paper macrostructure in 2-D and 3-D projections	95
<i>A. Ulyanenko, V. Vlasenko, I. Bashkova, V. Pleshanov, K. Atlasov.</i> Researches and the analysis of properties of natural vegetative objects and products of their processing by methods of atomno-pawer, electronic and optical microscopy	102
<i>D. Sukhov.</i> Model of cellulose physical structure and its application to fiber refining process study	104



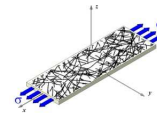
<i>Y. Sevastyanova, V. Komarov, L. Milovidova.</i> Effect of cooking parameters and species of raw materials on deformability and strength characteristics of hardwood kraft pulp	110
<i>I. Lavrov, Y. Sevastyanova, A. Sinchuk, D. Dulkin.</i> Modern requirements and evaluation of ability to processing of cardboard-liner and fluting produced by various manufacturers	116
<i>N. Sysoeva.</i> Similar to paper composites wide range of use based on mineral fibers and inorganic binder	121
<i>A. Bezlakovskiy.</i> Features technology of glass fibers as a raw material for paper industry	125
<i>E. Novozhilov, A. Kondakov, D. Chukhchin, D. Poshina, K. Terentiev, E. Smirnov.</i> The facility of enzyme technologies for development of paperforming properties of virgin and secondary fibers	130
<i>U. Zibulsky, V. Komarov, L. Milovidova, G. Komarova, T. Koroleva.</i> Effect of dispersant additives on oxygen delignification stage on efficiency of treatment, chemical composition and bleachability of hardwood sulfate pulp	136
<i>T. Karmanova, V. Komarov, L. Milovidova.</i> On the possibility of technical cellulose viscosity index for predicting the strength characteristics	142
<i>L. Makhotina.</i> Using of the surface processing for increase physical-mechanical properties the packaging paper	149
<i>L. Musina, M. Galikhanov.</i> The complex solutions in the use of barrier material on the basis of corrugated board	154
<i>Sinchuk A., I. Lavrov, V. Spiridonov.</i> Stabilization of the major properties of a tare cardboard from paper for recycling – the steady tendency on immediate prospects	160
<i>V. Temruk, A. Kashin, V. Gorzhanov, T. Solov'eva.</i> Management papers characteristic by multistage cellulose refining on disk refiners	167
<i>T. Solov'eva, A. Kaverina, V. Gorzhanov, A. Penkin.</i> Increasing the strength properties of paper for printing from secondary semi-finished by directional control of the process of them milling	171
<i>G. Dolinska.</i> System analysis application in the solution of a problem of the cardboard competitiveness	177
<i>V. Spiridonov, D. Dulkin, E. Ovsyannikova, A. Sinchuk.</i> Research of water use and chemistry of short circulation of paper-machine in manufacture of a tare cardboard from paper for recycling	183



<i>S. Andreeva, D. Dulkan, V. Spiridonov.</i> Features of formation of a multi-layered tare cardboard from recycling fiber	188
<i>K. Schreiber, R. Berger.</i> Wet end survey provides machine optimization and big increase in productivity	194
<i>F. Kaputskiy, N. Chernaja, N. Zholnerovich, D. Shiman, S. Gribovskaja.</i> Direct application of subsidiary additions for hardening of paper	195
<i>A. Krasikova.</i> Technological approaches in projects for reconstruction and modernization of pulp and paper mills	201
<i>E. Kurkova, G. Ivanov.</i> Paper with increased wet-strength	207
<i>V. Temruk, A. Penkin, T. Solov'eva.</i> Increasing the strength and printing properties of special kinds of the paper by the using of modified GCC fillers	213
<i>E. Alimpiev, Y. Kazakov.</i> Statistical methods application for the technological factors selection, which are critical to the strength characteristics of the Kraft-liner for APCS controlled process	219
<i>M. Vanchakov, A. Kuleshov.</i> Improvement of wastepaper stock preparation technology to increase physical and mechanical properties of paper and paperboard	225
<i>M. Holmova, V. Komarov, A. Guriev, L. Milovidova.</i> Preparation for the convenience containerboard with enhanced strength and deformation properties	231
<i>V. Kovalenko, N. Sysoeva, V. Dubovy, A. Bezlakovskiy.</i> Changes in fraction composition of mineral fibers during processing	238
<i>T. Vorob'eva, Y. Kazakov.</i> Investigation of kinetics parameters of shrinkable pressure development in cardboard structure during drying	244
<i>O. Brovko, Y. Kazakov, T. Boitsova, I. Palamarchuk.</i> Applying of cellulose fibers for improving strength of polymers dialysis membranes	251
<i>A. Kryzhanovsky, A. Zhuravleva., Y. Kazakov, A. Petukhova.</i> Prognosis of stacking ability of corrugated boxes from the short-time compress test	257
<i>E. Noskova, E. Dyakova, V. Komarov.</i> Application of two-parameter fracture criterion paper structure in the case studies	263
<i>V. Komarov, E. Larina.</i> Quantitative estimation of bending plastic deformations of pulp-and-paper materials	268



<i>M. Shuralev, N. Sysoeva, V. Komarov.</i> Selection of the refiner plates – a pledge of optimal physical and mechanical properties of fibrous semi-products	274
<i>T. Manakhova, V. Komarov, V. Beloglazov.</i> Analysis post-break behavior for tensile stress-elongation curve for softwood kraft pulp	280
<i>A. Dratchyov, V. Komarov, Y. Sevastyanova.</i> Effect of Kappa on the strength and deformation characteristics of softwood kraft pulp	286
<i>M. Romanov, V. Komarov, L. Milovidova, T. Koroleva.</i> Effect of cooking and oxygen delignification stage conditions on fundamental, deformation and strength characteristics hardwood sulphate pulp	292
<i>G. Korotaev, V. Komarov, Y. Sevastyanova.</i> Comparison of deformation and strength characteristics of softwood kraft pulp, obtained from normal, dying and dead wood	298
<i>M. Demidov, A. Guriev.</i> Influence of species composition of raw-materials and method of cooking on structural, morphological and strength characteristics of semi-chemical pulp	305
<i>T. Koroleva, N. Onokhina.</i> Automated data processing to calculate the viscosity of the cellulose with the use of modern programming language	311



ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ВОЛОКНИСТЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.И. Комаров, **Я.В. Казаков,**

Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

Выполнен обзор основных вопросов в области изучения деформационных и прочностных характеристик волокнистых целлюлозно-бумажных материалов. Отмечены основные тенденции развития научных направлений по изучению механизмов формирования структуры, деформирования и разрушения бумаги и картона. Определены базовые направления совершенствования технологии для получения материалов с повышенными характеристиками деформативности.

THE ISSUES IN RESEARCHES OF MECHANICAL BEHAVIOR OF FIBROUS PULP-AND-PAPER MATERIALS

V. Komarov, **Y. Kazakov,**

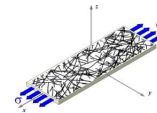
Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

The review of the basic questions in the field of studying deformation and strength characteristics of fibrous pulp-and-paper materials is executed. The basic tendencies of development of scientific directions on studying of mechanisms of structure formation, deformation and paper and cardboard destruction are noted. Base directions of technology modernization for reception of materials with the raised deformation characteristics are defined.

Бумага как материал является весьма сложным объектом для изучения, так как, обладая только ей присущими свойствами, проявляет в тоже время признаки полимерного и композитного материала.

По принятому в отрасли определению, бумага – это материал в виде тонкого листа, состоящий из растительных волокон, беспорядочно переплетенных и связанных между собой силами поверхностного сцепления. Бумага является капиллярно-пористым материалом с вязкоупругопластическими свойствами, т.е. подразумевается, что при нагружении материала наряду с мгновенно-упругими развиваются также неупругие деформации, величина которых зависит от длительности или скорости приложения нагрузки.

Проведенный анализ и обобщение данных источников литературы и монографий отечественных и зарубежных специалистов (Акима Э.Л., Ерыхова Б.П., Киприанова А.И., Терентьева О.А., Фейгина В.Б., Фролова М.В., Фляте Д.М., Шустова А.Д., Casey I.P., Poppel E., Clark J., Waterhouse J.F., Markström H. и др.) показали, что деформационные, прочностные и



жесткостные свойства целлюлозы, бумаги и картона являются важной технологической и материаловедческой проблемой, до сих пор изученной явно недостаточно, что обуславливается как сложностью задач, стоящих на стыке многих наук, так и многостадийностью и многофакторностью, характерными для производства целлюлозно-бумажных материалов и определяющими высокие вариационность и неоднородность их структуры [1].

Совершенствование технологий производства технической целлюлозы, бумаги и картона позволит решить проблему обеспечения стабильно высоких характеристик деформативности, обуславливающих заданные потребительские свойства этих материалов. Другим, не менее важным, направлением исследований с точки зрения оптимизации технологий является создание современных способов контроля качества данных материалов, необходимых при создании сертифицированной системы управления качеством продукции [1].

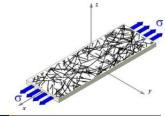
Перед исследователями в области физики бумаги стоят задачи по разработке теории механического поведения волокнистых целлюлозно-бумажных материалов при растяжении или изгибе, и созданию научных основ производства целлюлозы, бумаги и картона с повышенными характеристиками деформативности.

До настоящего времени ведутся работы, целью которых является развитие и экспериментальное обоснование представления о влиянии структуры отдельных волокон и листового материала в целом на деформационные свойства целлюлозно-бумажных материалов при растяжении, сжатии или изгибе.

Решение задачи выявления факторов, определяющих деформационное поведение целлюлозно-бумажных материалов дает возможность разработать оптимальную технологию производства этих материалов с заданным уровнем деформационных и прочностных свойств, а значит, максимальному удовлетворению требований потребителей.

Установление количественных соотношений между фундаментальными, деформационными и прочностными характеристиками целлюлозы, бумаги и картона открывает возможность эффективного прогнозирования свойств деформативности и прочности [2].

Формулировка представления о механизме явлений, происходящих в структуре целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающих, сжимающих или изгибающих нагрузок, дает теоретическую основу для совершенствования как процессов производства целлюлозы, бумаги и



картона, так и для создания современных методов контроля новых характеристик материала.

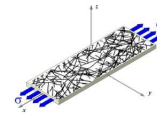
Проводимые на кафедре технологии ЦБП АЛТИ-АГТУ-САФУ научные исследования позволили развить научные представления о механическом поведении целлюлозно-бумажных материалов и явились теоретической основой для совершенствования технологий производства технической целлюлозы, бумаги и картона.

Разработана методика и программно-математическое обеспечение для обработки кривых зависимости “усилие-удлинение” и “напряжение-деформация” при испытании целлюлозно-бумажных материалов на растяжение с целью получения набора характеристик. На основе анализа технических данных приборов для испытания материалов на растяжение ведущих в ЦБП приборостроительных фирм “Lorentzen & Wettre”, “Messmer” и “Büchel”, “Frank-PTI”, сформулированы требования к испытательной машине, соответствующей лучшим мировым образцам. На Ивановских предприятиях «Точприбор-маркетинг», а затем «ИТС» налажено производство таких разрывных машин. Оснащение научных лабораторий этими приборами позволяет получать при одном испытании на растяжение набор характеристик упругости, вязкоупругости, статической и динамической прочности.

Экспериментально обоснована возможность использования при испытаниях целлюлозно-бумажных материалов методик, позволяющих получить ряд новых физических характеристик структуры данных материалов. Результаты исследований обобщены в монографиях [2...5].

Установлены требования к сырью и основным технологическим параметрам производства сульфатной небеленой целлюлозы с максимально возможной величиной деформационных характеристик. Дана количественная оценка корреляционной взаимосвязи фундаментальных, деформационных и прочностных характеристик хвойной сульфатной небеленой целлюлозы. Предложен способ прогнозирования деформационного поведения при приложении растягивающей нагрузки образцов сульфатной небеленой целлюлозы [6].

Разработаны рекомендации по совершенствованию технологии производства тарного картона, обеспечивающие необходимый уровень деформационных и прочностных свойств. Показано, что существующие в настоящее время методы прогнозирования жесткости гофрированного картона могут быть заменены на более точные. В качестве альтернативных



получены регрессионные модели, учитывающие характеристики жесткости всех компонентов гофрированного картона [7].

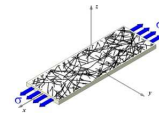
Исследованы деформационные свойства полуфабрикатов высокого выхода и книжно-журнальной бумаги для офсетного способа печати. Предложены модели для прогнозирования характеристик деформативности книжно-журнальной бумаги для офсетной печати и технологические параметры для получения бумаги с повышенными деформационными свойствами. Получил экспериментальное обоснование подход к трактовке свойств смесей (композиций) волокнистых полуфабрикатов, основывающийся на упругих свойствах исходных компонентов [8].

Предложена и обоснована гипотеза о механизме деформирования и разрушения при растяжении. Показана особая роль образования крейзообразной трещины в проявлении вязкоупругих и прочностных свойств волокнистых целлюлозно-бумажных материалов. Экспериментально доказана возможность использования для оценки упругих, вязкоупругих и прочностных свойств данных материалов разработанных методик по определению критической длины волокна, коэффициента Пуассона, времени релаксации напряжения, рассчитанного из статических кривых зависимости « σ – ε », и J -интеграла [1].

Определение величины J -интеграла проведено впервые в отечественной практике. Реализован метод испытания и процедура расчета в соответствии со SCAN P-77:95. Установлены зависимости и закономерности, позволившие усовершенствовать системы управления качеством наполненных целлюлозно-бумажных материалов, для которых вязкоупругость является важным потребительским свойством, что позволяет провести оптимизацию расхода химикатов при производстве печатных видов бумаг, с целью избирательного влияния на их вязкоупругость [9].

Изучено формирование характеристик деформативности в технологическом потоке отбеливания сульфатной лиственной целлюлозы с применением пероксида водорода. Разработан режим отбеливания при использовании окислительного щелочения, который не приводит к снижению механической прочности сульфатной целлюлозы [10].

На основе применения теории деформирования целлюлозно-бумажных материалов научно обоснованы принципы получения картона-лайнера повышенной жесткости. Изучено влияние добавки отдельных химикатов и их систем на характеристики жесткости при растяжении, сжатии и изгибе крафт-лайнера. Установлены основные параметры технологиче-



ского режима работы КДМ, оказывающие максимальное влияние на жесткость крафт-лайнера [11].

Получили дальнейшее развитие и экспериментальное обоснование представления об избирательном влиянии основных факторов варки полуцеллюлозы из лиственных пород древесины и процессов разволокнения и сортирования сульфатной целлюлозы высокого выхода из хвойных пород древесины на характеристики деформативности и прочности полуфабрикатов. Предложены мероприятия по оптимизации композиции по волокну тарного картона, основываясь на достижении оптимальных величин упругих характеристик исходных полуфабрикатов [12].

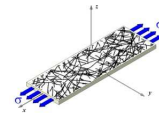
Разработана научно-обоснованная технология получения тест-лайнера с повышенными деформационными и прочностными характеристиками. Разработана модель фракционирования вторичного волокна, позволяющая выбрать оптимальные режимы подготовки бумажной массы с заданными свойствами. На основании результатов исследований разработан план модернизации картоноделательной машины, реализация которого привела к получению значительного экономического эффекта [13].

Установлена возможность использования в качестве связующего в технологии гофрокартона и в качестве добавки, ускоряющей размол бумажной массы, веществ, полученных из древесины с помощью электронно-пучковой плазмы [14].

Исследована взаимосвязь анизотропии структуры с характеристиками деформативности и прочности тарного картона. Установлено различие в величинах коэффициентов деформационной и прочностной анизотропии тарного картона, обусловленное избирательным влиянием длины и прочности волокна и межволоконных сил связи на эти характеристики. Разработаны практические рекомендации по регулированию анизотропии и стабилизации качества тарного картона, позволившие разработать и реализовать план реконструкции КДМ-1 ОАО «Архангельский ЦБК». [15]

Дана качественная оценка влияния основных параметров варки и породного состава лиственной древесины на деформационные и прочностные свойства небеленой целлюлозы. Установлены основные факторы варки, определяющие повышенную белимость сульфатной целлюлозы и пониженное содержание гексенуроновых кислот при сохранении необходимой прочности полуфабриката [16].

Усовершенствованы технологические режимы производства сульфатной хвойной целлюлозы высокого выхода с повышенными характери-



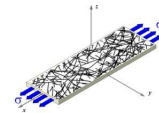
стиками деформативности и прочности, которые приняты к использованию на ОАО «Архангельский ЦБК». Выдвинуто и экспериментально подтверждено положение о том, что сульфатная хвойная ЦВВ является полуфабрикатом, представляющим собой смесь двух видов волокон, обладающих различными физико-механическими свойствами [17].

Расширены научные представления о возможности оценки характеристик микроструктуры бумажного листа по данным измерений геометрических характеристик отдельных волокон в плоскости листа и характеристик макроструктуры по данным, полученным с помощью оптического анализатора просвета. Установлены количественные зависимости между характеристиками оптической неоднородности структуры и деформационными и прочностными характеристиками бумаги и картона. Показана возможность прогнозирования деформационных и прочностных свойств бумаги различной композиции с использованием характеристик макроструктуры [18].

Получены новые данные о влиянии технологических параметров на деформационные свойства бумаги для гофрирования из макулатуры, позволяющие усовершенствовать технологию данной бумаги с более высокими деформативностью и прочностью, в зависимости от запросов потребителей. Принятая концепция по совершенствованию технологии бумаги для гофрирования из макулатуры применена при разработке плана модернизации производства, реализация которого привела к увеличению производительности и повышению качества [19].

На основании исследований, в основе которых изучение влияния волокна из макулатуры, катионного крахмала и катионного клея на качество бумажной массы и уровень физико-механических показателей тест-лайнера, модернизированы схема и технологические параметры фракционирования массы из макулатурного волокна и технологическая схема тест-лайнера с подачей катионного клея и катионного крахмала в отдельные фракции в условиях ООО «Сухонский ЦБК» [20].

Установлено, что разрушение структуры бумаги с трещиноподобными дефектами может быть интерпретировано с помощью двухпараметрического критерия разрушения и диаграммы механического поведения при растяжении. Получены количественные данные о протекании процесса разрушения бумаги и картона, который может развиваться по хрупкому, вязкому и смешанному механизму [21].



Установлены закономерности влияния качества щепы от рубительной машины нового поколения «ННQ» на процесс сульфатной варки и деформационные и прочностные характеристики хвойной и лиственной целлюлозы, что позволило усовершенствовать режим сульфатной варки. Разработаны рекомендации и технико-экономическое обоснование организации современного древесно-подготовительного производства [22].

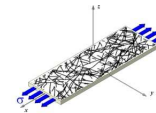
Получены знания о взаимосвязи структуры стенки волокон, образующих макулатуру марки МС-5Б, с их фундаментальными, деформационными и прочностными свойствами. Предложен способ оценки величины сил трения между волокнами в структуре целлюлозно-бумажных материалов [23].

Проведены исследования влияния размольной гарнитуры со спиральным расположением ножей на изменение свойств волокнистых полуфабрикатов. Обоснован механизм воздействия спиральной гарнитуры на волокно, заключающийся в снижении касательных напряжений при одновременном увеличении количества воздействий за счет изменения геометрии рисунка гарнитуры. Установлена возможность повышения более чем на 15 % показателей физико-механических свойств размалываемых на спиральной гарнитуре волокнистых полуфабрикатов при вариации степени помола 4...5 °ШР за счет внутреннего фибриллирования волокон [24].

На основании выполненных исследований обоснованы возможности интенсификации одноступенчатой КЩО лиственной целлюлозы без снижения избирательности процесса, белимости целлюлозы и влияния условий обработки на этой ступени на деформационные и прочностные характеристики целлюлозы [25].

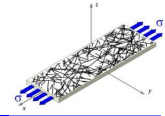
Проведены исследования влияния пластических деформаций, возникающих в образце при испытаниях на измеряемую величину жесткости при изгибе бумаги для гофрирования. Усовершенствован метод расчета жесткости при изгибе волокнистых целлюлозно-бумажных материалов, который позволит более точно конструировать тару, учитывая пластические деформации. Получены новые данные о величине зон пластической деформации в образце бумаги для гофрирования, в зависимости от структурно-размерных характеристик и технологических параметров [26].

Научные результаты исследований используются в учебном процессе на химико-технологическом факультете и в институте теоретической и прикладной химии АЛТИ-АГТУ-САФУ при подготовке специалистов для целлюлозно-бумажной отрасли.

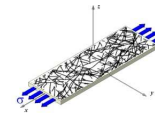


Список литературы

1. Комаров, В.И. Деформативность целлюлозно-бумажных материалов [Текст]: дис. ... д-р. техн. наук / Комаров Валерий Иванович. – С.Пб., 1999. – 56 с.
2. Комаров, В.И. Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов. – Архангельск: Изд-во Арх.гос.техн. ун-та, 2002, -440 с.
3. Яблочкин, Н.И. Макулатура в технологии картона. /Н.И.Яблочкин, В.И.Комаров, И.Н.Ковернинский. – Архангельск, Изд-во Арх. гос. техн. ун-та, 2004, -252 с.
4. Белоглазов, В.И. Анизотропия деформативности и прочности тарного картона и методы ее оценки [Текст]. / В.И. Белоглазов, А.В. Гурьев, В.И. Комаров – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005 – 252 с.
5. Дулькин, Д.А. Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги [Текст]. / Д.А. Дулькин, В.А. Спиридонов, В.И. Комаров – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007 – 1118 с.
6. Казаков, Я.В. Деформативность и прочность сульфатной небеленой целлюлозы [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Казаков Яков Владимирович. – Архангельск, 1998. –251 с.
7. Гурьев, А.В. Улучшение деформационных и прочностных свойств тарного картона [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Гурьев Александр Владиславович. – Архангельск, 1998. –207 с.
8. Филиппов, И.Б. Деформативность книжно-журнальной бумаги для офсетного способа печати [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Филиппов Илья Борисович. – Архангельск, 1998. –197 с.
9. Кузнецова, М.Ю. Вязкоупругость наполненных целлюлозно-бумажных материалов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Кузнецова Мария Юрьевна. – Архангельск, 2001. –216 с.
10. Королева, Т.А. Повышение эффективности использования пероксида водорода и диоксида хлора при отбелке лиственной сульфатной целлюлозы [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Королева Татьяна Алексеевна. – Архангельск, 2002. –121 с.
11. Сысоева, Н.В. Разработка технологии производства крафт-лайнера повышенной жесткости [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Сысоева Наталья Владимировна. – Архангельск, 2003. –148 с.
12. Дьякова, Е.В. Влияние характеристик волокон и их относительного содержания в бумажной массе на деформационные и прочностные свойства тарного картона [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Дьякова Елена /Валентиновна. – Архангельск, 2004. –167 с.
13. Яблочкин, Н.И. Повышение качества тест-лайнера [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Яблочкин Николай Иванович. – Архангельск, 2005. –177 с.



14. Шевнина, Е.А. Исследование адгезионных свойств деструктурированной плазмохимическим методом древесины [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Шевнина Екатерина Александровна. – Архангельск, 2006. –127 с.
15. Белоглазов, В.И. Влияние анизотропии структуры на физико-механические свойства тарного картона [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Белоглазов Владимир Иванович. – Архангельск, 2006. –154 с.
16. Севастьянова, Ю.В. Влияние условий варки на свойства и белимость лиственной сульфатной целлюлозы [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Севастьянова Юлия Вениаминовна. – Архангельск, 2006. –115 с.
17. Холмова, М.А. Деформативность и прочность сульфатной хвойной целлюлозы высокого выхода [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Холмова Марина Анатольевна. – Архангельск, 2007. –103 с.
18. Зеленова, С.В. Влияние структуры целлюлозно-бумажных материалов на их деформационные и прочностные свойства [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Зеленова Светлана Владимировна. – Архангельск, 2007. –152 с.
19. Южанинова, Л.А. Повышение качества бумаги для гофрирования из макулатуры [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Южанинова Людмила Анатольевна. – Архангельск, 2008. –139 с.
20. Блинусова, О.И. Совершенствование технологии тест-лайнера [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Блинусова Ольга Ивановна. – Архангельск, 2009. – 205 с.
21. Носкова, Е.С. Совершенствование оценки механизма разрушения структуры бумаги и картона [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Носкова Елена Сергеевна. – Архангельск, 2009. –130 с.
22. Иванов, К.А. Влияние качества щепы на величину и вариацию характеристик сульфатной целлюлозы [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Иванов Константин Александрович. – Архангельск, 2009. –141 с.
23. Блинова, Л.А. Влияние фундаментальных и физико-механических характеристик волокнистых полуфабрикатов на свойства тест-лайнера [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Блинова Людмила Александровна. – Архангельск, 2009. –132 с.
24. Шуралев, М.В. Исследование влияния размольной гарнитуры на свойства волокнистых полуфабрикатов, используемых в композиции высококачественной бумаги/ Шуралев Максим Витальевич – Архангельск, 2011, –140 с.
25. Цибульски, У.О. Влияние условий кислородно-щелочной обработки на свойства сульфатной целлюлозы из лиственной и хвойной древесины / Цибульски Удо Оленович – Архангельск, 2011, –170 с.
26. Ларина Е.Ю. Жесткость при изгибе бумаги для гофрирования в случае развития пластических деформаций в сжатой зоне [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Ларина Екатерина Юрьевна. – Архангельск, 2011. –159 с.



РЕЛАКСАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОНЕНТОВ БУМАГИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Э.Л. Аким

Санкт–Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, Санкт–Петербург, Россия

Взаимодействие целлюлозы и других полисахаридов с водными системами играет определяющую роль не только в природе, в процессах биосинтеза, но и в промышленности. Это взаимодействие, изменяющее релаксационное состояние полимерных компонентов древесины, а затем и бумаги, лежит в основе всех процессов целлюлозно–бумажной промышленности, химической переработки целлюлозы и др. Рассмотрение физико–химических и технологических аспектов взаимодействия целлюлозы и других полисахаридов с водными системами представляет, в связи с этим, как основополагающее научное, так и большое практическое значение. В докладе на примере ряда научных проблем кратко рассматриваются и вопросы взаимосвязи тенденций в развитии мировой и российской ЦБП и фундаментальных исследований в отрасли.

RELAXATION CONDITION OF PAPER'S POLYMERIC COMPONENTS AND ITS INFLUENCE ON MECHANICAL PROPERTIES

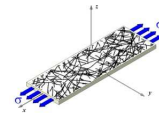
E. Akim

Saint–Petersburg state technological university of plant polymers, Saint–Petersburg, Russia

Interaction of cellulose and other polysaccharides with water systems plays defining role not only in the nature, in biosynthesis processes, but also in the industry. This interaction changing relaxation condition of polymeric components of wood, and then and paper, underlies all processes of pulp and paper industry, chemical processing of cellulose, etc. Consideration of physical and chemical and technological aspects of interaction of cellulose and other polysaccharides with water systems represents, in this connection, both basic scientific, and the big practical value. In the report on an example of some scientific problems questions of interrelation of tendencies in development world both Russian pulp and papermaking industry and basic researches in branch are short considered also.

Современная бумажная промышленность производит ежегодно (2010 г.) около 400 млн. тонн бумаги и картона, использует миллионы тонн крахмала. Степень использования вторичного волокна в целом по миру в 2009 году составила 55,6 %. Произошла смена лидеров по производству бумаги и картона: на первое место вышел Китай, передвинув США на второе место, третье место сохранила Япония, а четвертое заняла Германия, вытеснив оттуда Канаду.

Крупнейшие целлюлозно-бумажные компании мира рассматривают возможность изменения бизнес-модели. Совместно с химическими и



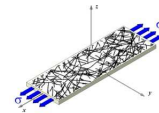
нефтеперерабатывающими компаниями они рассматривают как важнейшее направление своего развития переход к био-рефайнингу. Био-рефайнинг – это комплексная глубокая химическая переработка древесины с превращением ее основных компонентов в товарные продукты с высокой добавленной стоимостью (как многотоннажные, так и малотоннажные). Справедливо считают, что перевод мировой химической промышленности с использования невоспроизводимого нефтехимического сырья на воспроизводимое древесное сырье представляет собой важный шаг человечества по пути к «зеленой экономике».

Био-рефайнинг – одно из важнейших направлений как Европейской, так и Российской Лесной технологической платформы. При реализации принципов био-рефайнинга осуществляется перевод целлюлозно-бумажных предприятий, ориентированных на выпуск ограниченного набора продуктов, в интегрированные многопрофильные предприятия, с широким спектром выпускаемой продукции.

В то время как в мире производство бумаги и картона за последние 20 лет практически удвоилось, Россия, имея крупнейшие в мире лесные ресурсы, по производству бумаги и картона до сих пор не вышла на объемы производства 1990 года. В результате за последние 25 лет Россия передвинулась с четвертого места в мире в середину второго десятка – доля России в мировом производстве бумаги и картона сократилась с 5,2 % до менее чем 2,0 %.

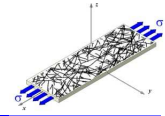
Как известно, Россия за последние 20 лет перешла от плановой к рыночной экономике. Структурные изменения в российской ЦБП и на российских рынках целлюлозно-бумажной продукции происходили с разной скоростью. В этих условиях произошел разрыв между структурой целлюлозно-бумажной продукции, выпускаемой российской ЦБП, и структурой спроса на целлюлозно-бумажную продукцию на внутреннем рынке. Именно в этом одна из основных причин образовавшегося торгового дефицита, вначале по бумаге и картону, а затем и по всей целлюлозно-бумажной продукции. В результате дефицит торгового баланса РФ по бумаге и картону в 2008 году превысил 2 млрд. долларов США.

За последние 25 лет в России не построено ни одного крупного ЦБК, не введено в строй практически ни одной современной высокопроизводительной бумаго- картоноделательной машины. Исключениями явились лишь строительство Компанией SCA новой фабрики санитарно-гигиенической бумаги в Тульской области, недалеко от Москвы.



Инвестиционные программы в российской ЦБП в последние 10 лет были направлены, прежде всего, на реконструкцию действующих предприятий с целью повышения конкурентоспособности, как на внутреннем, так и на мировом рынке. Однако резервы экстенсивного пути, а именно к такому варианту и относится реконструкция, не безграничны. Практически единственным путем сохранения конкурентоспособности российской ЦБП является инновационный путь, базирующийся на развитии научных исследований. В то же время, за последние 20 лет в значительной степени разрушился существовавший в СССР научно-исследовательский и проектно-конструкторский технический комплекс. Практически полное прекращение государственного централизованного финансирования фундаментальных исследований, исчезновение системы отраслевого финансирования прикладных исследований в связи с отсутствием системы управления отраслью привели к резкому, в десятки раз, сокращению численности научных сотрудников в НИИ и университетах, а также к фантастическому старению научного оборудования. Поэтому для перехода к инновационным технологиям сегодня наиболее реально создание научных центров при университетах. Именно в этом направлении может быть особенно результативно использование механизма Европейской Лесной Технологической Платформы. Пять лет назад в России, вслед за созданием Европейской «Лесной технологической платформы» была создана и Российская «Лесная технологическая платформа». Ее задачей в области ЦБП является создание и реализация инновационной модели развития ЦБП России, ее научное и кадровое обеспечение. Перевод целлюлозно-бумажной промышленности на инновационный путь развития, реализация конкурентных преимуществ лесного сектора России, создают предпосылки для ускоренного инновационного развития, расширения экспортного потенциала, импортозамещения на базе взаимодействия Российской и Европейской Лесных Технологических платформ при приоритетной поддержке био-рефайнинга, нанотехнологий, энергосбережения и водосбережения. Технологические Платформы строятся на принципах частно-государственного партнерства.

Первым реальным примером частно-государственного партнерства в Российском Лесном комплексе является проект «Лиственница» – совместный проект ОАО «Группа «Илим» и СПб ГТУ РП «Разработка инновационной технологии комплексной переработки древесины лиственницы (с выводом на мировые рынки нового вида товарной целлюлозы)». Этот проект вышел победителем открытого публичного конкурса по отбору ор-

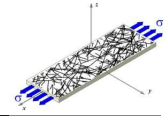


ганизаций на право получения субсидий на реализацию комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства. Для реализации данного проекта государство выделяет субсидию в размере 150 млн. рублей, при условии, что такую же сумму на реализацию проекта затратит ОАО «Группа «Илим».

Одной из важнейших глобальных проблем крупнейшей лесной страны мира – России, является рациональное природопользование и комплексное использование лесных ресурсов. Лесные запасы России состоят на 58 % из лиственницы (сибирской и даурской) и сосны. Древесина лиственницы сибирской обладает высокой прочностью и плотностью, а также специфическим химическим составом. В отличие от лиственницы, произрастающей в Северной Америке и Западной Европе, сибирская и даурская лиственница содержат в своем составе от 7 до 30 % водорастворимого полисахарида – арабиногалактана. В настоящее время в мире отсутствуют методы промышленного крупнотоннажного производства сульфатной беленой целлюлозы из древесины лиственницы сибирской и лиственницы даурской. Процесс варки затрудняют специфические особенности этих пород древесины: высокое содержание в них арабиногалактана и высокая плотность. Именно это препятствовало созданию промышленной технологии получения целлюлозы из сибирской лиственницы и не позволяет перерабатывать сибирскую и даурскую лиственницу в целлюлозу по традиционным технологиям. Отсутствие научно обоснованной промышленной технологии переработки лиственницы в целлюлозу делает экономически не целесообразной ее заготовку. В результате в регионах Сибири и Дальнего Востока в целом сдерживается развитие лесного комплекса, происходит отток населения из депрессивных районов.

В связи с этим одной из актуальнейших задач для российской целлюлозно-бумажной промышленности является создание и реализация инновационной комплексной технологии глубокой химической переработки древесины лиственницы и путей ее использования в конечных видах продукции. Решение этой проблемы принципиально важно как при реконструкции действующих предприятий – Братского и Усть-Илимского филиалов Группы «Илим», так и при строительстве новых предприятий.

Выполнение данного проекта обеспечит разработку и реализацию в промышленных условиях современной технологии получения целлюлозы из лиственницы. Эта технология базируется на последних достижениях био-рефайнинга, а также на исследованиях нано-структуры древесины и ее

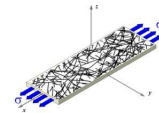


полимерных компонентов, путей направленного изменения наноструктуры древесины, релаксационного состояния ее полимерных компонентов.

Анализ современных теоретических представлений о формировании наноструктуры древесины и релаксационном состоянии ее полимерных компонентов, путях направленного изменения наноструктуры, позволяет определить оптимальные уровни «разборки» наноструктуры и морфологической структуры при переработке древесины лиственницы в разнообразные целевые продукты. Одновременное сочетание фундаментальных, лабораторных, технологических исследований и опытно-промышленных выработок позволит, благодаря широкому использованию научного и технологического потенциала исполнителей проекта и привлечению ведущих научных лабораторий мира, совместить во времени ряд стадий постановки продукции на производство и сократить сроки внедрения проекта. На основе био-рефайнинга древесины лиственницы будут созданы технологии производства целлюлозы для химической переработки и для санитарно-гигиенических изделий, а также для тароупаковочных видов бумаги и картона. Кроме того, предусматривается переработка древесины лиственницы с получением из нее разнообразных химических продуктов, таких как арабиногалактан, дегидроокверцетин, микрокристаллической целлюлозы и др. Возможный ежегодный объем заготовки в России древесины лиственницы (сибирской и даурской) может составить 105 млн. м³.

В основе создаваемой инновационной технологии комплексной переработки древесины лиственницы лежат принципы био-рефайнинга. Именно этому и посвящен проект «Лиственница», который может рассматриваться как инновационный компонент Приоритетных инвестиционных проектов ОАО «Группа «Илим», прежде всего, как приоритетного инвестиционного проекта «Большой Братск». Проект «Лиственница» – самый крупный инновационный проект в лесном комплексе России за последние четверть века.

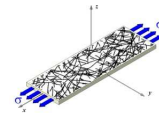
За прошедший период выполнен большой объем теоретических и экспериментальных исследований, разработана инновационная технология, проверенная в лабораторных и опытно-промышленных условиях. На основании концепции об определяющей роли релаксационного состояния полимерных компонентов древесины и результатов электронно-микроскопических исследований наноструктуры и морфологической структуры древесины лиственницы и ее капиллярно-пористой структуры,



на основании фундаментальных теоретических и экспериментальных исследований предложены инновационные принципы ее био-рефайнинга, позволяющие получать из нее новые виды высококачественной товарной целлюлозы с заданным комплексом свойств, извлечь из древесины ее ценный компонент – арабиногалактан и предложить принципиальные пути его многотоннажного использования.

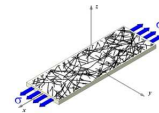
Вопрос об изменении физического (релаксационного) состояния целлюлозы, о ее температуре стеклования и о путях и возможностях ее перевода в высокоэластическое состояние имеет большое фундаментальное и прикладное значение. Эксплуатационные свойства полимерных материалов, их поведение в процессах механической, физико-химической и химической переработки неразрывно связаны с температурными границами физических состояний. Соответственно и для целлюлозных материалов определение этих границ, изучение возможности осуществления перевода целлюлозы из одного физического состояния в другое имеют решающее значение. Исключительность целлюлозы, как полимера, синтезируемого самой природой, и применимость к ней теоретических концепций, достаточно детально разработанных для синтетических полимеров, позволяют анализировать с позиций физико-химии полимеров релаксационное состояние целлюлозы в процессе биосинтеза и при осуществлении промышленных процессов производства материалов на ее основе.

Целлюлоза является кристаллизующимся полимером, имеющим достаточно четко выраженные кристаллические и аморфные области. Наличие аморфных областей позволяет говорить о температуре стеклования целлюлозы и возможности ее перевода в высокоэластическое состояние. В конце 60-х годов Э.Л. Акимом и сотр. были проведены исследования влияния жидких сред на температуру перехода ряда полимеров из стеклообразного в высокоэластическое состояние и было показано, что температура стеклования целлюлозы, составляющая для сухой целлюлозы на воздухе 220 °С, под влиянием ряда жидких сред (воды, глицерина, уксусной кислоты) снижается весьма значительно, в частности в воде – ниже комнатной температуры. Выполненные исследования позволили проанализировать роль высокоэластического состояния полимеров в механохимических, физико-химических и химических процессах, сформулировать особенности протекания процессов при высокоэластическом состоянии полимеров. Было показано, в частности, что с направленным изменением физического состояния полимерных компонентов древесины связано возникно-



вание прочности бумажного листа, а одним из обязательных условий крашения текстильных материалов является перевод волокнообразующего полимера из стеклообразного в высокоэластическое состояние. Обязательным условием осуществления химических реакций с полимером, находящимся в конденсированном состоянии, также является его расстекловывание. Экспериментально было доказано, например, что сущность такой технологической операции, как активация за счет обработки уксусной кислотой целлюлозы перед ее ацетилированием, заключается в переводе целлюлозы из стеклообразного в высокоэластическое состояние благодаря пластифицирующему действию уксусной кислоты.

Для целлюлозы и материалов на ее основе мокрое состояние первично, а сухое состояние является вторичным. Биосинтез целлюлозы в природе происходит при обязательном участии воды, т.е. целлюлоза рождается в воде. Выделение технической целлюлозы из древесины и другого растительного сырья осуществляется в водных средах. Таким образом, как в природных, так и уже в обычных, комнатных условиях мокрая целлюлоза находится в высокоэластическом состоянии. При этом для целлюлозных материалов в воде величины модуля упругости соответствуют значениям, характерным для полимеров, находящихся в высокоэластическом состоянии. При получении бумаги и картона применяются водные суспензии целлюлозных волокон. Переход из мокрого в сухое состояние для целлюлозы и материалов на ее основе имеет особое значение. Мокрая целлюлоза находится в высокоэластическом состоянии, а сухая застеклована. При сушке целлюлозы происходит, таким образом, изменение физического состояния. При обычных методах сушки целлюлозы совмещаются процессы обезвоживания (удаления воды) и сушки (удаления жидкости, смачивающей целлюлозу). Происходящее за счет удаления пластификатора (воды), стеклование целлюлозы осуществляется в условиях значительных усадочных напряжений. При получении бумаги и картона усадочные напряжения играют положительную роль, стягивая при сушке фибриллярные элементы бумажного листа до расстояний, на которых в максимальной степени реализуются все возможные межволоконные связи за счет образования межмолекулярных связей между гидроксильными группами макромолекул, находящихся на поверхности фибриллярных надмолекулярных образований. Последующее стеклование фиксирует такую стянутую структуру бумажного листа. Соответственно основные стадии получения бумаги (размол, отлив, прессование, сушка) направлены на создание межволоконных

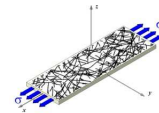


связей в бумаге с целью получения прочного листа. Возникновение прочности бумажного листа связано с изменением физического состояния полимерных компонентов растительной ткани. Ход процессов обработки и переработки бумаги зависит, от физического состояния всех полимеров, участвующих в этом процессе. В связи с этим значительный интерес представляет влияние различных сред на физическое состояние основных компонентов бумаги и взаимосвязь между их физическим состоянием и поведением бумаги в процессах ее обработки и переработки. Как известно, при расстекловывании полимера уменьшается концентрация межмолекулярных связей, повышается сегментальная подвижность, увеличивается свободный объем, появляются функциональные группы, не вовлеченные в физические и водородные связи. Эти явления приводят к качественному изменению хода химических, физико-химических и механохимических процессов, в которых участвует полимер.

Для целлюлозы переход от мокрой целлюлозы к сухой лежит в основе таких фундаментальных процессов, как процесс бумагообразования. Имеющиеся в настоящее время экспериментальные факты однозначно доказывают, что при этом происходит и застекловывание целлюлозы. С данных позиций и рассматриваются в докладе все процессы, связанные с изменением релаксационного состояния целлюлозы при получении бумаги. Благодаря повышению сегментальной подвижности восстанавливается капиллярно-пористая структура полимера с одновременным увеличением внутренней поверхности. Восстановление капиллярно-пористой структуры, а также само повышение сегментальной подвижности значительно облегчают механохимические процессы, основанные на использовании анизотропии свойств. Благодаря восстановлению капиллярно-пористой структуры ускоряется макродиффузия (течение жидкости по капиллярам) и одновременно резко возрастает площадь внутренней поверхности, через которую осуществляется микродиффузия. Происходящее при расстекловывании увеличение свободного объема приводит к ускорению микродиффузии (диффузии внутрь аморфных областей).

В результате при расстекловывании ускоряются диффузионные процессы (например, крашение) и диффузионная составляющая химических процессов.

Появление при расстекловывании функциональных групп, не вовлеченных в физические и водородные связи, понижает энергию активации химических реакций, что приводит к ускорению кинетической составляю-

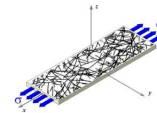


щей химических процессов. Ускорение кинетической и диффузионной составляющих химических процессов приводит к их ускорению независимо от области протекания процесса (диффузионной или кинетической).

Важнейшими особенностями процессов, в которых участвует полимер, находящийся в высокоэластическом состоянии, являются возможность проведения направленных процессов (с воздействием на расстеклованные аморфные области) и возможность достаточно полного осуществления реакции при ее распространении из расстеклованных аморфных областей в кристаллические. Возможность направленного осуществления процессов имеет большое значение при переработке полимеров. Так, при крашении появляется возможность введения красителей в аморфные области с последующей структурной фиксацией красителя при стекловании. На направленном механическом воздействии основан важнейший процесс бумажного производства – размол целлюлозы. Осуществление направленной деструкции позволяет без глубокой деструкции полимера провести «разборку» его надмолекулярных образований на более мелкие элементы.

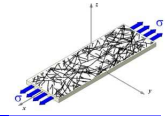
Наряду с проведением направленных процессов при высокоэластическом состоянии полимера возможно и достаточно полное осуществление реакции (по всем функциональным группам полимера) за счет распространения реакции из аморфных областей в кристаллические. В этом случае расстеклованные аморфные области являются как бы дверьми, по которым реагент проникает в кристаллические области. Такой путь реакции, при котором осуществляется «химическое плавление» кристаллитов, имеет ряд специфических особенностей.

Во-первых, при распространении зоны реакции из аморфных областей в кристаллические увеличивается энергия активации процесса, что вызывает необходимость применения весьма эффективных катализаторов и реакционных сред, повышающих сегментальную подвижность в прореагировавших областях. Во-вторых, при таком ходе процесса функциональные группы постепенно вводятся в зону реакции, что приводит к более спокойному течению процесса, например, благодаря их меньшему влиянию на эффективность применяемых катализаторов. При осуществлении рассматриваемых реакций могут быть реализованы чисто полимерные механизмы катализа – передача протона по цепи и образование внутренних катализаторов. При химической переработке целлюлозы происходят достаточно глубокие изменения целлюлозной структуры, главное – изменение состояния аморфных областей целлюлозы, потому что аморфные об-



ласти – это «двери», через которые реагент при химической переработке может проникнуть внутрь кристаллических областей. Открыты эти «двери» или нет? Ответ на этот вопрос – релаксационное (физическое) состояние целлюлозы. Соответственно практически любая химическая переработка целлюлозы начинается с воздействия на аморфные области, с их перевода из стеклообразного в высокоэластическое состояние. В случае если применяемый реагент сам не способен расстекловывать целлюлозу, появляется необходимость проведения специальной предварительной обработки – активации.

Концепция об определяющей роли релаксационного состояния целлюлозы при поведении ее в химических реакциях, физико-химических и механохимических процессах была разработана автором в конце 60-х годов и обобщена в 1971 г. В 1977–1978 гг. релаксационная теория была представлена на симпозиуме Американского химического общества и симпозиуме ТАППИ по растворимым целлюлозам. Она получила поддержку З.А. Роговина и И. Сакурада, Н.А. Платэ, С.П. Папкина и Э.З. Файнберга и других видных ученых. В рамках релаксационной теории аморфные области рассматривались как «двери», открывающиеся в большей или меньшей степени при расстекловывании и обеспечивающие проникновение реагента внутрь целлюлозной структуры. Учитывая, что расстекловывание относится к переходам второго рода и может протекать на различную глубину, еще более точно можно сравнить аморфные области с диафрагмой, регулирующей в зависимости от степени ее открытия проникновение реагента внутрь целлюлозной структуры. Рассмотренные аспекты влияния надмолекулярной структуры целлюлозы, ее релаксационного состояния на ход ее химической переработки относятся главным образом к реакциям полимераналогичных превращений. Однако не меньшую роль надмолекулярная структура целлюлозы играет и при таких направлениях переработки, как получение на основе целлюлозы углеродных волокнистых материалов, деструкция целлюлозы с целью получения микрокристаллической целлюлозы, получение поперечно сшитых целлюлозных материалов.



ПРОИЗВОДСТВО ГОФРОТАРЫ С ЗАДААННЫМИ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИМИ СВОЙСТВАМИ ИЗ МАКУЛАТУРЫ И НИЗКОСОРТНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Д.А. Дулькин

ООО "Управляющая компания "Объединенные Бумажные Фабрики", Москва, Россия

Фундаментальным критерием оценки тарного картона и тары служит стабильность показателей и строгие допуски. Тенденции, связанные со снижением качества сырья и массы 1 м^2 картонного полотна, диктуют необходимость осуществления мероприятий по компенсации потерь прочности продукции, в том числе использованием полуцеллюлозы, наряду с макулатурой.

MANUFACTURE CORRUGATED BOXES WITH THE SET CONSUMER PROPERTIES FROM RECYCLING FIBERS AND LOW-GRADE WOOD

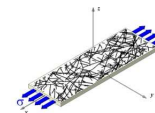
D. Dulkin

Open Company "Managing company" Incorporated Paper-mills ", Moscow, Russia

As fundamental criterion of an estimation of a tare cardboard and container stability of indicators and strict admissions serves. The tendencies connected with decrease of quality of raw materials and basic weight of cardboard, dictate necessity of realization of actions for indemnification of losses of durability of production, including semicellulose use, along with recycling fibers.

Растущие требования потребителей к качеству тарного картона заставляют производителей постоянно заниматься совершенствованием техники и технологии производства. Особую актуальность приобретают комплексные научные исследования свойств вторичных волокон, деформационных и прочностных свойств флютинга и тест-лайнера, а также влияния на них системы водопользования и химических вспомогательных веществ [1].

Специалистами УК «ОБФ» совместно с кафедрой ЦБП САФУ проводятся системные научно-исследовательские работы по теоретическому анализу влияния на бумагообразующие свойства волокон процессов их переработки, в результате которых происходят отдельные необратимые физико-химические изменения [2]. Особое внимание уделяется изучению условий переработки тарного картона на гофроагрегатах разных поколений, поскольку требования к флютингу и тест-лайнеру для них существенно отличаются.



Тенденция к снижению массы площадью 1 м^2 и проводимые мероприятия, позволяющие повысить продуктивность гофрирующих агрегатов, оказывают большое влияние на парк используемых в настоящее время КДМ для выпуска тарного картона. На рис.1 представлен срок эксплуатации, а в табл. 1 ширина КДМ для тарного картона [3]. Наблюдается отчетливая тенденция перехода к новому поколению машин шириной более 7 м.

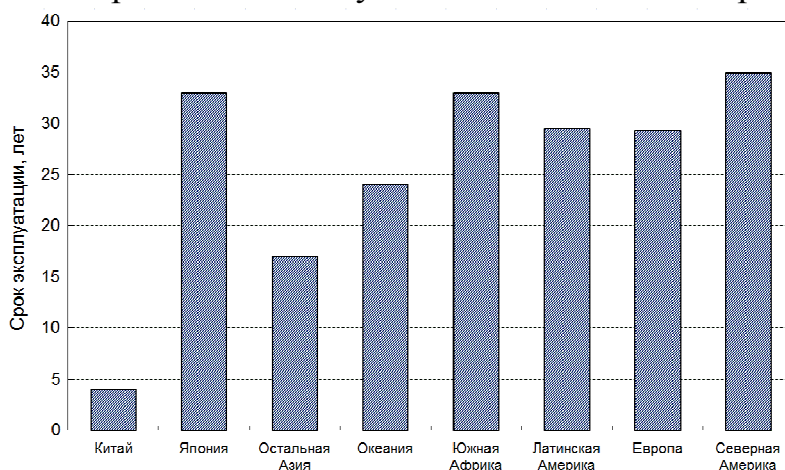


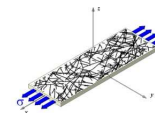
Рис. 1. Срок эксплуатации картоноделательных машин для тарного картона в разных регионах

Таблица 1. Преимущественная ширина картоноделательных машин в разных регионах

Ширина КДМ, мм	Регион
2500	Южная/Западная Европа/ суммарно
4200 – 4400	Центральная/Восточная Европа
4900 – 5300	Европа
7800/10000	Новое поколение машин: Европа/Китай

В индустрии гофрированного картона преобладают гофроагрегаты шириной 2450-2500 мм. Новое поколение имеет преимущественно ширину 2800 мм, и используются лишь отдельные агрегаты шириной 3300 мм (рис.2).

На рынке прослеживается устойчивая тенденция относительно требований к исполнению тары («*Performance Packaging*»), которая обуславливает достаточно высокую прочность: бумаги-основы по критерию показателя *SCT* – сопротивления сжатию короткого участка образца в поперечном направлении; гофрированного картона по критерию сопротивления сжатию по торцу образца *ECT*; гофроящика по критерию *BCT* – сопротивления сжатию образца тары, рис.3. Помимо перечисленных показателей обязательными для флютинга являются профиль *TSO*; профиль *TSI* в ма-



шинном направлении; профиль TSI в поперечном направлении; $TSI_{MD/CD}$; профиль прочности; воздухопроницаемость по Герлею; индекс растяжения (ZD tensile); профиль влажности; проклейка по Кобб; профиль толщины; SCT ; CMT ; индекс жесткости.

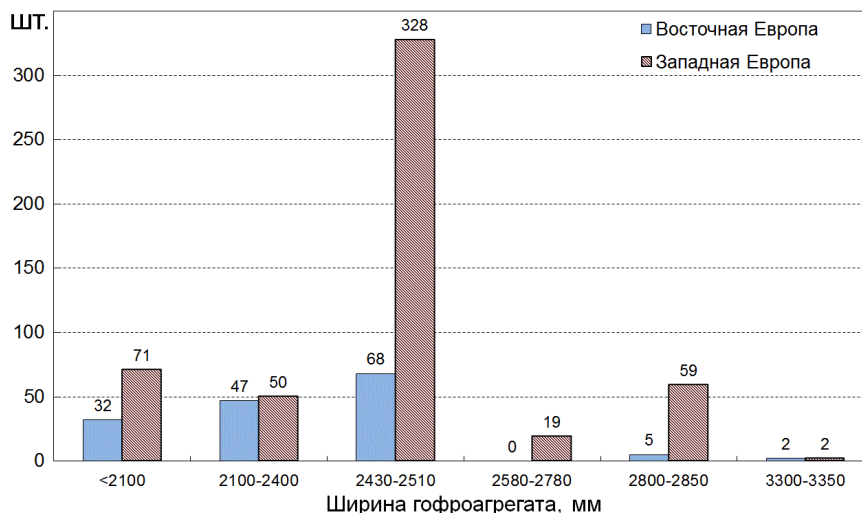


Рис. 2. Распределение гофрирующих агрегатов в Европе по ширине (по оси ординат – количество агрегатов)

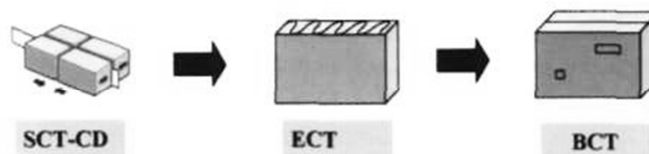
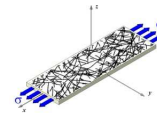


Рис.3. Оценка качества полуфабрикатов и тары

На европейском рынке прослеживается интересная тенденция: если доля тест-лайнера в общем объеме производства картона для плоских слоев ежегодно растет, то соотношение полуцеллюлозного (с высоким содержанием лигнина) и макулатурного флютинга в общем объеме производства бумаги для гофрирования остается практически неизменным.

Полуфабрикатная база

В качестве первичного сырья используется имеющаяся по месту древесина хвойных или лиственных пород. Используемое волокнистое сырье во многом определяет основные свойства и стабильность изготовленной из него бумаги, а изменения, особенно на рынке коротковолокнистых полуфабрикатов, привели к тому, что ассортимент специальных видов целлюлозы все больше стал вытесняться мало затратными и выгодными (*commodity*) полуфабрикатами. Понятие высокого качества претерпевает перемену, уступая место требованию постоянства (равномерности и однородности) важнейших свойств



Перечисленные тенденции Европейского рынка заставляют серьезно задуматься о необходимости серьезных действий, направленных на повышение эффективности производства экономически выгодных полуфабрикатов для изготовления гофрированного картона. Производитель бумаги посредством выбора имеющейся в распоряжении полуцеллюлозы и корректировки процессов приготовления массы может влиять на качество продукции и издержки на ее производство.

Тенденции рынка тарного картона в России

В 2009 году в России было переработано около 1,9 млн. т тарного картона. Около 0,8 млн. т было использовано для собственных нужд, и 1,1 млн. т продано на свободном рынке производителям гофроупаковки и гофрокартона. Около 70 % всех производителей сосредоточено в центральном регионе.

В целом по стране рост объемов производства тарного картона, включая бумагу для гофрирования, обеспечивается за счет увеличения производства макулатурного картона, среднегодовой прирост которого 127,4 %, в то время как, среднегодовой прирост целлюлозного картона 105,2 %.

Основными факторами, сдерживающими развитие производства и потребления макулатурных видов картона, являются:

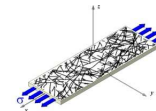
- недостаток мощностей по производству макулатурного картона;
- неразвитая система сбора макулатуры;
- сложившаяся низкая культура потребления и утилизации отходов;
- недостаточный уровень подготовки макулатурной массы высокого качества.

Производство тарного картона отличается высокой концентрацией бизнеса. Так, тарный картон для изготовления гофрированной продукции производят 37 предприятий, при этом более 40 % обеспечивают 3 предприятия: ОАО «Архангельский ЦБК» и ОАО «Группа «Илим», в структуру которой входят ОАО «Котласский ЦБК» и ОАО «Целлюлозно-картонный комбинат», г. Братск (рис. 4).

Прогноз состояния рынка

В ближайшие годы планируется увеличение мощностей на ряде предприятий. Среди них достаточно реальными представляются инвестиционные проекты, направленные на увеличение мощности по тарному картону:

- Архангельский ЦБК – увеличение производительности существующей машины, производящей целлюлозный лайнер и флютинг;



- Выборгская целлюлоза – установка БДМ и реконструкция имеющейся машины по производству топ- и тест-лайнера;
 - Картон и упаковка (г. Учалы) – увеличение производства макулатурного картона;
 - Предприятия УК «ОБФ» – увеличение производства макулатурного тарного картона и тест-лайнера с использованием полуцеллюлозы.
- Ожидаемый прирост мощностей может превысить 600 тыс. т в год.

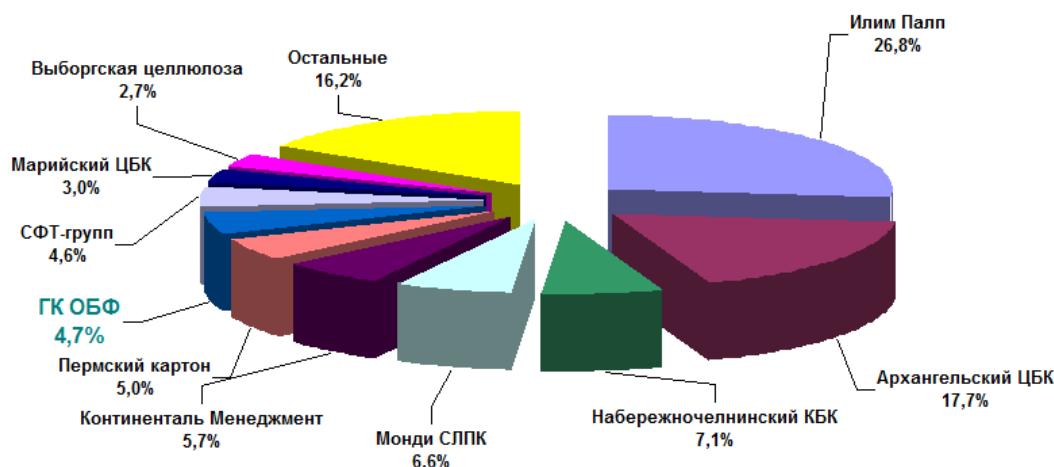


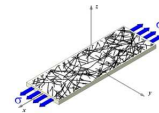
Рис. 4. Доли основных производителей тарного картона
 (источник: ЦБК-экспресс)

По нашим расчетам структура производства картона из первичного и вторичного волокна изменится в сторону повышения доли макулатурного картона с 30 % в настоящее время до 34-35 % в 2015 году. Рост производства тарного картона из первичного волокна ограничен пределом производственной мощности существующих предприятий.

Обоснование целесообразности и направлений модернизации технологических потоков по производству флютинга и тест-лайнера в России

Целлюлозно-бумажная промышленность отличается повышенной капиталоемкостью. Поскольку реальные сроки окупаемости при строительстве предприятий ЦБП составляют 15-20 лет, привлекательность капиталовложений в них на сегодняшний день ниже, чем в других отраслях. По этой причине доступ к финансовым ресурсам на такой срок в настоящее время затруднен.

Экономическая привлекательность проведения реконструкции существующих производств значительно выше, поскольку реальный срок окупаемости таких финансовых вложений не превышает 6-8 лет. Заметим, что



возможность получения кредитов на проведение перечисленных работ в России имеется.

Можно назвать четыре основных объекта капитальных вложений на действующих предприятиях: капитальное строительство отдельных технологических потоков; совершенствование технологии; развитие энергетических мощностей; решение экологических вопросов за счет модернизации имеющихся очистных сооружений.

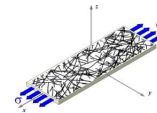
При обосновании целесообразности модернизации технологических потоков в основу должно быть положено внедрение НСТ (наилучших существующих технологий). В настоящее время требования Европейского Союза к работе оборудования ужесточены, и многие из ранее установленных в России технологических линий и отдельных установок требуют обновления [4].

В обосновании целесообразности модернизации предусматривается: замена первичных полуфабрикатов вторичным сырьем в выбранных видах продукции; уровень качества продукции, отвечающий требованиям потенциальных потребителей; снижение удельных норм расхода сырья, воды, ХВВ, тепловой и электрической энергии, отходов производства с учетом лучших существующих технологий; снижение прямых затрат и сокращение доли условно постоянных расходов.

Расчеты и анализ существующих тенденций показывает наибольшую привлекательность развития предприятий (желательно с однопоточным производством) с выпуском 100000 т/год флютинга и тест-лайнера [5].

Список литературы

1. Комаров В.И. Формирование свойств тест-лайнера в процессе производства/ В.И. Комаров, Н.И. Яблочкин, Д.А. Дулькин, И.Н. Ковернинский.– Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. –162 с.
2. Дулькин Д.А. Научные основы переработки макулатуры/ Д.А. Дулькин, Л.А. Южанинова, В.Г. Миронова, В.А. Спиридонов // ИВУЗ. Лесной журнал – 2005. –№1-2. С.104-122.
3. Stockert Florian. Markt Marktenwicklung für die Rohpapiere für Wellpappe// Wochenblatt für Papierfabrikation. 2009. – № 15/16. –S. 704-706.
4. Никитин Я.В. Надежда остается...? // Целлюлоза, бумага, картон. – Специальный выпуск. – 2007. –С. 3-4.
5. Дулькин Д.А. Обоснование целесообразности и направлений модернизации технологических потоков по производству флютинга и тест-лайнера в России // «Картон и гофрокартон». –2007. –№ 2/28. –С. 38-42.



СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ В ГИДРОСУСПЕНЗИЯХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ВОЛОКОН

А.С. Смолин¹, Р.О. Шабиев¹, Е.С. Николаев²

¹ Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, Санкт-Петербург, Россия

² ЛУТ, Ланпееванта, Финляндия

В докладе рассмотрены основные закономерности процессов структурообразования и флокуляции гидросуспензий растительных волокон. Показано влияние геометрии волокон, коллоидно-химических характеристик суспензий, изменение этих параметров в процессе размола волокнистых полуфабрикатов.

STRUCTURE FORMATION IN PLANT FIBERS GIDROSUSPENZIAN

A. Smolin¹, R. Shabiev¹, E. Nikolaev²

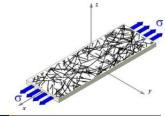
¹ Saint-Petersburg state technological university of plant polymers, Saint-Petersburg, Russia

² LUT, Lappeeranta, Finland

The report examines the basic laws of the structure and flocculation gidrosuspenzy fibers. Shows the effect of the geometry of the fibers, the colloid-chemical characteristics of the suspensions, changes in these parameters during the grinding of fibrous semifinished products

Существующие в условиях реального производства волокнистые гидросуспензии всегда структурированы. Отсутствие структурообразования, то есть взаимодействия волокон друг с другом, возможно лишь в очень разбавленных системах, когда контакты между волокнами носят случайный характер. Существует для каждой волокнистой системы концентрация $C_{кр}$, величина которой определяется размерами волокон и количеством волокон в системе [5]. При использовании современных анализаторов волокна $C_{кр}$ можно рассчитать достаточно точно, поскольку известны основные параметры волокна по фракциям. Исходя из того, что каждое волокно в системе занимает объем шара с диаметром, равным длине волокна, с учетом его изогнутости, $C_{кр}$ составит 0,001–0,01 %. При превышении $C_{кр}$ контакты между волокнами из случайных становятся вынужденными, что неминуемо приводит к взаимодействию между волокнами и структурообразованию в системе.

Взаимодействие между волокнами в гидросуспензиях осуществляется через водные прослойки. Связи носят тиксотропный характер, их образование и разрушение зависит от приложенных нагрузок. Чем выше кон-

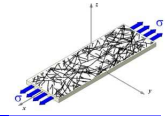


центрация волокнистых систем, тем быстрее осуществляется структурообразование при снятии диспергирующего воздействия. Однако при любых концентрациях время образования структур составит доли секунды.

Интенсивность структурообразования определяется изменением реологических параметров гидросуспензии, главным образом их вязкостью и прочностью. Эти параметры в значительной степени определяются концентрацией волокнистых суспензий [7]. Наличие в гидросуспензиях растительных волокон, неоднородных по своим размерам, гидратированных и обладающих различными электроповерхностными характеристиками приводит к интенсивной флокуляции. Чем потенциально прочнее волокнистые системы, тем более они способны к флокуляции.

Образование флокул – процесс, не требующий приложения сил, он происходит самопроизвольно, поскольку любые дисперсные системы стремятся к состоянию, обеспечивающему минимальную свободную энергию, что равнозначно стремлению к минимальной поверхности при данном объеме. Гидросуспензии на основе растительных волокон представляют собой коллоидные системы, поэтому правомерны положения об их агрегативной устойчивости. Гидрофильность волокон предопределяет наличие мощных гидратных оболочек, окружающих волокна. Эти гидратные оболочки тесно связаны с волокном, поскольку вода активно проникает внутрь волокон по системе капилляров и обеспечивает набухание волокон. Гидратированные волокна обладают определенной мерой устойчивости, что проявляется в поведении волокон в технологических процессах – нахождении волокнистой массы в бассейнах, ее транспортировке, размоле, сортировании и т. д.

В определенной степени мерой агрегативной устойчивости волокнистых гидросуспензий является заряд волокон. Заряд растительных волокон в водной среде выражается, главным образом как ζ -потенциал, измеряемый различными методами. Вопрос происхождения отрицательного заряда на поверхности растительных волокон является предметом многолетних исследований. При диспергировании волокон в воде на их поверхности образуется двойной электрический слой (ДЭС). В классическом случае возникновение ДЭС происходит вследствие установления адсорбционного равновесия в системе, приводящего к возникновению на поверхности слоя потенциалообразующих ионов и электростатически связанных с ними противоположно заряженных ионов. В целом система электронейтральна. Происхождение ДЭС можно объяснить следующим образом [4]:



- вследствие преимущественной адсорбции катионов или анионов;
- как результат диссоциации электролитически активных групп на поверхности;
- ориентацией диполей, входящих в состав дисперсионной фазы.

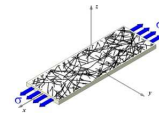
Многие известные ученые, в числе которых В.И. Юрьев [8] и Т. Линдстрем [3], считали, что первопричиной возникновения отрицательного заряда на поверхности целлюлозных волокон, диспергированных в воде, является ионизация карбоксильных групп и вообще диссоциация всех электролитически активных групп на поверхности целлюлозы. Однако само содержание карбоксильных групп ничтожно мало для создания столь сильного заряда [1]. Скорее всего, заряд поверхности целлюлозы вызван ориентацией диполей воды, или ориентированной адсорбцией сольвента. Более того, карбоксильные группы снижают по абсолютному значению ζ -потенциал, поскольку эфиры целлюлозы показывают меньшее его значение, чем стандартный хлопок, содержащий наименьшее количество карбоксильных групп.

Уровень агрегативной устойчивости системы во многом определяет возможность получения равномерной макроструктуры – важнейшего условия получения бумаги и картона с требуемыми эксплуатационными характеристиками.

Равномерность макроструктуры зависит от распределения волокон в объеме и на поверхности бумажного листа и оценивается строением агрегированных элементов пространственной структуры бумаги. Уровень флокуляции зависит главным образом от концентрации волокон в системе, а также от вида волокнистого полуфабриката, характера его размола, присутствия флокулянтов и дефлокулянтов. Все это сказывается на изменении размеров волокон, их формы, фракционного состава, величины поверхности, степени набухания, ζ -потенциала волокон.

Разнообразие и разнонаправленность действующих факторов в значительной степени затрудняют поиск однозначных критериев, определяющих, в конечном счете, равномерность макроструктуры бумаги и картона с учетом изменяющихся технологических и физико-химических параметров растительных волокон.

Были предложены несколько критериев, прогнозирующих уровень флокуляции и неравномерности макроструктуры листа. Один из этих критериев – удельное водоудержание $W_{уд}$, физический смысл, которого – количество воды, поглощаемое волокном на единицу площади поперечного сечения. Расчет показывает, что $W_{уд}$ прямо пропорционально произведению средневзвешенной длины L волокна на степень водоудержания WRV [5].



$$W_{уд} = L \cdot WRV \quad (1)$$

Другим критерием бумажной массы определяющим тенденцию к структурообразованию и флокуляции, является линейный заряд l_3 , то есть величина ζ -потенциала, отнесенная к длине волокна L [5].

$$l_3 = \frac{|\zeta|}{L} \quad (2)$$

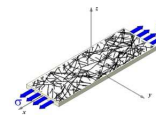
Коэффициент корреляции $W_{уд}$ и неравномерности макроструктуры 0,95; l_3 и неравномерности макроструктуры (-0,78). Оба критерия объединяют параметры, относящиеся к дисперсности системы и ее коллоидно-химическим свойствам и могут служить основанием для регулирования структуры бумаги в процессе размола. Следующей ступенью в изучении тенденции волокнистых суспензий к структурообразованию была разработка концепции краудинг-критерия [2]. Если исходить из данной концепции, то две волокнистые суспензии из различных волокнистых полуфабрикатов, имеющие одинаковый краудинг-критерий N_c , проявляют одинаковую склонность к флокуляции. Краудинг-критерий N_c может быть рассчитан по следующим формулам:

$$N_c = \frac{2}{3} C_v \left(\frac{L}{d} \right)^2 \quad (3)$$

$$N_c = \frac{5C_m L^2}{w} \quad (4)$$

где N_c – краудинг-критерий; C_v – объемная концентрация волокон в суспензии, %; L – средневзвешенная длина волокна, м; d – диаметр волокна, м; C_m – массовая концентрация, %; w – показатель грубости волокна, кг/м.

Физический смысл краудинг-критерия N_c – это количество волокон в объеме сферы с диаметром, равным длине волокна. Анализируя формулы 3 и 4, можно заметить, что N_c включает в себя как параметры геометрии волокна, так и концентрацию волокна в суспензии – важнейшие характеристики, имеющие исключительное влияние на тенденцию волокон к флокуляции. Показатель грубости волокон также играет значительную роль в процессе флокуляции. Грубость определяется как масса единицы длины волокна и зависит от диаметра волокна, толщины и плотности стенки волокна. Тонкостенные волокна имеют высокую гибкость и увеличивают плотность бумаги. Грубые волокна повышают прочность бумаги, но высокая грубость является одной из причин получения бумаги с плохим просветом.

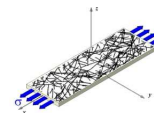


Исходя из предложенных критериев практически невозможно сформулировать однозначно влияние процесса размола на структурообразование, флокуляцию и неравномерность макроструктуры бумажного листа, поскольку в процессе размола изменяются геометрия волокна, его набухание и ζ -потенциал. При этом наиболее интересно проследить за изменением ζ -потенциала в процессе размола. ζ -потенциал уменьшается по своему абсолютному значению примерно до 60–70 °ШР из-за расширения гидратационного слоя. При дальнейшем размоле увеличение дисперсности приводит к росту плотности целлюлозной диафрагмы при измерении, что увеличивает вклад поверхностной проводимости в значениях ζ -потенциала и приводит к росту ζ -потенциала. Увеличение удельной поверхности при размоле приводит к большей ориентации диполей воды на поверхности целлюлозы и увеличивает ζ -потенциал. Наконец, увеличивается гидратация, что снижает ζ -потенциал.

Таким образом, структурообразование гидросуспензий волокон – сложный процесс, влияющий на флокуляцию волокон и равномерность макроструктуры бумажного листа. При этом на интенсивность структурообразования, прежде всего, влияет концентрация волокнистой суспензии, а также геометрия волокон и коллоидно-химические параметры волокнистых гидросуспензий.

Список литературы

1. Аксельрод, Г.З. О природе электрокинетического потенциала целлюлозы / Г.З. Аксельрод, А.С. Смолин, М.А. Иванов, М.Л. Фомина, Н.В. Ходырева. – СПб.: ВНИИБа, 1973. – вып. 65. – С. 58-64.
2. Kerekes R. I. and Scheff C. I. Effect of Fiber Length and Coarseness on Pulp Flocculation // Tappi Journal. Vol. 78, № 2. – pp. 133-139.
3. Lindstrom T., Eklund D. Paper chemistry, an introduction // Grankulla. – Finland. – 1991. – p. 306.
4. Никитин, Н. И. Химия древесины и целлюлозы / Н.И. Никитин. – М. – Л.: 1980. – С. 50-53.
5. Смолин А. С. Межволоконные связи и макроструктура бумаги и картона [Текст]: Дисс.... д-р техн. наук / Смолин Александр Семенович. – СПб. – 1999. – С.10-26.
6. Смолин, А.С. Исследование дзета-потенциала и катионной потребности волокнистых полуфабрикатов / А.С. Смолин, Р.О. Шабиев, П. Яккола // Химия растительного сырья. – 2009. – №10. – С.177-184.
7. Терентьев, О.А. Гидродинамика волокнистых суспензий в целлюлозно-бумажном производстве / О. А. Терентьев. – М.: 1980. – 246 с.
8. Юрьев, В.И. О поверхностном (термодинамическом) потенциале целлюлозных волокон / В.И. Юрьев // Межвузовский сборник научных трудов. – Л.: 1980. – №6. – С. 50-53.



СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН В ПРОИЗВОДСТВЕ БУМАГИ И КАРТОНА

В.К. Дубовый

Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрены перспективы использования и особенности получения бумагоподобных композитов на основе минеральных волокон.

STATUS AND PROSPECTS USE OF MINERAL FIBERS IN THE MANUFACTURE OF PAPER AND PAPERBOARD

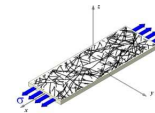
V. Dyboviy

Saint-Petersburg state technological university of plant polymers, Saint-Petersburg, Russia

Considered the prospects use and especially getting the similar to paper composites based on mineral fibers.

Высокий уровень развития технологий и оборудования непосредственно связан с созданием новых композиционных материалов и ростом их производства. Известно, что одной из основных общемировых тенденций развития ЦБП является увеличение на 3,0...4,5 % в год выпуска печатных и тароупаковочных видов бумаги и картона, при средних темпах прироста других видов такой продукции в 1,5...2,0 % в год. В тоже время, менее известно, что значительно более высокими темпами на 10...15 % в год увеличивается производство бумагоподобных материалов технического назначения из химических и особенно минеральных волокон. Это объясняется тем, что прогресс в наиболее наукоемких отраслях промышленности – авиакосмической, электронной, атомной, оборонной, а также в области нанотехнологий невозможен без применения минеральноволокнистых композитов, изготовленных методами бумажного производства. Указанные материалы обладают уникальными свойствами, принципиально недостижимыми у бумаги и картона из традиционного растительного сырья. Прежде всего к ним относятся био- термо- и хемостойкость.

В последние годы в России также значительно увеличилось производство стекловолокнистых композитов, изготавливаемых на БДМ с наклонным сеточным столом типа «No-wo-former» различных немецких фирм «Pama», «Bruderhaus», «ANDRITZ» и др. Эти композиты служат основой для изготовления мягкой кровли нового поколения, обладающих



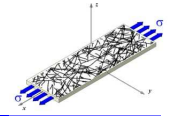
очень высокой долговечностью и рядом других преимуществ, по сравнению с традиционными материалами, например, толь. Однако за рубежом, наряду с указанными материалами, идет быстрое развитие производства фильтровальных, тепло- и шумоизоляционных материалов на основе различных минеральных волокон. В частности, фирма «Ватман» широко известная в мире как производитель высококачественной бумаги для черчения и рисования расширила в конце прошлого века ассортимент своей продукции, организовав производство фильтровальных видов бумаги из стекловолокна для качественного и количественного химического анализа, а также тонкой очистки медицинских и биологических жидкостей. Основным достоинством таких фильтровальных материалов является высокая инертность и стойкость к действию агрессивных жидкостей. У нас в стране в силу ряда причин (отсутствие на предприятиях ЦБП необходимого оборудования, технологий производства, высокой стоимости) указанные материалы пока не изготавливаются, хотя их выпуск, безусловно, актуален, в связи с планируемой диверсификацией многих отраслей отечественной промышленности.

Основным сырьем для изготовления бумагоподобных композитов различного назначения являются стеклянные волокна с температурой плавления от 500 до 1800 °С (кварцевые волокна), жаростойкие каолиновые волокна (алюмосиликатные), выпускаемые, например, в США под торговой маркой «Каовул» и «Файберфакс», базальтовые, а также керамические с температурой плавления 2500...3000 °С.

В зависимости от величины диаметра в микронах минеральные волокна в терминологии отечественных и зарубежных стандартов подразделяются на следующие группы (таблица): волокна диаметром 3,0...0,8 мкм называют супертонкими, 0,8...0,5 – ультратонкими, менее 0,5 мкм микротонкими. Удельная поверхность волокон может достигать 50 м²/г. Особое место занимают волокна диаметром около 0,1 мкм, называемые нановолокна.

Таблица. Группы минеральных волокон в зависимости от величины диаметра

Диаметр волокна, мкм	Марка волокон
3,0...0,8	супертонкие
0,8...0,5	ультратонкие
< 0,5	микротонкие
< 0,1	нановолокна



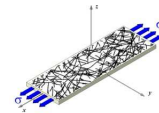
Минеральные волокна изготавливаются как непрерывными в виде нитей, так и дискретными длиной 2...10 мм, называемые штапельными. Преимущество непрерывных волокон является стабильность их диаметра. Однако в случае их использования в бумажном производстве они должны быть предварительно разрезаны на специальных машинах на требуемую длину волокон, что существенно их удорожает. Поэтому для производства бумагоподобных композитов наиболее часто применяют дискретные (штапельные) минеральные волокна.

Непрерывные волокна получают путем пропуска расплава через фильтры с последующим раздувом нитей горячим воздухом, штапельные – раздувом горячими газами центробежным и комбинированным способами: центробежно-дутьевым (ЦД), центробежно-фильерно-дутьевым (ЦФД), раздувом первичных волокон потоком горячих газов (РПВ). Наиболее подходящими для целей бумажного производства являются волокна полученные методом ЦФД и РПВ, так как они позволяют исключить не расплавившиеся минеральные включения, называемые «королевками» и получать ультратонкие, микротонкие и нановолокна. Именно, такие волокна обеспечивают наилучшие фильтрующие и изолирующие свойства минерально-волокнистым композитам. Однако их цена на порядок выше, чем у грубых и тонких волокон, цена которых составляет 25...35 руб. за 1 кг.

Наиболее дешевым и производительным является центробежный способ получения штапельных волокон. Именно этим способом получают на Украине базальтовые волокна, которые обладают рядом преимуществ перед стеклянными: более высокая жаростойкость, небольшая (не более 1 %) гигроскопичность, большая эластичность и хемостойкость, меньшей стоимостью и некоторыми другими. Однако, образование при указанном способе производства большого количества «корольков» (до 30 %) резко ухудшающих потребительские свойства композитов, практически, делают базальтовые волокна непригодными для их изготовления.

Решение этой проблемы заключается в отказе от центробежного способа раздува базальтовых волокон и переходе к воздушному раздуву или комбинированным способом. Основными производителями непрерывного и штапельного стекловолокна в России являются Новгородский, Владимирский, Полоцкий и Гусь-Хрустальный заводы.

Основными отличиями минеральных волокон от растительных полимеров, используемых в традиционной технологии бумажного производства являются: повышенная хрупкость и длина волокон, неспособность к



гидратации и фибрилляции при размоле и, следовательно, образованию прочных водородных связей. Последнее обстоятельство указывает на необходимость применения специальных связующих для повышения прочности бумагоподобных композитов, а повышенная длина и хрупкость волокон, специального оборудования для подготовки, перекачки и отлива минеральноволокнистой водной суспензии.

В качестве такого оборудования для роспуска применяют гидроразбиватели со специальным ротором, оказывающим «мягкое» воздействие на минеральные волокна. Для перекачки массы и в качестве смесительного используют объемметрические (мононасосы) и вибрационные насосы, не укорачивающие волокна.

Основными БДМ являются машины с наклонным сеточным столом. Современные машины такого типа работают на скорости до 300-400 м/мин, подачей массы более чем 200 м³/мин и массой 1 м² композита до 1500 г. Схема машины после сеточной части бывает различной и зависит от назначения композита, его плотности, применяемого связующего и ряда других факторов. Она может включать прессовую часть или не иметь ее. Сушка композита может быть контактной, конвективной, фильтрационной, с помощью ИК-излучения и комбинированной.

В качестве примера можно привести схему потока БДМ с наклонным сеточным столом на ООО «Завод Стекловолокна» (г. Воскресенск, Московской обл.) по выпуску бумагоподобного композита – основы из стекловолокна для мягкой кровли, рис.1.

Выбор вида связующего зависит от требуемых прочностных свойств композита и условий окружающей среды при его использовании. В простых условиях возможно применение различных органических связующих, в том числе растительных волокон, а также крахмала, поливинилспиртовых волокон, полимеризационных и поликонденсационных смол. Последние придают наибольшую прочность, жесткость и стабильность размеров композиту, но при сушке выделяют вредные газы, требующие дорогой и сложной системы их утилизации.

При работе композитов в тяжелых условиях – прежде всего при высокой температуре и агрессивной среде необходимо применение неорганических связующих, например, соединений поливалентных металлов.

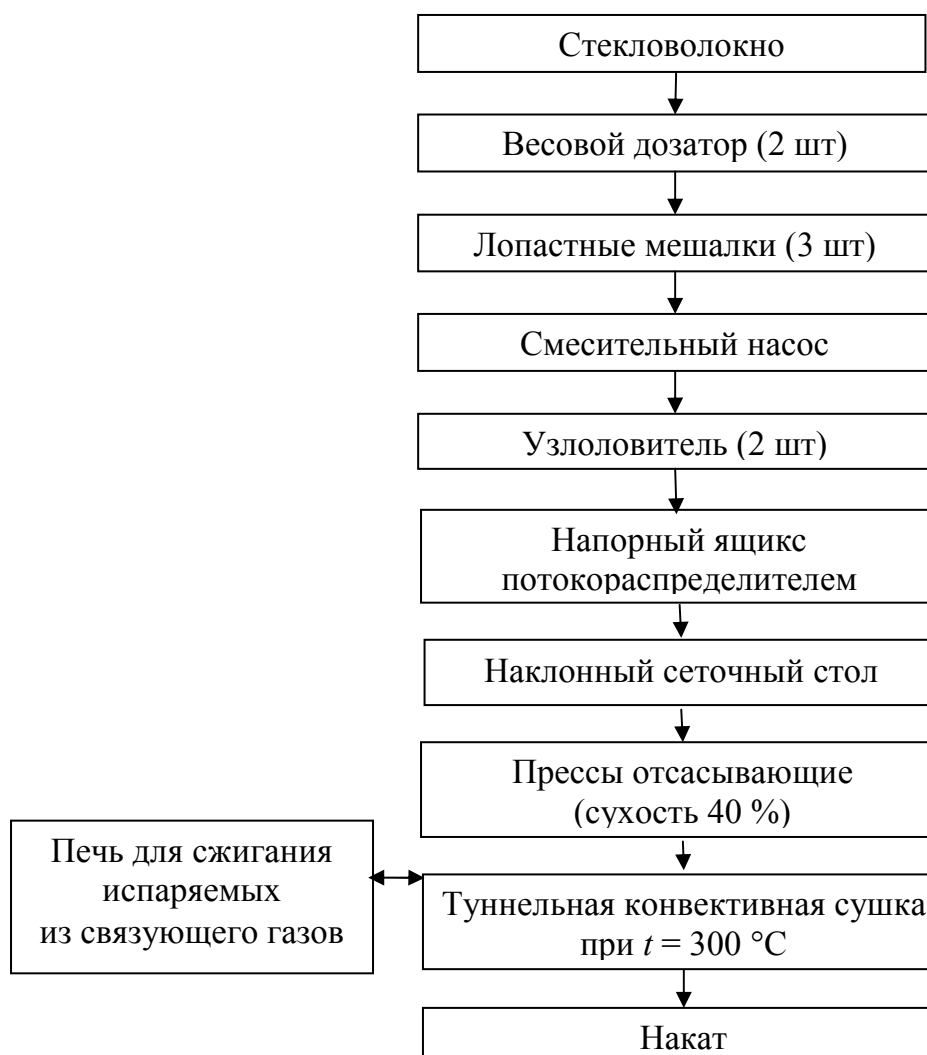
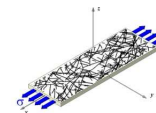


Рис. 1. Принципиальная блок-схема по выпуску бумагоподобного композита – основы из стекловолокна для мягкой кровли

Среди них наиболее изученными являются соединения алюминия. Установлено, что полиядерные комплексы алюминия, получаемые непосредственно в минерально-волокнутой суспензии при pH 8,5-9,5 в результате воздействия на продукты гидролиза сульфата или хлорида алюминия щелочи или кислоты в случае алюмината натрия, могут в несколько раз повысить прочность композитов из минеральных волокон.

Нельзя исключить и определенного вклада в повышение прочности композита силаноловых групп, которые могут образовывать водородные связи в местах контакта волокон и даже вступать в химические связи. Указанные группы образуются по следующей схеме, рис. 2:

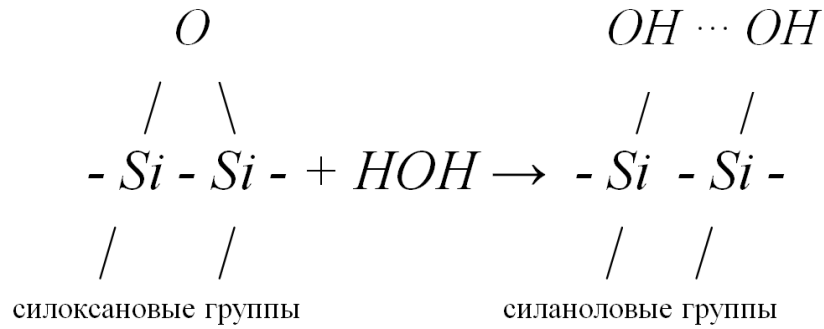
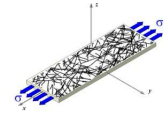


Рис. 2. Схема образования силаноловых групп

Она определяется тем, что при формировании стеклянных волокон в результате окислительного воздействия раскаленного газа на их поверхности увеличивается количество атомов кремния, которые в первый момент после образования волокна связаны между собой силиксановыми связями, а потом взаимодействуют с влагой воздуха, образуя силаноловые группы.

На основе данных световой и электронной микроскопии (рис. 3), охарактеризована структура минеральноволокнистых композитов содержащих полигидроксиакваацидокомплексы алюминия, как пористого материала с локализацией связующего в местах контакта волокон.

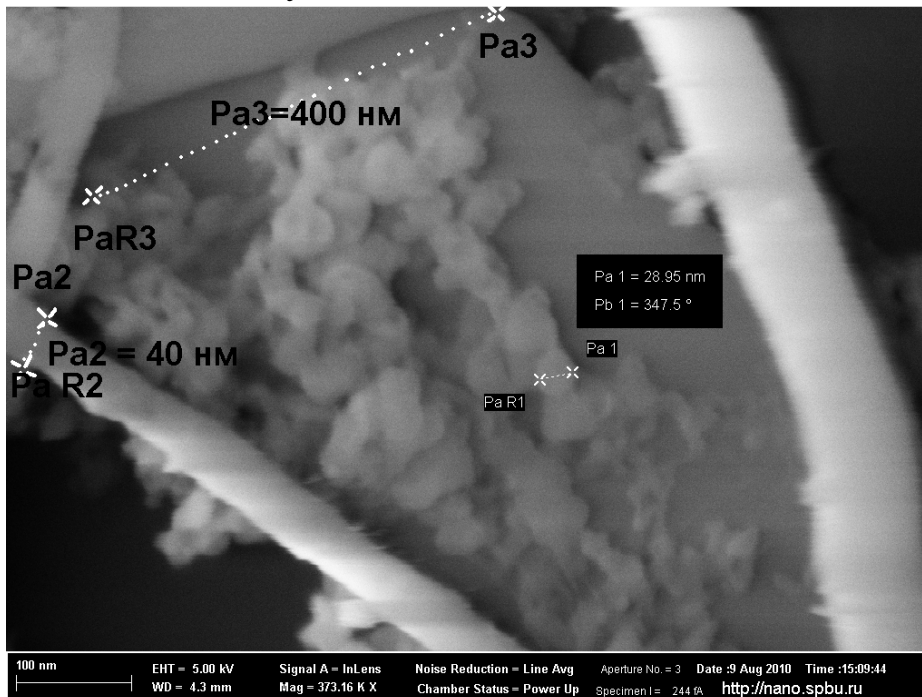
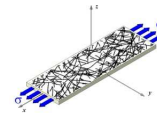


Рис. 3. Электронно-микроскопическое изображение нанокompозита из минеральных волокон (диаметр 40...400 нм) и связующего на основе полигидрокси-комплексов солей алюминия (размер частиц 10...80 нм)

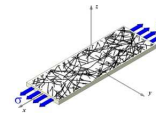


Результаты анализа рынка бумагоподобных композитов из минеральных волокон позволяют рекомендовать отечественным предприятиям ЦБП развивать их производство, для чего необходима закупка, видимо, вначале за рубежом, необходимого оборудования.

Особо хочется рекомендовать предприятиям освоение пенного способа формования указанных композитов. Опытный образец пенного генератора ранее успешно опробован на лабораторной БДМ ВНИИБа. Преимущества такого способа очевидны и заключаются в следующем:

- низкие затраты на создание и монтаж пеногенератора;
- возможность установки на любой, в том числе тихоходной и низкопроизводительной БДМ;
- исключение дорогого и сложного подготовительного оборудования, за счет дозированной подачи резанных или штапельных волокон непосредственно в пеногенератор.

Перспективным направлением развития технологии композиционных материалов на основе минеральных волокон является производство нанокompозитов. Наличие наносоставляющих в минеральноволокнистом композите таких как: нановолокна (наноразмерность диаметра от 40 нм), наночастицы (частицы связующего, наноразмерность 10-80 нм), нанопленки (наполнение пузырьков пены при «пенном» способе формования, толщина 4-100 нм), а также определяющее влияние наносоставляющих на свойства композитов, дает возможность производить инновационные композиты на основе минеральных волокон по нанотехнологии. Проект рассмотрен корпорацией «Роснано». Получено положительное заключение в рамках «нанотехнологий». Ведется подготовка к реализации проекта: «Разработка технологии и создание производства инновационных бумагоподобных нанокompозитов на основе минеральных волокон и неорганических связующих широкого спектра использования».



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРИДАНИЯ ПРОЧНОСТИ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫМ МАТЕРИАЛАМ ПОЛИИОНПОЛИМЕРАМИ

И.Н. Ковернинский¹, Д.А. Дулькин¹, С.Ю. Кожевников²

¹ ООО "Управляющая компания "Объединенные Бумажные Фабрики", Москва, Россия

² ООО «СКИФ Спешиал Кемикалз», Россия

Электроотрицательный потенциал волокнистой массы позволяет эффективно применять катионные химические продукты для повышения прочности бумаги и картона. Исследованы возможности многослойной адсорбции полиионполимеров на волокне для повышения прочности бумаги и картона.

THEORETICAL FOUNDATIONS AND TECHNOLOGY GIVING OF STRENGTH PULP AND PAPER MATERIALS POLYIONPOLYMERS

I. Koverninsky¹, D. Dulkin¹, S. Kozhevnikov²

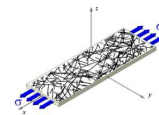
¹ Open Company "Managing company" Incorporated Paper-mills ", Moscow, Russia

² "SKIF Special Chemicals", Russia

Electronegative potential of the pulp can be used effectively cationic chemical products to increase the strength of paper and paperboard. Investigate the possibility of multilayer adsorption of polyionpolymers on the fiber to increase the strength of paper and paperboard.

В водной среде поверхность волокна из древесины приобретает отрицательный заряд. Ученые и специалисты, исследовавшие данное явление, относят его к одному из важнейших фундаментальных свойств волокна [1-6]. Термодинамический потенциал поверхности волокна зависит от ряда факторов: вида волокнистого полуфабриката, его внешней и внутренней структуры, свойств волокнистой массы (рН, концентрация, температура, содержание химических функциональных веществ) и др. [1-2]. Этот потенциал сложно измерить, но поддается измерению, зависящий от него электрокинетический потенциал (ζ -потенциал). Для основного ряда волокон из древесины, его уровень находится в пределах 10-70 мВ. Ранее, отсутствие приборов для измерения, ограничивало возможности знаний о ζ -потенциале и, как следствие, не представлялось возможным это эффективно применить на практике. В настоящее время такой проблемы нет, появились новые представления и реальные возможности применения технологии с учетом роли ζ -потенциала.

Одним из перспективных направлений рассматривается область электростатического взаимодействия волокон друг с другом с участием



полионполимерных химических функциональных веществ. К ним относится целый ряд полимерных веществ с поликатионным и полианионным зарядом поверхности (катионный крахмал, катионные и анионные полиакриламиды, поликатионные смолы для упрочнения бумаги и картона в сухом и влажном состояниях, поликатионные фиксаторы анионных частиц и др.) [2...4]. Следует указать, что данные химические вещества с различной целевой функцией в технологии бумаги применяются давно и достаточно широко. Безусловно, они оказывают влияние на электрические свойства поверхности волокна, чаще всего повышая ζ -потенциал, приближая его к изоэлектрической области (ζ -потенциал близок к нулевому значению). Это состояние волокнистой массы оказывает значительное положительное влияние на структуру и силы связеобразования в листах. Это влияние доказано многими работами и используется в технологии [3...5]. Лучшими условиями формования бумаги являются уровни ζ -потенциала вблизи изоэлектрической области (-) 5-10 ... (+) 5-10 мВ.

Не умаляя значимости традиционного применения полимерных химических веществ в технологии, нами исследовано не традиционное применение поликатионных полимеров – при условии их адсорбции на волокне до изменения знака ζ -потенциала с отрицательного на положительный и последующего взаимодействия волокна. Далее осуществлялась адсорбция полианионного электролита до перезарядки поверхности волокна с ζ -потенциала положительного на отрицательный и также изготавливались и испытывались образцы бумаги. Схема проведения процесса многослойной адсорбции полионполимеров на волокне приведена на рис.1. Последовательная обработка волокна поликатионным и полианионным полимером позволяет осуществить электростатическое взаимодействие между волокнами и, тем самым, увеличить силы связи между волокнами. И данный прирост сил связи увеличит механические показатели бумаги [6-7].

На рис. 2 приведены зависимости ζ -потенциала от массы добавленных поликатионных полимеров ко вторичному волокну. Из рис. 2 видно, что катионный полиакриламид позволяет перезаряжать волокнистую массу, а расход данного полимера в пределах 4 кг/т обеспечивает переход ζ -потенциала с -20 до + 20 мВ.

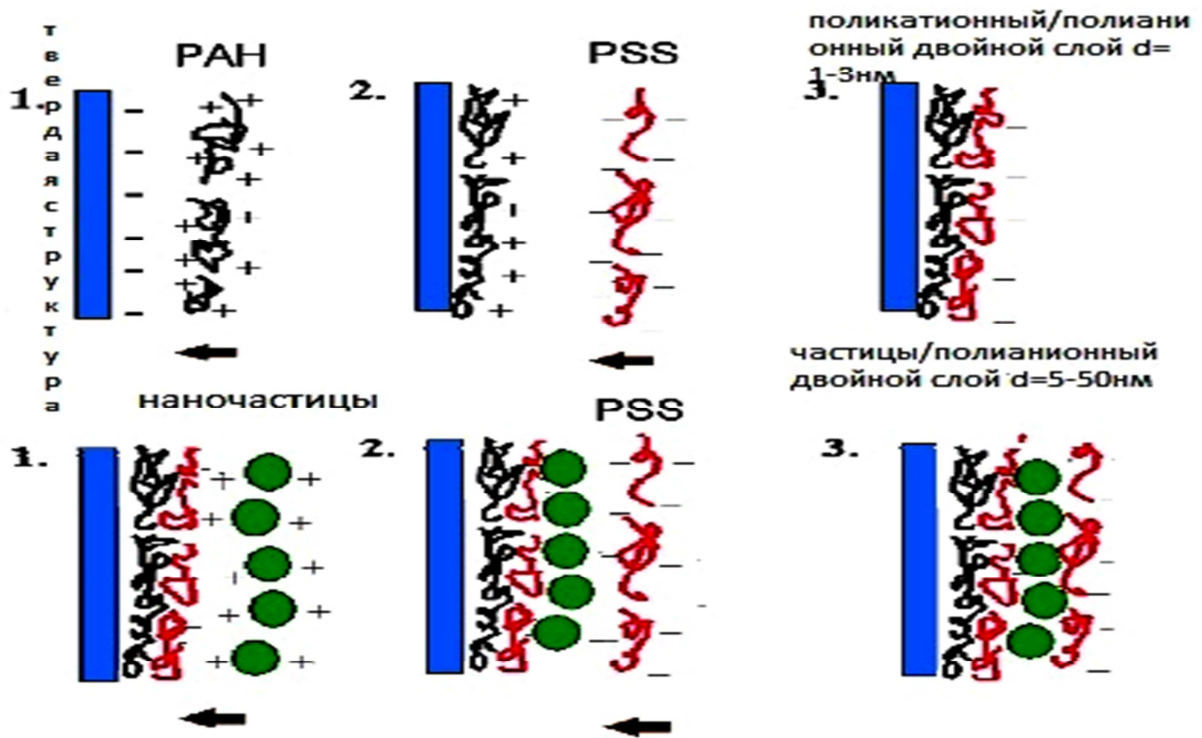
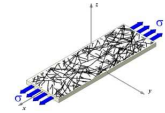


Рис.1. Схема процесса многослойной адсорбции полиионполимеров на волокне

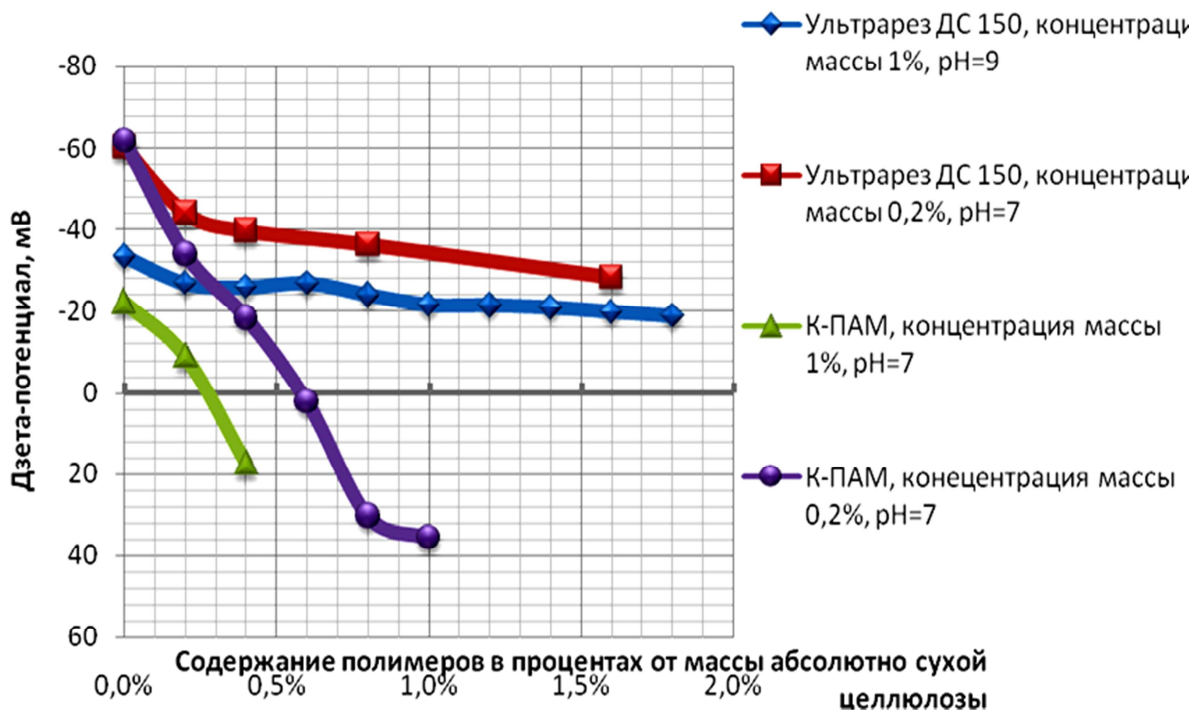
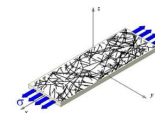


Рис.2. Влияние добавляемого поликатионного полимера и pH массы на ζ -потенциала волокна



В табл. 1 представлены данные по изменению ζ -потенциала добавлением возрастающих количеств катионного полиакриламида (КПАА) и отражение его на механических показателях бумаги.

Из табл. 1 видно, что добавки КПАА повышают ζ -потенциал массы (снижение отрицательной величины) и в варианте 3 это повышение почти в 2 раза. В соответствии с наблюдаемым изменением ζ -потенциала, растет значение механических показателей бумаги (при примерно одинаковой масса 1 м^2 и неразмолотом вторичном волокне). Увеличение расхода КПАА к волокну увеличивает показатели прочности и жесткости. При этом прирост показателей велик – от 22 до 45 %, например, для варианта 3.

Таблица 1. Изменение ζ -потенциала количеством катионного полиакриламида и соответствующие механические показатели бумаги.

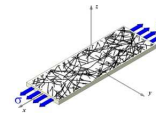
Вариант	Масса 1 м^2 , г	ζ , мВ	Степень помола, °ШР	Сопротивление			
				раздиранию, мН	разрыву, Н/м	продавлива- нию, кПа	изгибу, мН
В числителе вариант «0», в знаменателе – прирост показателя в % к «0» варианту							
0 (без КПАА)	82,5	-15,3	14,5	311,0	2063,5	56,7	35,2
1 (2,5кг/т)	85,7	-12,8	14,0	387,5/25	2172,2/5	67,3/19	66,6/89
2 (3,5 кг/т)	75,7	-11,7	13,5	364,0/17	2320,7/12	72,0/27	56,6/60
3 (5 кг/т)	81,0	-8,7	14,0	456,4/45	2524,3/22	78,4/38	51,0/45

Выводы:

1. Теоретические основы электростатического взаимодействия волокна на основе многослойной адсорбции полиионполимеров их поверхностью могут быть использованы для разработки технологии использования химических функциональных полимеров с элементами нанопроцессов.

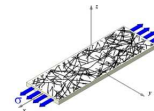
2. Лабораторные исследования влияния многослойной адсорбции полиионполимеров показали высокую упрочняющую эффективность этого способа использования химических полимерных веществ.

3. Реализация теоретических знаний и лабораторных исследований в производстве может привести к новой технологии, в которой основой создания межволоконных сил связи будет электростатическое взаимодействие поверхностей волокон со значительно большей энергией, чем водородная связь.



Список литературы

1. Юрьев, В.И. О поверхностном (термодинамическом) потенциале целлюлозных волокон // Юрьев В.И.//Межвуз. сб. науч. трудов. –Л.: 1980. –№6. –С. 50-53
2. Смолин, А.С. Исследование ζ -потенциала и катионной потребности волокнистых полуфабрикатов/ А.С.Смолин. Р.О.Шабиев, П.Яккола// Химия растительного сырья. – 2009. –№1. –С. 177–184.
3. Смолин, А.С. Фактор катионной потребности в мокрой части бумагоделательной машины / Смолин А.С., Шабиев Р.О.// Химия в ЦБП. Сб. тр. ГОУ ВПО ГТУРП, С.-Пб. –2008. – С. 12-14.
4. Осипов, П.В. Технология и механизмы упрочнения внутренней структуры бумаги и картона: тез. докл. / П.В. Осипов // Междунар. науч.-практ. конф. «Новое в химии бумажно-картонного производства и полиграфии», 16-18 мая 2006 г., –С.-Петербург. – С. 18–23.
5. Осипов, П.В. Структура бумаги и картона: придание прочности в сухом состоянии применением синтетических упрочнителей / П.В. Осипов // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2003. – № 9–10. – С. 28–30.
6. Крылатов, Ю.А. Новое в технологии удержания, обезвоживания, формования бумаги и картона / Ю.А. Крылатов, Н.И. Афанасьев, А.Ю. Крылатов, А.А. Дикунец // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2003. – № 7-8. – С. 26–30.
7. Кожевников С.Ю. Научные основы упрочнения бумаги при участии полимерполионных наночастиц / Кожевников С.Ю., Дубовый В.К.//Целлюлоза. Бумага.Картон. – 2010. – №10. – С.50-52.
8. Кожевников, С.Ю. Применение отечественных амфотерных полимерных смол для производства бумаги и картона / С.Ю. Кожевников, А.М. Идиатуллин, О.С. Вдовина, К.А. Уваров, А.В. Кабаров, Н.И. Яблочкин, Н.А. Баранова, И.С. Идиатуллина //Новейшие технологии в производстве бумаги из макулатурного сырья и переработке гофрокартона. Науч.тр.10-й Междунар. научн.-практ. конф: Караваево, – 2001. – С.134–141.



СТРУКТУРНО-РАЗМЕРНЫЕ СВОЙСТВА ВОЛОКОН ПОЛУФАБРИКАТОВ КАК ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ КАЧЕСТВО ТАРНОГО КАРТОНА

В.И. Белоглазов¹, **В.И. Комаров²**, Е.В. Дьякова², А.В. Гурьев²

¹ОАО «Архангельский ЦБК», Архангельск, Россия

²Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

Представлено научно-техническое обоснование и результаты исследований вариации структурно-морфологических свойств волокон сульфатной хвойной небеленой ЦВВ и лиственной полуцеллюлозы в технологических потоках получения полуфабрикатов для тарного картона.

STRUCTURALLY-DIMENSIONAL PROPERTIES OF FIBERS OF PULP AS THE FACTOR DEFINING QUALITY OF A CARDBOARD FOR PACKAGE

V. Beloglazov¹, **V. Komarov²**, E. Dyakova², A. Guriev²

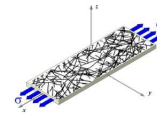
¹Open Society "Arkhangelsk Pulp and Paper Mill", Arkhangelsk, Russia

²Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

The scientific and technical justification and research of variation of structural and morphological properties of unbleached kraft softwood and hardwood semi-chemical fibers in flow-production of containerboard are presented.

Внимание к структурно-размерным, или более широко, к структурно-морфологическим свойствам растительных волокон, используемых для производства различных видов бумаги и картона, всегда было значимой частью и в экспериментальных изысканиях и в производственном процессе.

Со времени изобретения бумаги и примерно до середины XIX в. это внимание было скорее «эмпирическим» и сводилось к постепенному накоплению практических данных и навыков применения различных видов волокон (однолетних, быстрорастущих, вторичных (тряпья), и далее – механической массы и разнообразных по способу получения, выходу, породному составу, белизне целлюлоз) с точки зрения их обработки. Известное выражение «бумага делается в ролле» с одной стороны отразило технический прогресс в технологии бумаги (механизация и скачок производительности процесса массоподготовки), но в большей степени то, что без изменения начального состояния волокна, т.е. его природных структурно-морфологических свойств, добиться требуемых потребительских характеристик бумаги или картона практически невозможно.



Не останавливаясь подробно на возникновении и развитии инструментальных методов контроля структурно-морфологических характеристик волокон (микроскопия, курвиметрия, условные весовые методы и т.п.), отметим, что за последние 40 лет исследователи и производители получили ряд методов и приборов, позволяющих проводить анализы с высокой достоверностью и минимальными затратами времени. Более того, созданные различными производителями анализаторы волокон в настоящее время могут выполнять измерения и в он-лайн режиме.

Вместе с тем, очевидно, что для каждого технологического потока, процесса и предприятия в целом необходимы глубокие предварительные обследования с целью нахождения влияющих на свойства волокна параметров и установления взаимосвязи структурно-морфологических характеристик волокон полуфабрикатов, бумажной массы с качеством готовой продукции.

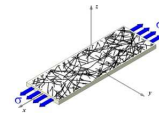
Подобная задача на протяжении ряда лет поставлена и решается на производстве картона ОАО «Архангельский ЦБК». Основным инструментом для измерения структурно-морфологических характеристик волокон является анализатор системы Fiber Tester, разработанный компанией «Lorentzen & Wettre», позволяющий оперативно проводить измерения свойств волокон, формировать массивы данных и выполнять их обработку.

Кроме того, в исследованиях задействован четырехступенчатый лабораторный классификатор волокон системы Bauer McNett.

К настоящему времени выполнены комплексные многократные производственные и лабораторные исследования, охватывающие практически все основные процессы получения полуфабрикатов и подготовки бумажной массы. Причем реализация указанных работ велась как в режиме накопления и статистической оценки данных о свойствах волокон в условиях устойчивой производственной деятельности, так и при активном изменении параметров процессов и режимов работы технологического оборудования.

Данная работа в основном посвящена анализу изменения свойств волокна в технологических потоках получения полуфабрикатов для тарного картона – сульфатной хвойной небеленой ЦВВ и лиственной полуцеллюлозы.

По результатам многократных измерений структурно-морфологических характеристик волокон проведен статистический анализ данных и



оценка влияния свойств волокон на прочностные и жесткостные свойства лабораторных образцов полуфабрикатов.

Установлено, что основные характеристики волокна (средняя длина, средняя ширина, средний фактор формы) остаются стабильными и практически не зависят от режима варки и последующей обработки (размола и сортирования) сульфатной ЦВВ, и от режима получения полуцеллюлозы на установке «Пандия». Об этом свидетельствуют низкие значения коэффициентов вариации (0,3...5,1 %). Средняя длина волокна сульфатной ЦВВ, полученной при варке с предварительной пропиткой и без нее (непосредственно после варки) составляет 2,57...2,59 мм, средняя ширина 33,4...33,5 мкм и средний фактор формы 89,8...89,9.

После проведения процессов размола, сортирования и промывки (пробы массы из башен) указанные характеристики снижаются незначительно: средняя длина составляет 2,54...2,55 мм, средняя ширина – 33,3...33,4 мкм, средний фактор формы – 88,1...89,1.

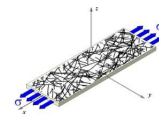
Для лиственной полуцеллюлозы получены следующие средние значения указанных характеристик: длина волокна 1,09 мм, ширина волокна 29,9 мкм, фактор формы 92,2. Последнее подразумевает, что волокна полуцеллюлозы непосредственно после получения относительно менее изогнутые по сравнению с волокнами хвойной ЦВВ.

Известно, что изменение фактора формы на 4-5 % может вызывать различия в показателях прочности до 15 %. Следовательно, вариация фактора формы волокон полуфабрикатов непосредственно после варки показывает их высокий прочностной потенциал, который необходимо максимально сохранять в дальнейших технологических операциях.

Другими, не менее важными с точки зрения формирования физико-механических свойств картона и флютинга, характеристиками являются доля мелочи, грубость волокна, поврежденность структуры (оценивается с помощью количества изломов и размеров сегментов на волокне).

Грубость и содержание мелочи в полуфабрикате определяют последующее поведение волокон при размоле и характер формирования структуры картона и флютинга. Низкое значение грубости и одновременно большое количество мелких волокон способствует более равномерному формованию. И наоборот, грубые волокна в сочетании с небольшим количеством мелочи ухудшают равномерность структуры полотна.

Наименее изученным фактором, влияющим на комплекс бумагообразующих и физико-механических характеристик полуфабрикатов и готовой



продукции, является поврежденность клеточной стенки. Чаще всего это проявляется в виде скручивания, складок, микросжатий, возникающих в процессе получения полуфабрикатов и их последующей обработки в местах, где клеточная стенка подвержена механо-химическому воздействию. При этом дефекты, вызванные только механическим воздействием, во многом обратимы, а химическое воздействие на слабые участки волокна приводит к необратимым изменениям.

Отметим, что все указанные и другие виды дефектов клеточной стенки фиксируются с помощью анализатора Fiber Tester как изломы волокна (при условии, что угол составляет свыше 30°). Влияние количества изломов и их интенсивности на формирование структуры полотна с одной стороны, и прочности с другой, зачастую носит разнонаправленный характер. Более деформированные волокна улучшают формование, но одновременно снижают прочность структуры и ее сопротивление сжатию.

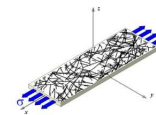
Кроме того, в условиях интенсивных нагрузок на волокно при размоле, в особенности в кислой и нейтральной среде, изломы способствуют укорочению волокна.

При анализе указанных структурно-морфологических характеристик установлено, что они, в отличие от длины, ширины и фактора формы, проявляют высокую нестабильность. Например, коэффициенты вариации для волокон сульфатной ЦВВ, полученной при варке с предварительной пропиткой, составляют: для доли мелкого волокна 81,9 %; для грубости – 15,5 %; числа изломов на волокно – 28,8 %. После прохождения размола, сортирования и промывки коэффициент вариации доли мелочи резко снижается (9,1 %), а вариация числа изломов остается практически постоянной (28,8 %). Примерно такая же картина наблюдается и для полуфабриката, полученного при варке без пропитки.

Вместе с тем для листовенной полуцеллюлозы вариация доли мелкого волокна, грубости и количества изломов в среднем в два раза ниже, чем для ЦВВ.

Таким образом, и с этих позиций волокна листовенной полуцеллюлозы имеют более высокий начальный потенциал структурно-морфологических свойств.

Оценку динамики изменения структурно-морфологических характеристик ЦВВ и полуцеллюлозы и соответствующие изменения основных физико-механических показателей проводили в условиях лабораторного размола.



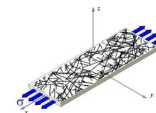
Рассмотрим изменение структурно-морфологических характеристик волокон и физико-механических показателей лабораторных образцов на примере ЦВВ, полученной в результате варки с предварительной пропиткой. При постепенном увеличении степени помола полуфабриката от исходной до 35 °ШР наблюдается снижение средней длины волокна на 10,5 %. При этом происходит накопление мелочи в массе и достаточно резкое снижение грубости волокон, что в совокупности должно способствовать формированию более равномерной структуры.

Несмотря на то, что средний угол излома в результате размола остается практически постоянным, количество изломов на волокно возрастает на 30 %, и как следствие средняя длина сегментов (неповрежденных жестких участков клеточной стенки) существенно снижается.

Совокупное изменение структурно-морфологических характеристик волокна в диапазоне степени помола 14-35 °ШР вызывает соответствующий отклик на значениях физико-механических характеристик, которые закономерно возрастают. Причем характеристики прочности (разрывная длина и сопротивление продавливанию) повышаются почти в два раза уже при незначительном размоле (при степени помола 18 °ШР), а сопротивление сжатию образцов (*CMT* и *SCT*) в тех же условиях увеличиваются лишь на 17 %.

Вместе с тем, при дальнейшем воздействии на волокно (при повышении степени помола от 18 до 35 °ШР) прирост таких характеристик как разрывная длина и сопротивление плоскостному сжатию практически прекращается. Увеличение же значений сопротивления продавливанию и *SCT*, напротив, происходит во всем изученном диапазоне степени помола постепенно и равномерно.

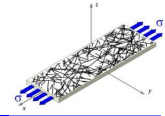
Характер изменения структурно-морфологических свойств лиственной полуцеллюлозы, получаемой на установке Пандия, во многом отличается. В исследованном диапазоне степени помола средняя длина волокон полуцеллюлозы, также как у ЦВВ, постепенно снижается на 12 %. В тоже время пошаговый размол до 35 °ШР не вызывает накопления мелкого волокна, приводит к большему снижению грубости. При этом наблюдается снижение среднего числа изломов на волокно на 37 %, однако средний угол излома и средняя длина сегмента практически не изменяются. Кроме того, следует отметить, что среднее число изломов на волокнах размолотой до 35 °ШР полуцеллюлозы в четыре раза меньше, чем на волокнах ЦВВ.



Выявленные отличия в изменении свойств волокон полуцеллюлозы при лабораторном размоле сказываются на значениях физико-механических характеристик. Во-первых, наблюдается более значительный прирост всех показателей при повышении степени помола от исходной до 18 °ШР. Например, *SCT* и *CMT* возрастают на 30-35 %. Во-вторых, при рассмотрении всех показателей в совокупности видно, что их оптимальный уровень достигается при степени помола 24 °ШР.

Таблица 1. Направление и относительное изменение основных структурно-морфологических и физико-механических характеристик волокон полуфабрикатов в условиях лабораторного размола

Характеристики	Вид полуфабриката		
	ЦВВ (варка с предварительной пропиткой)	ЦВВ (варка без предварительной пропитки)	Полуцеллюлоза (Пандия)
<i>Структурно-морфологические:</i>			
средняя длина волокна, мм	- 10,5 %	- 11,2 %	- 11,9 %
средняя ширина волокна, мкм	не изменяется	+ 3,3 %	- 4,5 %
фактор формы	- 1,8 единицы	- 3,3 единицы	+ 1 единица
мелочь (до 0,2 мм), %	+ 1,5 абс. %	+ 2,8 абс. %	- 1,4 абс. %
грубость, мг	- 15,7 %	- 22,7 %	- 24,4 %
средний угол излома, °	+ 2 °	+ 2,6 °	не изменяется
число изломов на во- локне, шт	+ 30 %	+ 37 %	- 37 %
средняя длина сегмента, мм	- 15 %	- 17 %	- 3 %
<i>Физико-механические:</i>			
разрывная длина, м	+ 72 % (прирост 67,5 % при 18 °ШР)	+ 100 % (прирост 69,4 % при 18 °ШР)	+ 133 % (прирост 128 % при 24 °ШР)
П, кПа	+ 105 % (прирост равномерный)	+ 66 % (прирост 63,2 % при 18 °ШР)	+ 163 % (прирост 138 % при 24 °ШР)
<i>CMT</i> , Н	+ 25 % (прирост 60,3 % при 18 °ШР)	+ 28 % (прирост равномерный)	+ 30 % (прирост 48 % при 24 °ШР)
<i>SCT</i> , кН/м	+ 46 % (прирост равномерный)	+ 50 % (прирост 43,8 % при 18 °ШР)	+ 100 % (прирост равномерный)



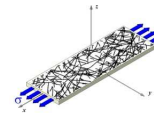
Обобщенные данные об изменении структурно-морфологических и физико-механических характеристик полуфабрикатов в условиях лабораторного размола сведены в табл. 1.

Таким образом, измерение и анализ характеристик волокон сульфатной хвойной ЦВВ, получаемой по различным режимам, и лиственной полуцеллюлозы, проведенное на многократно отобранных пробах без воздействия на технологические параметры, позволило качественно оценить характер изменения структурно-морфологических свойств волокон. Для получения количественных взаимосвязей между основными параметрами технологических режимов, свойствами волокна и физико-механическими характеристиками необходимо изменение влияющих параметров в достаточно широком диапазоне.

На основании представленных данных были проведены исследования влияния факторов, параметров и явлений, способных существенно изменить уровень структурно-морфологических характеристик волокон. Среди них можно выделить качество щепы, параметры горячего размола и сортирования, условия массоподготовки перед КДМ (размол, сортирование, очистка, фракционирование), изменение pH бумажной массы, процессы набухания и сушки волокон, способность к повторному использованию волокон [1...4].

Список литературы

1. Белоглазов В.И. Влияние нагрузки при размоле на структурно-морфологические и физико-механические характеристики полуфабрикатов для изготовления флютинга / В.И. Белоглазов, А.В. Гурьев, Е.В. Дьякова и др. // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2010. – № 2. – С. 38-40.
2. Белоглазов В.И. Влияние биodeградации древесины на свойства волокон сульфатной хвойной ЦВВ / В.И. Белоглазов, Е.В. Дьякова, А.В. Гурьев, В.И. Комаров // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2010. – № 8. – С. 50-52.
3. Дьякова Е.В. Влияние многократной переработки на свойства волокон полуфабрикатов для тарного картона / Комаров В.И., А.В. Гурьев // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2010. – № 5. – С. 56-61.
4. Дьякова Е.В. О возможности фракционирования полфабрикатов в производстве тарного картона / Е.В. Дьякова, В.И. Белоглазов, А.В. Гурьев, В.И. Комаров // Новое в подготовке волокнистой массы для различных видов бумаги и картона. – Сб.тр. Межд. науч.-практ. конф. – Санкт-Петербург, 2010. – С. 55-60.



ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И КОМПОЗИЦИЙ НА ИХ ОСНОВЕ

С.А. Евтюхов¹, Е.М. Лоцманова², Е.Г. Смирнова³

¹ООО «БКТ-Сервис», Санкт-Петербург, Россия

²Российская национальная библиотека, Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургская государственная лесотехническая академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

В процессе использования и хранения документов их механические свойства изменяются, главным образом, за счет деструкции целлюлозных волокон. Рассмотрено изменение механических свойств различных видов целлюлозы, а также композиций на их основе в условиях, имитирующих их длительное хранение. Предложен оптимальный состав по волокну бумаги, наиболее устойчивой к старению.

PREDICTION OF MECHANICAL STRENGTH INDICES FOR DIFFERENT PULP TYPES AND THEIR COMPOSITIONS

S. Evtyukhov¹, E.Lotsmanova², E.Smirnova³

¹BKT-Service, Ltd., Saint-Petersburg, Russia

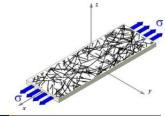
²Russian National Library, Saint-Petersburg, Russia

³St. Petersburg State Forest Technical Academy named by S.M.Kirov, Saint-Petersburg, Russia

In the process of document usage or storage their mechanical properties change mostly due to the pulp fibers destruction. We have examined mechanical properties changes of different pulp types and their compositions in the conditions simulating their long storage, and suggested the optimal fiber composition which is most resistant to aging.

В процессе интенсивного использования и длительного хранения эксплуатационные свойства документов изменяются, главным образом за счет деструкции целлюлозных волокон. Относительно низкая долговечность современной бумаги не только лишает возможности сохранить для потомков подлинники важных документов, архивы, рукописи, книги и журналы, но и приводит к значительным экономическим затратам при ее неоднократном ксерокопировании, сканировании, фотокопировании и реставрации.

Ухудшение эксплуатационных свойств документов, в частности снижение механической прочности, зависит от ряда факторов, среди которых основными являются прочность, гибкость, ориентация волокон, а также прочность межволоконных связей. Вследствие этого происходит не только изъятие документов, но и ухудшение здоровья самих читателей: выцветание чернил негативно сказывается на зрении, продукты окисли-



тельной и гидrolитической деструкции могут вызывать различного рода аллергические реакции.

Цель данного исследования – определение механической прочности различных волокнистых полуфабрикатов, применяемых для выработки печатных видов бумаги с учетом ее дальнейшего длительного хранения.

Для эксперимента были выбраны следующие виды целлюлозы: сульфатная беленая хвойная целлюлоза марки ХБ-2 и сульфатная беленая лиственная целлюлоза марки ЛС-0 производства Архангельского ЦБК, сульфитная беленая хвойная целлюлоза производства Неманского ЦБК, а также БХММ финского производства из осиновой древесины.

В качестве объектов исследования использовали образцы бумаги из 100 % перечисленных выше полуфабрикатов, а также композиции в соотношении 40 : 60 и 60 : 40 хвойной целлюлозы к лиственной.

Размол полуфабрикатов проводили отдельно в лабораторном ролле до 35 °ШР. Бумагу массой 80 г/м² изготавливали на листоотливном аппарате ЛА-2.

В качестве экспресс-метода, имитирующего процесс естественного старения бумаги, применяли тепло-влажное старение в климатической камере «Binder» при температуре 80 °С и относительной влажности 65 % [2]. Образцы исследовали с интервалом 3 суток. Принято считать, что 12 суток старения в данных условиях соответствуют примерно 100 годам естественного старения. [3].

Наиболее чувствителен к старению показатель сопротивления излому, характеризующий гибкость волокон. Как видно из рис. 1, а, сопротивление излому до старения уменьшается в ряду: сульфатная хвойная, сульфатная лиственная, сульфитная хвойная целлюлоза, БХММ.

Различия в величине показателей свидетельствуют о влиянии на сопротивление излому как вида использованной древесины (хвойная – лиственная), так и способа химической переработки (сульфатный – сульфитный – древесная масса).

Аналогичная тенденция наблюдается и при определении разрушающего усилия (рис. 1, б).

Судя по полученным результатам, вид использованной в ходе варки древесины меньше влияет на рассматриваемые показатели, чем способ варки целлюлозы. Вид древесины определяет анатомический и химический состав и размеры волокон, тогда как способ варки влияет на химический состав и степень разрушения клеточной оболочки волокон.

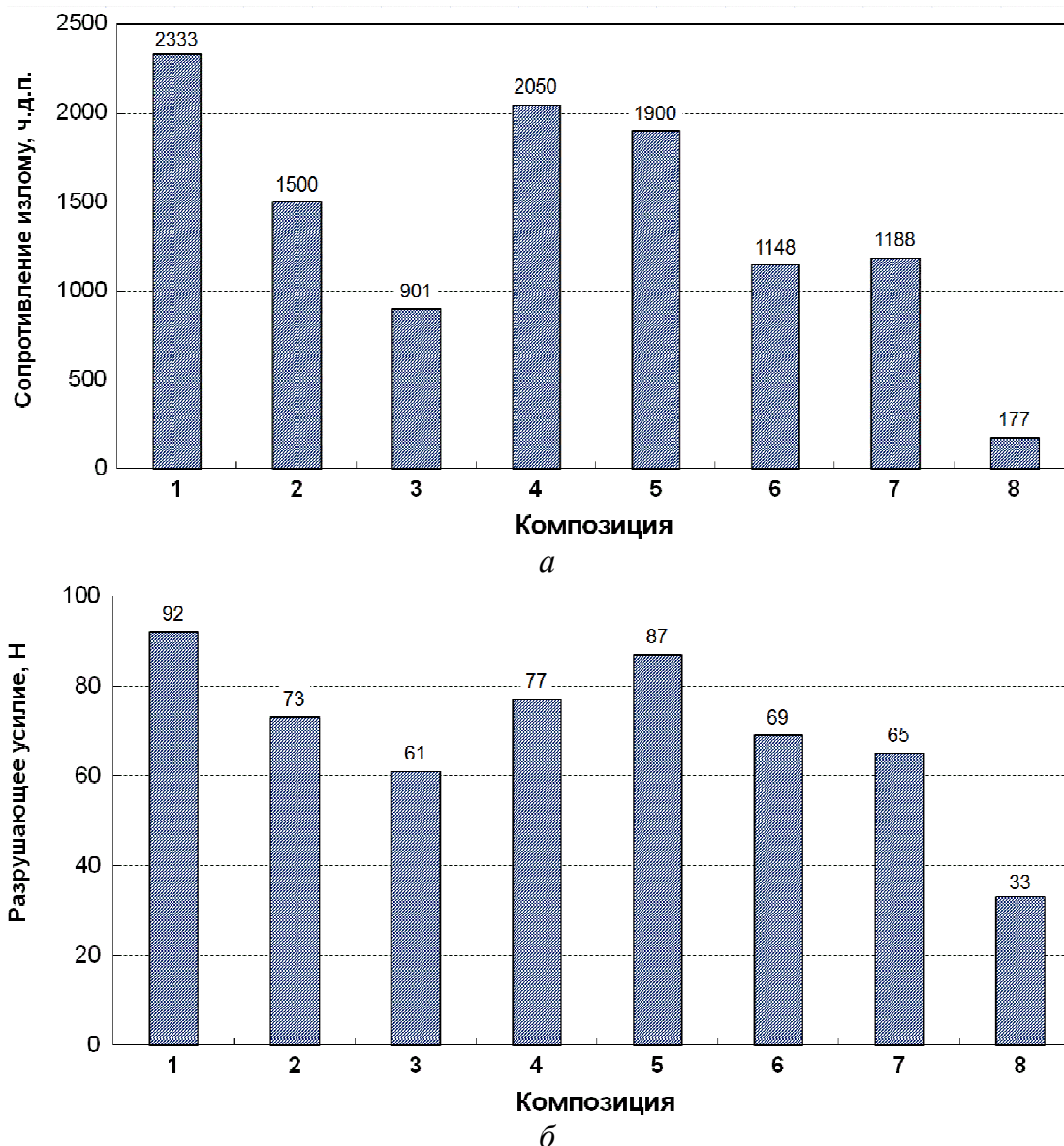
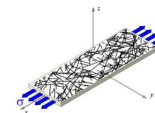
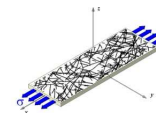


Рис. 1. Показатели различных волокнистых полуфабрикатов до искусственного старения: *a* – сопротивление излому; *б* – разрушающее усилие (расстояние между зажимами 100 мм); 1 – 100 % сульфатная хвойная; 2 – 100 % сульфатная лиственная; 3 – 100 % сульфитная хвойная; 4 – 60 % сульфатная лиственная + 40 % сульфатная хвойная; 5 – 40 % сульфатная лиственная + 60 % сульфатная хвойная; 6 – 60 % сульфатная лиственная + 40 % сульфитная хвойная; 7 – 40 % сульфатная лиственная + 60 % сульфатная хвойная; 8 – БХТММ

Динамику изменения показателя сопротивления излому в процессе старения характеризовали потерей прочности на излом относительно исходного образца бумаги, т.е. не подвергавшегося старению. В ходе искусственного старения, наблюдается увеличение потерь как у 100 % целлюлозных отливок, так и у композиций на их основе.



Из рис. 2 видно, что по характеру кривых и по величине потерь исследуемые образцы бумаги имеют определенные отличия. Для сульфатной хвойной и лиственной целлюлозы происходит быстрое увеличение потерь сопротивления излому к 3 суткам старения (около 15 %) с последующим медленным ростом (примерно на 4 %) вплоть до окончания старения. Величины потерь сопротивления излому этих двух образцов в процессе старения практически одинаковы.

У сульфитной хвойной целлюлозы и БХММ возрастание потерь происходило практически с постоянной скоростью и по истечении 12 суток искусственного старения составило соответственно 15 и 36 %.

Несмотря на то, что снижение прочности у сульфитной хвойной целлюлозы в ходе искусственного старения имеет близкие значения с сульфатной целлюлозой, значение ее водородного показателя к 12 суткам старения оказалось значительно ниже, 6,47 и 5,70, соответственно.

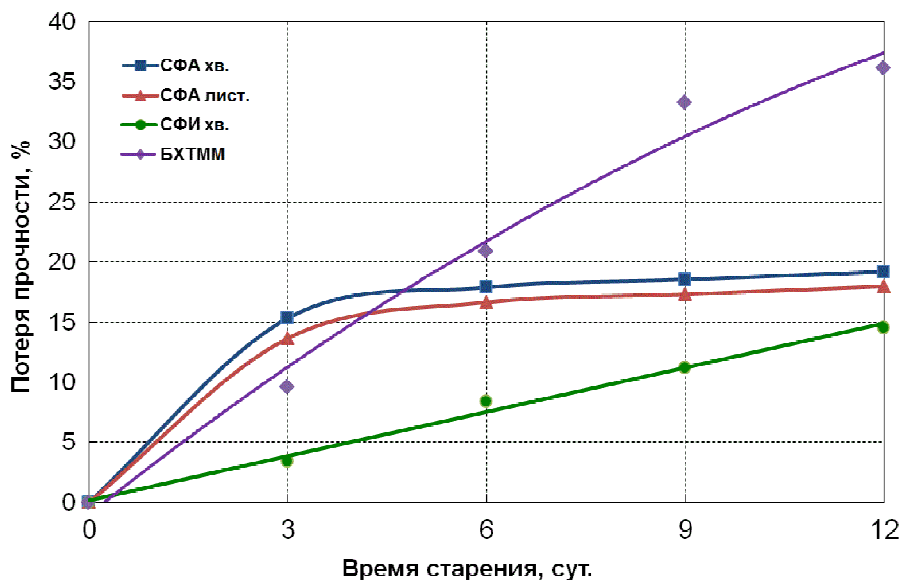
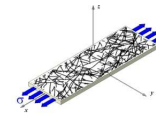


Рис. 2. Потеря прочности на излом различных волокнистых полуфабрикатов в процессе старения

Меньшее значение рН у сульфатной лиственной целлюлозы по сравнению с сульфатной хвойной целлюлозой объясняется большим содержанием в ее составе гемицеллюлоз, содержащих группы уроновых кислот. Самой высокой кислотностью обладает сульфитная хвойная целлюлоза, что обусловлено способом ее производства. Величина рН этого вида целлюлозы после 12 суток старения приближается к минимально допустимой границе кислотности (рН = 5,5) для долговечной бумаги [1], что обеспечивает постоянную скорость разрушения целлюлозных волокон и снижение показателя сопротивления излому.



Из диаграмм (рис. 1, *а* и *б*) видно, что прочность композитов занимает промежуточное положение между полуфабрикатами, из которых они изготовлены. Однако, анализируя диаграммы потерь прочности во времени, можно сказать, что на прочность отливок из двух компонентов влияет прочность компонента с низкой механической прочностью.

При изучении динамики потери сопротивления излому показано, что беленая сульфитная хвойная целлюлоза, обладая самыми низкими показателями механической прочности и наиболее низким значением рН водной вытяжки, образует с белой сульфатной лиственной целлюлозой наименее прочные композиты с низкой устойчивостью к старению (рис. 3, *а*).

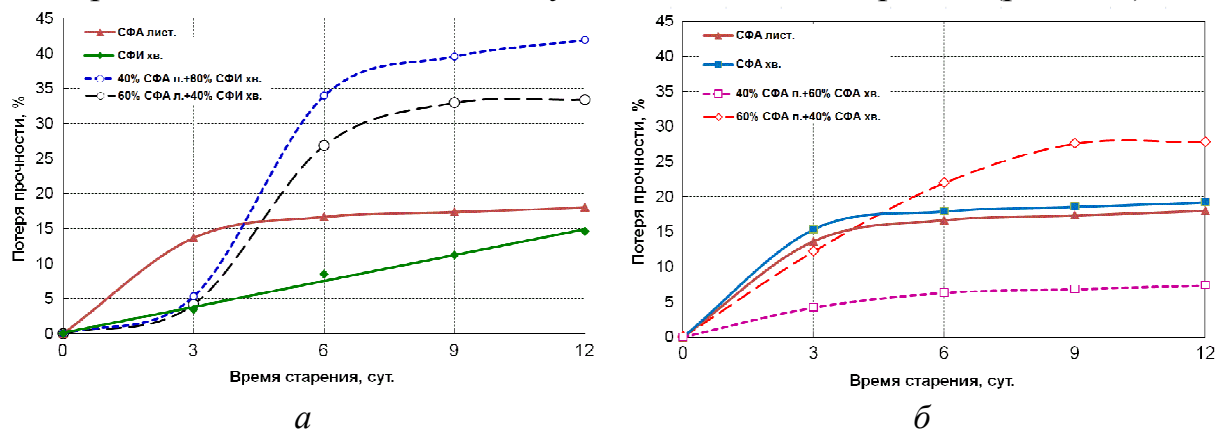
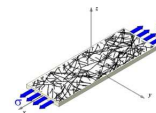


Рис. 3. Потеря показателя сопротивления излому в процессе искусственного старения: *а* – для сульфитной хвойной и сульфатной лиственной целлюлозы и композитов на их основе; *б* – сульфатной хвойной и сульфатной лиственной целлюлозы и композитов на их основе

Большая устойчивость к старению выявлена у композитов, содержащих беленую сульфатную хвойную и беленую сульфатную лиственную целлюлозу (рис. 3, *б*). Однако, высокое содержание лиственной целлюлозы (60 %) в композите приводит к значительному повышению потерь прочности на излом при старении по сравнению с отдельными видами целлюлозы, входящими в его состав. Объясняется это повышением пористости и воздухопроницаемости бумаги при старении, что увеличивает доступность компонентов оболочек волокон целлюлозы для взаимодействия с влагой и кислородом воздуха. Как можно предположить, в этих условиях наибольшей деструкции подвергаются микрофибриллы, которые ответственны за межволоконные силы связи, что и приводит к расширению и увеличению объема полостей между волокнами в структуре бумаги в процессе старения. Композит с низким содержанием сульфатной лиственной целлюлозы (40 %) не достигает потерь прочности на излом для отдельных видов цел-



люлозы, и, следовательно, проявляет бóльшую устойчивость к старению, чем отдельные виды целлюлозы.

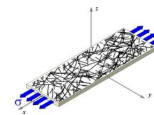
Обратная картина наблюдается у композиций на основе СФИ хвойной и СФА лиственной целлюлозы (рис. 3, а), так после 3 суток старения потери прочности на излом обеих композиций бумаги превышают величину данного показателя для полуфабрикатов, из которых они сделаны, и достигают 42 % у образцов, в композиции которых 60 % сульфитной хвойной целлюлозы. Это обусловлено, прежде всего, снижением межволоконных связей и прочности волокон сульфитной целлюлозы.

Из представленных диаграмм видно, что фактором, определяющим механическую прочность композиций, является сульфатная хвойная целлюлоза, которая обладает наибольшей устойчивостью к искусственному старению. При этом введение в композицию бумаги лиственной целлюлозы облегчает отлив бумаги на сеточном столе бумагоделательной машины, снижает разносторонность бумажного полотна, улучшает просвет, увеличивает удержание наполнителя, непрозрачность и впитываемость бумаги, поэтому ее нельзя исключать из композиции печатных видов бумаги. Наиболее оптимальным с точки зрения долговечности является добавка лиственной целлюлозы в количестве 40 % к сульфатной хвойной целлюлозе.

На этапе искусственного старения волокнистых полуфабрикатов определено, что наибольшие потери механической прочности наблюдаются у БХММ, помимо этого данный полуфабрикат обладает наименьшей механической прочностью, что не допускает его использование в производстве бумаги долговременного хранения. Полученные данные также подтверждают малую пригодность использования сульфитной целлюлозы в композиции долговечной бумаги.

Список литературы

1. ГОСТ 7.50-90 СИБИД. Консервация документов. Инструктивно-методические указания по внедрению. Общие требования / Сост.: Ю.П. Нюкша, Е.С. Чернина, З.П. Дворяшина и др. – Л., 1990. – С. 9–10.
2. ISO 56-30:1986 Бумага, картон. Ускоренное старение (часть 3). Обработка влажным теплом при температуре 80 °С и относительной влажности 65 %.
3. T 453m – “TAPPI” 1962 vol. 45, № 10, p. 146A.



КРИТЕРИИ И МЕТОДЫ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ СТРУКТУРЫ БУМАГИ

Е.В. Дьякова, В.И. Комаров

Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

Показана возможность использования единой диаграммы механического состояния материала и определения условий перехода от хрупкого к вязкому разрушению с целью повышения трещиностойкости целлюлозно-бумажных материалов.

CRITERIA AND METHODS OF FAILURE MECHANICS OF PAPER STRUCTURE

E. Dyakova, V. Komarov

Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

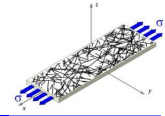
The possibility of using a single mechanical diagram of state of the material and determine the conditions for the transition from brittle to ductile fracture in order to improve fracture toughness of pulp and paper materials are shows.

Механику целлюлозно-бумажных волокнистых материалов следует рассматривать как сложившиеся за последние полвека научные направления, имеющие выраженный междисциплинарный и фундаментальный характер. Доказательством этого тезиса служат многочисленные, порой противоречивые, данные, полученные учеными различных стран, о механизмах протекания процесса разрушения структуры бумаги под воздействием различных по природе и направленности внешних нагрузок.

При этом активно используются теоретические представления, методы и методики, апробированные для других видов материалов – полимеров, композитов и даже металлов.

В исследованиях, проведенных за последние годы и продолжающихся в настоящее время в лаборатории физики бумаги САФУ, также значительная роль отводится теоретической и практической возможности применения подходов и методов одной из составляющих классической теории механического поведения твердых тел – нелинейной механике разрушения.

Ее основополагающий постулат гласит: твердые тела всегда имеют дефекты структуры, служащие источниками зарождения и распространения трещин, приводящих в пределе к разрушению под воздействием приложенных нагрузок.



Модели нелинейной механики разрушения основаны на наличии достаточно развитой пластической зоны перед вершиной растущей трещины, что должно быть характерно для структур бумаги и картона как материалов с выраженными упруго-вязко-пластическими свойствами и определенной степенью дефектности.

Дефекты структуры бумаги и картона с одной стороны являются следствием технологии их изготовления, а с другой – возникают в результате переработки и эксплуатации. Последнее происходит либо случайным образом (надрывы, проколы, задиры, царапины, складки и т.п.) либо является следствием технологических операций (гофрирования, крепирования, рилевания, биговки, резки, высечки и др.).

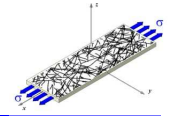
Для оценки поведения бумаги и картона при производстве и переработке важно не только количественно оценивать сопротивляемость структуры к инициированию и развитию трещиноподобных дефектов, но и прогнозировать возможный характер механизма разрушения.

Таким образом, одним из важнейших свойств целлюлозно-бумажных материалов с учетом положений механики разрушения является трещиностойкость структуры, т.е. устойчивость к зарождению и распространению трещин, случайно образующихся или специально нанесенных.

В исторической ретроспективе первым и не утратившим до настоящего времени значения методом определения трещиностойкости является сопротивление раздиранию. Однако с позиций механики разрушения он не выдерживает критики, поскольку сопровождается слишком высокой погрешностью и не фиксирует процессы, протекающие на микроуровне [1].

Другой метод измерения сопротивления бумаги надрыву в плане, напротив, не получил широкого распространения, поскольку в нем используются нестандартные измерительные устройства для одноосного растяжения [2].

Третьим, и наиболее востребованным в экспериментальной практике методом служит определение энергетической характеристики разрушения – J -интеграла [3]. Методика определения J -интеграла, адаптированная для целлюлозно-бумажных материалов и стандартизованная по SCAN-P 77:95, дает возможность оценивать трещиностойкость структуры бумаги и картона количественно. Данные об уровне трещиностойкости позволяют на практике принимать технологические решения. Например, о необходимости оптимизации сортирования с целью уменьшения размеров типичных дефектов; о регулировании содержания в композиции и в структуре бумаги



длинноволокнистых фракций для нивелирования воздействия возможных дефектов; о параметрах процесса размола и даже о необходимости модернизации БДМ/КДМ для уменьшения колебаний характеристик качества полотна и размеров дефектов кромок [4].

Вместе с тем, как показали наши исследования, J -интеграл является всего лишь одним из возможных критериев механики разрушения целлюлозно-бумажных материалов, количественно описывающий суммарные энергетические затраты на процесс магистрального распространения трещины без возможности учета потенциальных состояний структуры при зарождении и развитии трещиноподобных дефектов. То есть он не учитывает, что структура целлюлозно-бумажных материалов при разрушении может проявлять хрупкий, вязкий или смешанный характер [5, 6].

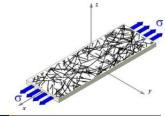
Принимая во внимание данное предположение в процессе наших исследований сформировалась задача анализа и оценки других возможных критериев разрушения, а также на определенном этапе встал вопрос об использовании однопараметрического или многопараметрического подхода.

Среди множества альтернативных критериев механики разрушения нами были рассмотрены различные однопараметрические силовые, деформационные и энергетические критерии, а также их комбинации. В частности, к таким критериям относится энергетический критерий Гриффита [7], силовой критерий Ирвина [8], критерий критического раскрытия трещины [9], а также производные от них.

Выбор отмеченных критериев был обусловлен их широким применением для оценки условий развития трещин как в изотропных, так и анизотропных линейно- и псевдоупругих материалах.

Аналитическая оценка критериев привела к выводу о том, что с учетом особенностей структуры целлюлозно-бумажных материалов наиболее предпочтительно использовать критериальные уравнения, которые содержат не один, а два прочностных параметра. Подобные двухпараметрические критерии разрушения позволяют оценить поведение структуры, а также кинетику поля напряжений и деформаций в вершине трещины при ее развитии.

Кроме того, использование двухпараметрических критериев дает ощутимые преимущества, связанные с возможностью охвата одним критериальным уравнением всего спектра наблюдаемых механизмов разрушения.



В телах с трещинами проявляются два предельных механизма разрушения – хрупкий и вязкий, а также присутствует промежуточная область, которая характеризуется квазихрупким (смешанным) механизмом разрушения, при котором одновременно проявляются элементы и хрупкого и вязкого механизмов.

При рассмотрении двухпараметрического критерия нами были использованы приемы, апробированные в феноменологических теориях, однако формулировка критерия и его аналитическое представление установлены на основе понятий и соотношений трещин, в частности, разработанных профессором Е.М. Морозовым [10].

В целом, двухпараметрические критерии разрушения для целлюлозно-бумажных материалов базируются на силовом подходе с использованием понятия коэффициента интенсивности напряжений.

Для плоского образца из упругопластического материала с трещиной длиной l , растягиваемого под нагрузкой P , при условии хрупкого (квазихрупкого) разрушения справедлив силовой критерий K_{IC} :

$$K(P, l) / K_{IC} = 1.$$

Несущая способность образца с трещиной, обусловленная разрушающей нагрузкой P_C , при этом невысока, и пластическая зона в вершине растущей трещины стремится к нулю.

Уменьшение длины трещины ведет к росту разрушающей нагрузки P_C и постепенному увеличению размера пластической зоны [11]. При $l=0$ (т.е. при отсутствии видимых трещин) пластическая зона охватывает все сечение образца, и разрушение произойдет по вязкому механизму, определяемому пределом прочности σ_p . Граничный критерий разрушения в этом случае:

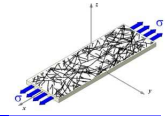
$$\sigma(l) / \sigma_p = 1.$$

Критерий разрушения в двухпараметрической форме имеет вид

$$K(\sigma, l) / K_{IC} + \sigma(l) / \sigma_p = 1.$$

Получение и анализ двухпараметрических диаграмм механического состояния применительно к целлюлозно-бумажным материалам позволило, с нашей точки зрения, развить теоретические представления о механизме трещиностойкости структуры бумаги и картона.

В качестве основы для разработки методики получения двухпараметрических диаграмм использован отмеченный выше силовой критерий,



основанный на коэффициенте интенсивности напряжений. Экспериментальные данные для построения единой диаграммы получали с помощью одноосного статического растяжения образцов до разрушения. При этом испытаниям подвергали как образцы без надреза, так и с нанесенными трещиноподобными дефектами различного размера. По результатам каждой серии испытаний фиксировали разрушающее напряжение необходимое для расчета коэффициента интенсивности напряжений с помощью уравнения:

$$K = \sigma \sqrt{\pi l} \cdot Y,$$

где σ – разрушающее напряжение, МПа; l – длина трещины, мм; Y – поправочный коэффициент, учитывающий фактор формы дефекта, значение которого рассчитывается для различных случаев с использованием справочных данных.

Взаимосвязь между разрушающим напряжением и размером дефекта выражается как критическое значение коэффициента интенсивности напряжений или предел трещиностойкости.

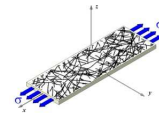
Таким образом, имеется возможность нахождения разрушающего напряжения при заданной длине трещины или, наоборот, допустимого размера дефекта при заданной внешней нагрузке.

Представленные выше теоретические положения и метод построения двухпараметрических диаграмм механического состояния реализованы на практике в графоаналитической форме в виде авторской программы для ПЭВМ [12].

В результате обработки экспериментальных данных программа генерирует отчет (рис. 1), включающий следующие результаты расчетов:

- вклады отдельных составляющих механизма разрушения (хрупкий, смешанный, вязкий) в абсолютных и относительных единицах,
- суммарный двухпараметрический критерий разрушения в абсолютных и относительных единицах,
- значение критического для данных условий размера дефекта,
- критический коэффициент интенсивности напряжений,
- текущие данные о значениях разрушающего напряжения и коэффициента интенсивности напряжений для всех размеров дефектов.

Представляемая в отчете диаграмма строится на основе аппроксимации исходных данных полиномом степени от третьей до шестой методом наименьших квадратов. Выбор наилучшего полинома проводится по ми-



– бумаги для гофрирования и бумаги для офсетной печати. Выбор подобных объектов исследований был обусловлен тем, что в процессе переработки они неизбежно подвергаются интенсивным нагрузкам.

Например, флютинг в процессе гофрирования испытывает сжимающие и растягивающие усилия в зоне контакта гофровалов, что зачастую приводит к возникновению микротрещин в структуре и последующему снижению прочности гофрокартона и тары.

Бумага для офсетной печати, в свою очередь, перерабатывается на высокоскоростных полиграфических линиях и любой критический трещиноподобный дефект в условиях постоянного натяжения приводит к обрыву.

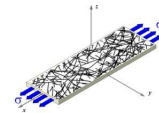
С учетом этого проведены комплексные исследования, направленные на оценку влияния вида, размера и места расположения дефектов в образце на поведение структуры бумаги при разрушении и на значения характеристик двухкритериальной диаграммы механического состояния [13].

Другая часть работ была посвящена анализу влияния параметров структуры и технологических факторов. При этом получены многочисленные диаграммы механического состояния в зависимости от изменения анизотропии структуры, влажности, степени разработки волокна, расхода упрочняющих добавок, количества циклов повторного использования волокон [14, 15].

В целом, получены новые данные о механизмах разрушения бумаги для гофрирования и бумаги для офсетной печати при приложении растягивающей нагрузки, которые могут быть использованы для научно-технического обоснования совершенствования технологий этих материалов с целью улучшения их эксплуатационных характеристик при переработке и использовании.

Список литературы

1. Casey, I.P. Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology / I.P Casey // A wiley – Interscience Publication. – New York, 1989-1990. – Vol. III. – P. 1447-1943.
2. Seth, R.S. Fracture resistance: a failure criterion for Paper / R.S. Seth, D.H. Page // Tappi. – 1975. – № 9. – P. 112-117.
3. Seth, R.S. Measurement of in-plane fracture toughness of paper / R.S. Seth // Tappi J., 1995. – Vol. 78(10). – P. 177-183.
4. Комаров, В.И. Методология исследования кинетики деформирования и разрушения тарного картона / В.И. Комаров, Я.В. Казаков // Создание конкурентоспособного оборудования и технологий для изготовления бумажно-картонной



продукции из вторичного волокнистого сырья. – Карavaево-Правдинск: 3-я международная науч.-техн. конф., 2002 г., – с. 50-54.

5. Дьякова, Е.В. Устойчивость к инициированию и росту трещин в структуре целлюлозно-бумажных материалов [Обзор] / Е.В. Дьякова, В.И. Комаров, Е.С. Носкова // ИВУЗ. Лесн. журн. – 2007. – № 1 – С. 125-140.

6. Носкова, Е.С. Потенциальный энергетический критерий разрушения тарного картона / Е.С. Носкова, Е.В. Дьякова, В.И. Комаров // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2008. – № 5. – С. 48-53.

7. Griffith, A.A. The Phenomena of Rupture and Flow in Solids. Phil. Trans. Of Royal Soc. Of London, 221, – London, 1921. – P. 163-198.

8. Irwin, G.R. Analysis of stress and strains of a crack traversing a plate / G.R. Irwin // J. Appl. Mech. – 1957. – № 3. – P. 361-364.

9. Леонов М.Я. Развитие малых трещин в твердом теле / М.Я. Леонов, В.В. Панасюк // Прикл. механика. – 1959. – № 4. – С. 391-401.

10. Морозов Е.М. Анализ трещин как метод оценки характеристик разрушения / Е.М. Морозов, Я.Б. Фридман // Заводская лаборатория. – 1966. – № 8. – С. 977-984.

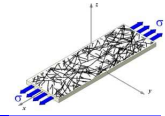
11. Пестриков В.М. Механика разрушения твердых тел / курс лекций – В.М. Пестриков, Е.М. Морозов. – СПб.: Профессия, 2002. – 320 с.

12. Свид. № 2009612826 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для расчета двухпараметрического критерия разрушения целлюлозно-бумажных материалов (n -параметр). / Я.В. Казаков, Е.В. Дьякова, Е.С. Носкова, В.И. Комаров; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО АГТУ (RU). – № 2009611444; заявл. 03.04.2009; опубл. 01.06.2009, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

13. Дьякова Е.В. Влияние формы, размера и места расположения дефекта структуры на характер разрушения бумаги и картона / Е.В. Дьякова, Е.С. Носкова, В.И. Комаров // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2010. – № 9. – С. 58-61.

14. Комаров В.И. Влияние анизотропии структуры бумаги на механизм разрушения при растяжении / В.И. Комаров, Е.С. Носкова, Е.В. Дьякова // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2009. – № 3. – С. 48-52.

15. Дьякова Е.В. Влияние многократной переработки волокнистых полуфабрикатов на механизм разрушения и трещиностойкость бумаги и картона / Е.В. Дьякова, Е.С. Носкова, В.И. Комаров // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2009. – № 6. – С. 37-41.



НАСТРОЙКА БДМ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ КАРТОНА ДЛЯ ПЛОСКИХ СЛОЕВ ГОФРИРОВАННОГО КАРТОНА И БУМАГИ ДЛЯ ГОФРИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА НА TSO ТЕСТЕРЕ

Г. Линдблад¹, Ю. Юха²

¹(Элоф Ханссон Интернешнл АБ, Швеция)

²(Элоф Ханссон Трейд АБ, Россия)

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 получить оптимальные механические свойства продукта – сопротивление сжатию, сопротивление продавливанию, сопротивление сжатию на коротком расстоянии, эластические свойства

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

G. Lindbald¹, J. Yukha²

¹(Elof Hansson International AB, Sweden)

²(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).

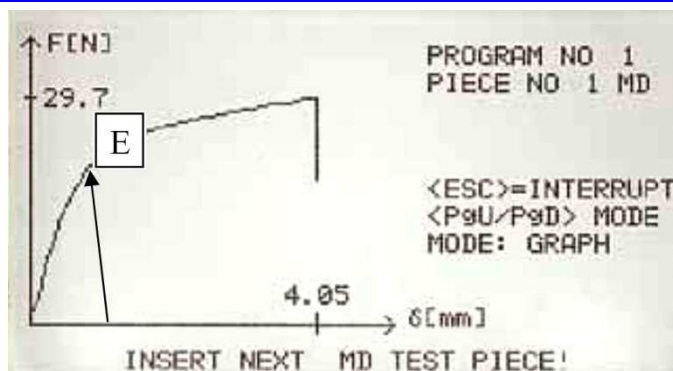
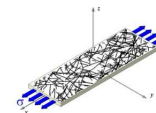


Рис. 1 Кривая зависимости разрывного усилия от удлинения для бумаги (с прибора код 062 – L&W горизонтальная разрывная машина)

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).

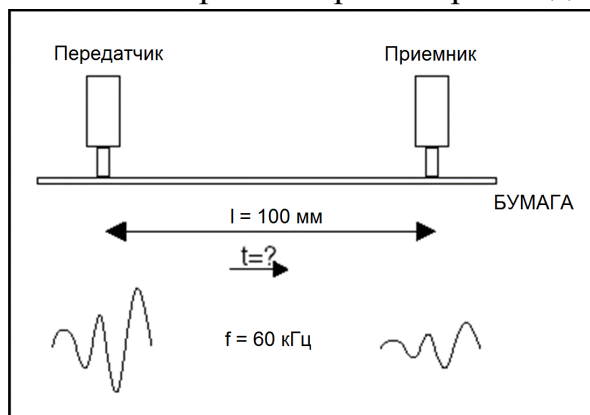


Рис. 2 Принцип измерения

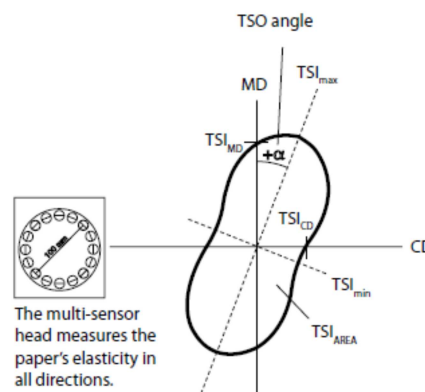
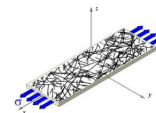


Рис.3 Полярная диаграмма, представляющая все эластические свойства бумаги: α – угол TCO (угол направления максимальной эластичности бумаги)

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 растяжении, которое соотносится с модулем упругости и скоростью распространения УЗ импульса, описывается следующим уравнением:

$$E_{us}^w = cv^2$$



где E_{US}^w – жесткость при растяжении в кН·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 растяжении описывается следующим уравнением:

$$E_{US} = \delta E_{US}^w$$

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 растяжении» 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).

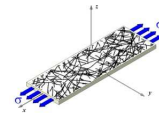
Этот прибор состоит из измерительной головки, механизма подачи, электронных устройств и персонального компьютера для управления данными и сбора данных.

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).

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 ТСО используются следующие обозначения: RCT – сопротивление сжатию кольца; SCT – сопротивление сжатию на коротком расстоянии; $Burst$ – сопротивление продавливанию; BW – масса 1 м^2 ; $Thickness$ – толщина; $TSI\text{-geom.}$ – среднее геометрическое индексов жесткости при растяжении: $\sqrt{TSI_{MD}TSI_{CD}}$; $TSO\text{-angle}$ – угол ТСО; TSI_{MD} – индекс жесткости в машинном направлении; TSI_{CD} – индекс жесткости в поперечном направлении (Индекс жесткости при растяжении соответствует модулю упругости); $TSI_{MD/CD}$ – соотношение индексов жесткости в машинном и поперечном направлении

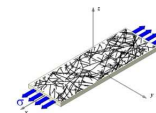
КОМБИНАТ А. КДМ шириной 6200 мм, сырье – первичная хвойная целлюлоза.

КДМ-1

Измерения на тамбуре 754, выработанном при стандартном режиме работы машины, показали, что угол ТСО 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, две полосы были испытаны в лаборатории с шагом 200 мм по всему профилю. При испытании 10 образцов с тамбура 809 были отмечены значительные 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, рис.4-7.

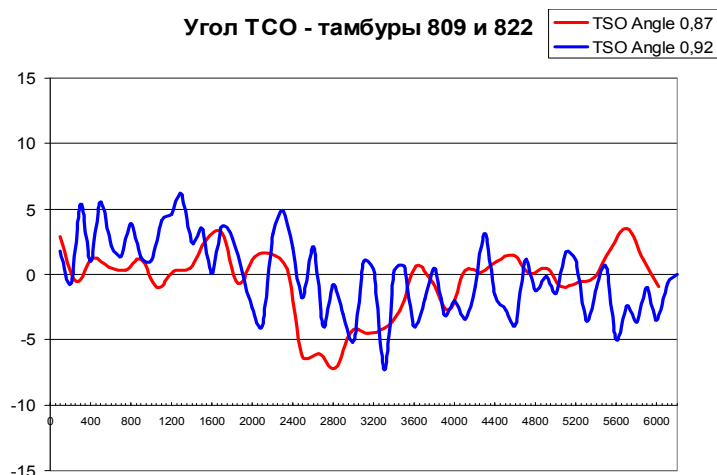


Рис.4. Профили угла ТСО при соотношении скоростей напуск/сетка 0,87 и 0,92

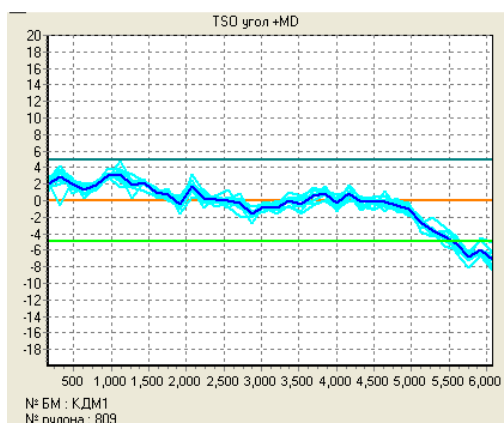


Рис.5. Профиль по углу ТСО, тамбур 809 (средние и индивидуальные профили по 10 образцам)

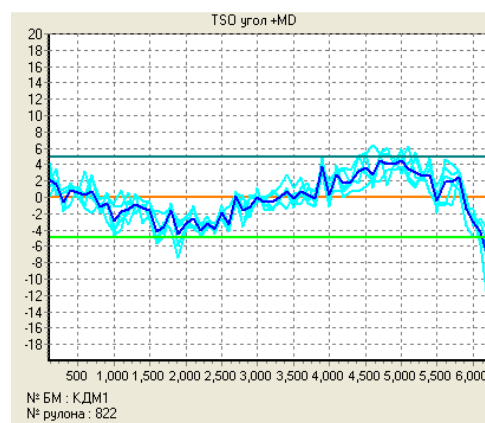


Рис.6. Профиль по углу ТСО, тамбур 822 (средние и индивидуальные профили по 5 образцам тамбура 822)

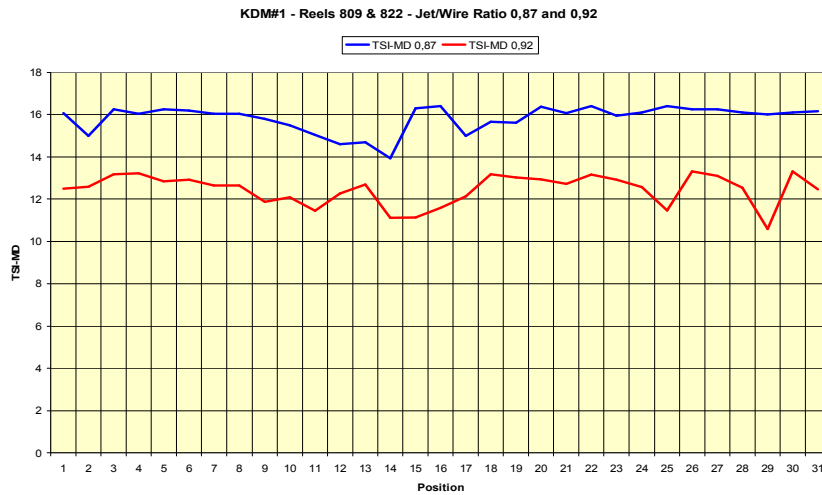
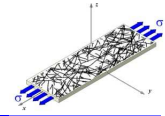


Рис. 7. Профили TSI_{MD} для тамбуров 809 и 822

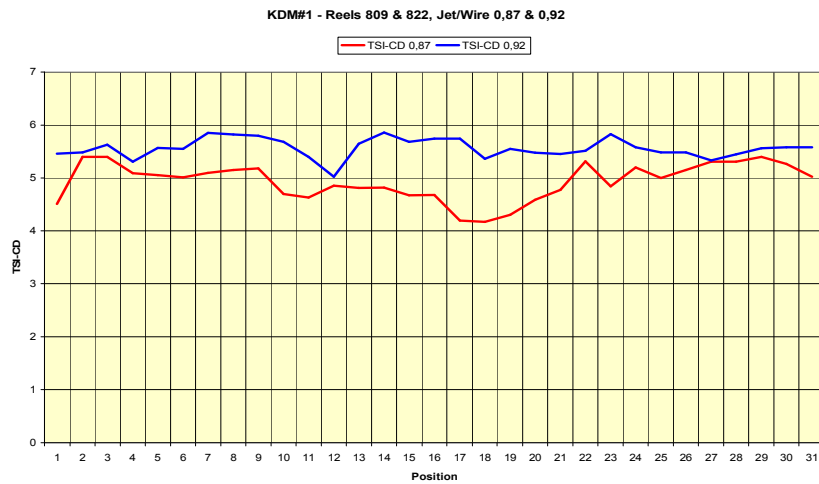


Рис. 8. Профили TSI_{CD} для тамбуров 809 и 822

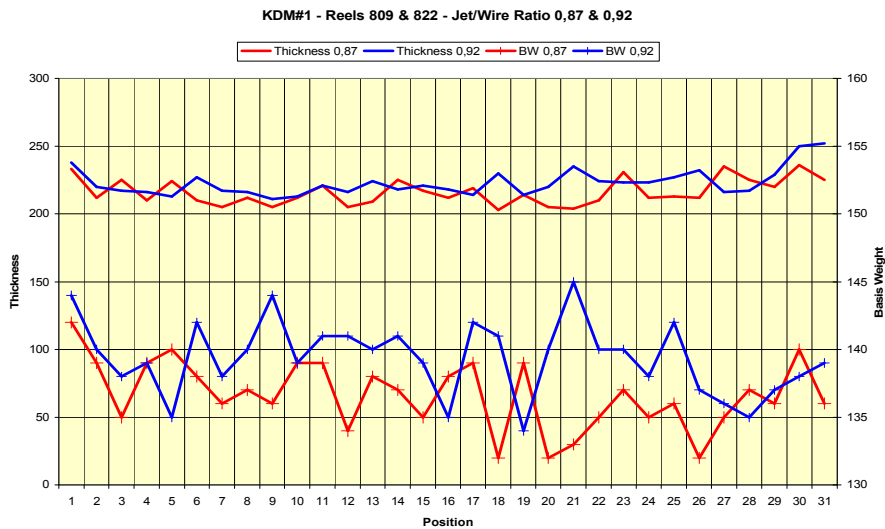


Рис 9. Профили по толщине и массе 1 м^2 для тамбуров 809 и 822

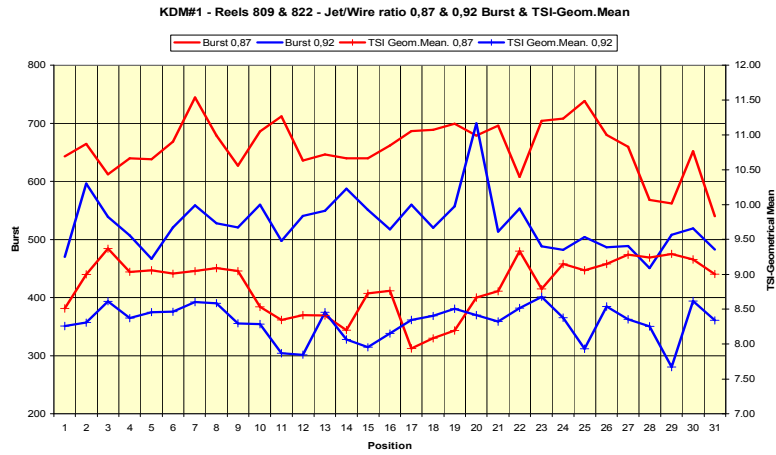
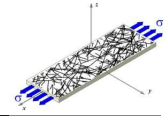


Рис.10. Профили продавливания в сравнении с *TSI-geom* для тамбуров 809 и 822

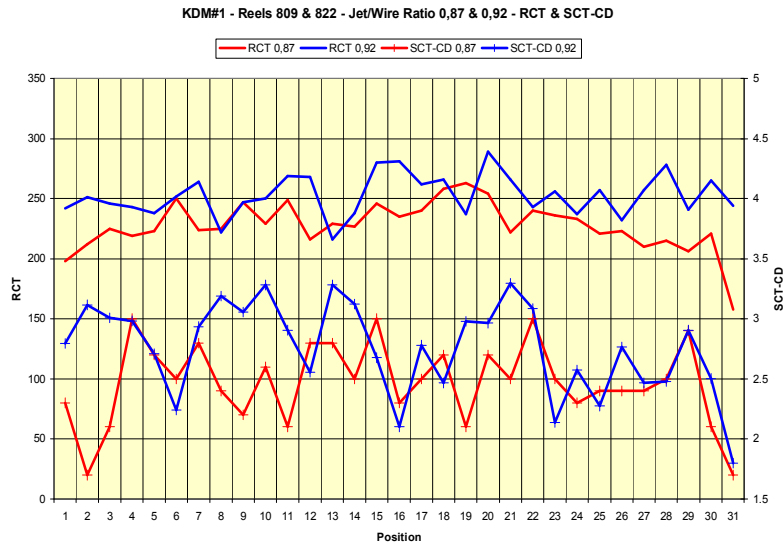


Рис.11. Профили по *RCT* и *SCT* для тамбуров 809 и 822

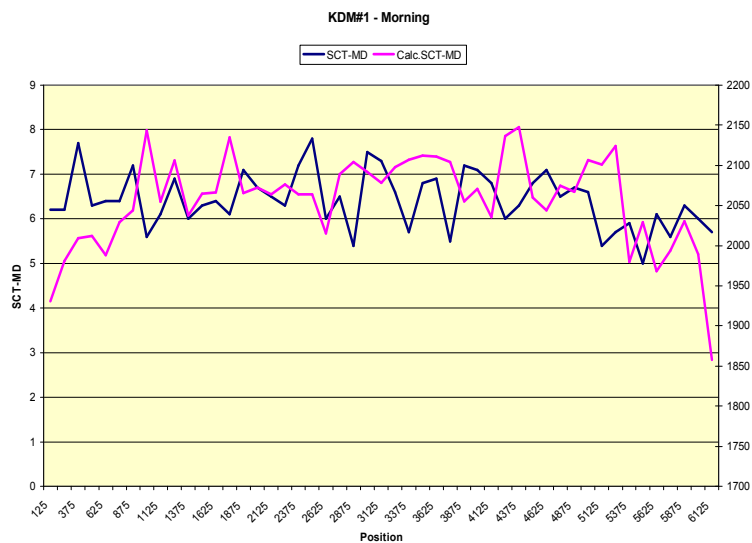


Рис. 12. *SCT* расчетное на основе данных ТСО и по данным лабораторных тестов

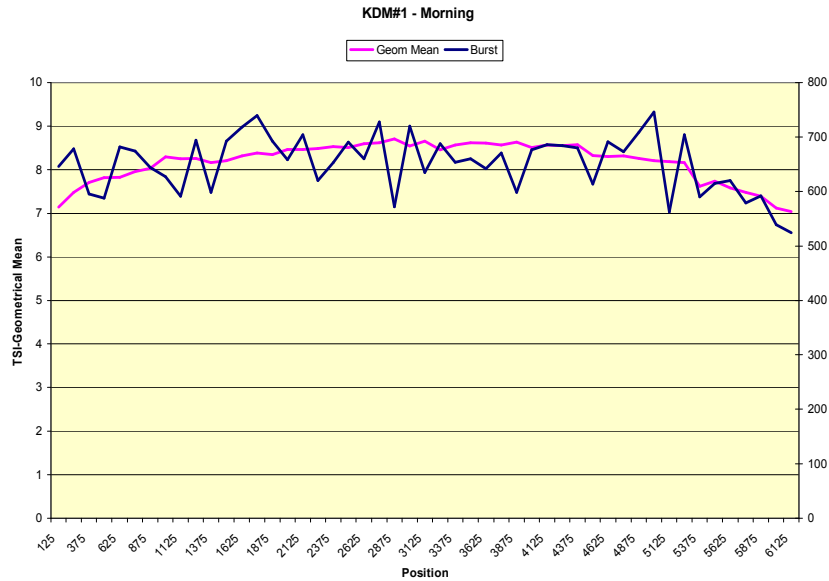
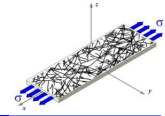


Рис. 13. Продавливание расчетное по данным ТСО и по лабораторным тестам (тамбур 754)

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 формирование 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 1 м^2 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 ТСО и TSI_{MD}

КДМ-2

Испытывали образцы бумаги для гофрирования 112 г/м^2 и образцы универсального картона 125 г/м^2 с КДМ-2. Режим работы машины – обычный.

Профиль угла ТСО для бумаги для гофрирования 112 г/м^2 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 ТСО составляет $+6 \dots -18^\circ$ при норме $\pm 5^\circ$.

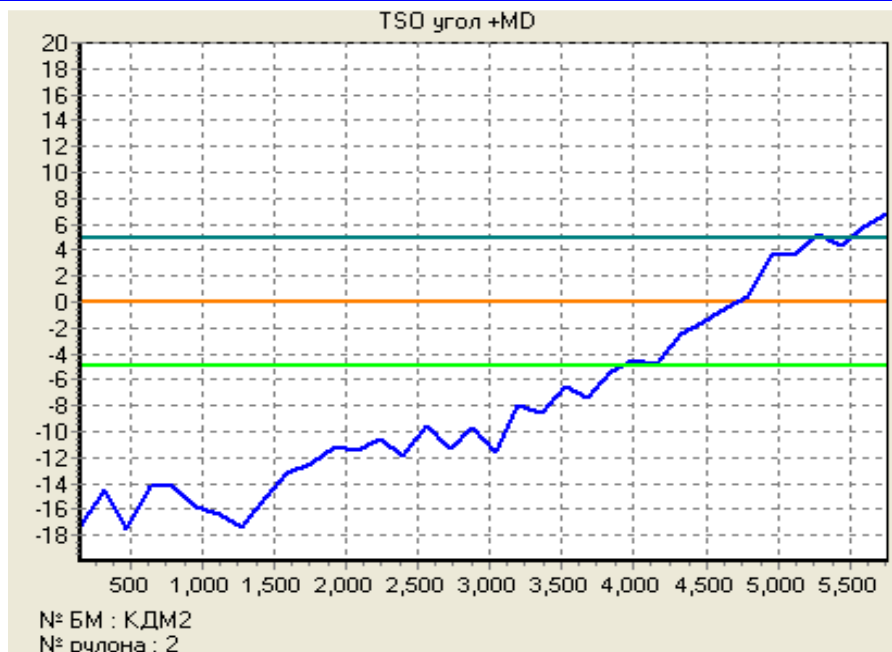
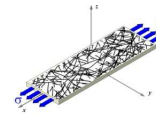


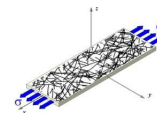
Рис.14. Профиль угла TCO для бумаги для гофрирования 112 г/м²

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 КДМ-1 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 КДМ-1 и КДМ-2 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 обратной 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.

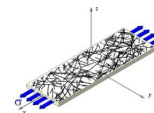
3) Проверить настройки прессов, особенно первого пресса, поскольку он является наиболее важным при обезвоживании в прессовой части.

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 ТСО перевернется после прохождения точки Н-С, равной 1.

В то же время отслеживайте лабораторными методами *RCT*, продавливание, массу 1 м^2 и толщину (оцените также формование).

Список литературы

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



ПРАКТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕФОРМАТИВНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА БУМАГИ И КАРТОНА

Я.В. Казаков

Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

Представлены результаты количественной оценки свойств деформативности при растяжении целлюлозно-бумажных материалов с использованием характеристик кривой напряжение-деформация. Приведены примеры влияния различных факторов на деформационное поведение и характеристики деформативности технической целлюлозы, бумаги и картона.

PRACTICE OF USING OF DEFORMATION CHARACTERISTICS FOR AN ESTIMATION OF PAPER AND CARDBOARD QUALITY

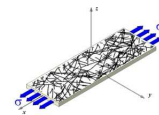
Y. Kazakov

Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

The results of quantitative evaluation of deformation properties of pulp and paper materials using the characteristics of stress-strain curve at tension are presented. Examples of the impact of various factors on the deformation behavior and deformation characteristics of technical cellulose, paper and paperboard are discussed.

Поведение бумаги и картона при переработке и применении определяется уровнем их физико-механических свойств, которые обусловлены структурой целлюлозно-бумажных материалов, а последняя, в свою очередь, определяется сложным и многофакторным технологическим режимом изготовления. Получение бумаги и картона высокого качества при высоких скоростях оборудования и минимальных затратах требует знаний о деформационных свойствах бумаги и умения управлять ими.

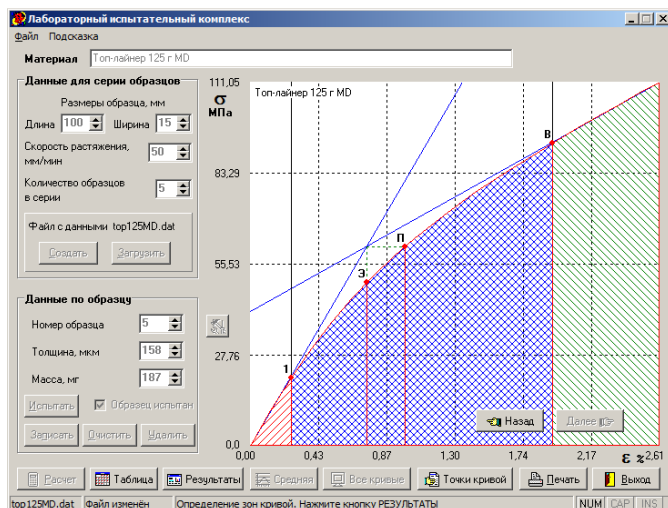
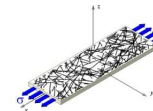
Разработанное на кафедре технологии ЦБП АЛТИ-АГТУ-САФУ методическое обеспечение методов определения структурных, деформационных и прочностных характеристик целлюлозно-бумажных материалов при растяжении, сжатии и изгибе, включая аппаратное и программное обеспечение, официально зарегистрированное в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (Роспатент), позволило установить количественные закономерности формирования, деформационных и прочностных характеристик бумаги и картона при растяжении, сжатии и изгибе.



Наиболее часто в практике оценки потребительских свойств технической целлюлозы, бумаги и картона, используется испытание на растяжение. Получаемые при этом кривые зависимости «нагрузка-удлинение» (« $F-\Delta l$ ») являются интегральной характеристикой поведения целлюлозно-бумажных материалов в результате возрастания нагрузки или деформации и являются внешней (феноменологической) картиной сопротивления материала растягивающей нагрузке. Несомненным преимуществом такого подхода является возможность получения целого спектра деформационных и прочностных характеристик, в том числе реологических, за одно проведенное испытание на растяжение [1].

На кафедре технологии ЦБП САФУ определение характеристик деформативности при растяжении бумаги и картона выполняется на лабораторном испытательном комплексе, включающем разрывную машину «Тестсистема 101» (г. Иваново), персональный компьютер и специально разработанное программное обеспечение [2]. При испытании образца, нагружаемого с постоянной скоростью, регистрируется кривая зависимости «нагрузка-удлинение», обработка которой дает спектр характеристик, среди которых модули упругости начальный (E_1) и в области предразрушения (E_2), жесткость при растяжении (S_t), кН/м; энергия, поглощаемая при растяжении (TEA), Дж/м². Определяются характерные точки зависимости напряжение-деформация « $\sigma-\epsilon$ »: предел упругости (1); эффективная точка (Э); точка начала пластических деформаций (П); точка начала дополнительной вытяжки (В); точка разрушения образца (Р). В каждой характерной точке рассчитываются величины прочностных и деформационных характеристик: усилие (F), Н; напряжение (σ), МПа; деформация (ϵ), %; работа (A), мДж; текущий модуль упругости (E), МПа; модуль общей деформации ($E_{од}$), МПа; время релаксации напряжения (n), сек (рис.1) [3].

Кривая «напряжение-деформация» может рассматриваться, как индикатор состояния структуры целлюлозно-бумажного материала, поскольку любые изменения структуры приводят к изменению хода кривой «напряжение-деформация» и, как следствие, величин деформационных характеристик. Кроме того, к изменению хода кривой приводят изменение размеров образца (проявление масштабного фактора), направления приложения нагрузки (из-за анизотропии волокнистой структуры), и скорости растяжения (реологические и релаксационные явления, проявляющиеся благодаря вязкоупругой природе материала).



a

	Упр.	Эф.	Пл.	Выг.	Разр.
R_H	48.7	117.3	143.2	217.4	261.2
d_l, мм	0.261	0.741	0.985	1.923	2.606
A_{мДж}	5.5	44.7	76.4	244.5	404.8
Напр, МПа	20.72	49.89	60.90	92.43	111.05
Деф. %	0.261	0.741	0.985	1.923	2.606
E_t, МПа	8219.5	4936.7	4140.0	2920.9	2688.9
Еод, МПа	7951.7	6733.5	6185.2	4806.9	4261.1
n, сек		13.4	11.8	9.8	9.2

Средняя толщина образца, мкм - 156,8
 Плотность материала, г/см³ - 0,770
 Разрывная длина, м - 14415

OK

б

Рис.1. Результаты математической обработки кривой зависимости «напряжение-деформация»: *a* – графическая иллюстрация; *б* – вычисленные характеристики

На рис.2 представлены примеры изменения хода кривых нагрузка-удлинение « $F-\Delta l$ » при изменении факторов формирования волокнистой структуры. Условиями проведения испытаний: длина образца $l=100$ мм; ширина образца $b=15$ мм; скорость испытания $v=50$ мм/мин. Характеристики, полученные при математической обработке данных кривых приведены в табл.1.

Влияние морфологии волокна для образцов лиственной и хвойной блененной сульфатной целлюлозы представлено для образцов лабораторных отливок, массой 75 г/м^2 , при степени помола волокна 20°ШР , рис.2, *a*. При слабой разработке волокна длиноволокнистая хвойная целлюлоза обеспечивает не только более высокую прочность и растяжимость, но и жесткость, упругость и вязкоупругие характеристики.

Закономерное улучшение деформационных и прочностных характеристик за счет размолта от 18 до 25°ШР показано для лабораторных композиций из 80% лиственной и 20% хвойной блененной сульфатной целлюлозы, массой 75 г/м^2 , рис.2, *б*.

Пластифицирующее влияние влажности образцов при ее изменении от $6,5$ до $11,5\%$ представлено для лабораторных отливок лиственной неблененной сульфатной целлюлозы, массой 100 г/м^2 , длина образцов 50 мм, ширина 40 мм, рис.2, *в*. Ускорение релаксационных процессов в процессе испытания влажных образцов приводит к более пологому ходу кривой

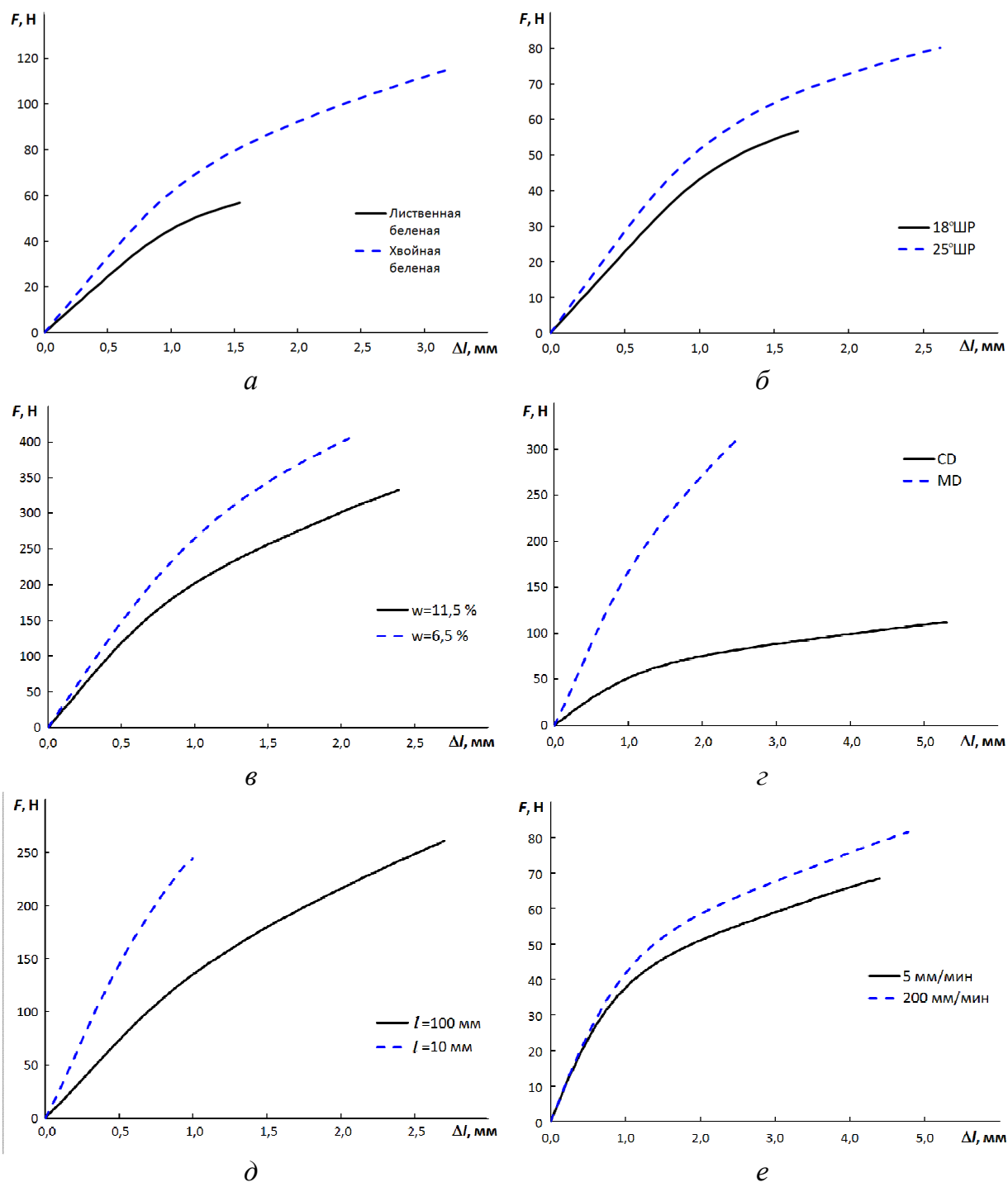
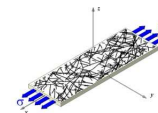


Рис.2. Влияние факторов на деформационное поведение образцов целлюлозно-бумажных материалов при растяжении: *a* – морфологии волока; *б* – степени помола; *в* – относительной влажности образца; *г* – направления ориентации волокон в образце; *д* – длины образца; *е* – скорости растяжения при испытании

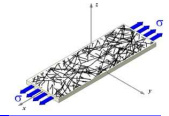
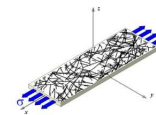


Таблица 1. Характеристики деформативности образцов целлюлозно-бумажных материалов, получаемые при испытании на растяжение

Изменяемый параметр	Вид белой целлюлозы		Степень помола, °ШР		Влажность, %		Направление		Длина образца, мм		Скорость, мм/мин	
	Л.	Хв.	18	25	6,5	11,5	MD	CD	100	10	5	200
δ , мкм	114	110	119	110	125	131	197	199	157	163	187	187
TEA , Дж/м ²	34	153	37	86	244	238	294	263	271	850	138	176
S_b , кН/м	325	443	305	388	380	307	1230	410	1015	241	343	351
σ_I , МПа	21,1	23,6	18,6	21,1	25,4	23,0	38,0	11,1	38,3	24,1	6,1	8,1
ε_I , %	0,76	0,59	0,73	0,61	0,85	1,02	0,64	0,57	0,62	1,68	0,35	0,46
E_I , МПа	2840	4040	2560	3520	3040	2340	6250	2050	6490	1480	1840	1860
σ_{Δ} , МПа	25,6	43,1	25,2	34,0	52,3	35,4	60,9	18,8	59,8	56,1	12,2	14,6
ε_{Δ} , %	0,97	1,24	1,06	1,11	1,95	1,76	1,10	1,14	1,05	4,33	0,85	0,98
A_{Δ} , мДж	21,9	46,2	24,7	32,9	131	85,8	98,0	34,2	74,8	31,1	14,5	22,1
E_{Δ} , МПа	1887	2193	1612	1901	1976	1386	4205	1048	4183	1060	920	952
E_{Δ}^{OD} , МПа	2652	3485	2373	3069	2676	2009	5520	1652	5675	1293	1443	1495
σ_{II} , МПа	27,5	49,8	27,2	39,0	59,4	41,1	67,5	23,4	67,6	64,2	15,6	18,2
ε_{II} , %	1,07	1,58	1,20	1,42	2,35	2,23	1,27	1,68	1,25	5,14	1,33	1,46
A_{II} , мДж	26,4	72,1	31	52	186	133	134	68	107	41	35	45
E_{II} , МПа	1621	1670	1328	1354	1666	1125	3838	679	3761	985	527	584
E_{II}^{OD} , МПа	2564	3141	2269	2747	2531	1848	5322	1391	5406	1250	1169	1244
σ_B , МПа	30,4	64,2	30,1	46,0	74,3	57,2	90,7	29,3	93,5	88,5	19,4	23,0
ε_B , %	1,29	2,66	1,46	2,10	3,45	3,97	1,96	2,89	2,05	7,88	2,39	2,70
A_B , мДж	37,3	174	44,7	99,4	364	354	290	159	260	92,6	84,6	116
E_B , МПа	1178	1140	924	834	1125	814	3013	388	2899	792	283	307
E_B^{OD} , МПа	2364	2413	2060	2194	2155	1441	4626	1014	4553	1124	812	854
F_P , Н	57	115	57	81	405	333	312	112	261	244	68	81
σ_P , МПа	33,1	69,8	31,8	49,0	81,2	63,4	106	37,6	111	100	24,5	28,9
Δl_P , мм	1,54	3,18	1,66	2,48	2,05	2,39	2,50	5,26	2,70	0,95	4,40	4,78
A_P , мДж	50,8	230	55,3	130	487	475	441	395	407	127	207	264
E_2 , МПа	971	1030	762	727	1012	739	2753	345	2641	701	251	281
E_{OD} , МПа	2144	2195	1910	1971	1978	1327	4243	715	4113	1059	557	604
n , сек	18,1	16,3	20,5	15,6	14,2	11,4	14,7	13,8	13,7	61,9	102	2,9
σ_I/σ_P , %	63,7	33,8	58,6	43,1	31,3	36,2	35,8	29,5	34,5	24,0	25,1	28,0
σ_{II}/σ_P , %	83,1	71,3	85,6	79,6	73,2	64,9	63,8	62,3	60,9	64,2	63,6	63,0
σ_B/σ_P , %	92,1	92,1	94,9	94,0	91,5	90,2	85,6	77,9	84,1	88,4	79,4	79,8
$\varepsilon_{уп}$, %	49,0	18,7	44,0	24,4	20,7	21,3	25,6	10,9	22,9	17,8	8,0	9,6
$\varepsilon_{зам}$, %	34,5	65,1	44,0	60,0	63,3	61,8	52,9	44,0	53,1	65,6	46,4	46,9
$\varepsilon_{пл}$, %	16,5	16,2	12,0	15,6	16,0	16,9	21,5	45,1	24,0	16,7	45,6	43,6
$A_{уп}$, %	26,4	4,7	21,3	7,8	5,4	6,3	7,9	2,4	6,4	3,6	1,3	1,7
$A_{зам}$, %	47,0	71,0	59,5	69,0	69,3	68,2	57,9	37,9	57,3	69,0	39,6	42,3
$A_{пл}$, %	26,7	24,3	19,2	23,3	25,3	25,5	34,2	59,7	36,3	27,4	59,1	56,0



« $F-\Delta l$ » и, соответственно, снижению жесткости и прочности материала на всех стадиях развития деформации, но при этом увеличивается эластичность и растяжимость.

Влияние ориентации волокна в образце на его деформационное поведение при растяжении выражено в наибольшей степени, рис.2, *з*. Кривые « $F-\Delta l$ » для образцов MD и CD чистоцеллюлозного крафт-лайнера, массой 150 г/м^2 , имеют наиболее отличающийся характер и подтверждают, что жесткость и прочность самих волокон существенно выше жесткости и прочности межволоконных связей.

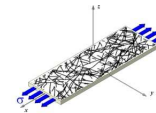
Вязкоупругость материала проявляется и в зависимости его деформационного поведения от масштабного фактора. Различие поведения образцов разной длины (10 и 100 мм) чистоцеллюлозного топ-лайнера, массой 125 г/м^2 в направления MD продемонстрировано на рис.2, *д*. Сокращение количества элементов структуры, способных к растяжению, приводит к снижению жесткости материала и ускорения релаксационных процессов при сохранении его прочности.

Влияние скорости испытания (5 и 200 мм/мин) на характер деформирования образцов чистоцеллюлозного крафт-лайнера (CD), массой 125 г/м^2 имеет реологическую природу и представлено на рис.2, *е*. Быстрое нагружение (при 200 мм/мин) и малая продолжительность испытания ($\sim 1,5$ сек) препятствует проявлению релаксационных процессов. При этом поведение материала в упругой зоне деформирования почти идентично, а основные различия проявляются в области замедленной упругости.

Подобные изменения характера деформирования и, как следствие, хода кривой «нагрузка-удлинение» могут наблюдаться, например, при введении наполнителя в композицию, использовании вторичных волокон с ороговевшей и восстановленной механической обработкой поверхностью, при введении упрочняющих добавок (катионного крахмала), изменении содержания лигнина в небеленом образце, и в некоторых других случаях.

Обобщенный анализ наблюдаемых закономерностей позволяет говорить о разнонаправленности влияния технологических факторов, и, следовательно, избирательности влияния на прочностные и деформационные свойства технической целлюлозы, бумаги и картона.

Ряд факторов приводят к одновременному изменению жесткости, прочности и растяжимости (рис.2, *а*, *б*, *е*): морфология волокна, степень помола, скорость растяжения. Воздействие сводится к повышению величины или роли межволоконных и внутриволоконных сил связи.



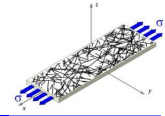
Действие другой группы факторов приводит к разнонаправленному воздействию на жесткость, прочность, и растяжимость: влажность, направление, длина образца. Снижение жесткости и прочности сопровождается увеличением растяжимости (рис.2, в, г, д). Воздействие данных факторов изменяет соотношение вкладов внутриволоконных и межволоконных сил связи в сопротивление материала деформированию.

Изменение условий проведения испытаний одного и того же материала дает специфическое воздействие на группы характеристик. Так, изменение длины образца (масштабный фактор) в малой степени влияет на измеряемую прочность, при этом диапазон изменения характеристик деформативности достаточно существенен. Варьирование скорости испытания мало отражается на характеристиках упругости и жесткости, а деформационные и прочностные характеристики изменяются существенно.

Проведенные многочисленные эксперименты позволили дать количественную оценку влияния технологических факторов на характеристики деформативности и прочности технической целлюлозы, бумаги и картона лабораторного и машинного изготовления, на основании которых разработаны математические модели для прогнозирования свойств бумаги и картона с использованием характеристик волокна и макроструктуры. Актуальность и структурная чувствительность деформационных характеристик позволили реализовать технологические мероприятия, улучшающие качество продукции на БДМ и КДМ ОАО «Архангельский ЦБК», ОАО «Монди Сыктывкарский ЛПК», ОАО «Соломбальский ЦБК» ОАО «Каравачево», ООО «Сухонский ЦБК», ОАО «Полотняно-Заводская бумажная фабрика» и других предприятиях отрасли.

Список литературы

1. Комаров, В.И. Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов [Текст] / В.И. Комаров – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. – 440 с.
2. Свид. № 2001610526 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программное обеспечение лабораторного испытательного комплекса для оценки деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов (KOMPLEX). / Я.В. Казаков, В.И. Комаров; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО АГТУ (RU). – № 2001610250; заявл. 11.03.2001; опубл. 10.05.2001, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.
3. Комаров, В.И. Анализ механического поведения целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей нагрузки [Текст] / В.И. Комаров, Я.В. Казаков // Лесной вестник МГУЛ. – 2000. – №3 (12). – С.52-62.



АНАЛИЗ РАВНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МАКРОСТРУКТУРЫ БУМАГИ В 2-D И 3-D ПРОЕКЦИЯХ

В.В. Абрамова, А.В. Гурьев, М.А. Холмова, О.Б. Дмитриева

Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

Обоснован и апробирован метод исследования равномерности формирования макроструктуры бумаги на основе использования достижений современных информационных технологий, позволяющих доступными средствами получать и оценивать количественно изображения волокнистых структур двумерном и трехмерном виде.

THE ANALYSIS OF FORMATION UNIFORMITY OF A PAPER MACROSTRUCTURE IN 2-D AND 3-D PROJECTIONS

V. Abramova, A. Guriev, M. Holmova, O. Dmitrieva

Northern (Arctic) federal university, Arkhangelsk, Russia

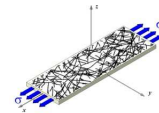
The method of research of uniformity of formation of a macrostructure of a paper on the basis of use of achievements of the modern information technologies, allowing by accessible means to receive and estimate quantitatively images of fibrous structures a two-dimensional and three dimensional kind is proved and approved.

На равномерность макроструктуры бумаги и формирование физико-механических и других потребительских характеристик оказывают влияние практически все стадии и факторы и явления, связанные с формированием бумажного полотна.

Неравномерность макроструктуры бумажного полотна тесно связана с флокуляцией и хлопьеобразованием в бумажной массе. Основными факторами, влияющими на степень флокуляции и равномерность макроструктуры являются [1]:

- вид волокнистых полуфабрикатов и композиция;
- концентрация бумажной массы, степень и характер разработки волокон;
- наличие флокулирующих и дефлокулирующих добавок;
- условия напуска, формования и обезвоживания бумажного полотна.

При исследовании структуры бумаги различают два понятия, характеризующиеся терминами «formation» и «consolidation» [2]. Первое понятие относится к области просвета, выражаемой колебаниями оптической плотности структуры при ее рассмотрении в проходящем свете. Второе (целостность, или связанность материала) характеризуется рядом факторов и, в первую очередь, распределением мелкого волокна и наполнителей в



структуре бумаги, ориентацией волокон и их агломератов, а также величиной межволоконных сил связи.

Долгое время неоднородность бумажного полотна определялась «на глаз» на основе изучения неравномерности прохождения света через лист бумаги. Однако, начиная с 60-х годов, были разработаны различные приборы для объективной количественной оценки просвета бумаги. В настоящее время неравномерность или напротив, равномерность структуры бумажного листа исследуют с применением различных источников излучения в широких волновых и энергетических диапазонах. Прежде всего, это оптические, в том числе лазерные, установки, приборы с зарядовой связью (фотоэлектрические ПЗС-камеры), β и рентгеновское излучение, а также излучения в радиочастотном и ультразвуковом диапазонах [3].

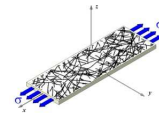
Несмотря на обилие предлагаемых методов, преимущественное распространение для лабораторных исследований и оперативного on-line контроля получили устройства оптического сканирования с применением проходящего или отраженного света. Современные приборы позволяют дать количественную оценку макроструктуры бумаги по оптическим характеристикам, заменяя визуальный качественный анализ формования на просвет (облачность).

Вместе с тем, применяемые на практике методики обработки результатов оптического сканирования, номенклатура характеристик просвета бумаги и способы визуализации неравномерности макроструктуры существенно разнятся.

Количественная оценка размеров, формы и ориентации волокон в структуре бумаги, характеристик неоднородности макроструктуры, а также установленные корреляционные зависимости между оптическими и физико-механическими характеристиками позволяют получить инструмент для прогнозирования свойств бумаги и управления ее качеством с целью получения материала с заданными свойствами.

В качестве источника получения информации в наших исследованиях, в начале был использован оптический фотосканер HP Scanjet G2710 с заданным разрешением, позволяющим получить изображение «на просвет» в проходящем свете. Для обработки сканированных изображений участков структуры бумаги разработана компьютерная программа.

Ее алгоритм позволяет рассчитывать геометрические параметры неоднородности макроструктуры (средний размер флокул в машинном и поперечном направлениях, средний диаметр флокул) и анализировать харак-



теристики неравномерности распределения массы (избыток, недостаток, неравномерность распределения массы и соотношение массы) в образце. На основе геометрических параметров неоднородности определяется степень анизотропии структуры бумаги производственного изготовления, как отношение среднестатистических размеров неоднородности в машинном и поперечном направлениях.

Помимо представления результатов измерения яркости отдельных точек образца, методика и алгоритм, реализованные в программе, позволяют проиллюстрировать динамику изменения неравномерности формирования макроструктуры бумаги в зависимости от влияющих факторов в виде гистограмм распределения яркости. На гистограммах по оси абсцисс располагаются интервалы значений яркости, а по оси ординат – относительное число точек в заданном интервале яркости. Более высокая и узкая гистограмма соответствует лучшему просвету, что количественно характеризуется индексом формования, определяемым как отношение высоты гистограммы к ее ширине.

С точки зрения неравномерности распределения массы в образце и с позиции оптической неоднородности макроструктура бумаги представляет собой тонкий лист, на обеих поверхностях которого расположены выступы (флокулы) и впадины (промоины). Это проиллюстрировано на рис. 1, применительно к образцам небеленой и беленой хвойной целлюлозы с различной степенью флокуляции.

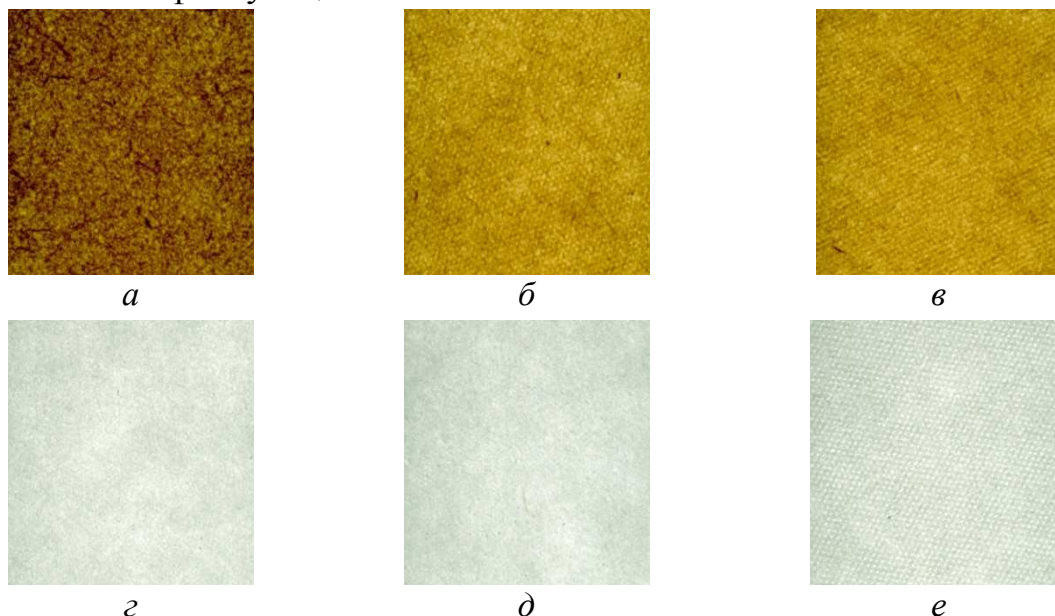
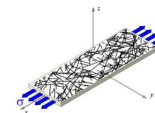


Рис. 1. Влияние способа размола на равномерность просвета в лабораторных образцах небеленой (а,б,в) и беленой (z,д,е) хвойной целлюлозы: а, z – без размола; б, д – размол в ролле до 20 °ШР; в, е – размол в ЦРА до 20 °ШР



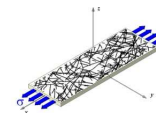
В табл. 1 представлены характеристики неоднородности макроструктуры указанных образцов, рассчитанные по данным оптического сканирования. Улучшение равномерности формования наблюдается при снижении показателей неоднородности, контрастности и неравномерности просвета бумаги. Минимальные значения которых обнаружены при использовании беленой целлюлозы размолотой в ЦРА до 20 °ШР и в ролле до 40 °ШР. Причем значения показателей для обоих видов полуфабрикатов в этих случаях достигают близкого уровня.

Таблица 1. Результаты определения неоднородности просвета изотропных образцов бумаги

Вид целлюлозы	Способ обработки	Степень помола, °ШР	Неоднородность	Светопропускание	Контрастность	Индекс просвета	Средняя яркость	Избыток массы	Недостаток массы	Неравномерность массы	
беленая	без размола	15	8,9	0,79	4,4	6,1	201	0,80	0,87	1,67	
		размол в ролле	20	7,9	0,87	3,6	8,9	222	0,70	0,67	1,37
			40	7,7	0,89	3,4	8,3	229	0,63	0,62	1,25
	размол в ЦРА	60	8,5	0,90	3,7	8,1	231	0,73	0,82	1,55	
		20	7,7	0,87	3,5	8,7	222	0,61	0,66	1,27	
		40	7,9	0,87	3,5	8,2	223	0,66	0,67	1,33	
	небеленая	без размола	60	9,0	0,86	4,1	7,2	219	0,84	0,79	1,63
			15	19,8	0,32	23,9	1,5	83	2,09	2,30	4,38
			размол в ролле	20	12,4	0,55	8,9	3,1	140	1,21	1,23
40		13,1		0,56	9,2	2,8	142	1,29	1,31	2,60	
размол в ЦРА		60	14,1	0,55	10,1	2,5	140	1,38	1,47	2,85	
		20	11,9	0,56	8,2	3,4	144	1,04	1,19	2,23	
	40	12,2	0,64	7,5	3,0	163	1,28	1,18	2,46		
		60	13,2	0,62	8,4	2,7	158	1,39	1,39	2,78	

Применительно к небеленой целлюлозы минимальные значения показателей неоднородности, контрастности и неравномерности просвета бумаги наблюдаются при размоле массы до степени помола 20 °ШР независимо от вида размалывающего оборудования. С увеличением степени помола массы индекс формования возрастает независимо от вида полуфабриката и размалывающего оборудования.

Однако перечисленные методы исследования требуют длительных временных и значительных финансовых затрат. Авторами предложена простая и перспективная методика для оценки равномерности формования



в трехмерной системе координат с использованием общедоступной программы для отображения и анализа 3-D изображений – ImageJ. Пример представлен на рис. 2.

Программа потенциально позволяет проводить измерения площади, периметра, значений яркости и многих других показателей изображения, а также оценивать градуировки по стандартам плотности изображения и формировать гистограммы и профили полотна по заданным направлениям.

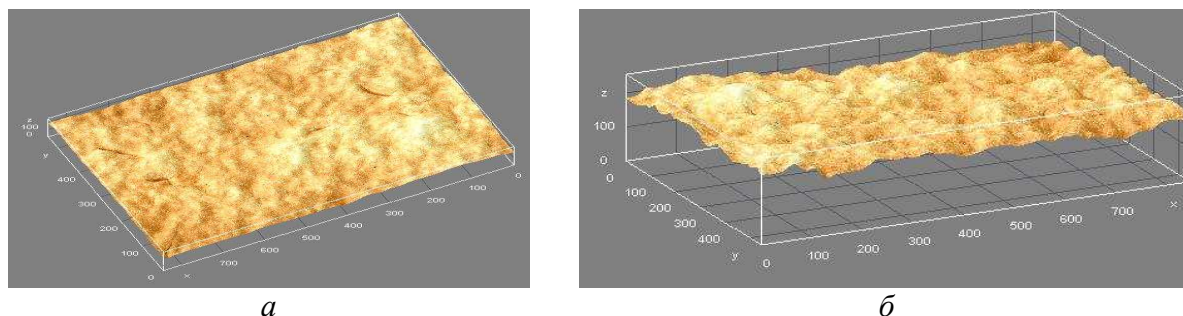
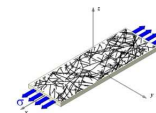


Рис. 2. Пример изображения структуры бумаги в трехмерной системе координат:
a – вид сверху; *б* – вид сбоку

Исследования волокнистых сетчатых структур необходимо для лучшего понимания механизмов влияния технологических процессов и особенностей сырья на формирование этих структур. При этом также могут использоваться различные подходы. В начале 1980-х наиболее широко используемым методом для изучения поверхности и поперечных сечений образцов стала сканирующая электронная микроскопия (SEM). Позже, для исследования трехмерных волокнистых структур успешно использовалась рентгеновская микротомография.

При разработке и оптимизации новых технологических процессов в мировой практике широко используются методы моделирования с применением компьютерных технологий. Разработанная на основе экспериментальных исследований 3-D модель дает возможность рассмотреть толщину сетки и соответственно волокна, также предоставить информацию об объемной структуре или гладкости материала. Фактически, бумага – это трехмерная структура, которая непосредственно определяет плотность, пористость, проницаемость, и некоторые оптические свойства.

Данный подход апробирован для анализа равномерности формирования структуры модельных образцов мешочной бумаги из небеленой хвойной сульфатной целлюлозы производства «филиала «группы Илим» в г. Коряжма.



Оценка равномерности формирования образца в 2-D и 3-D изображениях представлена в табл. 2 и на рис.3 применительно к образцам массой от 60 до 90 грамм, изготовленных из целлюлозы, размолотой в ЦРА до 22 °ШР.

В условиях закономерного снижения светопропускания образцов и средней яркости установлено, что минимальным индексом просвета обладают лабораторные образцы мешочной бумаги массой 1 м² 80 г. Вместе с тем, эти же образцы имеют наибольшее значение контрастности, неоднородности и неравномерности распределения массы.

Указанные факты свидетельствуют о том, что характеристики просвета и равномерность формирования изотропной структуры бумаги в целом, обусловлены как плотностью упаковки индивидуальных волокон по толщине и площади листа в среднем, так и структурно-размерным распределением отдельных флокул. При этом близкие значения средних размеров флокул в перпендикулярных направлениях сканирования и значения показателя анизотропии, находящиеся в диапазоне 0,90...1,01, указывают на практическое отсутствие ориентационных эффектов, т.е. подтверждают изотропность формирования структуры.

С ростом массы 1 м² лабораторных образцов мешочной бумаги с 60 до 90 г индекс формирования увеличивается в среднем на 10,9 %. На рис. 3 изображены примеры модельных изотропных образцов мешочной бумаги в трехмерной системе координат, при степени помола 22 °ШР.

Таблица 2. Результаты определения неоднородности просвета лабораторных образцов мешочной бумаги

Характеристики просвета	Масса 1 м ² образцов, г			
	60	70	80	90
Неоднородность	10,9	12,2	13,1	10,3
Светопропускание	0,88	0,78	0,70	0,61
Контрастность	4,9	6,11	7,36	6,57
Индекс просвета	4,2	3,4	2,7	6,7
Средняя яркость	225	201	178	157
Избыток массы	1,03	1,10	1,23	0,94
Недостаток массы	1,07	1,14	1,45	1,00
Неравномерность массы	2,10	2,25	2,68	1,94

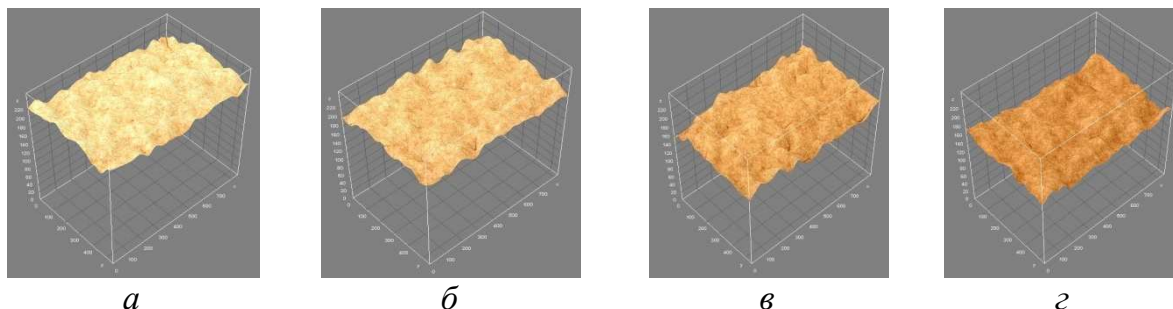
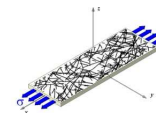
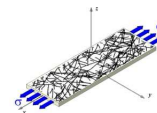


Рис. 3. Примеры модельных изотропных образцов мешочной бумаги в трехмерной системе координат при степени помола 22 °ШР: *а* – 60 г/м²; *б* – 70 г/м²; *в* – 80 г/м²; *г* – 90 г/м²

Визуализация результатов оптического сканирования в виде 3-D изображения структур качественно подтверждает отмеченные эффекты, вызванные изменением массы 1 м² образцов. Таким образом, развитие современных высокотехнологичных и общедоступных компьютерных программ при их дальнейшей адаптации к особенностям формирования дискретно анизотропной структуры бумаги, позволяет в ближайшей перспективе возможность создания простого и низкзатратного программно-аппартного комплекса для исследования волокнистых структур и их моделей в двухмерных и трехмерных проекциях.

Список литературы:

1. Махотина, Л.Г. Исследование влияния химикатов для флокуляции бумажной массы на процесс формования бумаги для печати [Текст]. / Л.Г. Махотина, Т.В. Мандре, А.Ю. Мандре, О.А. Логинов, В.В. Тесленко, Э.Л. Аким. // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2002. – № 5-6. – с.20-27.
2. Фляте, Д.М. Свойства бумаги [Текст]. // Д.М. Фляте. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. –680 с.
3. Белавин, В.А. Измерение неравномерности просвета бумаги. Технология бумаги и картона [Текст]. // Межвузовский сборник научных трудов ЛТИ ЦБП, 1989.



ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ СВОЙСТВ ПРИРОДНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ И ПРОДУКТОВ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТОДАМИ АТОМНО-СИЛОВОЙ, ЭЛЕКТРОННОЙ И ОПТИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ

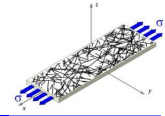
А.Г. Ульяненко, В.С. Власенко, И.А. Башкова, В.А. Плешанов, К.А. Атласов
ООО «ОПТЭК», Санкт-Петербург, Россия

RESEARCHES AND THE ANALYSIS OF PROPERTIES OF NATURAL VEGETATIVE OBJECTS AND PRODUCTS OF THEIR PROCESSING BY METHODS OF ATOMNO-POWER, ELECTRONIC AND OPTICAL MICROSCOPY

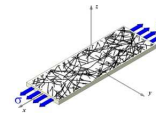
A. Ulyanenko, V. Vlasenko, I. Bashkova, V. Pleshanov, K. Atlasov
ООО «ОПТЕС» Saint-Petersburg, Russia

Классическим методом контроля свойств природных растительных объектов и продуктов их переработки считается оптическая микроскопия. Carl Zeiss расширяет возможности оптической микроскопии и предлагает наравне с исследованиями в светлом и темном полях, поляризационными методами, контрастированием в проходящем и отраженном свете, такие уникальные методики как C-DIC, корреляционная микроскопия, а также лазерная сканирующая, конфокальная микроскопия для контроля качества продукции. Программное обеспечение, специально разработанное для каждого из методов, превосходно подходит для анализа и статистической обработки получаемых изображений.

В последнее время перешел в разряд классических методов и метод атомно-силовой микроскопии, разработанный в восьмидесятые годы прошлого столетия. Наиболее простым в обращении атомно-силовым микроскопом для исследования природных и растительных объектов является микроскоп BioScope Catalyst. Атомно-силовой микроскоп способен измерять рельеф образца, погруженного в жидкость, что позволяет работать с органическими молекулами и биологическими объектами. Микроскоп оснащен несколькими типами держателей, включая держатели для чашек Петри разного размера, и имеет термостатируемый нагревательный элемент, дающий возможность проводить длительные эксперименты с живыми клетками.



Все возрастающий интерес ученых к исследованиям в нанометровом диапазоне приводит нас к необходимости искать новые методы исследований и использовать в работе электронные микроскопы. Электронные микроскопы уже зарекомендовали себя как превосходные прецизионные инструменты для исследования и анализа природных объектов. Имеющаяся в микроскопах серии ULTRA система компенсации заряда, позволяет проводить исследования биологических объектов в условиях высокого вакуума без длительной предварительной подготовки поверхности образцов. При этом накопленный на поверхности образца статический заряд снимается потоком газа, позволяя получать высококонтрастное изображение при исследовании непроводящих образцов на нанометровом уровне. Одной из последних разработок компании Carl Zeiss является электронный MERLIN. Его особенностью стала возможность широко варьировать рабочие токи. MERLIN – это идеальный инструмент для быстрого получения изображения с высоким разрешением объектов живой природы.



МОДЕЛЬ СТРОЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ РАССМОТРЕНИИ ПРОЦЕССОВ РАЗМОЛА

Д.А. Сухов

Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, Санкт-Петербург, Россия

Приведены данные об особенностях водородных связей в целлюлозных волокнах. Рассмотрены основные положения новой модели строения физической структуры целлюлозы. Показано, что процесс размола сопровождается не только фазовым, но и частичным модификационным переходом целлюлозных макромолекул ЦI в целлюлозу ЦII.

MODEL OF CELLULOSE PHYSICAL STRUCTURE AND ITS APPLICATION TO FIBER REFINING PROCESS STUDY

D.A. Sukhov

Saint-Petersburg state technological university of plant polymers, Saint-Petersburg, Russia

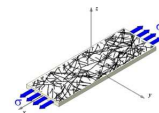
The cellulose OH-bonding systems and physical structural model are there in consideration. Refining process stimulates polymer chain phase and modification transformations.

В данной статье для описания наноразмерных структурных изменений в растительном полимере использованы возможности основных методов молекулярной спектроскопии – спектроскопии комбинационного рассеяния света (СКРС) и инфракрасной Фурье-спектроскопии (ИКФС).

Эти физические методы позволяют детально рассматривать вопросы конформационного и фазового состояния целлюлозных макромолекул. Известно, что существуют два стабильных структурных состояния полимерных цепей: ЦI – в кристаллитах нативной (природной) и ЦII – в кристаллитах регенерированной (мерсеризованной) целлюлозы. Основополагающую роль в строении полисахарида играют водородные связи.

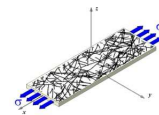
Для экспериментального изучения водородных связей нами были получены поляризационные спектры КРС модификационно-однородных и пространственно-ориентированных моноволокон целлюлоз рами ЦI и ЦII в области частот валентных колебаний их гидроксильных групп. Применение методов дейтерозамещения и математического улучшения разрешения спектральных полос позволило уточнить число и вид водородных связей в упорядоченных областях волокон и предложить схемы их строения.

Эксперимент показал, что целлюлозы различаются пространственным расположением водородных связей. Структурное состояние скелета



природной целлюлозы ЦІ стабилизировано сложной и развитой системой внутри- и межмолекулярных ОН-связей. В макромолекулах целлюлозы ЦІІ все гидроксильные группы, включая гидроксиметильные, полностью вовлечены во внутримолекулярные водородные связи двух типов, а межцепные взаимодействия реализованы лишь за счет сил Ван дер Ваальса. Кроме того, спектральные полосы гидроксидов целлюлозы ЦІІ проявляют высокочастотный сдвиг по сравнению со спектром гидроксидов целлюлозы ЦІ. Отсюда следует, что макромолекулярная конформация ЦІІ является энергетически более выгодной, чем конформация природной целлюлозы. Можно также отметить, что в спектрах целлюлозных ОН-групп полос, принадлежащих свободным гидроксильным группам, не обнаружено. Указанные различия в характере межцепных взаимодействий проявляют себя на всех структурных уровнях и позволяют объяснить основные различия в поведении и свойствах волокон этих модификаций. Спектральные особенности целлюлоз двух модификаций наблюдаются не только в высокочастотной области валентных колебаний их гидроксильных групп, но и в других спектральных диапазонах.

Важным преимуществом молекулярной спектроскопии, например, по сравнению с методом рентгеноструктурного анализа (РСА), является возможность изучения неупорядоченных областей полимера. Мы исходили из предположения, что спектры этих областей не должны принципиальным образом отличаться от спектров упорядоченных областей, поскольку химические связи сохраняются неизменными. Для экспериментального подтверждения были использованы методы дейтерозамещения (замещение протонов полисахарида атомами дейтерия в условиях обработки волокон парами тяжелой воды D_2O) и спектроскопии инклюдированных молекул. Анализ полос валентных колебаний ОД-групп дейтерозамещенных образцов показал, что спектры КРС этих групп, входящих в состав неупорядоченных областей целлюлоз ЦІ и ЦІІ, по форме и частотному сдвигу напоминают спектры незамещенных гидроксидов упорядоченных областей. Это доказывает схожесть строения водородных связей, входящих в состав упорядоченных и неупорядоченных областей в каждой из этих целлюлоз. ИК-спектры молекул ацетона, внедренных в неупорядоченные области образцов ЦІ и ЦІІ также подтвердили различия в строении их неупорядоченных областей. Таким образом, эксперименты показали, что неупорядоченные области не являются аморфными в полном смысле этого понятия, а обладают вполне определенным уровнем своей структурной органи-



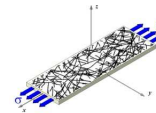
зации во многом сохраняя конформации макромолекул упорядоченных областей соответствующих целлюлоз.

Для проведения фазового анализа, то есть оценки относительного содержания в образце упорядоченных и неупорядоченных областей, при обработке спектров была использована операция Фурье-самодеконволюции (ФСД). Она позволила выделять узкие полосы упорядоченной фракции целлюлозы на фоне широких полос поглощения неупорядоченных областей, измерять их интегральную интенсивность и, тем самым, оценивать количество упорядоченной фракции в образце. Деконволюцированные спектры поглощения различных образцов хлопка и древесных целлюлоз показали хорошую корреляцию параметра интегральная интенсивность полос с данными РСА по степени кристалличности этих образцов. При этом значения спектрального параметра $\text{Ц}_{\text{уп}}$ изменялись в более широком диапазоне, чем данные метода РСА. Это подтвердило ранние предположения Марринана о чувствительности колебательных спектров к фазовому состоянию целлюлозных макромолекул из-за способности метода оценивать состояние локальной упорядоченности химических и водородных связей.

Результаты систематической работы позволили выявить характерные спектральные признаки упорядоченных и неупорядоченных областей целлюлоз ЦI и ЦII. Статистический анализ положения и интенсивностей полос в спектрах большого числа целлюлоз различного происхождения и обработок позволил высказать предположение о том, что в ряде случаев спектры могут содержать признаки четырех структурных составляющих, которым соответствуют области молекулярно-упорядоченной и неупорядоченной природной целлюлозы ЦI, а также области молекулярно-упорядоченной и неупорядоченной целлюлозы ЦII. На этом основании для описания модификационно-фазового структурного состояния целлюлозных макромолекул нами была предложена четырехкомпонентная модель:

$$\text{Ц} = \text{ЦI} + \text{ЦII} = \text{Ц}_{\text{уп}} + \text{Ц}_{\text{неуп}} + \text{ЦII}_{\text{уп}} + \text{ЦII}_{\text{неуп}}$$

В соответствии с этой моделью целлюлозный образец, в общем случае, может рассматриваться как суперпозиция четырех углеводных компонентов. Разработан алгоритм количественной оценки этих компонентов и компьютерная программа для их определения из спектра. Исследование структурных изменений целлюлозы при щелочных обработках доказали эффективность четырехкомпонентной модели при количественном описа-

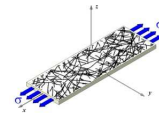


нии сложных процессов перестройки полимерных цепей, протекающих в ходе процессов мерсеризации.

Следует отметить, что в технической целлюлозе и других образцах, неподвергнутых сильным щелочным обработкам, компонент $\text{ЦШ}_{\text{уп}}$ отсутствует. При этом в спектрах присутствуют три остальных компонента: $\text{ЦШ}_{\text{уп}}$, $\text{ЦШ}_{\text{неуп}}$ и $\text{ЦШ}_{\text{неуп}}$. Компонент $\text{ЦШ}_{\text{неуп}}$ представляет собой области, образованные частями макромолекул конформации Ц , составляющими внутренние области фибриллярных структурных единиц, в которых строго заданный порядок в структуре цепей частично нарушен различными включениями или другими дефектами, типа концевых групп макромолекул. В отличие от $\text{ЦШ}_{\text{неуп}}$, компонент $\text{ЦШ}_{\text{неуп}}$ представляет собой неупорядоченные области, образованные более дефектными макромолекулами поверхностных областей кристаллитов. Их цепи не имеют возможности полностью воспроизвести систему водородных связей, которую имеют внутренние макромолекулы. Это означает, что поверхностные макромолекулы имеют конформацию, отличающуюся от конформации макромолекул внутренних частей. Кроме этого, в эти области могут входить макромолекулы, содержащие дефектные звенья. Схожесть спектров выделенных гемицеллюлоз со спектрами $\text{ЦШ}_{\text{неуп}}$ позволяет считать, что этот спектральный компонент включает в себя также области, образованные гемицеллюлозными составляющими. Как отмечалось выше, определенный вклад в компонент $\text{ЦШ}_{\text{неуп}}$ могут вносить макромолекулярные цепи, подвергнутые воздействию, способным вызвать нарушения системы Н-связей природной целлюлозы.

Параметры разработанной модели модификационно-фазового строения целлюлозы, являясь важнейшими характеристиками ее надмолекулярной структуры, позволяют на количественном уровне описывать влияние различных технологических процессов на углеводный компонент волокна. Все имеющие практическое значение образцы являются фазово- и модификационно неоднородными, так как кроме упорядоченных и неупорядоченных областей природной целлюлозы, они содержат аморфный углеводный компонент, спектр которого подобен спектру неупорядоченной целлюлозы ЦШ .

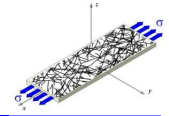
Принципиальной новизной рассматриваемой модели строения целлюлозы является то, что она позволяет одновременно учитывать как фазовую, так и широко обсуждаемую в литературе модификационную неоднородность целлюлозных образцов. По нашим данным древесные целлюлозы более аморфные (65-80 %), чем это оценивает метод РСА. Содержание



природной упорядоченной целлюлозы в неразмолотых образцах составляет 15-30 %, а не порядка 65 %, как это следует из данных РСА, содержание природной неупорядоченной целлюлозы 25-30 % (этот компонент методом РСА не фиксируется). Содержание сокомпонента ЦП_{неуп} в волокнистом полуфабрикате может достигать 50 % и более, то есть практически вся древесная целлюлоза является в значительной степени модификационно неоднородной. При этом содержание компонента ЦП_{неуп} в лиственной целлюлозе, как правило, выше, чем в хвойной целлюлозе, что связано с большим содержанием гемицеллюлоз и большей дефектностью ее структуры.

Помимо характеристики углеводных параметров метод ИКФС позволяет оценивать в образцах относительное содержание и уровень структурной организации другого важного компонента – прочно связанной остаточной воды. Справедливость данного способа описания результатов технологических воздействий подтверждается наличием корреляций между спектральными параметрами, характеризующими структурное состояние волокон, и результатами их физико-механических испытаний. Так, при исследовании изменений состава и структуры основных компонентов стенки волокна хвойной древесины в процессе сульфатной варки подтверждена взаимосвязь прочности единичного волокна со степенью совершенства его надмолекулярной структуры (величина параметра ЦП_{уп}). Выявлена корреляция параметра межволоконные силы связи со степенью структурной упорядоченности молекул остаточной воды. При анализе отливок из неразмолотых волокон различного уровня делигнификации установлена корреляция прочностных характеристик со структурными параметрами целлюлозы и остаточной воды. В отличие от прочностных характеристик, деформационные характеристики и параметр пухлость коррелируют с относительным содержанием компонентов волокна. Таким образом, было выявлено, что бумагообразующие свойства полуфабриката зависят от уровня структурной организации целлюлозной матрицы и молекул прочносвязанной воды. Результаты исследования неразмолотых волокон подтвердили известную гипотезу о когезионной природе межволоконных связей, предусматривающую взаимное пространственное упорядочение гидроксильных групп, образующих водородные связи между контактирующими волокнами.

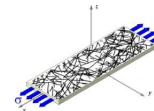
Для учета влияния процессов размола на целлюлозное волокно были рассмотрены структурные изменения, сопровождающие его размол в центробежном размалывающем аппарате. Результаты спектроскопического исследования волокон хвойной сульфатной целлюлозы с содержанием лиг-



нина 3 % на разных этапах размолы показали, что определенному механическому воздействию подвергается лигнин и углеводный компоненты. Частичная механическая деструкция остаточного лигнина уменьшала его вклад в спектр волокна. В процессе размолы до 60 °ШР более заметным было увеличение содержания остаточной воды, также происходило увеличение содержания компонента ЦП_{неуп} при одновременном снижении доли углеводных составляющих природной целлюлозы ЦП_{уп} и ЦП_{неуп}. Таким образом, эксперимент показал, что с увеличением длительности механического воздействия наблюдается разрушение межцепных и внутримолекулярных водородных связей, характерных для областей природной целлюлозы. При этом полимерные цепи за счет перестройки водородных связей принимают энергетически более выгодную конформацию ЦП. Такие области волокон, по сравнению с областями природной целлюлозы, имеют большую удельную поверхность и большую способность к набуханию в воде. Результаты показали, что при размолке содержание прочно связанной воды в волокне меняется симбатно с содержанием неупорядоченных областей целлюлозы ЦП. Можно считать, что оба этих параметра являются важными количественными характеристиками процессов внутренней и внешней фибрилляции волокон, сопровождающих размол. Средняя энергия водородных связей в областях ЦП меньше, чем в Ц. Это облегчает процессы их перестройки при взаимодействии с водой и увеличивает эффективность сближения волокон и их удержание в контакте в условиях формования бумажного листа.

Анализ размолотых волокон подтвердил справедливость гипотезы об адгезионной природе межволоконных связей, предполагающей образование при размолке клееподобного гидрата целлюлозы. Тенденцию модификационного перехода при механическом воздействии подтверждает эксперимент по размолу в шаровой мельнице хлопковых волокон. При длительном сухом размолке получается образец, спектр которого полностью идентичен аморфной ЦП.

Результаты работы показали, что ИК-Фурье спектроскопия является эффективным методом исследования влияния условий размолы на структуру целлюлозных волокон на количественном уровне и ее возможности могут быть использованы при оптимизации этого энергоемкого производственного процесса.



ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВАРКИ И ПОРОДНОГО СОСТАВА СЫРЬЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕФОРМАТИВНОСТИ И ПРОЧНОСТИ ЛИСТВЕННОЙ СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Ю.В. Севастьянова, **В.И. Комаров**, Л.А. Миловидова

Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

При изучении деформационных и прочностных свойств лиственной сульфатной целлюлозы, являющейся в настоящее время одним из основных полуфабрикатов при производстве высококачественных печатных видов бумаг, установлено, что породный состав щепы (соотношение березы и осины) основной фактор, определяющий эти характеристики.

EFFECT OF COOKING PARAMETERS AND SPECIES OF RAW MATERIALS ON DEFORMABILITY AND STRENGTH CHARACTERISTICS OF HARDWOOD KRAFT PULP

Y. Sevastyanova, **V. Komarov**, L. Milovidova

Northern (Arctic) Federal University named of M.V. Lomonosov

In the study of deformation and strength properties of hardwood kraft pulp, which is currently one of the main semi-finished products in the manufacture of printed vysokachestvennyh kinds of paper, found that the species composition of wood chips (the ratio of birch and aspen), the main factor determining these characteristics.

На первом этапе эксперимента детально исследовали влияние параметров сульфатной варки на комплекс физико-механических свойств лиственной целлюлозы. Серия варок проводилась при следующих условиях: гидромодуль 4, сульфидность белого щелока 25 %, начальная температура варки 70 °С, конечная температура – 160, 165, 170 °С, начальная концентрация активной щелочи – 40, 45, 52 и 55 г/л, продолжительность стоянки на конечной температуре – 90 мин. Основные характеристики прочности и деформативности определялись в образцах массой 1 м² – 75 г, изготовленных из волокон со степенью помола 30 °ШР.

Как следует из представленных в табл. 1 данных, при проведении варок на температурах 160 °С во всем интервале исследованных концентраций активной щелочи и – 165 °С до концентрации 55 г/л повышение концентрации активной щелочи не приводит к снижению разрывной длины (L) и сопротивления раздиранию (R), несмотря на снижение вязкости целлюлозы η . На эти показатели не оказывает влияние и снижение числа Каппа.

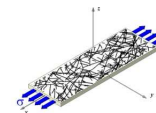


Таблица 1. Влияние основных условий варки на показатели небеленой лиственной целлюлозы

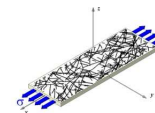
Т °С	С, г/л	Показатели целлюлозы				
		число Каппа	η , мл/г	L , м	N , ч.д.п.	R , мН
160	45	20,3	995	12100	1100	480
	52	16,3	1032	12300	900	430
	55	14,6	860	12200	970	460
165	40	16,0	1000	13250	1200	380
	45	16,0	850	13300	900	430
	52	15,6	944	13300	900	440
	55	14,8	815	13200	800	430
170	40	20,3	1100	12550	1000	450
	45	18,2	740	12600	940	410
	52	14,5	590	11900	750	430
	55	13,3	630	11200	700	370

При повышении температуры до 170 °С увеличение концентрации активной щелочи до 52 г/л приводит к небольшому снижению L и существенному снижению сопротивления излому (N). Образцы с низкими значениями R имели и низкие значения вязкости (η).

Выполненный эксперимент показал нецелесообразность варки лиственной целлюлозы при высоких температурах, при этом установлено, что оптимальной концентрацией активной щелочи при варке лиственной целлюлозы является концентрация 52 г/л.

Для наиболее наглядного отображения влияния температуры и расхода щелочи на свойства полуфабриката на рис. 1 представлены зависимости « σ – ε » полученные при испытании образцов на растяжение. Из данных рисунка следует что повышение температуры варки до 170 °С для всех исследованных концентраций активной щелочи в варочном растворе приводит к существенному снижению деформационных характеристик небеленой сульфатной лиственной целлюлозы. При этом необходимо отметить, что повышение концентрации активной щелочи в варочном растворе одинаково влияет на изменение разрушающего напряжения (σ_p) целлюлозы для всех исследованных температур варки – $\Delta\sigma_p$ составляет 14...15 %.

Одновременное повышение концентрации активной щелочи и температуры варки приводит к существенному изменению разрушающей деформации (ε_p), причем при повышении концентрации активной щелочи от 40 до 55 г/л при температуре варки 160 °С деформация разрушения



уменьшается на 7...8 %, а для образцов полученных при температуре варки 170 °С эта разница составляет 12 %.

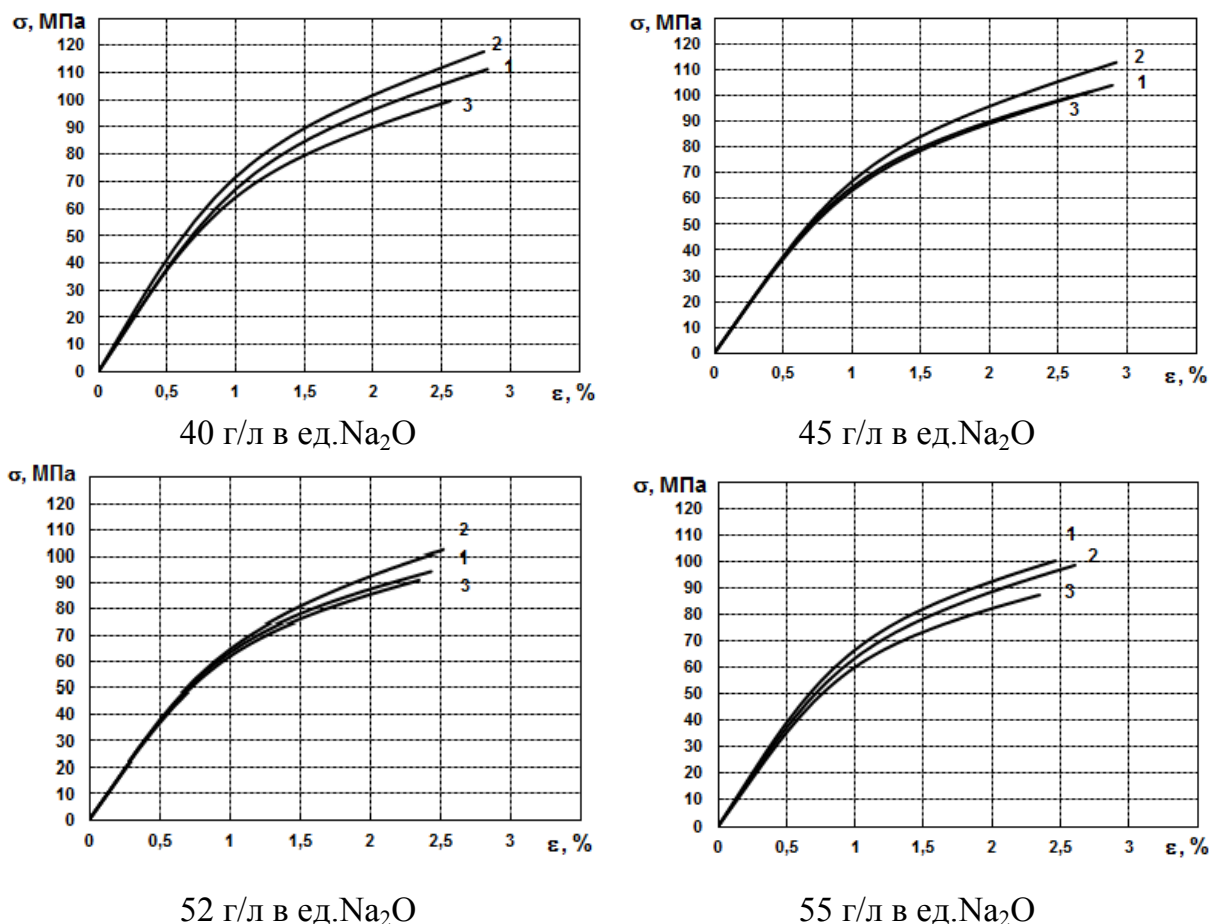
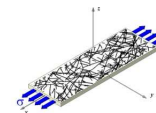


Рис. 1. Влияние температуры варки на ход кривых зависимости « σ – ϵ », полученных при испытании образцов небеленой лиственной сульфатной целлюлозы: 1 – 160 °С; 2 – 165 °С; 3 – 170 °С

Таким образом, изменение температуры варки в пределах до 165 °С и концентрации активной щелочи до 55 г/л при постоянном соотношении породного состава щепы не оказывают заметного влияния на прочностные характеристики лиственной целлюлозы при близких значениях числа Каппа. Повышение температуры варки до 170 °С приводит к снижению вязкости небеленой целлюлозы и некоторому снижению прочности и растяжимости образцов.

Одним из основных факторов, влияющих на свойства лиственной сульфатной целлюлозы, является породный состав щепы. На настоящий момент времени подробно изучены фундаментальные свойства сульфат-



ной целлюлозы из березовой или осиновой древесины и показано, что имеются существенные различия.

Для исследования свойств сульфатной целлюлозы, полученной при различном соотношении осиновой и березовой древесины в щепе, были проведены лабораторные варки. Содержание березовой древесины в щепе составило 100, 75, 50, 25, 0 %. Условия варки: температура – 160 °С; расход активной щелочи – 17 % в ед. Na₂O; гидромодуль 3; продолжительность стоянки 60 и 90 минут.

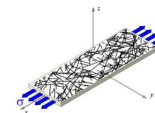
Полученные образцы лиственной сульфатной целлюлозы имели разную степень делигнификации. В табл. 2 представлены результаты варок и химического анализа полученных образцов целлюлозы.

Таблица 2. Влияние породного состава сырья на показатели небеленой лиственной целлюлозы

Береза:осина, %	τ, мин	V _ц , %	Число Каппа	Содержание в целлюлозе		
				лигнина, %	ЭВ, %	Hex-A, моль/г
100:0	60	55,2	24,0	3,1	1,56	28,8
75:25		54,9	23,3	3,2	1,20	28,0
50:50		54,4	21,3	3,1	1,14	17,5
25:75		53,7	19,7	2,6	1,03	15,8
0:100		53,9	18,3	2,2	1,00	20,6
100:0	90	52,1	17,2	2,75	1,33	29,50
75:25		53,5	16,2	2,42	1,17	33,20
50:50		52,7	15,0	2,35	0,88	29,80
25:75		51,5	16,2	2,41	0,65	25,40
0:100		52,2	14,7	2,26	0,70	26,70

Как и следовало ожидать, повышение содержания осиновой щепы сопровождается снижением числа Каппа целлюлозы, при сохранении ее выхода на достаточно высоком уровне. Увеличение доли осины приводит также к снижению содержания экстрактивных веществ в небеленой целлюлозе. Содержание групп HexA, по-видимому, мало зависит от породного состава, и при постоянных условиях варки остается практически постоянным.

Для проведения испытаний были изготовлены отливки массой 75 г/м² при степени помола 30±2 °ШР. Результаты определения прочностных характеристик полученных образцов целлюлозы представлены на рис. 2. При определении стандартных характеристик прочности установ-



лено, что осиновая целлюлоза обладает более низкими показателями разрывной длины (L) и сопротивлению излому (N). Сопротивление раздира-нию (R) лиственной сульфатной небеленой целлюлозы мало зависит от породного состава щепы. Увеличение продолжительности варки приводит к уменьшению влияния породного состава на стандартные показатели механической прочности.

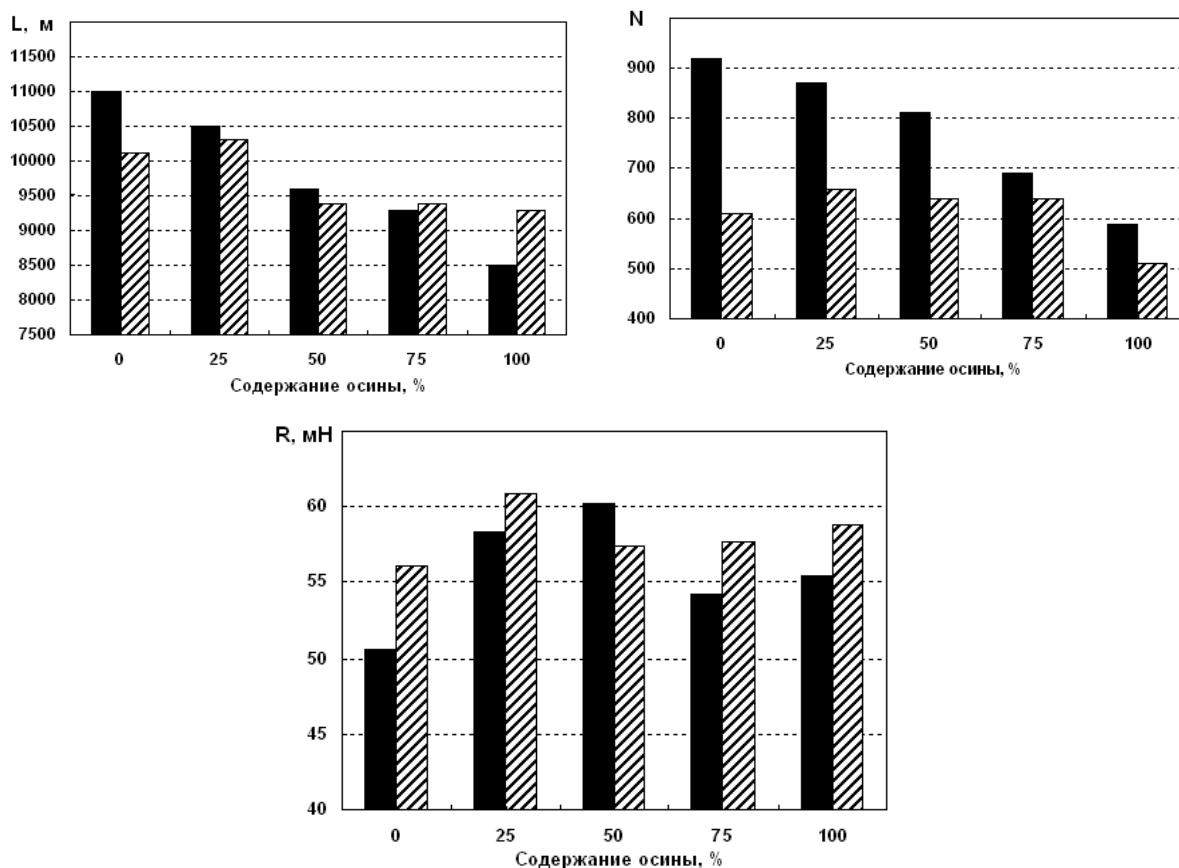
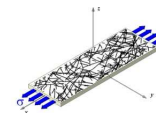


Рис. 2. Влияние породного состава сырья на прочностные свойства небеленой лиственной сульфатной целлюлозы: 1 – 160 °С; 2 – 165 °С; 3 – 170 °С

В табл. 3 представлены результаты исследования фундаментальных свойств лиственной сульфатной небеленой целлюлозы, полученной при различном соотношении березы и осины в щепе. Проведенный микроскопический анализ полученных образцов целлюлоз позволил установить, что при увеличении продолжительности варки от 60 до 90 минут происходит значительное уменьшение средней длины волокна для осиновой древесины и незначительное – для березовой древесины. Увеличение содержания осиновой древесины в щепе приводит к снижению и собственной прочности волокна L_0 , и межволоконных сил связи. Это можно объяснить тем, что



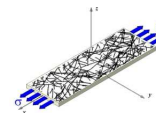
на величину межволоконных сил связи оказывает влияние не только прочность отдельных связей между волокнами, но и количество этих связей, которое в свою очередь определяется объемным весом образцов, т.е. плотностью укладки волокон.

Таблица 3. Влияние породного состава сырья на фундаментальные свойства небеленой лиственной целлюлозы

Береза:осина, %	τ , мин	l_{cp} , мм	L_0 , м	F_{CB} , МПа
100:0	60	1,23	8400	3,97
75:25		1,27	7800	3,89
50:50		1,13	7250	3,12
25:75		1,14	6900	2,52
0:100		1,08	6750	2,68
100:0	90	1,20	7400	2,92
75:25		1,19	7600	2,74
50:50		1,08	7500	2,7
25:75		1,08	6350	2,32
0:100		1,01	7150	2,33

Анализ характеристик деформативности полученных образцов целлюлозы показал, что наблюдается увеличение начального модуля упругости (E_1), жесткости при растяжении (S_t) и жесткости при изгибе (S_b) при увеличении добавки осиновой древесины до 50 %, при дальнейшем увеличении добавки осины прослеживается тенденция к уменьшению данных показателей. Результаты определения трещиностойкости образцов целлюлозы, или вязкости разрушения показали, что для продолжительности варки 60 минут при увеличении доли осиновой древесины в щепе данный показатель снижается.

Проведенный эксперимент показал, что осиновая целлюлоза обладает недостаточной упругостью и трещиностойкостью. Увеличение продолжительности от 60 до 90 минут варки приводит к увеличению показателей деформативности.



СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ОЦЕНКА СПОСОБНОСТИ К ПЕРЕРАБОТКЕ КАРТОНА-ЛАЙНЕРА И БУМАГИ ДЛЯ ГОФРИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

И.В. Лавров¹, Ю.В. Севастьянова¹, А.В. Синчук², Д.А. Дулькин²

¹ Северный (Арктический) Федеральный Университет, Архангельск, Россия

² ООО "Управляющая компания "Объединенные Бумажные Фабрики", Москва, Россия

Исследованы свойства бумаги для гофрирования полученной на основе композиции первичных (лиственная модифицированная нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза – ПЦ) и вторичных (макулатура МС 5В) волокон. На основании данных эксперимента рекомендованы режимы получения бумаги для гофрирования с повышенными деформационными характеристиками.

MODERN REQUIREMENTS AND EVALUATION OF ABILITY TO PROCESSING OF CARDBOARD-LINER AND FLUTING PRODUCED BY VARIOUS MANUFACTURERS

I. Lavrov¹, Y. Sevastyanova¹, A. Sinchuk², D. Dulkin²

¹ Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

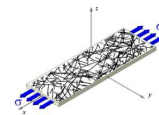
² Open Company "Managing company" Incorporated Paper-mills ", Moscow, Russia

The properties of fluting obtained based on the composition of the primary (deciduous modified neutral sulphite semi-chemical – HRC) and secondary (waste МС 5В) fibers. Based on experimental data recommended modes of obtaining fluting with increased deformation characteristics.

Тенденция к снижению массы тарного картона и мероприятия, позволяющие повысить производительность гофрирующих агрегатов, оказывают огромное влияние на технологические параметры работы используемых в настоящее время КДМ. В табл. 1 представлено изменение массы квадратного метра гофрированного картона в различных регионах мира в период с 2001 по 2010 г [1].

Таблица 1. Изменение массы 1 м² гофрированного картона (*Container board*)

Регион	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2010
Северная Америка	660	662	634	667	667	667	670	666
Западная Европа	541	539	539	537	540	538	536	530
Центральная и Восточная Европа	532	523	514	527	526	525	525	519
Китай и Гонконг	770	762	751	739	728	717	707	675
Среднемировая	631	629	629	629	626	626	625	615



Тенденции выпуска гофрокартона и его компонентов следующие:

- 1) увеличивается выпуск гофрированного картона с мелкими и двойными гофрами;
- 2) производство полуфабрикатов из макулатуры растет быстрее, чем производство крафт-бумаги;
- 3) возрастает спрос на бумагу-основу для гофрирования с массой $1 \text{ м}^2 - 75 \dots 100 \text{ г}$;
- 4) доля продаж крафт-лайнера увеличилась только в диапазоне картона массой $100-130 \text{ г/м}^2$;
- 5) на рынке наблюдается четкая тенденция увеличения требований к исполнению тары с высокими прочностными, печатными и антифрикционными свойствами.

Довольно сложно добиваться стабильных показателей качества, используя макулатуру, как единственный полуфабрикат. Производители гофротары неоднократно обращали внимание российских производителей тест-лайнера и макулатурного флутинга на то, что в первую очередь их интересуют не только высокие качественные показатели, но и их стабильность.

Вопросы качества, а это, в первую очередь, касается физико-механических показателей бумаги и картона, стоят довольно остро. Отличительной особенностью «макулатурной» продукции является значительное колебание механических показателей. Так, при оценке крупной партии картона из 100 % макулатуры нормальное отклонение по массе 1 м^2 составило 2,6 % его среднего значения. Колебания других показателей составили:

- разрушающее усилие (F) в машинном направлении и поперечном направлении – 12 %;
- сопротивление продавливанию (Π) – 13 %;
- сопротивление торцевому сжатию гофрированного образца (ССТ) – 14 %;
- разрушающего усилия при сжатии кольца (RCT) – 15 %;
- сопротивление плоскостному сжатию гофрированного образца (СМТ) – 20 %.

Один из крупнейших гофропроизводителей России предоставил свою оценку качества переработки сырья различных поставщиков на высокопроизводительных гофроагрегатах BHS (табл. 2, 3). Из данных таблиц, следует, что качество отечественной продукции несколько ниже зарубежных аналогов.

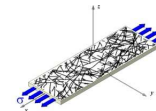


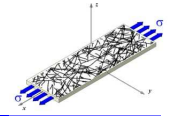
Таблица 2. Сравнительная оценка качества переработки картона-лайнера различных поставщиков

Параметры	Вид волокна (первичное или вторичное), страна-производитель									
	Перв., отеч.	Перв., отеч.	Перв., отеч.	Перв., отеч.	Перв., отеч.	Втор., отеч.	Втор., имп.	Перв., имп.	Втор., имп.	Втор., отеч.
1. Качество намотки	8	9	2	10	10	5	10	10	6	3
2. Самопроизвольные обрывы	10	10	10	10	10	7	10	10	7	2
3. Наличие видимых обрывов	10	10	9	10	9	8	10	10	6	3
4. Скорость переработки	7	8	2	10	9	6	10	10	6	3
5. Скорость сплайсования	10	9	9	10	9	6	10	10	6	2
ИТОГО:	45	46	32	50	47	32	50	50	32	17

Таблица 3. Сравнительная оценка качества переработки бумаги для гофрирования различных поставщиков (по десятибалльной шкале)

Параметры	Вид волокна (первичное или вторичное), страна-производитель									
	Перв., отеч.	Перв., отеч.	Перв., отеч.	Перв., отеч.	Перв., отеч.	Втор., отеч.	Втор., имп.	Перв., имп.	Втор., имп.	Втор., отеч.
1. Качество намотки	10	8	7	2	10	6	6	10	10	10
2. Самопроизвольные обрывы	9	996	2	10	6	8	10	10	10	10
3. Наличие видимых обрывов	9	10	6	6	10	7	7	10	10	10
4. Скорость переработки	10	9	8	5	10	7	8	10	10	10
5. Скорость сплайсования	10	10	8	2	10	8	8	10	10	9
ИТОГО:	48	46	35	17	50	34	37	50	50	49

*Оценка качества производилась по 10-ти бальной системе

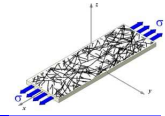


Необходимо отметить, что продукция крупных предприятий, выпускающих картон из первичных волокон, почти не уступает импортным образцам. Это связано с высоким уровнем машинного оборудования и повышенной прочностью первичных полуфабрикатов. Качественные характеристики продукции более мелких макулатурных предприятий (производительность до 100 тыс. тонн/год) значительно уступают, что связано с нестабильностью качества макулатуры и во многом применением устаревшего оборудования.

Наряду с модернизацией производства для отечественных производителей компонентов тарного картона на основе макулатуры можно рекомендовать использование в композиции первичного волокна. При этом обоснование оптимальных добавок первичного полуфабриката в тот или иной продукт становится наиболее важной задачей. Ранее сообщалось о возможности получения полуфабрикатов из низкосортной лиственной древесины, пригодных для использования в производстве флютинга и тест-лайнера высших марок [2].

Для оценки влияния добавки в композицию первичных волокон на прочностные характеристики бумаги для гофрирования исследованы [4] свойства полуфабриката, полученного из композиции первичных (лиственная модифицированная нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза – ПЦ) и вторичных (макулатура МС 5Б) волокон. В ходе исследования данного полуфабриката установлено:

1. Все прочностные характеристики бумаги в существенной степени зависят от степени разработки волокна.
2. На величину разрывной длины бумаги для гофрирования, полученной на основе первичных и вторичных волокон, наибольшее влияние оказывает степень помола длинноволокнистой фракции (ДВФ) макулатуры и доля ПЦ. Причем, если увеличение доли ПЦ приводит к снижению L , то одновременное увеличение доли ПЦ и степени ее помола приводит к существенному росту этого показателя.
3. На сопротивление продавливанию оказывают влияние все исследованные факторы, наибольшее влияние оказывает степень помола ПЦ. Существенно влияет на продавливание степень помола ДВФ макулатуры.
4. Для показателей бумаги – RCT , CCT , CMT , в ходе эксперимента выявлено совместное влияние степеней помола полуфабрикатов, используемых в композиции, увеличение доли первичного волокна в композиции картона практически не повлияло на эти показатели.



5. На основе выполненного эксперимента для бумаги с повышенными деформационными характеристиками можно рекомендовать следующие условия: добавка ПЦ в макулатурный флютинг не должна превышать 20 %, при этом степень помола ПЦ должна поддерживаться на уровне 22...25 °ШР, степень помола ДВФ – на уровне 27...30 °ШР.

ВЫВОДЫ:

1. Для производства гофрированного картона на скоростных гофроагрегатах важен не только высокий уровень физико-механических показателей бумаги для гофрирования, но и высокая стабильность (равномерность, однородность) этих показателей в машинном и поперечном направлении бумажного листа.

2. Зарубежные образцы бумаги обладают большей однородностью свойств по сравнению с бумагой из вторичного сырья отечественного производства.

3. Актуальным представляется исследование свойств бумаги для гофрирования на основе композиции первичных и вторичных волокон.

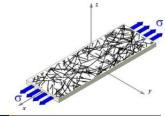
4. Для бумаги с повышенными деформационными характеристиками можно рекомендовать следующие условия композиции: добавка ПЦ в макулатурный флютинг не должна превышать 20 %, при этом степени помола ПЦ должна поддерживаться на уровне 22...25 °ШР, степень помола ДВФ – на уровне 27...30 °ШР.

Список литературы

1. Синчук, А.В. Особенности технологии тароупаковочных видов бумаги [Текст] / А.В. Синчук, В.А. Спиридонов, И.В. Лавров, В.И. Комаров // Гофроиндустрия на современном этапе развития: сб. тр. 4-й междун. науч.-практич. конфер. – Санкт-Петербург, 2010. – С. 34-48.

2. Stockert Florian. Mondi Packaging/Markt Marktenwicklung für die Rohpapiere für Wellpappe [Text] / Florian Stockert // Wo-chenblatt für Papierfabrikation. – № 15-16. – 2009 г. – s. 704-706.

4. Лавров, И.В. Оценка влияния добавки полуцеллюлозы и степени помола компонентов смеси первичных и вторичных волокон на качественные показатели бумаги для гофрирования [Текст] / И.В. Лавров, Ю.В. Севастьянова, В.И. Комаров, Л.А. Южанинова // Научные обоснования эффективных систем производства бумаги, флютинга, тест-лайнера и гофрокартона: Сб. тр. 12-ой междун. науч.-технич. конфер. – Караваево, 2011. – С. 67-75.



БУМАГОПОДОБНЫЕ КОМПОЗИТЫ ШИРОКОГО СПЕКТРА ПРИМЕНЕНИЯ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН И НЕОРГАНИЧЕСКИХ СВЯЗУЮЩИХ. ОБЗОРНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Н.В. Сысоева

Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

В работе перечислены основные направления использования бумагоподобных композитов минеральной природы «минеральное волокно – минеральное связующее».

SIMILAR TO PAPER COMPOSITES WIDE RANGE OF USE BASED ON MINERAL FIBERS AND INORGANIC BINDER. AN OVERVIEW

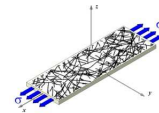
N. Sysoeva

Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

The paper are the main uses of similar to paper composite mineral nature of the "mineral fibers – mineral binder".

Бумага сегодня, это технически широко востребованный материал. Для ее изготовления используют не только растительные волокна, а также синтетические, химические, минеральные и п.д. Область использования бумаги и подобных материалов в мире, постоянно растет, что сопровождается появлением новых видов этой продукции.

В России разработки технологии получения бумаг специального назначения (с повышенными хемо-, термо-, биостойкостью и барьерными свойствами) состоящих из целлюлозных, хлопковых, стеклянных, базальтовых волокон и их композиции изучали на базе научно-исследовательских институтов (основные работы проводились на базе Волжского НИИ ЦБП [1,2], а также УкрНИИБа) вплоть до начала 90-х годов. С советских времен достаточно широко использовалась теплоизоляционная стеклобумага, сепараторная – в химических источниках тока, фильтровальная для различных жидкостей и газов. Однако промышленное производство этих материалов так и не было запущено, а исследования, проводимые в этом направлении, прекращены в связи со сложившейся в стране экономической ситуацией. Развитие техники и технологии с того периода шагнуло далеко вперед, имеющиеся ранее разработки перестали удовлетворять требованиям качества, что привело к импорту высокотехнологичных листовых композитов.



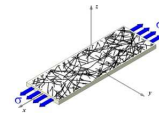
Возрождение и дальнейшее развитие, научные основы и технология производства бумагоподобных композитов из минеральных волокон получили в конце 90-х годов благодаря усилиям ученых Чижова Г.И. и Дубового В.К. Отличительной особенностью их инноваций была замена органических связующих на неорганические соли поливалентных металлов, что обосновывалось сохранением стопроцентной минеральной природы получаемого материала¹. В результате выполненных ими исследований были разработаны и получили практическую реализацию новые виды минеральноволокнистых листовых композитов.

Например, замена связующего на основе карбамидоформальдегидной смолы при производстве стекловолокнистого кровельного холста NicoGlass на ООО «Завод Стекловолокна», на продукты гидролиза сульфата алюминия позволило исключить использование экологически вредного органического связующего, требующего большого расхода тепла на его поликонденсацию, и установки дополнительного оборудования для утилизации газовых выбросов, образующихся в процессе сушки материала. В результате внедрения был получен новый термостойкий кровельный материал по экологически безопасной технологии [3].

Применение неорганических связующих в минеральноволокнистых композитах позволяет получать негорючие материалы с повышенной термостойкостью. Так, переход на неорганическое связующее позволил расширить спектр продукции на ООО «Завод Стекловолокна» и выпускать материал – подложку изложниц точного литья изделия из алюминия, его сплавов и других металлов с температурой плавления не выше 700 °С.

Однако наилучшие результаты были получены при разработке фильтровальных материалов. Использование бумаги из 100 % стекловолокна позволило получить так называемые «абсолютные фильтры» с фильтрующей способностью достигающей 99,98 % при отделении частиц величиной до 0,3 мкм. (По американскому стандарту эти фильтры должны обладать эффективностью больше или равной 99,97 % при размере отделяемых частиц не более 0,3 мкм и сопротивлении потоку воздуха до 7 мм вод.ст., т.е. иметь фильтрационный показатель (γ) больше или равный 0,75).

¹ В большом энциклопедическом словаре сказано: «Недостатком *стеклобумаги* являются содержание в ней органических связующих, выделяющих много газа в вакууме, и повышающих взрывоопасность. Стеклобумага после кратковременного прогрева при 40 °С заметно увеличивает скорости газовыделения из-за углеводородсодержащих газов».



В производстве фильтровальных материалов обычно применяются стеклянные волокна диаметром 0,1...9 мкм, а в материалах для тонкой очистки – волокна диаметром 0,1...1,0 мкм. Удельная поверхность волокон при этом (измеренная методом БЭТ по сорбции азота) достигает 50 м²/г.

Использование минеральных волокон позволило добиться сочетания низкого коэффициента проницаемости (на уровне $(1...10) \times 10^{-5}$ %) и низкого аэродинамического сопротивления (на уровне 7...10 мм вод.ст.). Подобное свойство минеральноволокнистых композитов обусловлено неспособностью волокон к набуханию, как следствие пористость фильтров постоянна и не меняется на протяжении всего срока эксплуатации, что невозможно при использовании в композиции растительных волокон.

Фильтрующие материалы из стеклянных штапельных волокон испытывались в процессах сушки газов. Была показана возможность получения высокоэффективных материалов и их использования в различных областях народного хозяйства.

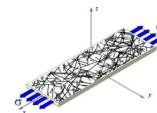
Авторами инноваций была показана возможность получения целой гаммы фильтровальных материалов пригодных для разных областей использования и отличающихся большим диапазоном свойств, варьируя соотношение минеральных волокон и используя в качестве связующего сульфат алюминия, основные из них:

- фильтры для «чистых комнат»;
- фильтры для топлив и масел;
- сепарационный материал для агрегатов охлаждения воздуха.

Сегодня сепарационный материал 100 % минеральной природы используется в охладителях воздуха кабины машиниста в Московском метрополитене.

Немалый интерес к имеющимся разработкам по производству минеральных волокон и нетканых листовых композитов из них проявляют Китай и Германия. Рост производства композиционных материалов в мире ежегодно растет, в то время как в России даже нет постояннодействующего производства по созданию подобного рода композитов.

В настоящее время, работы по созданию высокотехнологичных минеральноволокнистых композитов ведутся в Санкт-Петербургском государственном технологическом университете растительных полимеров, а благодаря усилиям докт. техн. наук, профессора Комарова В.И., одно из этих перспективных направлений появилось и в Северном (Арктическом) федеральном университете. Конечно, интенсификация подобных исследо-

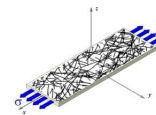


ваний невозможна без интеграции науки и производства, активное участие в разработках принимает сегодня ОАО «Новгородский завод стекловолокна».

Наряду с расширением области использования бумагоподобных минеральных композитов, одной из важных задач является оптимизация технологических процессов их производства (это достаточно дорогие материалы, их производство требует применения специальной технологии и технических устройств). Именно этими вопросами занимается коллектив сотрудников кафедры ТЦБП, САФУ под руководством профессора Дубового В.К.

Список литературы

1. Канарский, А.В. Фильтровальные виды бумаги и картона для промышленных технологических процессов. – М.: Экология, 1991. – 272 с.
2. Канарский, А.В. Фильтровальные материалы на волокнистой основе. – СПб.: СПбДНТП, 1992. – 96 с.
3. Дубовый, В.К. Бумагоподобные композиционные материалы на основе минеральных волокон [Текст]: Дис. докт. техн. наук./ Дубовый Владимир Клементьевич. – Санкт-Петербург. – 2006. – 370 с.



ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СТЕКЛЯННЫХ ВОЛОКОН КАК СЫРЬЯ ДЛЯ БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А.И. Безлаковский

ОАО «Новгородский завод стекловолокна», Великий Новгород, Россия

В работе описаны основные способы процессов получения стеклянных штапельных волокон. Представлены принципы технологического регулирования при производстве стеклянных волокон пригодных получения специальных видов бумаги и картона.

FEATURES TECHNOLOGY OF GLASS FIBERS AS A RAW MATERIAL FOR PAPER INDUSTRY

A. Bezlakovskiy

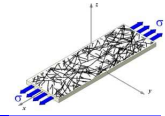
«Novgorod Glass Fiber Plant» JSC, Novgorod, Russia

The paper describes the basic processes of methods glass staple fibers. Presents the principles of technology regulation in the production of glass fibers acceptable to obtain special types of paper and paperboard.

Промышленное производство стеклянного волокна было организовано в СССР в 1942 г [1]. Однако «родиной» стеклянных волокон считаются США [2]. Выпускаемые стеклянные волокна находят все большее применение в производстве нетканых композиционных материалов. По способу производства различают два вида минеральных волокон: непрерывное и штапельное. По мнению многих потребителей, основным отличительным признаком является длина волокон. Непрерывные волокна имеют неопределенно большую длину, достигающую иногда 30 и более км.

Для производства композитов по бумажным технологиям используют, преимущественно, штапельное волокно. Штапельные волокна выпускаются в виде матов представляющих собой волокнистый нетканый материал, состоящий из произвольно ориентированных волокон скрепленных между собой силами поверхностного сцепления [3]. Волокна в матах дискретны и полидисперсны по длине, которая может колебаться от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров.

Сырьем для производства стеклянных штапельных волокон служат исходные шихты или готовые стеклошарики, компонентный состав которых определяется заранее и обуславливает технологичность на разных стадиях процесса. Химический состав стекол оказывает большое влияние на техно-



логичность процессов переработки при получении волокон, однако эти вопросы достаточно хорошо изучены и представлены в открытой печати.

В своей работе, я хочу затронуть вопросы технологического регулирования процессов получения штапельных волокон разных марок. Ключевой характеристикой таких волокон является их средний диаметр, измеряемый в микрометрах. Необходимо отметить, что в производстве бумаги и картона преимущественно используют волокна с диаметром до 3,0 мкм. Волокна большего диаметра не обладают способностью к связеобразованию и образованию плотного прочного листа, т.е. непригодны для переработки по бумажным технологиям.

Одним из основных недостатков технологического процесса получения штапельного волокна из непрерывных нитей (струй расплава) является образование неволокнистых включений «корольков». Их количество в партии строго нормируется и не должно превышать 1 %, для всех марок штапельного стеклянного волокна.

Исходный технологический процесс для получения всех видов стеклянных волокон – вытяжка нитей из расплава. Под действием избыточного давления, в процессе экструзии, расплав выдавливается через фильеры. Образование струй расплава при получении штапельного волокна наглядно продемонстрировано на рис. 1, на примере базальтового волокна.

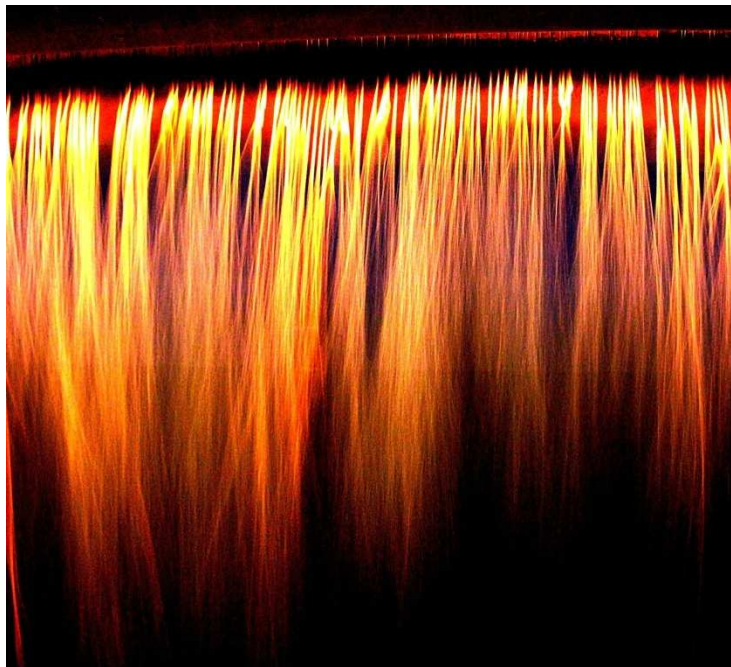
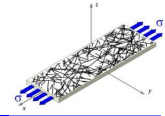


Рис. 1. Формование струй расплава с помощью фильер, с последующим раздувом потоком горячих газов



На следующей стадии струи расплава (непрерывное волокно) перерабатывают в дискретное, штапельное волокно. Существует несколько способов получения штапельных волокон [4]:

- центробежный способ;
- дутьевой способ (раздув первичных волокон – РПВ);
- центробежно-фильерно-дутьевой (ЦФД);
- дуплекс-процесс и др.

Способ получения штапельного волокна оказывает влияние на три основные характеристики: диаметр и длина волокна, а также образование неволокнистых включений – «корольков». Количество «корольков» в партии строго нормируется и не должно превышать 1 %, для всех марок штапельного стеклянного волокна.

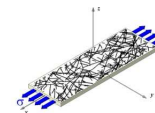
При центробежном способе струя расплава попадает на вращающийся диск, где под действием центробежной силы разбивается на мелкие струйки, которые обрезаются по касательной превращаются в волокна. В качестве основных недостатков отмечают: высокую неравномерность получаемых волокон по диаметру и большое количество неволокнистых включений. Производительность установки, при этом невысока 2...3 т/сут.

Указанные недостатки делают непригодным использование данного метода для получения волокон используемых как сырье для бумажной промышленности.

Раздув струй расплава потоками горячего воздуха при дутьевом способе, позволяет избежать образования большого количества неволокнистых включений в штапельных волокнах (количество «корольков» не превышает 5 %). Этот способ используется для получения тонких волокон различных марок со средним диаметром не более 10 мкм, длиной до 30...40 мм. Производительность установки может достигать 5 т/сут.

ЦФД метод представляет собой комбинацию вышеперечисленных способов. Фильеры при этом закреплены на боковой стороне нижней части центрифуги, куда подается расплав, на выходе из фильер, струи разбиваются потоками горячих газов, также как при РПД. Преимуществом данного метода является отсутствие корольков. Регулируемый диаметр волокон до 15 мкм, длина до 100 мм.

При дуплекс-процессе осуществляется двух стадийное вытягивание волокон. На первой стадии через фильеры вытягивают волокна диаметром 100...200 мкм, затем происходит вторичное вытягивание более тонких воло-



кон (диаметром менее 3 мкм) под действием высокоскоростного и высокотемпературного газового потока. Этот метод обеспечивал потребности рынка в высокоэффективных тепло- и звукоизоляционных материалах и волокнистыми полуфабрикатами в производстве электроизоляционной бумаги.

При получении волокон пригодных для получения листовых композитов по бумажным технологиям (диаметром не более 3,0 мкм) предпочтение отдается методам ЦФД, РПВ и Дуплекс-процессу, так как они позволяют минимизировать образование «корольков», получать волокна с более равномерным диаметром. Во всех этих способах одной из основных операций является раздув первичных нитей (струй расплава) потоками газов. При этом можно выделить несколько регулируемых параметров процесса: давление и расход газа и воздуха, давление газовой среды в камере сгорания и др.

На рис. 2 представлена зависимость, отражающая изменение регулируемых технологических параметров процесса для получения штапельных волокон разного диаметра. По оси ординат характеристики выражены не в абсолютных величинах, а в долях от максимального значения.

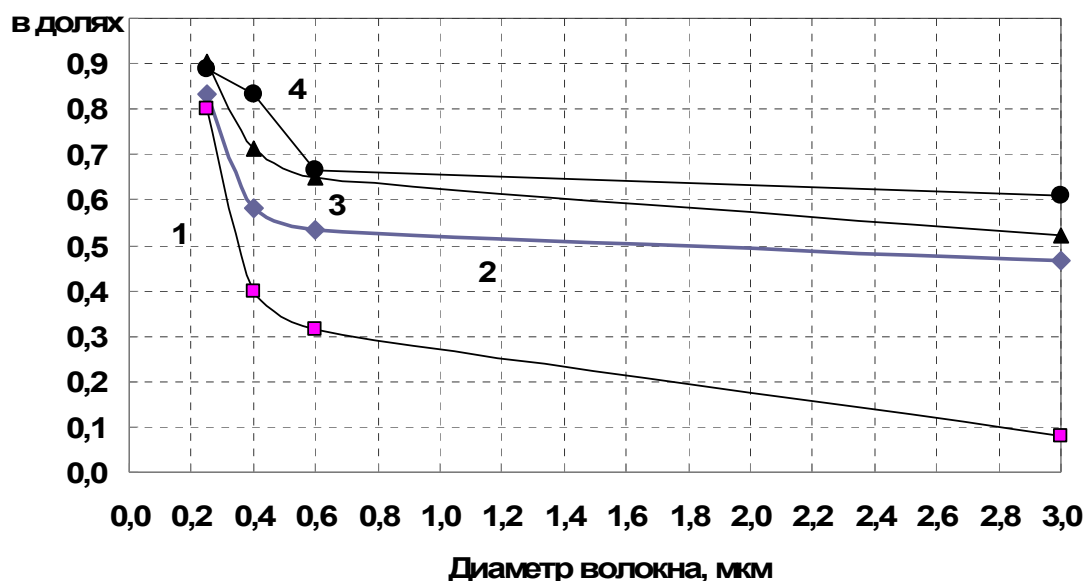
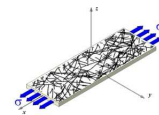


Рис. 2. Изменение технологических параметров при получении штапельных волокон разного диаметра: 1 – давление газовой среды в камере сгорания; 2 – давление газа и воздуха; 3 – расход газа; 4 – расход воздуха

Представленные на рис. 2 зависимости вполне закономерны, расход и давление газа снижается по мере получения волокон с большим диаметром, аналогичные линии тренда получены и для воздуха.

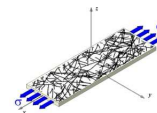


К нерегулируемым параметрам можно отнести разряжение в камере волоконосаждения, т.к. этот параметр не оказывает влияние на процесс волоконообразования.

Таким образом, регулируя параметры процесса на стадии подачи газа (воздуха), или газовой смеси можно получать волокна с заданным средним диаметром. Преимуществом этих способов является возможность получения разных марок волокон (в диапазоне диаметра до 1 мкм) на одной установке без смены фильер.

Список литературы

1. Шуле, Э.Х. Производство комплексных стеклянных нитей [Текст]: Учеб. пособие. – М.: Научно-исследовательский институт технико-экономических исследований (НИИТЭХИМ), 1985. – 80 с.
2. Дубовый, В.К. Стеклянные волокна. Свойства и применение [Текст]: – С-Пб.: Изд-во «Нестор», 2003. – 130 с.
3. Сидоренко, Ю.Н. Конструкционные и функциональные композиционные материалы. Учеб. пособие. – Томск: изд-во ТГУ, 2006. – 107с.
4. Джигирис, Д.Д. Основы производства базальтовых волокон и изделий / Д.Д. Джигирис, М.Ф. Махова. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 416 с.



ПОТЕНЦИАЛ ФЕРМЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ БУМАГООБРАЗУЮЩИХ СВОЙСТВ ПЕРВИЧНЫХ И ВТОРИЧНЫХ ВОЛОКОН

**Е.В. Новожилов, А.В. Кондаков, Д.Г. Чухчин, Д.Н. Пошина, К.Ю. Терентьев,
Е.В. Смирнов**

Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

В работе представлен обзор основных направлений использования ферментов для модификации свойств целлюлозных волокон. Более подробно рассмотрены некоторые области применения ферментов в производстве механической массы, блененой целлюлозы и бумаги и картона.

THE FACILITY OF ENZYME TECHNOLOGIES FOR DEVELOPMENT OF PAPERFORMING PROPERTIES OF VIRGIN AND SECONDARY FIBERS

E. Novozhilov, A. Kondakov, D. Chukhchin, D. Poshina, K. Terent'ev, E. Smirnov

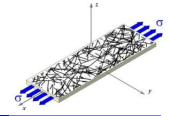
Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

The report reviews the main directions of enzymes applications for modification of pulp fiber properties. Some ranges of application of enzymes in production of mechanical pulp, bleached pulp, paper and board manufacture is considered in more detail.

Введение

Ферменты могут использоваться на различных стадиях производства целлюлозы и при изготовлении бумаги и картона. Улучшение бумагообразующих свойств – это основное направление ферментативной модификации целлюлозных волокон для ЦБП. Биомодификация целлюлозных волокон предполагает изменение их состава и свойств за счет регулируемого ферментативного воздействия.

Спектр задач, решаемых с использованием биохимической модификации технической целлюлозы, расширяется по мере развития ассортимента промышленно выпускаемых ферментных препаратов. В работах ученых изучены перспективы и потенциал применения в ЦБП целлюлаз, ксиланаз, маннаназ, лакказ, пероксидаз, липаз, амилаз, эстераз и других ферментов. Появляются новые направления использования ферментов, в частности интенсивно изучается применение лакказ и лакказ-медиаторных систем (ЛМС) для делигнификации неблененой целлюлозы и модификации волокнистых полуфабрикатов с высоким содержанием лигнина. Большое внимание уделяется переработке вторичных волокон, объем использования ко-



торых растет впечатляющими темпами. Успешно осуществлены в коммерческом масштабе ферментные технологии подготовки макулатурной массы к изготовлению бумаги и картона.

Ниже представлены основные направления использования ферментов для развития бумагообразующих свойств различных волокнистых полуфабрикатов.

Производство механической массы

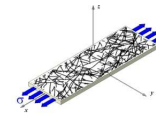
Некоторые виды грибов способны делигнифицировать древесину при обычной температуре и атмосферном давлении. Высокий окислительный потенциал ферментов, представленных в лигнинразрушающих грибах, открывает различные биохимические способы совершенствования переработки древесного сырья. Сформировалось целое направление исследований, имеющих общей задачей создание принципиально нового процесса биологической обработки древесины – так называемой биоварки.

Биоварка применима как предварительная стадия подготовки древесины к механической обработке (размолу) и к варке целлюлозы [1]. Положительный эффект действия лигнолитических ферментов основан на их способности разрушать β -О-4 простые эфирные связи в структурах лигнина и деструктировать липофильные экстрактивные вещества. Углеводные компоненты древесины в основном устойчивы к действию лигнолитических ферментов.

Биотехнологические процессы можно проводить либо с помощью ферментов, либо с помощью их продуцентов – микроорганизмов. При использовании микроорганизмов недостатком биоварки является большая продолжительность процесса: для щепы приемлемые результаты достигаются в течение 2...4 недель, для бревен – в течение 8...22 недель. Применение процесса биоварки в естественных условиях на открытом воздухе ограничено для стран с холодным климатом.

Обработка сосновой щепы и целых бревен сосны грибами белой гнили обеспечила снижение затрат энергии на размол на 9...27 %, показатели прочности механической массы повышались на 13...20 % [2]. Уменьшалось содержание смолы, наблюдалась небольшая потеря белизны, которая легко компенсировалась при отбелке.

Делигнификация выделенными ферментами оксидазного типа протекает гораздо быстрее, чем грибами, это технологически более приемлемый способ [3]. Действие лакказы на древесную щепу привело к сокращению общей энергии размолы на 5...8 %. При обработке древесного сырья неко-



торыми ЛМС наблюдалось уменьшение затрат энергии на размол щепы на 20 %, увеличение прочности ТММ и повышение ее белизны. Улучшение качественных характеристик массы объяснялось модификацией химического состава поверхности волокна, усилением наружной фибрилляции, увеличением способности к связеобразованию.

Предлагалось применение обработки щепы перед размолом ферментами-гидролазами: пектиназой, ксиланазой, смесью ксиланазы и липазы. Эти ферменты в целом оказывают незначительное деструктурирующее воздействие на компоненты древесины, однако этого бывает достаточно, чтобы обеспечить улучшение и ускорение процессов размола щепы и варки целлюлозы.

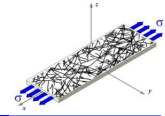
Производство беленой целлюлозы

Самое крупномасштабное направление использования ферментов в целлюлозно-бумажной промышленности – это обработка сульфатной целлюлозы ксиланазами перед отбелкой, что обеспечивает снижение расхода белящих реагентов, уменьшение загрязненности сточных вод хлорорганическими соединениями. Что касается бумагообразующих свойств беленой целлюлозы, то важное значение имеет правильный выбор препарата ксиланазы. Особое внимание необходимо уделять расходу фермента, поскольку избыточный гидролиз ксилана приводит к снижению прочностных показателей целлюлозы. Кроме того, при больших дозировках недостаточно очищенные препараты ксиланаз могут разрушать целлюлозу.

Целлюлоза, обработанная ксиланазой перед отбелкой, требует такой же или иногда несколько большей затраты энергии для размола до такой же степени помола, как и целлюлозы, отбеленные по обычным схемам отбелки [4]. В промышленных условиях было показано, что обработанная ксиланазой целлюлоза имеет такое же качество, как и необработанная ферментом целлюлоза. Средняя вязкость целлюлозы существенно не отличалась, показатели прочности отливок (сопротивление раздиранию и разрыву) обработанной ферментом целлюлозы были одинаковыми с контрольными образцами. Нулевая разрывная длина целлюлоз после обработки ксиланазой также заметно не изменялась.

Производство бумаги и картона

Модификацию целлюлозных волокон, предназначенных для производства бумаги и картона, можно проводить как до размола, так и после него, с различными, иногда прямо противоположными эффектами воздействия ферментов на их свойства. Направления ферментативной модифика-



ции целлюлозных волокон, предназначенных для производства бумаги и картона, следующие:

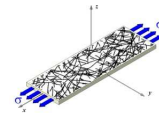
- снижение затрат энергии на размол;
- направленное изменение водоудерживающих свойств массы;
- улучшение прочностных показателей бумажного листа.

Для развития требуемых свойств бумаги на размол и рафинирование затрачивается значительная часть энергии, необходимой для производства бумаги из древесной целлюлозы. Следовательно, любая обработка целлюлозы, позволяющая существенно снизить затраты энергии на размол и рафинирование, позволит значительно увеличить эффективность производства картонно-бумажной продукции.

Размол на лабораторном дисковом рафинере Escher-Wyss небеленой хвойной сульфатной целлюлозы после обработки ксиланазой Pulpzyme HC уже в начале процесса обеспечил экономию энергии 40 кВт·ч/т волокна [5]. При предварительной обработке сульфатной целлюлозы ксиланазой зафиксировано снижение затрат энергии на размол на 17...22 %. Показатели прочности проб отливок размолотой целлюлозы были одинаковыми. Наблюдалось повышение плотности отливок, связанное с увеличением гибкости волокон и улучшением формования. Установлено, что ксиланазная обработка беленой сульфатной целлюлозы дает значительную внешнюю фибрилляцию волокон и также снижает потребление энергии на размол.

Большой интерес вызывает применение препаратов целлюлаз для обработки целлюлозы перед размолом. После обработки целлюлазой Celluclast товарной хвойной беленой целлюлозы провели размол на промышленном дисковом рафинере при трех уровнях нагрузки: 75, 100 и 140 кВт·ч/т волокна. Экономия энергии составила 45...65 кВт·ч/т массы (40...70 % от затрат энергии на размол), показатели прочности были на уровне контрольного образца [6]. Ферментативная модификация целлюлазой волокон товарной лиственной сульфатной целлюлозы обеспечила сокращение продолжительности размола на 20...40 % [7]. В настоящее время при увеличении цен на электроэнергию и снижении цен на ферменты это направление представляется весьма перспективным.

Увеличение прочности бумаги имеет место при обработке лакказой или ЛМС сульфатной целлюлозы с высоким числом Каппа или при использовании лакказы для сополимеризации низкомолекулярных фенолов с



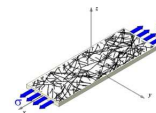
целлюлозой (биографтинг) [3]. У целлюлозы улучшается прочность во влажном состоянии, особенно, если провести кратковременное нагревание.

Важным параметром для работы сеточной части БДМ является обезвоживание бумажной массы. Действие целлюлаз на размолотые целлюлозные волокна в общем случае приводит к улучшению обезвоживания массы, повышению скорости БДМ. Рекомендуется использовать монокомпонентные целлюлазы, обладающие мягким и очень избирательным действием [8]. При низкой дозировке целлюлаз происходят небольшие изменения в составе первичных и вторичных целлюлозных волокон – в основном имеет место удаление индивидуальных фибрилл. При обработке суспензии бумажной массы ферменты в первую очередь атакуют мелочь, имеющую высокую специфическую поверхность, что в результате дает улучшение обезвоживания.

Успешно проведены промышленные выработки бумаги и картона с использованием целлюлоз, модифицированных ферментами. Показано улучшение способности волокон беленой хвойной целлюлозы после ферментной обработки к формованию бумажного листа [6]. Бумагу массой 60 г/м^2 вырабатывали на опытной БДМ при скорости 600 м/мин в условиях, близких к производственным. Сухость волокна после прессования ферментативно обработанной массы была выше на 1 % по сравнению с контролем. Бумажное полотно машинной выработки получилось более плотным и более равномерным по сравнению с контролем.

Ферменты в промышленных масштабах применяются при переработке макулатуры для ускорения размола и улучшения обезвоживания массы, борьбы со смоляными затруднениями, очистки вторичных волокон от краски, для устранения липких отложений, переработки брака влагопрочных видов бумаги [8]. Повышение качества очистки вторичных волокон от загрязнений также способствует повышению их бумагообразующих свойств.

При выработке картона из макулатурной массы показана возможность успешной реализации ферментных технологий в производстве бумаги и картона. Самым значимым результатом промышленных испытаний было улучшение формования бумажного листа из модифицированных волокон на сетке БДМ. Это было достигнуто за счет большего разбавления массы в напорном ящике, что стало возможным после значительного повышения водоотдачи ферментативно обработанной массы. Было получено

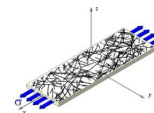


повышение таких показателей прочности, как сопротивления продавливанию, RCT и жесткости.

Практика показывает, что умеренные затраты, связанные с применением ферментов, в полной мере окупаются более высоким качеством получаемой продукции, повышением эффективности и экологической безопасности ЦБП.

Список литературы

1. Behrendt, C. Biomechanical pulping with *Phlebioosis gigantea* reduced energy consumption and increased paper strength [Text] /C. Behrendt, R.Blanchette, M.Akhtar et al // Tappi J. – 2000. – v. 83. – P. 65-72.
2. Pere, J. Biomechanical pulping with enzymes: Response of coarse mechanical pulp to enzymatic modification and secondary refining / J.Pere, M.Siika-aho, L.Viikari // Tappi J. – 2000.– Vol. 83, N 5. – P.1-8.
3. Widsten, P. Laccase applications in the forest industry: A review [Text] / P.Widsten, A.Kandelbauer // Enzyme Microbiol. Technol. – 2008. – v. 42. – P. 293 – 307.
4. Dence C.W., Reeve D.W., Pulp bleaching. Principles and Practice. – Atlanta, Georgia: TAPPI-Press. – 1996. – 967 p.
5. Dickson, A. Response of xylanase-treated kraft pulp to Escher-Wyss and PFI refining [Text]/ A. Dickson, K. Wong, S.Mansfield // Tappi J. – 2000. – P. 1-12.
6. Mohlin, U-B. Improved papermaking by cellulase treatment before refining [Text] / U-B. Mohlin, B.Pettersson // In Biotechnology in Pulp and Paper Industry. - Editors: L. Viikari, R.Lantto. 2002. – p. 291-299.
7. Новожилов, Е.В. Применение ферментов для ускорения размола белевой целлюлозы / Е.В.Новожилов, К.Ю.Терентьев, Д.Н. Пошина, В.П.Чертовская // Наука – Северному региону: сборник научных трудов. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2010. – вып. 83. – С. 101-103.
8. Петерсен, Х. Применение ферментов в технологии переработки макулатуры [Текст] / Х.Петерсен // Современные научные основы и инновационные технологии бумажно-картонных материалов с использованием вторичного волокна из макулатуры: научные труды Межд. научно-техн. конференция. Каравачево. – 2006. – С.31-34.



EFFECT OF DISPERSANT ADDITIVES ON OXYGEN DELIGNIFICATION STAGE ON EFFICIENCY OF TREATMENT, CHEMICAL COMPOSITION AND BLEACHABILITY OF HARDWOOD SULFATE PULP

U. Zibulski¹, V. Komarov², L. Milovidova², G. Komarova², T. Koroleva²

¹BIM Finland OY, Finland

²Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

The influence of dispersant additives on the process of oxygen delignification and characteristics of hardwood kraft pulp was investigated.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ДИСПЕРГАТОРОВ НА СТУПЕНЬ КИСЛОРОДНОЙ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАБОТКИ, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И БЕЛИМОСТЬ СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ

У. Цибульский¹, В.И. Комаров², Л.А. Миловидова², Г.В. Комарова², Т.А. Королева²

¹BIM Finland OY

²Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

Исследовано влияние добавки диспергаторов на процесс кислородно-щелочной обработки и характеристики лиственной сульфатной целлюлозы.

Диспергаторы при отбелке лиственной целлюлозы, в том числе на стадии кислородно-щелочной обработки, используются достаточно широко. Однако эффективность использования диспергаторов оценивается только по эффективности обессмоливания. Таких данных недостаточно, чтобы полностью оценить влияние диспергаторов на эффективность кислородно-щелочной делигнификации и свойства получаемой целлюлозы.

Чтобы установить влияние добавки диспергаторов на процесс КЩО в целом, выполнен эксперимент, в котором оценивалось влияние добавки на эффективность кислородной делигнификации и возможное изменение химического состава небеленой лиственной целлюлозы, а также на ее белимость. Для проведения эксперимента использовался образец лиственной целлюлозы, показатели которого представлены в табл.1. Расход диспергаторов составлял 100 г/т.

Эффективность всех использованных диспергаторов по снижению содержания экстрактивных веществ была примерно одинаковой и привела к снижению содержания экстрактивных веществ на 50 %.

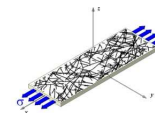


Таблица 1. Характеристика исходного образца целлюлозы

Наименование образцов	Показатели целлюлозы				
	число Каппа	вязкость, мл/г	Содержание		
			лигнина Класона, %	экстрактивных веществ, %	групп НехА, ммоль/кг
Лиственная целлюлоза	18,8	1000	1,79	0,50	14,5

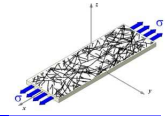
Таблица 2. Влияние добавки диспергаторов на степень кислородно-щелочной делигнификации на показатели сульфатной лиственной целлюлозы

Используемый диспергатор	Расход реагента, г/г	Показатели целлюлоза						Белизна, %
		выход, %	число Каппа	содержание			вязкость, мл/г	
				лигнина Класона, %	Экстрактивных веществ, %	Групп НехА, ммоль/кг		
Контрольная обработка	–	97,7	13,2	1,20	0,36	13,3	870	87,3
FI 5207X	100	98,0	12,7	1,15	0,27	12,6	870	87,4
Bim FP 2105	100	97,3	13,3	1,22	0,24	12,0	890	87,4
Chemstone OAE 11/15	100	98,4	12,2	1,08	0,23	13,0	910	87,4
DA 2112	100	97,0	13,3	–	0,23	11,9	890	87,4

Таблица 3. Изменение компонентного состава экстрактивных веществ лиственной сульфатной целлюлозы после одноступенчатой кислородно-щелочной делигнификации с добавками химикатов

Наименование образца целлюлозы	Содержание экстрактивных веществ %	Компонентный состав смолы, % от навески целлюлозы			
		неомыляемые	окисленные	жирные кислоты	сумма
Небеленая целлюлоза	0,50	0,52	0,019	0,018	0,57
Контроль	0,36	0,23	0,012	0,006	0,30
Chemstone OAE 11/15	0,23	0,14	0,016	0,028	0,19
FI 5207X	0,40	0,32	0,014	0,026	0,36

Для более полной характеристики влияния диспергаторов на процесс обессмоливания был определен компонентный состав экстрактив-



ных веществ в небеленой целлюлозе и в пробах целлюлозы после кислородной делигнификации (табл. 3).

Основным компонентом смолы в образце небеленой целлюлозы являются неомыляемые соединения. Кислородная делигнификация целлюлозы приводит к снижению содержания этих соединений более чем в 2 раза, одновременно на 36 % снижается содержание окисленных продуктов и на 66 % содержание жирных кислот.

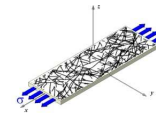
Добавка диспергатора Chemstone обеспечивает снижение общего содержания экстрактивных веществ практически в 2 раза. При этом существенно снижается содержание неомыляемых продуктов, т.е. наиболее опасной части смолы и увеличивается содержание жирных кислот по сравнению с контролем. Эффективность реагента FI5207 была близка эффективности диспергатора Chemstone по изменению содержания окисленных продуктов и жирных кислот, но при этом в меньшей степени снизилось содержание неомыляемых веществ.

Белимость образцов целлюлозы была практически одинаковой, но при использовании диспергатора Chemstone ОАЕ 11/15 был снижен суммарный расход диоксида хлора.

Основным компонентом смолы в образце небеленой целлюлозы являются неомыляемые соединения. Кислородная делигнификация целлюлозы приводит к снижению содержания этих соединений более чем в 2 раза, одновременно на 36 % снижается содержание окисленных продуктов и на 66 % содержание жирных кислот. Добавка диспергатора Chemstone обеспечивает снижение общего содержания экстрактивных веществ до 0,23 %, т.е. практически в 2 раза. При этом существенно снижается содержание неомыляемых продуктов, т.е. наиболее опасной части смолы. При этом увеличилось содержание жирных кислот по сравнению с контролем. Эффективность реагента FI5207 была близка эффективности диспергатора Chemstone по изменению содержания окисленных продуктов и жирных кислот, но при этом в меньшей степени снизилось содержание неомыляемых веществ.

Далее для образцов лиственной сульфатной целлюлозы были определены фундаментальные характеристики целлюлозы, а также характеристики прочности и деформативности (табл. 4, 5, 6).

Кислородная делигнификация лиственной целлюлозы приводит к снижению вязкости целлюлозы и к существенному приросту межволоконных сил связи, что свидетельствует о заметной деструкции целлюлозы и



окислении поверхности волокна. Прочность листовного волокна, оцениваемая по величине нулевой разрывной длины, после ступени кислородной делигнификации не изменяется.

Таблица 4. Влияние КЩО и добавки диспергатора Chemstone OAE 11/15 на фундаментальные характеристики целлюлозы

	Небеленая	После КЩО	После КЩО с добавкой Chemstone OAE 11/15
Условия обработки			
температура, °С	–	100	100
расход щелочи, кг/т	–	20	20
Характеристики целлюлозы			
Число Каппа χ	18,3	13,2	12,5
Вязкость η , мл/г	1000	870	910
Плотность ρ , г/см ³	0,860	0,826	0,855
Межволоконные силы связи $F_{св}$, МПа	3,76	6,19	8,67
Нулевая разрывная длина L_0 , м	14900	14900	14800

Добавка диспергатора Chemstone OAE 11/15 на ступень КЩО привела к повышению вязкости целлюлозы и плотности отливки. В этом случае наблюдается также максимальный прирост межволоконных сил связи, что хорошо согласуется с изменением плотности и толщины отливки. Положительное влияние добавки диспергатора может быть обусловлено повышением гидрофильности и гибкости волокон при дополнительном снижении содержания экстрактивных веществ, более интенсивном набухании волокна и лучшей доступности для химических реагентов.

КЩО приводит к заметному снижению сопротивления раздиранию, что согласуется с изменением межволоконных сил связи и плотности отливки и повышению разрывной длины. Изменения сопротивления излому не происходит.

При проведении обработки в присутствии диспергатора наблюдается увеличение сопротивления излому. Наиболее вероятным объяснением этого факта является повышение гибкости и способности к набуханию волокна с увеличением его гидрофильности. В этом случае не произошло дальнейшего повышения разрывной длины, что можно было бы ожидать из-за увеличения межволоконных сил связи. По-видимому, определяющим фактором в этом случае является длина волокна.

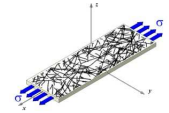
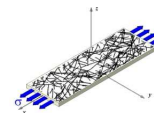


Таблица 5. Влияние КЩО и добавки диспергатора Chemstone ОАЕ 11/15 на прочностные характеристики целлюлозы

Характеристика	Небеленая	После КЩО	После КЩО с добавкой Chemstone ОАЕ 11/15
Толщина отливки δ , мкм	85,5	89,4	88,4
Разрывная длина L , м	9000	9900	9800
Удельное сопротивление разрыву, кН/м	6,55	7,33	7,37
Индекс прочности при растяжении, Н/м ²	87,3	97,7	98,3
Сопротивление излому N , ч.дв.п.	400	400	520
Сопротивление раздиранию R			
- абсолютное, мН	1212	760	530
- индекс, мН/г	16,2	10,1	7,1
- относительное, мН	1576	982	690

Таблица 6. Влияние КЩО и добавки диспергатора Chemstone ОАЕ 11/15 на деформационные характеристики целлюлозы

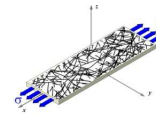
Характеристика	Небеленая	После КЩО	После КЩО с добавкой Chemstone ОАЕ 11/15
Условия КЩО			
температура, °С	–	100	100
расход щелочи, кг/т	–	20	20
Характеристики целлюлозы			
Число Каппа χ	18,3	13,2	12,5
Предел упругости σ_1 , МПа	17,95	20,53	19,48
Предел упругой деформации ε_1 , %	0,29	0,34	0,34
Начальный модуль упругости E_1 , МПа	6300	6210	5820
Жесткость при растяжении S_t , кН/м	538	555	515
Деформация разрушения ε_p , %	2,64	2,93	3,36
Работа разрушения A , мДж	170,6	214,1	244,0



Следствием снижения толщины отливки и повышения межволоконных сил связи после КЦО является рост напряжения и деформации в зоне упругих деформаций, увеличения жесткости при растяжении. Повышение плотности и прирост межволоконных сил связи привел к повышению работы разрушения и деформации в зоне разрушения.

При проведении КЦО с добавкой диспергатора, несмотря на прирост межволоконных сил связи, произошло увеличение толщины отливки, что можно объяснить развитием процесса набухания в присутствии диспергатора. Как следствие, снизились величина напряжения и модуль упругости в зоне упругих деформаций, а также жесткость при растяжении.

Таким образом, использование диспергаторов на ступени КЦО приводит не только к повышению эффективности обессмоливания целлюлозы, но влияет также на процесс КЦО и свойства лиственной сульфатной целлюлозы.



О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ВЯЗКОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Т.Е. Карманова, **В.И. Комаров**, Л.А. Миловидова,
Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

Исследовано влияние условий варки и вязкости лиственной и хвойной сульфатной целлюлозы на характеристики прочности. Выполненный эксперимент подтвердил возможность контролирования уровень прочностных показателей по величине вязкости лиственной и хвойной сульфатной целлюлозы.

ON THE POSSIBILITY OF TECHNICAL CELLULOSE VISCOSITY INDEX FOR PREDICTING THE STRENGTH CHARACTERISTICS

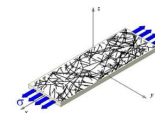
T. Karmanova, **V. Komarov**, L. Milovidova
Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

The influence of kraft cooking parameters and viscosity of hardwood and softwood sulfate pulps on the strength properties was analyzed. A performed experiment confirmed the possibility of controlling the strength properties level by viscosity degree of hardwood and softwood sulfate pulps.

Использование показателя вязкости для контроля за прочностными характеристиками полуфабриката позволяет существенно сократить время анализа и получения данных о качестве продукции на промежуточных стадиях производства [1, 2]. Однако в литературе сведений о взаимосвязи прочностных характеристик целлюлозы и вязкости практически нет. В связи с этим целью нашей работы было установить наличие таких связей для лиственной и хвойной целлюлозы.

Для достижения данной цели были проведены сульфатные варки, в результате которых были получены образцы лиственной целлюлозы Каппа в интервале значений числа Каппа 30...10 при одновременном снижении вязкости с 1180 до 880 мл/г и хвойной – в интервале значений числа Каппа 47...20 при одновременном снижении вязкости с 960 до 570 мл/г [3, 4].

Далее была проведена комплексная оценка влияния условий варки и вязкости на прочностные характеристики целлюлозы. Для определения прочностных характеристик целлюлоза размалывалась до 30 °ШР. Из размолотой целлюлозы изготавливались отливки массой 1 м² 75 г.



Как следует из представленных на рис. 1 зависимостей между числом Каппа и вязкостью целлюлозы существует линейная взаимосвязь, при этом условия варки не оказывают влияния на характер этой зависимости.

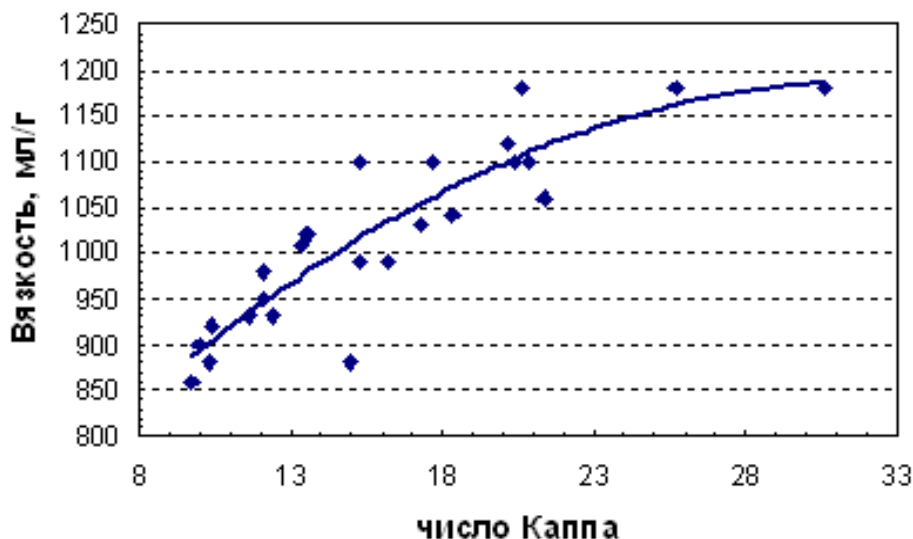


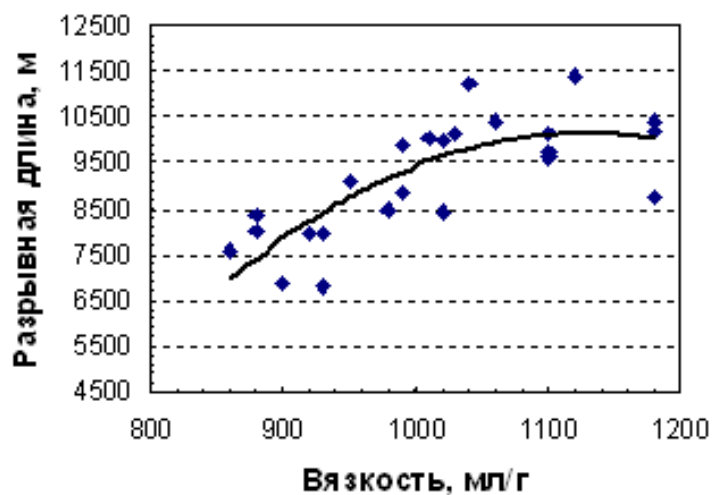
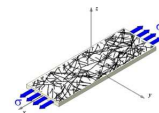
Рис. 1. Зависимость вязкости лиственной целлюлозы от числа Каппа ($y = -0,5863x^2 + 38x + 572,43$; $R^2=0,846$)

В табл. 1 представлены коэффициенты корреляции между вязкостью лиственной целлюлозы и ее прочностными характеристиками.

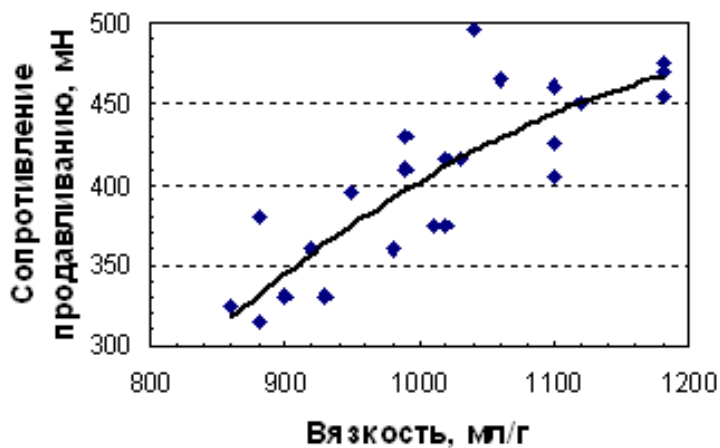
Таблица 1. Коэффициенты корреляции между вязкостью лиственной целлюлозы и основными прочностными характеристиками

Характеристика прочности	Коэффициент корреляции
Разрывная длина	0,679
Сопротивление продавливанию	0,834
Сопротивление излому	0,471
Сопротивление раздиранию	-0,753

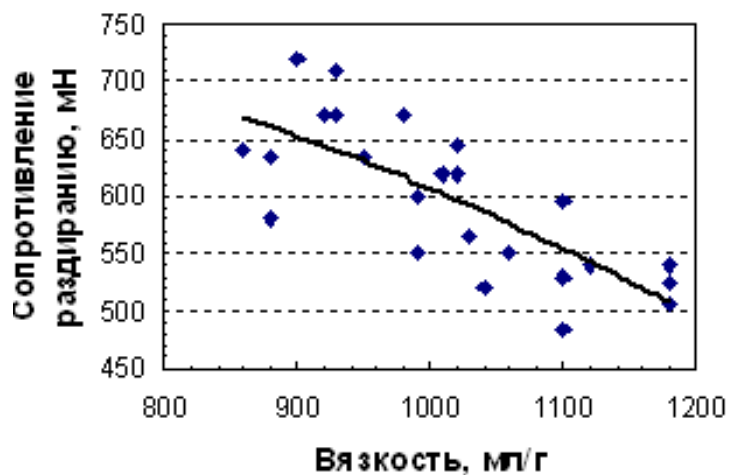
Как видно из данных таблицы, существует корреляционная зависимость между вязкостью и разрывной длиной, сопротивлением продавливанию и раздиранию. Величина коэффициентов корреляции позволяет считать, что характер этих зависимостей близок к прямой, что подтверждается рис. 2. Характер зависимости разрывной длины от вязкости позволяет установить значение вязкости целлюлозы (1100 мл/г), выше которого гарантированы высокие значения разрывной длины. Снижение вязкости ниже 1000-1100 мл/г приводит к снижению разрывной длины.



a

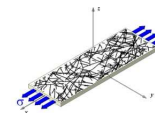


б



в

Рис. 2. Зависимость прочностных характеристик от вязкости лиственной целлюлозы *a* – разрывная длина; *б* – сопротивление продавливанию; *в* – сопротивление раздиранию



Зависимость сопротивления продавливания от вязкости имеет практически линейный характер (рис. 2, б). Для этой характеристики в данных условиях не обнаружено критического значения, после которого величина продавливания остается постоянной.

Зависимость сопротивления раздиранию от вязкости имеет обратный характер зависимости (рис. 2, в). Для этой характеристики также не обнаружено критического значения, после которого эта величина остается постоянной.

На рис. 3 представлена зависимость между числом Каппа и вязкостью хвойной целлюлозы. Из данных рис. 3 видно, что существует зависимость между числом Каппа и вязкостью целлюлозы, при этом на вязкость оказывает влияние концентрация активной щелочи, что не наблюдалось для лиственной целлюлозы. При одном и том же числе Каппа повышение концентрации приводит к заметному снижению вязкости.

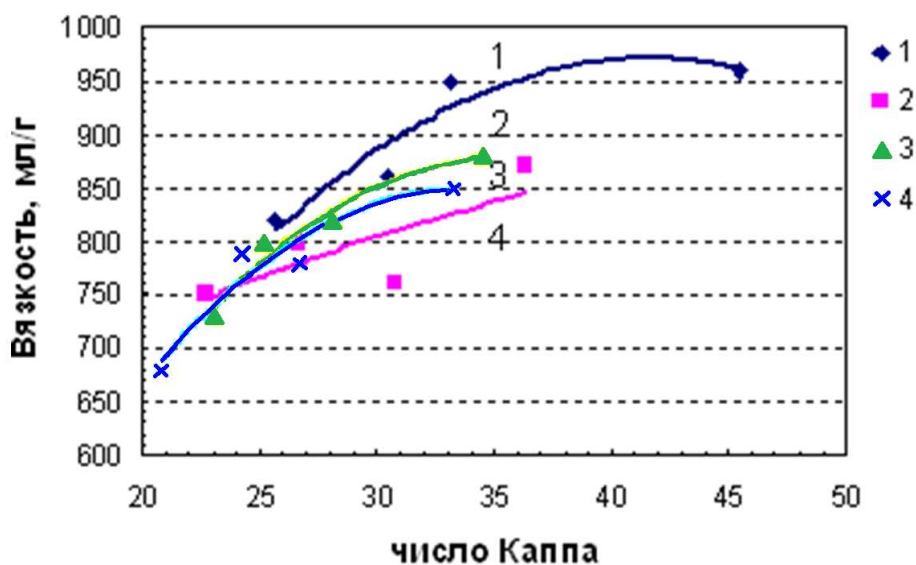
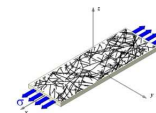


Рис. 3. Зависимость вязкости хвойной целлюлозы от числа Каппа: концентрация активной щелочи
 1 – 49 г/л; 2 – 55 г/л; 3 – 58 г/л; 4 – 61 г/л

Между вязкостью хвойной целлюлозы и основными прочностными характеристиками были посчитаны коэффициенты корреляции, представленные в табл. 2. Как видно из данных таблицы, существует корреляционная зависимость между вязкостью и разрывной длиной, сопротивлением продавливанию и излому, хотя значения коэффициентов корреляции сравнительно невелики, что говорит об отклонениях от прямолинейной зависимости.



Представленные на рис. 4 зависимости нелинейные, как это вытекает из значений коэффициентов парной корреляции. В отличие от зависимостей, полученных для лиственной целлюлозы, для хвойной целлюлозы нет значения вязкости, выше которого отсутствует зависимость между вязкостью и разрывной длиной, но можно отметить существование такой зависимости для сопротивления продавливанию.

Интересно отметить наличие зависимости между вязкостью и сопротивлением излому, что не наблюдалось для лиственной сульфатной целлюлозы. Подобное различие обусловлено, скорее всего, особенностями свойств волокон лиственной и хвойной целлюлозы. Как известно, волокна лиственной целлюлозы разделяются на микрофибриллы с большим затруднением, что не позволяет использовать для определения вязкости лиственной целлюлозы растворов кадоксена. Можно предположить, что подобное происходит в растворе купрумэтилендиамина. Этим же можно объяснить и более высокие значения вязкости растворов лиственной целлюлозы. Следовательно, для растворов лиственной целлюлозы определение вязкости обусловлено не размерами единичных микрофибрилл, а более крупными структурами. В результате для лиственной целлюлозы отсутствует взаимосвязь между вязкостью и нулевой разрывной длиной и сопротивлением излому, которые зависят именно от свойств отдельного волокна (микрофибриллы).

Таблица 2. Коэффициенты корреляции между вязкостью хвойной целлюлозы и основными прочностными характеристиками

Характеристика прочности	Коэффициент корреляции
Разрывная длина	0,583
Сопротивление продавливанию	0,612
Сопротивление излому	0,757
Сопротивление раздиранию	0,438

На основании полученных данных сделаны следующие выводы:

1) Установлено, что при изменении режима варки, обуславливающего изменение числа Каппа лиственной целлюлозы в интервале от 30 до 10, вязкость изменяется в пределах 1180...880.

2) Установлено, что при изменении режима варки, обуславливающего изменение числа Каппа хвойной целлюлозы в интервале от 47 до 20, вязкость изменяется в пределах 960...570.

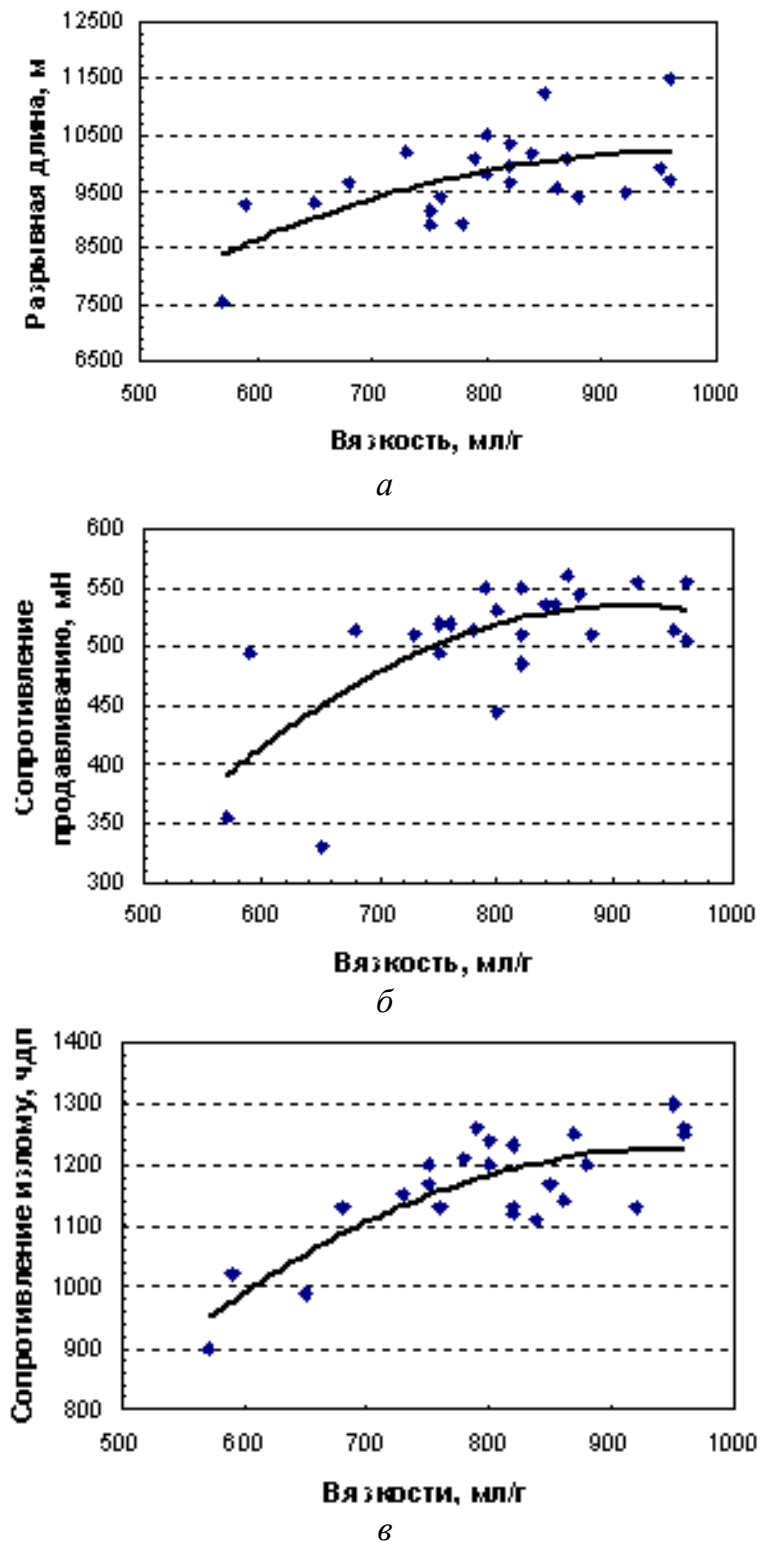
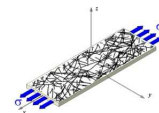
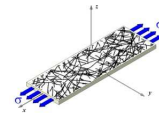


Рис. 4. Зависимость прочностных характеристик от вязкости хвойной целлюлозы: *а* – разрывная длина; *б* – сопротивление продавливанию; *в* – сопротивление излому



3) Между числом Каппа и вязкостью лиственной и хвойной целлюлозы существует зависимость.

4) Показано, что существует прямая зависимость между вязкостью лиственной целлюлозы и разрывной длиной и сопротивлением продавливанию, и обратная между вязкостью и сопротивлением раздиранию.

5) Установлено, что при повышении вязкости лиственной целлюлозы выше 1100 величина характеристики разрывной длины остается постоянной, остальные характеристики имеют тенденции к изменению.

6) Показано, что существует прямая зависимость между вязкостью хвойной целлюлозы и разрывной длиной, сопротивлением продавливанию и излому, при этом с повышением вязкости возрастает значение этих характеристик.

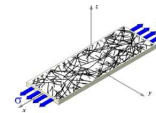
Список литературы

1 Kazakov, Ya. Analysis of local deformations and stresses in structure of handmade sheets with different furnish under tensile loading [Text] / Yakov Kazakov, Valery Komarov, Alexandr Suhanov // Progress in paper physics seminar / Proceedings/ Helsinki University of Technology, TKK, Dipoli, Otaniemi, Espoo, Finland, 2 – 5 June 2008. – P.201-205.

2 Reeve, D.W. Introduction to the principles and practice of pulp bleaching in Pulp Bleaching: Principles and Practice [Text] / D.W. Reeve, C.W. Dence. – Atlanta, Georgia: Tappi press, 1996. – P. 847. – ISBN 0-89-852-063-0.

3 Карманова, Т.Е. Сравнение степени воздействия факторов сульфатной варки на химический состав и вязкость лиственной и хвойной целлюлозы. Сообщение 1. Влияние температуры и продолжительности варки / Т.Е. Карманова, В.И. Комаров, Л.А. Миловидова // Химия растительного сырья. – 2010. – № 4. – С. 37-40.

4 Карманова, Т.Е. Сравнение степени воздействия факторов сульфатной варки на химический состав и вязкость лиственной и хвойной целлюлозы. Сообщение 2. Влияние расхода активной щелочи. Т.Е. Карманова, В.И. Комаров, Л.А. Миловидова// Химия растительного сырья. – 2010. – № 4. – С. 41-44.



ПРИМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ УПАКОВОЧНОЙ БУМАГИ

Л.Г. Махотина

Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, Санкт-Петербург, Россия

В работе исследована возможность использования арабиногалактана, полученного из экстракта древесины лиственницы, для поверхностной проклейки упаковочной бумаги. Показано, что использование АГ как самостоятельно, так и в смесях с традиционными водорастворимыми полимерами позволяет получить тароупаковочные материалы с высокими физико-механическими и прочностными свойствами при сохранении высокой способности упаковки к вторичной переработке и более низкой себестоимости.

USING OF THE SURFACE PROCESSING FOR INCREASE PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES THE PACKAGING PAPER

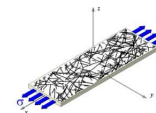
L. Makhotina

Saint-Petersburg state technological university of plant polymers, Saint-Petersburg, Russia

In work explored possibility use arabinogalaktan (AG), got from extract larches, for surface sizing of the packaging paper. It is shown that use AG as by itself, so and in mixture with traditional polymer allows to get the packaging material with high physical-mechanical properties at conservation of the high ability of the packaging to secondary conversion and more low prime cost.

В последние годы в России происходит непрерывный рост производства целлюлозно-бумажной продукции. Российский рынок бумаги и картона динамично развивается. Темпы роста объемов потребления целлюлозно-бумажной продукции на Российском рынке значительно превышают среднемировые и составляют около 6 % в год. Кроме того, увеличивается объем экспорта целлюлозы, бумаги и картона. В то же время Россия увеличила объем импорта дорогостоящей бумажной продукции. Начиная с 2001 года Россия имеет отрицательный торговый баланс по бумажной и картонной продукции в денежном выражении (рис. 1). Эта тенденция продолжает расти [1].

Превышение стоимости импорта бумаги и картона над стоимостью экспорта обусловлено, главным образом, тем, что Россия импортирует относительно дорогостоящую продукцию, такую как высококачественные материалы для тары и упаковки, мелованную бумагу, изделия санитарно-



гигиенического назначения, тогда как экспортирует менее дорогостоящие продукты, такие как газетная бумага и крафт-лайнер.

В связи с этим одной из актуальнейших задач для российской целлюлозно-бумажной промышленности является импортозамещение при одновременном увеличении глубины переработки исходного сырья и производства наукоемких видов бумаги и картона, таких как бумага и картон для печати с поверхностной проклейкой, меловальным покрытием, тароупаковочных видов бумаги и картона.

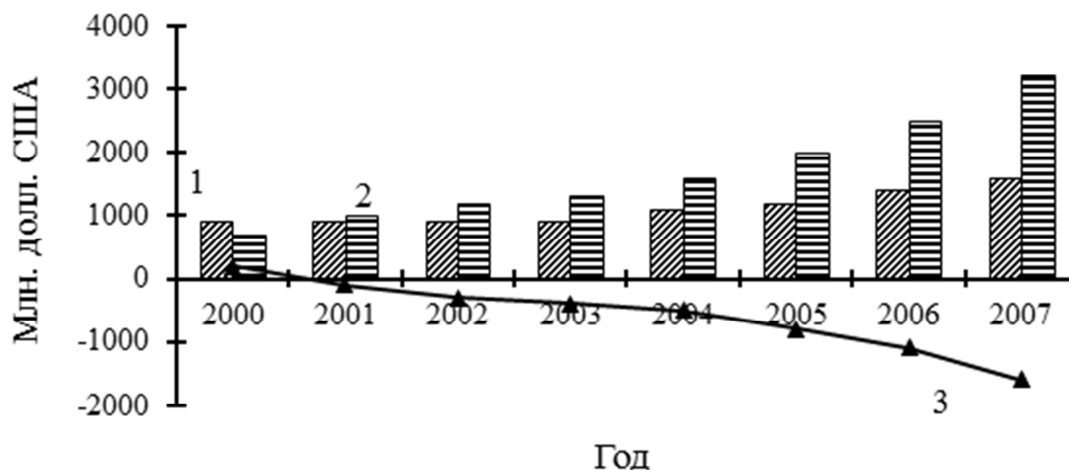


Рис. 1. Соотношение между экспортом и импортом бумаги и картона в России: 1 – экспорт; 2 – импорт; 3 – торговый баланс

На тароупаковочные виды бумаги и картона приходится около половины общемирового производства бумаги и картона (рис. 2) [2].

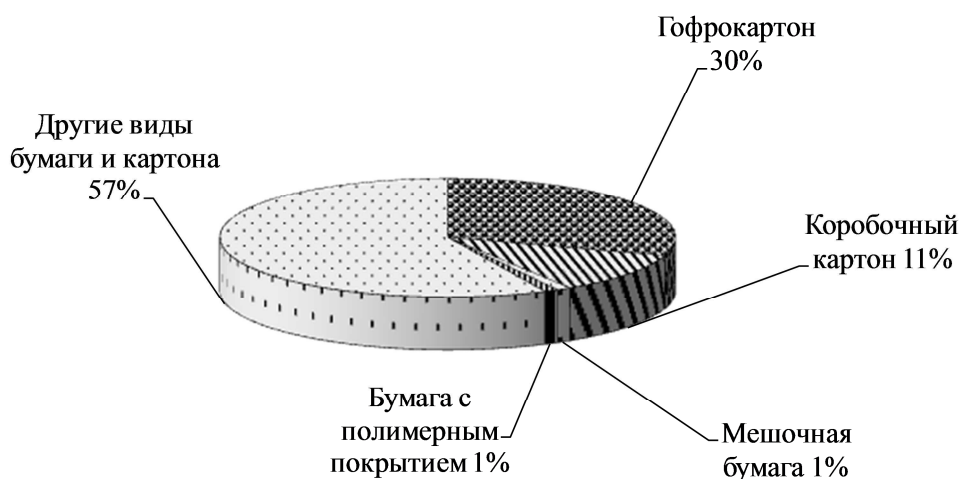
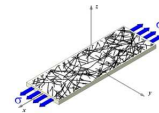


Рис. 2. Виды бумаги и картона

Рост конкуренции на рынке сбыта товаров народного потребления, внедрение автоматизированной системы фасовки и упаковки привело к по-



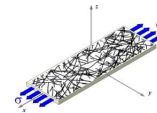
явлению более высоких требований, предъявляемых к показателям качества тароупаковочной продукции. Современная качественная упаковка, с одной стороны, должна обеспечивать сохранные функции, а с другой стороны, продавать товар, неся на себе информационную и художественную функции.

Сохранные функции обеспечиваются за счет высоких физико-механических и прочностных свойств материала, барьерные свойства – водо-, паро-, газо-, аромато-, светонепроницаемость за счет полимерных покрытий. Печать должна быть многоцветной, красочной, а это возможно только при использовании материалов с хорошими оптическими и печатными свойствами. Таким образом, тароупаковочные материалы должны отвечать требованиям, предъявляемым как к материалам для упаковки, так и материалам для печати.

Выполнить такие требования становится довольно затруднительно в связи с тем, что основными тенденциями при производстве тароупаковочных видов бумаги и картона является использование в композиции вторичного волокна, механической (древесной) массы, большого количества минеральных наполнителей. В Европе использование вторичного волокна (в % соотношении) превысило использование первичного волокна. Значительно увеличилось использование древесной (механической) массы [3].

Использование в композиции бумаги и картона большого количества вторичного волокна, древесной массы и минеральных наполнителей приводит к снижению физико-механических свойств и прочности поверхности бумаги. Снижение физико-механических свойств, в свою очередь, вызывает обрывы полотна бумаги при работе на большой скорости как при ее производстве, так и при печати. Снижение прочности поверхности приводит к пылению бумаги.

В мировой практике для обеспечения эффективной работы БДМ/КДМ и получения материала с высокими показателями качества используют различные технологические решения. Проклейку бумаги и картона проводят в нейтральной и слабощелочной среде, для обеспечения оптимального обезвоживания/удержания волокна, наполнителя, химикатов и высокого качества формования используют многокомпонентные системы удержания. При использовании в композиции бумаги и картона древесной массы, вторичного волокна, с которыми в систему вносится большое количество анионных загрязнений, используют АТС (поглотители анионных загрязнений).



В качестве основного наполнителя и пигмента используют природный карбонат кальция (GCC), полученный из мрамора, или химически осажденный карбонат кальция (PCC).

Для улучшения оптических и печатных свойств, прочности поверхности бумагу подвергают поверхностной обработке (суперкаландрированию, поверхностной проклейке, поверхностному наполнению, пигментированию, мелованию). Осуществляют современную поверхностную проклейку на пленочном прессе, обеспечивающим получение на поверхности бумаги равномерной полимерной пленки заданной толщины.

В России при производстве бумаги для упаковки также все больше стали использовать вторичное волокно, древесную массу и минеральные компоненты. Однако в России в технологии бумаги и картона имеется ряд специфических особенностей, отличающихся от Европы и мира [4].

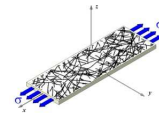
На ряде предприятий при производстве бумаги и картона процесс проклейки в массе осуществляют в кислой среде. В качестве наполнителя в основном используют каолин или карбонат кальция, полученный из мела. Они имеют низкую белизну и не позволяют получить бумагу или картон с высокими оптическими и печатными свойствами.

Процесс поверхностной проклейки, рассматриваемый как обязательный у западных производителей, при производстве бумаги или картона, которые в дальнейшем подвергаются переработке в упаковку, осуществляется лишь на некоторых Российских предприятиях.

Для поверхностной проклейки используют водорастворимые полимеры, такие как поливиниловый спирт, карбоксиметилцелюлозу, наиболее часто модифицированный крахмал или их сочетание с дисперсиями синтетических полимеров. Эти полимеры обеспечивают высокие показатели качества, однако они достаточно дорогие и их стоимость постоянно увеличивается. Кроме того, крахмал получают из различных видов растительного сырья, используемого в пищевой промышленности, и в неурожайные годы наблюдаются перебои в их поставках на предприятия целлюлозно-бумажной промышленности.

В связи с этим одной из актуальных задач является поиск новых полимеров, обеспечивающих при поверхностной проклейке повышение как прочностных, так и печатных свойств при одновременном сохранении способности упаковки к вторичной переработке.

В данной работе исследовали возможность использования арабиногалактана в качестве пленкообразующего полимера в композиции для по-



верхностной проклейки. Работа проводилась в рамках выполнения комплексного проекта с Минобрнауки России «Разработка инновационной технологии комплексной переработки древесины лиственницы».

Арабиногалактан (АГ) – это смешанный полисахарид с высокой степенью разветвления. АГ извлекают из древесины лиственницы путем водной экстракции опилок или древесной щепы с последующим осаждением из экстракта и очисткой при помощи органических растворителей. АГ, который использовали в данной работе, был получен в процессе сульфатной варки целлюлозы из древесины лиственницы с предварительной экстракцией АГ горячей водой.

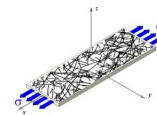
Для имитации процесса поверхностной проклейки и получения образцов использовали современную лабораторную установку для поверхностной проклейки/нанесения покрытий фирмы Sumet-Messtechnik, оснащенную различными узлами нанесения и шаберами (пленочный пресс, дозирующий стержень, лезвие). Испытания образцов проводили по стандартным методикам.

Анализ полученных данных показал, что использование АГ в качестве проклеивающего агента приводит к незначительному увеличению прочности поверхности на выщипывание и сопротивления продавливанию. Однако это увеличение недостаточно для обеспечения тех высоких требований, которые предъявляются в настоящее время к тароупаковочным видам бумаги и картона. В связи с этим была исследована возможность использования АГ в смеси с водорастворимыми полимерами.

Проведенные исследования показали, что использование АГ в смесях с традиционными водорастворимыми полимерами позволяет получить тароупаковочные материалы с высокими физико-механическими и прочностными свойствами при сохранении высокой способности упаковки к вторичной переработке и более низкой себестоимости.

Список литературы

1. Ince P. J. Markets for paper, paperboard and woodpulp, 2003-2004. / P. J. Ince, E. Akim, B. Lombard, T. Parik // Forest products annual market review 2003-2004 – Timber bulletin LVII . – 2004. – №3. – United Nations, Geneva. – С. 23-25.
2. World paper markets up to 2020. // Executive report.- 2005. – Jaakko Poyry consulting. – 241 p.
3. CEPI Sustainability report // – 2005. –CEPI, – 36 p.
4. Махотина Л.Г. Современные тенденции в технологии бумаги для печати / Л.Г. Махотина // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2008. – №3. – С. 52.



КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ БАРЬЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГОФРОКАРТОНА

Л.Р. Мусина, М.Ф. Галиханов

Казанский государственный технологический университет, Казань, Россия

Показатели прочностных и барьерных характеристик – главная мера эксплуатационных характеристик и расширения потенциала применения упаковки из гофрокартона. Перспективным направлением усовершенствования традиционного упаковочного материала является разработка композиций гофрокартона с различными полимерными материалами и получения электрета на его основе.

THE COMPLEX SOLUTIONS IN THE USE OF BARRIER MATERIAL ON THE BASIS OF CORRUGATED BOARD

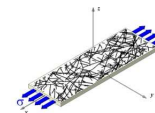
L. Musina , M. Galikhanov

Kazan State Technological University, Kazan, Russia

The factors of strength and barrier characteristics are body measure of operating characteristics and expansion potential of application corrugated board package. The creation composition of corrugated board with different polymeric materials and receipt elektrete on the basis of it is perspective direction of modernization traditional packaging material.

Постоянное расширение областей применения гофрокартонной упаковки приводит к появлению новых и более жестких требований к качеству гофрокартона. Несмотря на большую популярность гофрокартона как упаковочного материала, его применение ограничено таким значительным недостатком, как высокая гигроскопичность. Эксплуатация гофрокартона в условиях повышенной влажности довольно быстро приводит к потере прочностных свойств материала [3]. Особенно подвержен действию влаги воздуха гофрированный картон, изготовленный из вторичного сырья [4]. На сегодняшний день выпуск гофрированного картона с высокими показателями качества весьма ограничен. Решением проблемы гигроскопичности является создание многофункциональной упаковки на основе гофрокартона с поверхностной обработкой полимерными покрытиями (ламинированием). Для дальнейшего улучшения свойств упаковки перспективным является использование электретирования, которое позволяет получить активную упаковку, воздействующую на процесс хранения в ней продукции различного рода [2].

Цель настоящей работы – изучение эффективности применения поверхностной обработки полиэтиленом и полипропиленом гофрированного



картона на его прочностные и адгезионные свойства, а также оценка влияния процесса электретирувания на показатели качества упаковочного материала.

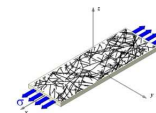
В качестве объектов исследования был выбран гофрированный картон марки Т 23 (ГОСТ Р 52901-2007), пленка из полиэтилена высокого давления (ПЭВД) толщиной 10 мкм и полипропилена (ПП) толщиной 23 мкм. Применение в качестве покрытий полиэтилена и полипропилена обусловлено отличными эксплуатационными и технологическими характеристиками полимеров: термостойкостью, высокой стойкостью к истиранию и устойчивостью к образованию микротрещин под нагрузкой. Последнее особенно важно, т.к. технологический процесс производства гофрокартона и гофротары характеризуется действием больших сил натяжения, прессования. Также преимуществом является пригодность данных полимеров для контакта с пищевыми продуктами. На образцы гофрированного картона размерами 100×25 мм, 20×150 мм накладывали полимерное покрытие и помещали в термошкаф на 10 минут при 150°С для покрытия из ПЭВД и 190 °С для покрытия из ПП. Охлаждение гофрированного картона с поверхностной обработкой проводили при комнатной температуре. Часть ламинированных образцов охлаждали в поле отрицательного коронного разряда для перевода их в электретное состояние. Затем образцы гофрированного картона подвергались испытаниям на сопротивление торцевому сжатию (ГОСТ 20683-97) и определению водостойкости клеевого соединения (ГОСТ 30758-2001).

Результаты исследований представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Результаты испытаний на сопротивление торцевому сжатию гофрированного картона ламинированного полиэтиленовой пленкой

Вид образцов	Показатель сопротивления торцевому сжатию, кН/м
Гофрированный картон без покрытия	4,06
Ламинированный гофрированный картон	4,43
Электретный ламинированный гофрированный картон	4,62

Видно (табл. 1, 2), что гофрированный картон с поверхностной обработкой полиэтиленовой и полипропиленовой пленкой по своим физико-механическим свойствам значительно превосходит обычный трехслойный



гофрокартон – поверхностная обработка полиэтиленом повышает значения сопротивления торцевому сжатию на 9 %, полипропиленом на 7 %.

Таблица 2. Результаты испытаний на сопротивление торцевому сжатию гофрированного картона ламинированного полипропиленовой пленкой

Вид образцов	Показатель сопротивления торцевому сжатию, кН/м
Гофрированный картон без покрытия	4,08
Ламинированный гофрированный картон	4,37
Электретный ламинированный гофрированный картон	4,51

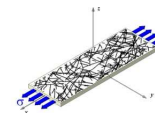
Прочность картона зависит не только от прочности волокон, но и от прочности связи между ними. При воздействии механической нагрузки разрушаются в большинстве случаев не сами волокна, а связи между ними.

Адгезия полимерного покрытия к гофрированному картону обеспечивается за счет сил механических зацеплений. В результате поверхностной обработки полимер, находясь в вязкотекучем состоянии, проникает в поры лайнера, заполняя, таким образом, пустоты. Это, в свою очередь, способствует уменьшению степени свободы и гибкости волокон, а также приводит к более сильному механическому их сцеплению друг с другом.

Интересными являются выявленные закономерности изменения физико-механических свойств ламинированного гофрокартона при электретировании. Из табл. 1, 2 видно, что электретное состояние ламинированного полиэтиленом гофрокартона повышает значения сопротивления торцевому сжатию на 13 %, ламинированного полипропиленовой пленкой – на 10 %.

Такие результаты объясняются тем, что на жесткость гофрированного картона большое влияние оказывает молекулярная ориентация полимеров. В работе [1] показано, что электретирование полимеров способно повысить значение прочностных свойств в 1,5-2,0 раза. Это авторы объясняют тем, что при воздействии электрического поля в диэлектрике происходит преимущественная ориентация макромолекул. Применимо к нашей системе – это могут быть ориентация макромолекул полиэтилена, полипропилена, целлюлозы, лигнина и крахмала.

Меньшее влияние полипропиленового покрытия на свойства гофрированного картона по сравнению с полиэтиленовым, можно объяснить не-



достаточной адгезией между лайнером и этим полимером. Фактором определяющим величину адгезии может являться повышенное значение вязкости полипропилена по сравнению с полиэтиленом, способствующее снижению степени упрочнения гофрированного картона в случае применения полипропилена.

Следующим этапом работы было исследование адгезионных свойств исследуемых материалов (табл. 3, 4)

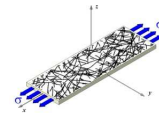
Таблица 3. Результаты испытаний на влагостойкость клеевого соединения погружением в воду для гофрированного картона ламинированного полиэтиленовой пленкой

Вид образцов	Показатель водостойкости клеевого соединения, с
Гофрированный картон без покрытия	276
Ламинированный гофрированный картон	492
Электретный ламинированный гофрированный картон	510

Таблица 4. Результаты испытаний на влагостойкость клеевого соединения погружением в воду для гофрированного картона ламинированного полипропиленовой пленкой

Вид образцов	Показатель водостойкости клеевого соединения, с
Гофрированный картон без покрытия	377
Ламинированный гофрированный картон	886
Электретный ламинированный гофрированный картон	901

При сравнении результатов испытания обычного и ламинированного гофрокартона наблюдается повышенная водостойкость клеевого соединения гофрокартона, ламинированного полиэтиленовой пленкой на 78 %, а ламинированного полипропиленовой пленкой на 135 % по сравнению с обычным гофрированным картоном (табл. 3, 4). Это можно объяснить тем, что расплав полимера, затекающий в пространство между волокнами, препятствует проникновению влаги в сложную капиллярно-пористую структуру лайнера и всего гофрокартона. Тогда при погружении материала в воду,

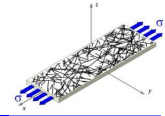


проникновение ее молекул к клеевому соединению происходит лишь с одной стороны гофрокартона.

Увеличение значений влагостойкости клеевого соединения гофрокартона ламинированного полиэтиленовой пленкой при электретировании на 84 % и для образцов гофрированного картона ламинированного полипропиленовой пленкой на 138 %, можно объяснить с точки зрения электрической теории адгезии. Эта теория постулирует, что все адгезионные явления можно объяснить с позиций переноса электронов через межфазную поверхность, приводящего к возникновению двойного электрического слоя. Наличие двойного электрического слоя затрудняет разрушение адгезионного контакта при динамических нагрузках и обуславливает увеличение работы отслаивания. Электрические явления не только сопутствуют отслаиванию пленок, но и служат важнейшим фактором, определяющим сопротивление пленок отрыву даже в том случае, когда он не чисто адгезионного, а смешанного характера. Обработка коронным разрядом ведет к появлению двойного электрического слоя в месте контакта целлюлозно-бумажного материала с крахмалом без приложения нагрузки отслаивания, что, соответственно, повышает работу, которую необходимо совершить для отделения различных материалов друг от друга

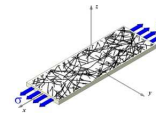
Интересным является сравнение влияния различных покрытий на адгезию клеевого соединения. Повышенные значения водостойкости клеевого соединения образцов, ламинированных полипропиленом можно объяснить увеличенной толщиной покрытия (23 мкм) по сравнению с полиэтиленом (10 мкм). С увеличением толщины покрытия возрастает сопротивление разрушающему напряжению и, как следствие, наблюдается увеличение времени сохранения прочностных характеристик гофрированного картона.

В связи с вышесказанным, применение процесса поверхностной обработки полимерными покрытиями с последующем электретировании способствует улучшению эксплуатационных характеристик гофрокартона. Таким образом, разработки в области создания электретного ламинированного гофрокартона являются перспективными в целлюлозно-бумажной и упаковочной промышленности, открывая новое направление в развитии барьерных материалов на основе гофрированного картона.



Список литературы

1. Вертячих, И.М., Свойства полимерных электретных материалов, сформированных в контакте с разнородными металлами. / И.М. Вертячих, Ю.И. Воронежцев, В.А. Гольдаде, Л.С.Пинчук // Пласт. массы. –1986. –№ 3. –С. 30–32.
2. Галиханов, М.Ф. Активный упаковочный материал для яблок/ М.Ф. Галиханов, А.Н. Борисова, Р.Я Дебердеев.// Вестник Казанского технологического университета. – 2004. – №1-2. – С.163-167.
3. Исаев, Б. Жесткость ящиков из гофрированного картона/ Б.Исаев// Тара и упаковка. – 2008. – № 1. – С.35-37.
4. Южанинова, Л.А. Особенности технологии бумаги–основы для гофрирования из макулатуры и требования к ее потребительским свойствам/ Л.А.Южанинова, Д.А.Дулькин, В.А.Спиридонов, В.И.Комаров. – Архангельск: изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2007. – 103 с.



СТАБИЛИЗАЦИЯ ВАЖНЕЙШИХ СВОЙСТВ ТАРНОГО КАРТОНА ИЗ МАКУЛАТУРЫ – УСТОЙЧИВАЯ ТЕНДЕНЦИЯ НА БЛИЖАЙШУЮ ПЕРСПЕКТИВУ

А.В. Синчук, И.В. Лавров, В.А. Спиридонов

ООО "Управляющая компания "Объединенные Бумажные Фабрики", Москва, Россия

Понятие высокого качества претерпевает перемену, уступая место требованию постоянства (равномерности, однородности) важнейших свойств. Для производителя бумаги это означает правильный выбор компонентов и целенаправленную подготовку композиции массы на предприятии, позволяющую максимально использовать потенциал исходных покупных полуфабрикатов.

STABILISATION OF THE MAJOR PROPERTIES OF A TARE CARDBOARD FROM PAPER FOR RECYCLING – THE STEADY TENDENCY ON IMMEDIATE PROSPECTS

A. Sinchuk, I. Lavrov, V. Spiridonov

Open Company "Managing company" Incorporated Paper-mills ", Moscow, Russia

The concept of high quality undergoes change, giving way to the constancy requirement (to uniformity, uniformity) the major properties. For the manufacturer of a paper it means a correct choice of components and purposeful preparation of a composition of weight at the enterprise, allowing as much as possible to use potential of initial purchased half-finished products.

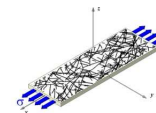
Во взаимоотношениях производителей тарного картона, тары и ее потребителями давно сложились партнерские отношения. Их суть в следующем: «Клиент определяет требования к готовой упаковке и диктует их производителю тары. Дело бумажников самим определить, какими технологическими приемами достичь требуемых свойств полуфабрикатов, а производителей тары, какими конструкционными особенностями гофрированного картона добиться поставленной цели» [1].

Полуфабрикатная база

В качестве сырья используются первичные и вторичные волокнистые полуфабрикаты. Производитель бумаги посредством выбора композиции бумажной массы и корректировки процессов ее приготовления может влиять на качество продукции и издержки на ее производство.

Процессы подготовки массы связаны, главным образом:

– с подбором ее композиции из морфологически различающихся видов волокон целлюлозы и макулатуры;



- фракционированием массы с целью выделения части волокон для армирования бумажного листа;
- развитием и оптимизацией свойств волокон в процессе размола;
- управлением бумагообразующими свойствами посредством организации рациональной системы водопользования и химии короткой циркуляции БДМ.

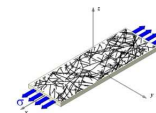
Важным представляется многослойное формование на БДМ, позволяющее рационально использовать волокна с различным морфологическим строением, полученные в процессе подготовки массы.

Как известно в настоящее время за рубежом целлюлозу производят из древесины хвойных или лиственных пород преимущественно сульфатным способом. Причем, все более увеличивается выращивание древесины на плантациях. В условиях благоприятного субтропического и тропического климата выращиваются не только разновидности эвкалипта и акации, имеющие коротковолокнистую целлюлозу, но также и древесные породы, содержащие длиноволокнистую целлюлозу, например, южную сосну, осину и тополь, обычно произрастающих в умеренных широтах. В табл. 1 показана динамика относительного роста продаж таких полуфабрикатов.

Таблица 1. Динамика роста продаж волокнистых полуфабрикатов, %

Наименование полуфабрикатов	2004 г.	2009 г.
Северная беленная хвойная крафт целлюлоза (NBSKP)	24	22
Крафт-целлюлоза из эвкалипта (BEKP)	19	23
Южная беленная крафт-целлюлоза (SBSKP)	11	10
Беленная хвойная крафт-целлюлоза (BSKP)	8	10
Полуфабрикаты высокого выхода (High Yield)	7	7
Индонезийская лиственная крафт-целлюлоза (Indonesia BHKP)	6	8
Небеленная крафт-целлюлоза (UKP)	5	5
Сульфитная целлюлоза (Sulphite)	2	1
Прочие виды белой лиственной крафт-целлюлозы (Other BHKP)	18	14

Ожидается, что крафт-целлюлоза из эвкалипта (BEKP) станет номером 1 на рынке товарной целлюлозы и потеснит с этой позиции стандартную крафт-целлюлозу (NBSKP) [2]. Такое развитие рынка – результат растущей концентрации производства целлюлозы на высокорентабельных установках большой производительности. В дальнейшем, при правильном выборе композиции и подготовки массы имеется возможность управлять



практически любыми свойствами листа, используя в основном коротковолокнистый полуфабрикат, а длиноволокнистую целлюлозу привлекать лишь для армирования структуры бумаги [3].

Естественно такая динамика снижения применения длиноволокнистых полуфабрикатов приводит к снижению качества макулатуры, основного сырья для производства тарного картона. На рис. 1 представлена динамика уменьшения показателя сопротивления сжатию короткого образца бумаги (SCT) из исходных полуфабрикатов за период 2002-2005 гг., отслеженная на предприятии *Hoysa SmurfitKappa Gruppe* [3]. Из отобранной из машинного бассейна массы на листоотливном аппарате готовились отливки массой 120 г/м^2 . Однозначно, средние значения SCT за период наблюдений полуфабрикатов как для крафт-лайнера, так и тест-лайнера значительно уменьшились.

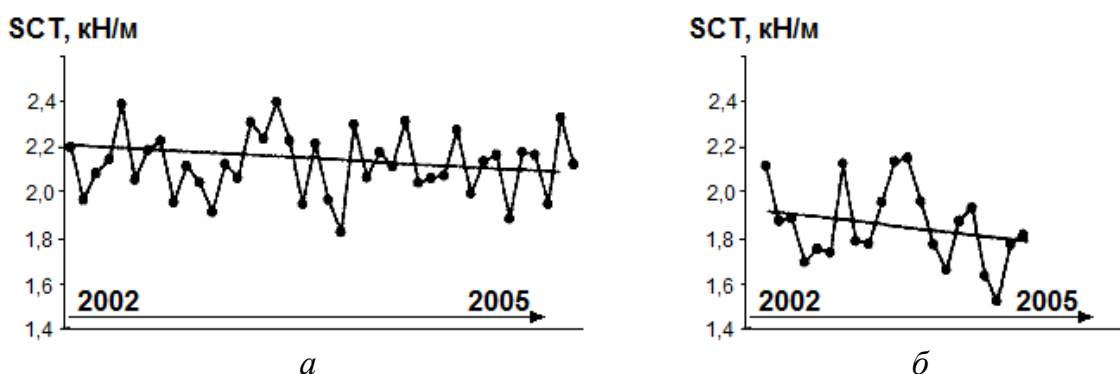


Рис. 1. Динамика снижения сопротивления сжатию короткого образца (SCT) у образцов крафт- (a) и тест-лайнера ($б$) за 2002-2005 гг.

Ситуация обостряется тем, что наряду с ухудшением качества сырья, у производителей гофрокартона, стремящихся к сокращению издержек производства, наблюдается устойчивая тенденция к снижению массы метра квадратного листа (табл. 2), что диктует необходимость осуществления мероприятий по компенсации потерь прочности продукции.

Изменения, на рынке коротковолокнистых первичных полуфабрикатов, привели к тому, что ассортимент высококачественных специальных видов целлюлозы все больше стал вытесняться мало затратными товарными полуфабрикатами. Понятие высокого качества претерпевает перемену, уступая место требованию постоянства (равномерности, однородности) важнейших свойств. Для производителя бумаги это означает, что на выбор первичного полуфабриката большое влияние может оказывать целенаправленная подготовка массы на предприятии, позволяющая максимально использовать потенциал исходных покупных полуфабрикатов.

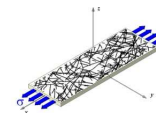


Таблица 2. Изменение массы 1 м² гофрированного картона (*Container board*)

Регион	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2010	Изменение (2001-2005) %	Изменение (2006-2010) %
Северная Америка	660	662	634	667	667	667	670	666	0,3	0,0
Западная Европа	541	539	539	537	540	538	536	530	0	-0,4
Центральная и Восточная Европа	532	523	514	527	526	525	525	519	-0,3	-0,3
Китай и Гонконг	770	762	751	739	728	717	707	675	-1,4	-1,5
Всего	631	629	629	629	626	626	625	615	-0,1	-0,4

Требования к флютингу и тест-лайнеру

Анализ европейского рынка тест-лайнера показывает присутствие преимущественно двух сортов, отличающихся уровнем качества, а именно тест-лайнера 2 и тест-лайнера 3 (рис. 2). Эти сорта различаются прочностными свойствами и печатными свойствами поверхности.

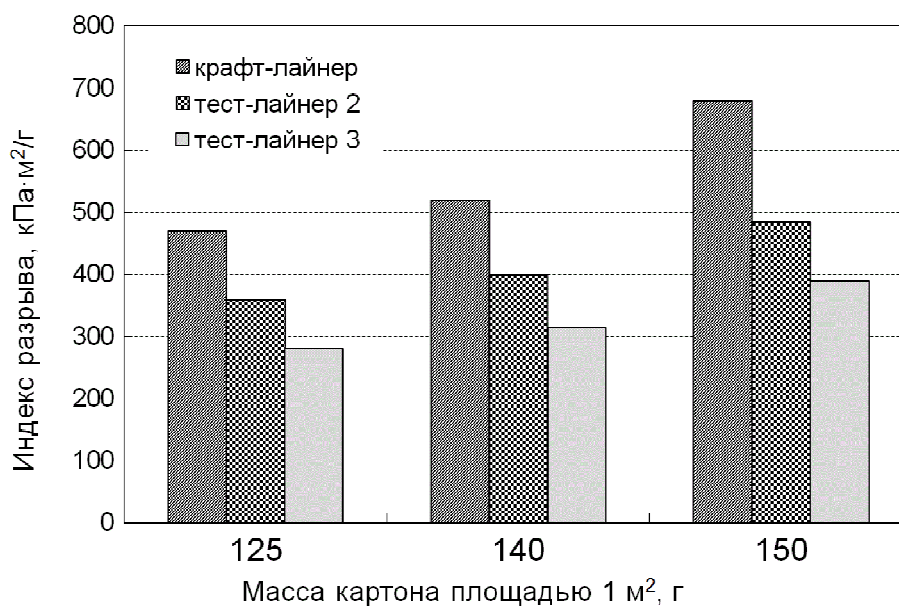
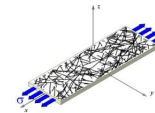


Рис. 2. Динамика индекса разрыва для крафт-лайнера, тест-лайнера 2 и 3 при разной массе 1 м²

Первоначально тест-лайнер 3 по сравнению с крафт-лайнером имел низкое качество по показателям сопротивления продавливанию, влагостойкости, внешнему виду и печатным свойствам. По этой причине, он главным образом использовался на внутренние слои картона.



С внедрением в начале 90-х годов устройств многослойного формования вместе с прессами с расширенной зоной прессования был обеспечен требуемый уровень качества тест-лайнера.

Завершающей стадией развития процессов очистки массы, стала разработка системы управления цветом путем добавки основных красителей в массу. В итоге появился тест-лайнер 2, который получил широкое использование в качестве внешнего слоя гофрокартона в тех случаях, когда сопротивление продавливанию не регламентируется.

Анализ показывает, что требования к флютингу и тест-лайнеру, перерабатываемых на различных гофроагрегатах, сильно отличаются. Так для производства гофрированного картона на высокоскоростных агрегатах (скорость 250-350 м/мин) необходимо использовать бумагу и картон с особо стабильными показателями и строгими допусками (табл. 2), в некоторых случаях более жесткими, чем они регламентируются ГОСТом.

Таблица 2. Требования к показателям картона для плоских слоев гофрированного картона массой 125 г/м² в зависимости от типа и скорости работы гофрирующих агрегатов

Параметры	Тип гофроагрегата и рекомендуемые допуски показателей		
	BHS, 250-350 м/мин	Мариус Мартин, до 250 м/мин	до 100 м/мин
Масса 1 м ² , г	± 2	± 5	± 6
Толщина, мм	± 0,02	± 0,03	± 0,05
Влажность, %	± 1	± 2	± 2
Впитываемость, г	20-30/40-50	20-30/40-70	20-30/40-100
Обрывы	не более 1	не более 2	не более 3

Особое внимание потребители картона уделяют: качеству намотки; прочности гильз; отсутствию пылимости; количеству и качеству склеек в рулоне; белизне поверхностного слоя для топ-лайнера.

Известна исключительная роль климатических условий проведения испытаний. Не случайно на зарубежных предприятиях деформационные свойства полуфабрикатов (SCT_{CD} , CMT_{30} , CCT), определяются при разной относительной влажности и температуре 23 ± 1 °С. Из данных, приведенных в табл.3 следует, что повышение относительной влажности обуславливает снижение упомянутых показателей в полтора раза! Естественно изменяются и другие показатели, но в меньшей степени.

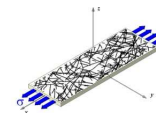


Таблица 3. Результаты исследований образцов бумаги и картона предприятия *Swiecie Mill* (Республика Польша)

Наименование показателей	Бумага для гофрирования, марки	
	<i>S/C Fluting</i>	<i>S/C_{FR} Resco</i>
Масса 1 м ² , г	140	140
Сопротивление торцевому сжатию короткого образца, <i>SCT_{CD}</i> , кН/м	2,90 [*]) / 2,00	3,05 / 2,10
Сопротивление плоскостному сжатию, <i>CMT₃₀</i> , Н	360 / 240	378 / 252
Сопротивление торцевому сжатию, <i>CCT</i> , кН/м	2,63 / 1,71	2,76 / 1,80

* В числителе показатели, определенные при относительной влажности воздуха 50±2 % , а в знаменателе, 85±2%. Измерения проводились при 23±1⁰С .

О роли равномерности влажности бумажного полотна можно судить по динамике показателя *SCT* при изменении влажности бумаги (рис. 3).

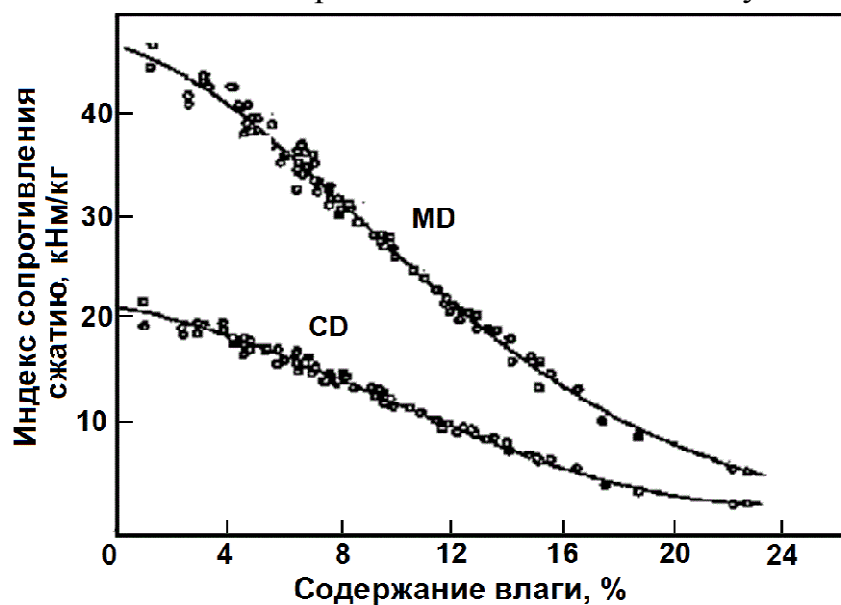
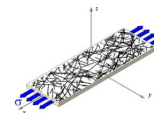


Рис. 3. Динамика показателя *SCT* при изменении влажности бумажного полотна (Источник: Lorentzen & Wettre)

При увеличении влажности лишь на 1 % индекс сопротивления сжатию *SCT* сокращается на 7-10 %.

На наш взгляд, совершенно недостаточное внимание производители и потребители уделяют контролю температурных условий хранения, транспортировки и переработки тарного картона. Вместе с тем, следует заметить, что внешний климат (на улице и не отапливаемом складе) подвержен сезонным колебаниям, поэтому следует обращать внимание на со-

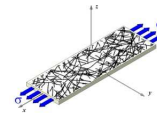


гласование параметров температуры и относительной влажности рулонов тарного картона и климатических условий его переработки.

Особую актуальность приобретают комплексные научные исследования свойств вторичных волокон, а также деформационных и прочностных свойств флютинга и тест-лайнера с их использованием. Не менее важными представляются исследования влияния компонентного состава свежей и оборотной воды на свойства тарного картона с последующим научным обоснованием рациональных систем водопользования и химии короткой циркуляции БДМ.

Список литературы

1. Weig X., Kalden W.-A. Vom Karton zur Faltschachtel - Welche Potenziale verbergen sich an der Schnittstelle zwischen beiden Produktionsstufen? / ipW. – №1-2. –2009. – s. 26-29.
2. Erhard Klaus, Miletzky Frank. Fasereigenschaften und Fasereinsatzbedingungen / ipW. – № 11-12. –2006. – s. 57-63.
3. Elmlid, CG. Fibre Fractionation – A way to make two interesting products of one. Fibre in Focus I, Södra Firmensymposium, Erbach, 2001.
4. Tony Pinnington. The Corrugated Industry // England. – Hampshire. -SP11 8PRr. –2002. – P. 350.



УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ БУМАГИ МНОГОСТУПЕНЧАТЫМ РАЗМОЛОМ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ НА ДИСКОВЫХ МЕЛЬНИЦАХ

В.И. Темрук¹, А.Н. Кашин¹, В.В. Горжанов², Т.В. Соловьева²

¹УП «Бумажная фабрика» Гознака Беларуси, Борисов, Республика Беларусь

²Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь

Определена возможность управления параметрами бумажной массы и свойствами бумаги многоступенчатым размолом на дисковых мельницах. Установлено, что эффективным способом управления свойствами бумаги является окружная скорость размалывающего органа.

MANAGEMENT PAPERS CHARACTERISTIC BY MULTISTAGE CELLULOSE REFINING ON DISC RAFINERS

V. Temruk¹, A. Kashin¹, V. Gorzhanov², T. Solovieva²

¹Unitary Enterprise "Paper-mill" of Goznak, Borisov, Belarus

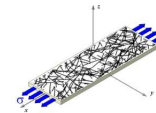
²Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

The Certain possibility of management parameter paper mass and characteristic of the paper by phased milling on disc mill. It Is Installed by that efficient way of management characteristic papers is a district velocity grinding organ.

Для управления параметрами бумажной массы в процессе размола существуют различные технологические решения, которые предусматривают отдельный размола каждого из волокнистых полуфабрикатов, использование различной гарнитуры, а так же включение в перечень оперативных факторов частоты вращения привода мельницы.

Как правило, в руках технолога-бумажника эффективным методом воздействия на процесс размола являются активные переменные факторы, оказывающие влияние на технологический режим. Факторы же, связанные с размольным оборудованием применяются редко. Для их изменения необходима замена размалывающей гарнитуры, что требует определенных временных и материальных затрат. Отдельный размола бумажной массы – очень дорогое решение для технологии размола, и используется только на потоках с большой единичной мощностью [1, 2].

Частота вращения размалывающих органов мельницы изучена менее других факторов процесса размола. Целью исследований было установление влияния окружной скорости размалывающих органов на направление размола и свойства бумаги.



Исследовалась композиция, состоящая из целлюлозы сульфатной (СФА) хвойной производства компании VOTNIA (Финляндия) – 40 %, и сульфатной лиственной производства компании ILIM PULP (Россия) – 60 %. В процессе исследований изменялась частота вращения двигателя мельницы от 700 до 2000 об/мин. При этом проводили двухстадийный размол: изменяли частоту вращения ротора первой и второй мельниц. Оценивали изменение степени помола волокна при помощи прибора СР-2 типа Шоппер-Риглера и средневзвешенную длину волокна на аппарате Иванова. Для более полной оценки изменений, происходящих с волокнами целлюлозы при изменении режима размола при помощи фракционатора Messmer Buchel Bauer McNett, определяли фракционный состав полученной бумажной массы.

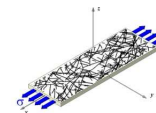
Управление процессом размола осуществляли на основе следующих закономерностей [2, 3]:

1. Снижение частоты вращения ротора размалывающего оборудования увеличивает укорачивание волокон длиноволокнистых хвойных целлюлоз, а повышение обеспечивает фибриллирование, или ужирнение бумажной массы с незначительным снижением длины волокон.

2. Для коротковолокнистой лиственной целлюлозы изменение частоты вращения ротора размалывающего оборудования незначительно сказывается на характере размола, что позволяет при совместном размолу хвойной и лиственной целлюлозы управлять фракционным составом массы преимущественно воздействием на ее длиноволокнистую (хвойную) составляющую.

При проведении эксперимента изменяли режим размола бумажной массы путем изменения частоты вращения ротора первой и второй мельниц (табл.1).

Как видно из табл. 1, уменьшение частоты вращения ротора первой мельницы до 700-1000 мин⁻¹ и повышение на второй мельнице до 1500-2000 мин⁻¹ способствовало укорочению волокон, о чем свидетельствует пониженное (по сравнению с 5 вариантом, где частота вращения на обеих мельницах была одинакова) содержание первой фракции 14-22 %. В то же время понижение частоты вращения ротора на первой мельнице ниже 1000 мин⁻¹ приводило к увеличению содержания мелочи: количество четвертой фракции составило 30 %, а пятой – 12 %. Повышение частоты вращения ротора первой мельницы до 1500 мин⁻¹ уже не приводило к значительному укорочению волокон. Режим размола, при котором снижается



частота вращения ротора второй мельницы (вариант б) приводил к накоплению мелочи – количество пятой фракции составляло 22 % при высоком содержании первой фракции 42 %.

Таблица 1. Свойства бумажной массы в зависимости от режима размола

№ варианта	Частота вращения ротора первой мельницы, мин ⁻¹	Частота вращения ротора второй мельницы, мин ⁻¹	Степень помола, °ШР	Длина волокна, дг	Количество волокна по фракциям, % (с размером ячеек сита, мм)				
					1 (1,19)	2 (0,59)	3 (0,29)	4 (0,14)	5 (<0,14)
1	700	2000	59	38	16	20	22	30	12
2	1000	1500	57	41	14	31	29	17	9
3	1000	2000	60	40	22	30	21	20	7
4	1500	2000	62	39	43	28	16	8	5
5	1500	1500	59	44	45	20	10	14	11
6	1500	700	58	37	42	13	14	9	22

Наиболее равномерный фракционный состав удалось получить, используя режим размола по варианту 3: содержание всех четырех фракций было примерно одинаково и составляло 20-30 % при невысоком содержании мелочи – 7 %.

Таким образом, можно заключить, что изменение частоты вращения ротора по стадиям позволяет управлять фракционным составом бумажной массы, который можно варьировать целенаправленным изменением процесса размола целлюлозы в сторону рубки либо фибриллирования волокон при использовании стандартного комплекта гарнитуры без необходимости ее замены.

Из бумажной массы, полученной при режимах размола по приведенным вариантам были изготовлены и испытаны образцы бумаги (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что разрывная длина и прочность на излом имеют максимальные значения для режимов размола, где не происходит значительного укорачивания первой длинноволокнистой фракции. Исключение составляет бумага, изготовленная по варианту 6, что можно объяснить повышенным содержанием мелочи по этому варианту – 22 %.

На показатели воздухопроницаемости и стойкости поверхности к выщипыванию также оказывает влияние фракционный состав волокна: эти показатели уменьшаются при увеличении содержания мелких волокон в бумаге.

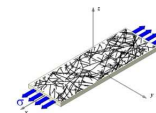


Таблица 2. Свойства бумаги, полученной при различных режимах размола

№ варианта	Разрывная длина, км	Сопротивление раздиранию, мН	Прочность на излом, ч.д.п.	Стойкость поверхности к выщипыванию по Деннисону, № теста	Воздухопроницаемость, мл/мин
1	4,90	440	32	10	410
2	5,68	600	45	18	430
3	6,77	640	62	18	460
4	7,46	600	65	18	510
5	6,82	620	61	14	390
6	5,93	590	56	12	310

При этом наилучшим комплексом свойств обладает бумага, изготовленная из массы, размолотой по вариантам 2 и 3, обладающей по сравнению с другими вариантами, более равномерным фракционным составом по волокну.

Исходя из полученных данных, можно сделать следующие выводы:

– установлено влияние окружной скорости размалывающих органов на направление размола и свойства бумаги: результат достигается изменением частоты вращения ротора первой и последней мельниц изменением частоты вращения двигателей мельниц путем уменьшения оборотов на первой ступени размола и их увеличение на последующих ступенях, что приводит к изменению фракционного состава бумажной массы;

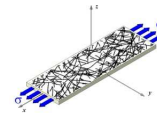
– управление фракционным составом позволяет в значительных пределах регулировать свойства бумаги. Наилучшим комплексом свойств обладает бумага, изготовленная из массы с равномерным фракционным составом.

Список литературы

1. Xinshu W. Effects of various refining on dry sheet properties of commercial never-dried and dried kraft softwood pulps / Wang Xinshu, Paulapuro Hannu (740 Notre Dame West, Suite 810, Montreal, QC, H3C 3X6, Canada, pubs@paptac.ca) // 91 Annual Meeting of PAPTAC (Pulp and Paper Technical Association of Canada), Montreal, Febr. 8-10, 2005 : Preprints. Book B. – Montreal, 2005. – С. 13-21.

2. Технология целлюлозно-бумажного производства. Т.2. Производство бумаги и картона /Ч.1. Технология производства и обработки бумаги и картона. – СПб.: Политехника. 2005. – 423 с.

3. Paulopuro, H. Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End/ Paulopuro H.// TAPPI/ Technical Assotiation of the Pulp and paper Industry, 15 Technology Park-way S., Norcross, GA 30092, USA. – 2000. – 457 P.



ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ БУМАГИ ДЛЯ ПЕЧАТИ ИЗ ВТОРИЧНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ НАПРАВЛЕННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПРОЦЕССА ИХ РАЗМОЛА

Т.В. Соловьева, А.А. Каверина, В.В. Горжанов, А.А. Пенкин

*Белорусский государственный технологический университет, Минск,
Республика Беларусь*

Регулированием факторов размола массы (продолжительности размола, величины межножевого зазора, частоты вращения ротора мельницы) из макулатуры марки МС-2А найдены оптимальные параметры получения бумаги для печати с повышенными прочностными свойствами.

INCREASING THE STRENGTH PROPERTIES OF PAPER FOR PRINTING FROM SECONDARY SEMI-FINISHED BY DIRECTIONAL CONTROL OF THE PROCESS OF THEM MILLING

T. Solov'eva, A. Kaverina, V. Gorzhanov, A. Penkin

Belarusian State Technological University, Minsk, the Republic of Belarus

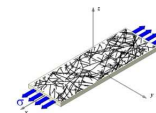
The optimum parameters to get printing paper with improved strength properties have been found by controlling factors of milling pulp (duration of the milling process, value of refiner power and frequency of rotor revolution) from waste paper grade 2A.

Макулатура является ценным сырьем для бумажно-картонной промышленности. Производство бумаги и картона из вторичных волокон растет быстрыми темпами, примерно в два раза быстрее, чем производство бумаги из свежих полуфабрикатов. Этому способствуют как экономические, так и экологические факторы.

В настоящее время макулатура используется преимущественно для производства низкосортных видов бумаги и картона, в то время как на долю бумаги для печати приходится менее 1 % [1]. Это обусловлено высокими требованиями к показателям качества такого вида продукции, которые в значительной мере зависят от условий проведения размола массы.

Целью работы являлось установление режима размола массы из макулатуры марки МС-2А в лабораторной дисковой мельнице комплекта ЛКР-1, который позволил бы достичь высоких показателей качества бумаги для печати.

Роспуск макулатуры проводили с использованием гидроразбивателя ЛГ-3 этого же комплекта. В качестве сырья использовали макулатуру марки МС-2А в виде белой бумаги, запечатанной с одной стороны на лазерном



принтере. В процессе роспуска каждые 5 мин отбирали образцы массы и определяли ее характеристики: степень помола, средневзвешенную длину волокна и скорость обезвоживания. В табл. 1 представлена характеристика макулатурной массы в зависимости от времени роспуска.

Таблица 1. Влияние времени роспуска на характеристики массы из макулатуры марки МС-2А

Время роспуска, мин	Характеристики макулатурной массы		
	степень помола, °ШР	показатель средневзвешенной длины волокна, дг	скорость обезвоживания, мл/с
5	21	27	36
10	24	27	31
15	27	27	29
20	27	27	27
25	27	27	27
30	27	27	27

Как видно из табл. 1, с увеличением продолжительности роспуска степень помола массы увеличивается, достигая постоянных значений в течение 15 мин. В то же время в процессе роспуска снижается скорость обезвоживания массы с 36 до 27 мл/с, достигая постоянных значений за 20 мин. Снижение скорости обезвоживания массы можно объяснить уменьшением содержания в ней сгустков, а также значительной степенью набухания волокон, для чего 20 мин воздействия воды оказалось достаточным.

С целью установления направления процесса размола был определен фракционный состав макулатурной массы после ее роспуска в течение 20 мин в гидроразбивателе. Фракционирование осуществляли при помощи фракционатора Messmer Buchel Bauer McNett. В процессе фракционирования макулатурную массу последовательно пропускали через 4 сетки со следующими величинами пропускающего отверстия: 1 – 16 нитей на дюйм (1,190 мм), 2 – 30 нитей на дюйм (0,595 мм), 3 – 50 нитей на дюйм (0,297 мм), 4 – 100 нитей на дюйм (0,149 мм), получая, таким образом, 4 фракции. Из каждой фракции массы после их роспуска приготавливали 1 % суспензию, для которой определяли показатели: степень помола и скорость обезвоживания макулатурной массы, средневзвешенную длину волокна (табл. 2).

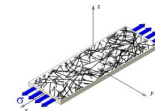


Таблица 2. Характеристики фракций макулатурной массы

Номер фракции (сита)	Характеристика массы		
	степень помола, °ШР	показатель средневзвешенной длины волокна, дг	скорость обезвоживания, мл/с
1 (16)	16	68	174,2
2 (30)	17	40	124,6
3 (50)	21	30	95,4
4 (100)	22	13	73,8

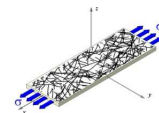
Как видно из табл. 2, фракции заметно отличаются друг от друга по характеристикам средневзвешенной длины волокна и скорости обезвоживания. При этом, чем меньше длина волокон, тем более они разработаны (на что указывает степень помола массы, полученной из каждой фракции, которая возрастает с 16 до 22°ШР при увеличении номера фракции) и лучше удерживают воду (скорость обезвоживания массы, полученной из каждой фракции, снижается с 174,2 до 73,8 мл/с по мере увеличения номера фракции).

Для установления влияния каждой фракции на прочность бумаги из макулатурной массы для каждой из 4 фракций с представленными характеристиками были изготовлены на листоотливном аппарате Ernst-Haage и испытаны на горизонтальной разрывной машине фирмы «Lorentzen and Wettre» образцы бумаги, показатели качества которых представлены в табл. 3.

Таблица 3. Показатели качества бумаги, полученной из различных фракций макулатурной массы

Номера фракций и сит	Наименование показателей бумаги			
	разрушающее усилие, Н	относительное удлинение, %	сопротивление раздиранию, мН	прочность на излом при многократных перегибах, ч.д.п.
1 (16)	39,1	2,10	280	320
2 (30)	24,1	1,10	260	260
3 (50)	21,9	1,08	190	170
4 (100)	18,1	0,98	110	40

Как видно из табл. 3, значения всех показателей качества бумаги по мере увеличения номера фракции снижаются. Наибольшую прочность бумаге придает первая – длиноволокнистая фракция. Волокна второй и тре-



твей фракций, более разработанные (на что указывают повышенные значения степени помола массы, табл. 2), позволяют получать бумагу с хорошей структурой, достаточной для обеспечения сравнительно высоких показателей прочности, особенно по сопротивлению раздираю (разница значений показателя между первой и второй фракциями составляет 7,14 %). Из волокон четвертой фракции получается бумага с низкой прочностью. Это объясняется, главным образом, малой длиной волокон, снижением прочности самих волокон, что приводит к снижению межволоконных сил связи [2].

На основании полученных данных можно заключить, что процесс размола макулатуры необходимо вести таким образом, чтобы не происходило сильного укорачивания волокон с достижением их интенсивного фибриллирования, требуется получать массу с преобладанием волокон второй и третьей фракций.

Для определения оптимальных параметров процесса размола макулатурной массы применяли математическое планирование эксперимента. Организационной основой для математического описания и оптимизации процесса размола являлся многофакторный план Кифера [3].

Макулатурную массу после роспуска в течение 20 мин перегружали в мельницу НДМ-3 лабораторного размалывающего комплекта ЛКР-1 и осуществляли ее размол. При проведении эксперимента варьировали: продолжительность размола (5, 10, 15 мин), величину межножевого зазора в мельнице (0,3; 0,4; 0,5 мм) и частоту вращения ее ротора (1000; 1500; 2000 об/мин). Во всех 26 опытах для полученной макулатурной массы определяли степень помола, показатель средневзвешенной длины волокна, а также оценивали величину израсходованной электроэнергии на размол. В результате эксперимента было установлено, что значения показателя средневзвешенной длины волокон для массы, полученной из макулатуры (21 дг), изменяются практически в пределах погрешности, поэтому этот показатель при проведении расчетов по оптимизации не учитывался.

Расчеты обобщенного критерия оптимизации позволили установить оптимальные параметры процесса размола макулатурной массы (продолжительность размола – 10 мин, величина межножевого зазора – 0,21 мм, частота вращения ротора мельницы – 1500 об/мин), которые обеспечили получение следующих показателей качества – степень помола – 47 °ШР, расход электроэнергии на размол – 54 Вт.

Фракционный состав макулатурной массы после роспуска в течение 20 мин и размолотой при оптимальных параметрах представлен на рис. 1.

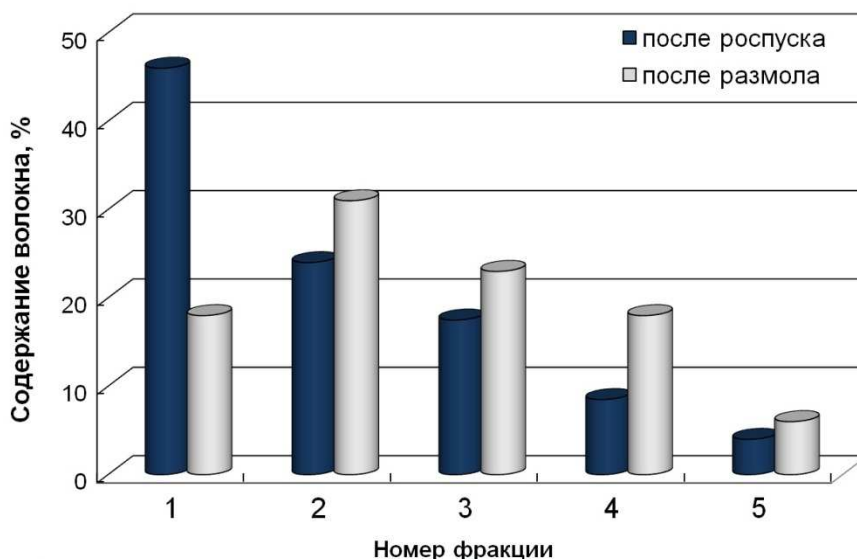
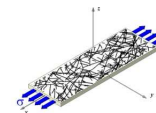


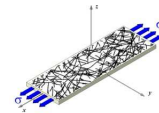
Рис. 1. Фракционный состав макулатурной массы после роспуска и размола

Как видно из рис. 1, после размола произошло увеличение количества волокон второй и третьей фракций за счет снижения количества первой фракции с 46,6 до 18,5 %. В то же время не удалось избежать и нежелательного измельчения волокон, о чем свидетельствует явное увеличение количества волокон четвертой фракции.

Сравнительная характеристика показателей качества бумаги, из которой была получена макулатура, изготовленной из макулатурной массы после ее 20 мин роспуска и размолотой при оптимальных параметрах, представлена в табл. 2.

Таблица 2. Сравнительная характеристика бумаги, полученной из макулатуры

Наименование показателя	Значения показателей бумаги		
	исходная	полученная после	
		роспуска	размола
Разрушающее усилие, Н	68,55	58,06	78,78
Прочность при растяжении, кН/м	4,57	3,87	5,25
Разрывная длина, км	5,83	4,93	6,69
Относительное удлинение, %	2,14	2,10	2,38
Жесткость при разрыве, кН/м	568	510	613
Сопротивление раздиранию, мН	480	360	510
Прочность на излом при многократных перегибах, ч.д.п.	320	200	280

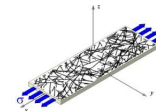


Как видно из табл. 2, показатели бумаги из макулатурной массы после 20 мин ее роспуска явно ниже соответствующих показателей, определенных для исходной бумаги, это обусловлено известным [4] понижением бумагообразующих свойств волокон макулатуры по сравнению с волокнами первичных полуфабрикатов. Однако, в результате последующего размола, наоборот, показатели бумаги значительно улучшаются (разрушающее усилие 78,78 Н, сопротивление раздиранию 510 мН) и даже превышают значения, определенные для исходной бумаги (разрушающее усилие 68,55 Н, сопротивление раздиранию 480 мН). Это указывает на достигнутую в процессе размола разработку волокон, повышение их эластичности и достаточно высокое развитие межволоконных связей. Исключение составляет некоторое понижение показателя прочности на излом при многократных перегибах, что вполне объяснимо наличием коротких волокон в массе, образовавшихся в результате размола. В то же время, понижение этого показателя сравнительно незначительно и составляет не более 40 д.п., что вполне допустимо для печатных видов бумаги.

Из результатов проведенного эксперимента следует, что повышения прочностных свойств бумаги из макулатуры можно достичь направленным регулированием процесса их размола.

Список литературы

1. Ванчаков М.В. Технология и оборудование для переработки макулатуры: учебное пособие / М.В. Ванчаков, А.В. Кулешов, Г.Н. Коновалова. – Санкт-Петербург: СПб, 2010. – Ч.1. – 98 с.
2. Иванов С.Н. Технология бумаги / С.Н. Иванов. – 3-е изд. – М.: Школа бумаги, 2006. – 696 с.
3. Колесников В.Л. Компьютерное моделирование и оптимизация химико-технологических систем / В.Л. Колесников, И.М. Жарский, П.П. Урбанович. – Мн.: БГТУ, 2004. – 532 с.
4. Фляте Д.М. Бумагообразующие свойства волокнистых материалов / Д.М. Фляте. – М.: Лесн. Пром-сть, 1990. – 136 с.



ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ГОФРИРОВАННОГО КАРТОНА

Г.И. Долинская

ОАО «Жидачевский ЦБК», Жидачев, Украина

Технология гофрированного картона представляет собой сложную систему взаимосвязанных и взаимозависимых процессов. Знание и понимание этих процессов дает возможность управлять системой с целью достижения конкурентных преимуществ как по качеству продукции, так и по ее себестоимости. Решить проблему конкурентоспособности мы попытались при помощи системного анализа.

SYSTEM ANALYSIS APPLICATION IN THE SOLUTION OF A PROBLEM OF THE CARDBOARD COMPETITIVENESS

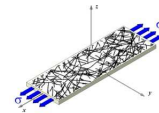
G.Y. Dolinska

Zhydachiv PPM, Zhydachiv, Ukraine

Corrugated cardboard production technology is a complex system of interrelated and interdependent processes. Knowledge and understanding of these processes makes it possible to operate the system in order to achieve competitive advantage as for the product quality and its cost. We tried using the system analysis to solve the problem of competitiveness.

В современных рыночных условиях целлюлозно-бумажная промышленность, являясь одной из наиболее капиталоемких отраслей мировой промышленности, требует концентрации усилий для максимального повышения производительности и прибыльности. С одной стороны, это требует непрерывного создания все более совершенных и высокопроизводительных машин и экономного использования сырьевых ресурсов, с другой стороны, конкурентоспособность существующих предприятий должна быть подкреплена мерами по повышению качества и производительности, эффективным обслуживанием и соблюдением норм охраны окружающей среды. Все эти аспекты одинаково важны для сохранения конкурентоспособности в будущем.

Согласно статистическим данным годовые объемы производства гофропродукции в Украине достигают 75 % от производства всей картонно-бумажной продукции. Уровень производства тароупаковочных видов продукции превышает уровень потребления, значительная часть – до 15 % – экспортируется на международный рынок, где существует своя конкурентная среда. В технологии тароупаковочных видов продукции применяются первичные и вторичные волокна, причем годовая потребность первич-



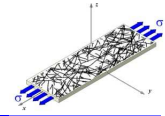
ного волокна для Украины составляет 300 тыс. т. Известно, что первичное волокно в Украине не производится, а степень утилизации картонно-бумажной продукции слишком низок, чтобы обеспечить производство достаточным количеством волокнистого сырья.

Наличие устаревших производственных мощностей, дефицит волокнистого сырья, обострение конкуренции на мировом рынке – все эти факторы и, вместе с тем, большая потребность общества в тароупаковочных видах продукции свидетельствуют, что в таких условиях задача повышения эффективности осуществления всего комплекса процессов технологии приобретает неотложный характер.

На современном этапе для многих предприятий особый интерес представляют исследования, касающиеся решения проблем использования вторичного сырья для производства гофрированного картона, что позволяет управлять процессами технологии с целью достижения наилучших результатов по качеству и себестоимости продукции. К числу этих проблем относятся:

- методы восстановления бумагообразующих свойств волокна из макулатуры;
- оптимизация выбора гофроматериалов (бумаги и картона), которые для производства гофрированного картона будут наиболее технологически целесообразными и экономически выгодными;
- способы улучшения потребительских свойств гофрированного картона из макулатуры;
- гармонизация нормативной документации в связи с расширением рынка и необходимостью сотрудничества в единой системе международной стандартизации.

Множество известных нам исследований в вопросах производства гофрированного картона имели узконаправленный характер, то есть изучался один процесс, показатель или характеристика, например: размол волокна, фракционирование волокна, использование катионного крахмала для улучшения свойств гофроматериалов, изучение свойств и разработка крахмального клея для склеивания слоев гофрокартона и т.д. В нашем представлении технология гофрированного картона – это сложная система, состоящая из совокупности взаимосвязанных элементов, образующих некоторое единство. Поэтому, мы попытались использовать системный анализ, как комплекс исследований, направленных на выявление общих тен-



денций и факторов для решения проблемы конкурентоспособности гофрированного картона.

Каждое отдельное предприятие гофроиндустрии владеет конкретными составляющими технологии гофрированного картона: технологическое оборудование, источники получения волокнистого сырья и энергоресурсов для производства гофроматериалов (бумаги и картона) или источника приобретения готовых гофроматериалов, наличие квалифицированного персонала, система управления процессами. Все эти факторы имеют непосредственное влияние на формирование стоимости конечной продукции и состояние ее конкурентоспособности. Очевидно, что себестоимость гофрированного картона для каждого предприятия будет разной, а цена на рынке – такой, которую будет готов заплатить потребитель. В конечном итоге соотношение всех вышеперечисленных факторов будет определять два основных показателя для предприятия: конкурентоспособность продукции и прибыльность.

Технология гофрированного картона представляет собой систему, в пределах которой последовательно осуществляются операции с применением технологического оборудования для переработки ресурсов в продукты потребления и промежуточные продукты. Осуществление технологии невозможно без наличия объема знаний, которые позволяют применять наиболее экономические и экологически целесообразные методы производства продукции с номинальным качеством и оптимальными затратами. Схематическое изображение системы процессов технологии гофрированного картона показано на рис. 1, анализ которой указывает на то, что каждый предыдущий процесс влияет на результаты следующего процесса. Элементы системы связаны между собой и осуществляют взаимное влияние как на результат каждого этапа, так и на результат работы всей системы. Ключевым элементом системы является элемент «Ресурсы». В зависимости от вида применяемых ресурсов эффективность технологических процессов и качество конечного продукта будет разным. Следовательно, основными процессами технологии гофрированного картона являются: процессы подготовки волоконных полуфабрикатов; процессы получения бумаги и картона с установленными свойствами; процесс приготовления клеевого раствора с заданными свойствами; процессы гофрирования бумаги и склеивания гофрированного слоя бумаги с плоскими слоями картона; процессы последующей обработки полученного гофрокартона для повышения его потребительской привлекательности и удовлетворения потребности рынка.

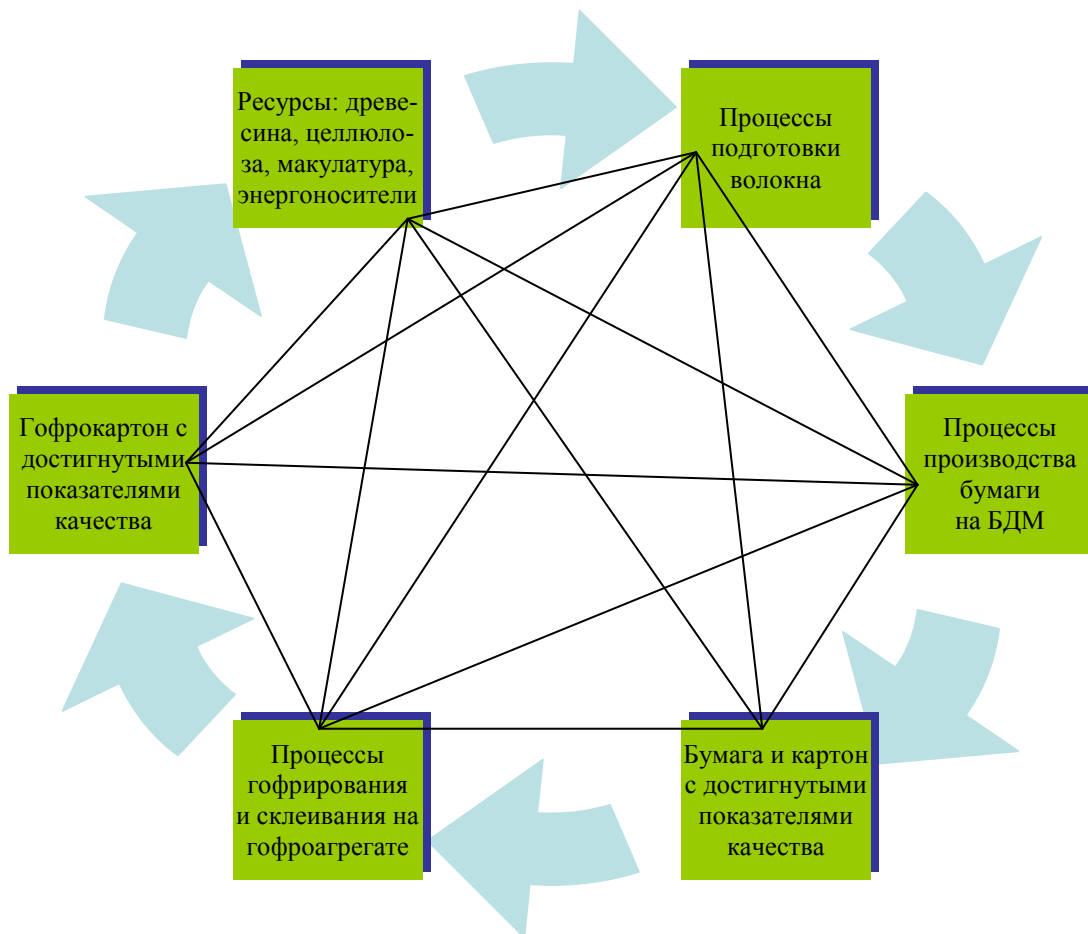
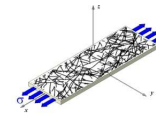
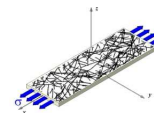


Рис. 1 Схематическое изображение системы взаимосвязанных и взаимозависимых процессов технологии гофрокартона

Обеспечение конкурентоспособности продукции – первоочередное задание экономической политики отечественных производителей гофропродукции. От успешного решения этого задания полностью зависит будущее гофроиндустрии и функционирование отдельных предприятий. Поэтому, в основу проведения наших исследований была положена идея системного подхода с целью предложения концепции комплексного решения проблемы обеспечения конкурентоспособности гофрированного картона за счет эффективного использования вторичного сырья в процессах технологии и оптимизации технологических параметров работы оборудования после их внедрения, что позволяет получить технический, технологический, экологический и социальный эффекты.

Научные и практические результаты исследований легли в основу разработанных удельных норм расхода сырья, материалов и энергоресурсов на выпуск единицы продукции, изменение которых привело к сниже-



нию потребности сырья, материалов и химикатов на выпуск годового объема готовой продукции:

1. Производственная мощность гофроагрегата увеличилась на 34,7 %.

2. Норма расхода крахмала на единицу площади гофрокартона уменьшилась на 17,6 %.

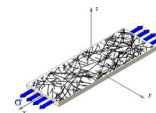
3. Норма расхода бумаги и картона на единицу площади гофрокартона уменьшилась на 1,4 %, в связи с чем потребность гофроматериалов на весь выпуск гофрированного картона уменьшилась на 9,9 % с учетом снижения массы 1 м² бумаги и картона.

4. Масоємкость гофрированного картона уменьшилась на 8,9 % (с 505 до 460 г/м²).

5. При увеличении объемов изготовления гофрированного картона на 34,7 % потребность древесного сырья уменьшилась на 43,8 %.

Снижение себестоимости гофрированного картона кроме экономического эффекта имеет значительный социальный эффект, который проявляется в снижении стоимости упаковки из гофрокартона, что в свою очередь приводит к снижению доли стоимости упаковки в стоимости упакованной продукции.

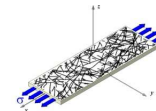
В настоящее время для предприятий ЦБП чрезвычайно актуальными являются проблемы рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды, поскольку целлюлозно-бумажное производство характеризуется высокой степенью химизации, непрерывностью технологического процесса и занимает третье место по степени вредного воздействия на окружающую среду. В этой связи, использование технологии гофрированного картона из вторичного волокна позволяет решать несколько глобальных экологических проблем: экономия природных ресурсов; обеспечение качественного и длительного сохранения пищевых продуктов при условии использования соответствующей тары. При увеличении использования вторичного сырья доля бумажных отходов в виде макулатуры в природной среде уменьшается. Этот факт не только обеспечивает уменьшение потребления древесного сырья, но и предупреждает появлению значительных выбросов в атмосферу газа метана, который появляется на свалках, и способствует парниковому эффекту.



Выводы.

Необходимым условием благоприятного сочетания фактора увеличения потребления вторичного волокна в технологии и результата – улучшения работы технологического оборудования и качества продукции – есть глубокое знание процессов, которые при этом происходят. Это касается всего ряда взаимосвязанных факторов, как производства волоконной массы из макулатуры, производства бумаги и картона из макулатурной волоконной массы, так и производства гофрированного картона из этих материалов. Опыт применения вторичного волокна в отрасли гофропроизводства не является прерогативой лишь мировой гофроиндустрии. Опираясь на научные результаты, отечественные предприятия пытаются адаптировать вторичное сырье в композицию качественной бумаги и картона. Усиление роли науки в обосновании процессов комплексного использования вторичных волокон из макулатуры для переработки в качественную продукцию, открывает новые перспективы в этой отрасли.

Системный подход является одним из способов, позволяющих лучше понять сложные многофакторные процессы. Различные процессы общей системы технологии гофрированного картона разные по своему назначению, выполнению и результату, но, учитывая их взаимную связь и взаимное влияние, можно смоделировать работу системы с наилучшим результатом для каждого конкретного производителя гофропродукции. Несмотря на то, что отдельные процессы технологии одинаковые для разных предприятий, общий системный результат будет разным. Основная причина такой ситуации будет состоять в различии технологического оборудования, квалификации персонала, а также доступность или отсутствие информации о последних научных исследованиях в этой области.



ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ХИМИИ КОРОТКОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ БДМ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТАРНОГО КАРТОНА ИЗ МАКУЛАТУРЫ

Д.А. Дулькин, В.А. Спиридонов, Е.А. Овсянникова, А.В. Синчук

ООО "Управляющая компания "Объединенные Бумажные Фабрики", Москва, Россия

Результатом подготовки свежей и процессной воды на предприятиях тарного картона из макулатуры должен быть контролируемый компонентный состав вод. Важным представляется обоснование уровня загрязнений в существующей системе водопользования, допустимого для конкретных условий бумажного производства по критерию стабильной работы бумагоделательной машины.

RESEARCH OF WATER USE AND CHEMISTRY OF SHORT CIRCULATION OF PAPER-MACHINE IN MANUFACTURE OF A TARE CARDBOARD FROM PAPER FOR RECYCLING

D. Dulkin, V. Spiridonov, E. Ovsyannikova, A. Sinchuk

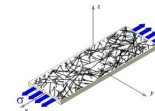
Open Company "Managing company" Incorporated Paper-mills ", Moscow, Russia

The controllable component structure of waters should be result of preparation of fresh and process water at the enterprises of a tare cardboard from paper for recycling. Important the substantiation of level of pollution in existing system of water use, admissible for concrete conditions of paper manufacture on criterion of stable work PM is represented.

При снижении расхода свежей воды предприятия – производители тарного картона из макулатуры повторно используют оборотную воду, регенерируя тепло, волокно и химикаты. Соли, взвешенные твердые частицы и иные загрязнения, присутствующие в возвращаемой воде в неурегулированном соотношении могут привести к проблемам в процессе бумажного производства. На рис. 1, из источника [1], показана динамика содержания некоторых компонентов в оборотной воде при разной степени замыкания системы водопользования.

Из рисунка следует, что чем ниже исходная концентрация исследуемых компонентов, тем интенсивнее процесс концентрирования их в системе водопользования (в 10 и 35 раз для компонентов ($R_{st}=0,1\%$) и ($R_{st}=0,03\%$) соответственно). Для двух других компонентов повышение их концентрации при снижении расхода свежей воды практически не происходит.

Существует предельный расход свежей воды, ниже которого существующие системы водопользования предприятий становятся малоэффек-



тивными. Опыт работы ПЗБФ и СЦБК показал, что системы становятся плохо управляемыми при расходе свежей воды ниже 20-22 м³/т бумаги, что согласуется с литературными данными [2].

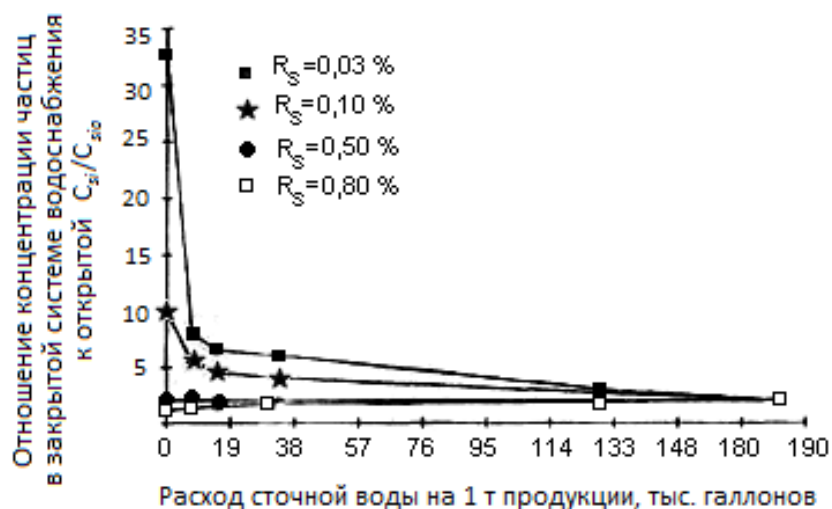
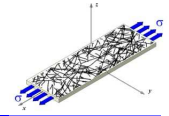


Рис. 1. Динамика содержания некоторых компонентов в оборотной воде при разной степени замыкания системы водопользования

По нашему мнению на вооружение могут быть приняты два общих альтернативных подхода. Первый из них состоит в регулировании содержания химических добавок в системе. Идея заключается в устранении действия обогащенных ионов солей, коллоидных веществ и растворенных органических веществ в оборотной воде с целью поддержания приемлемых уровней качества бумаги и стабильности работы бумагоделательной машины. То есть требуется непрерывное выведение упомянутых компонентов, содержащихся в воде, и обеспечение их постоянства в системе. При этом усложняется организация контуров локальной очистки оборотных вод на предприятии.

Второй альтернативный подход связан с решением о работе с фиксированным расходом свежей воды при менее сложных контурах локальной очистки оборотных вод. Идея состоит в том, чтобы найти оптимальный уровень загрязнений в существующей системе водопользования (без ее кардинального изменения), допустимый для конкретных условий бумажного производства по критерию стабильной работы бумагоделательной машины.

Нам представляется целесообразным воспользоваться на первом этапе вторым альтернативным подходом, не связанным с чрезмерными капитальными вложениями по внедрению установок ультрафильтрации, обратного осмоса и пр. При этом мы руководствуемся следующим:



1) речная вода должна подвергаться реагентной обработке с целью минимизации расхода химикатов для предотвращения появления неприятного запаха и слизиобразования;

2) устанавливаемый норматив использования свежей воды в производстве тарного картона специфичен для каждого предприятия, а правильный выбор этого норматива позволяет избежать многих проблем, характерных при работе с не регулируемые системы водопользования;

3) в практическом смысле результатом подготовки технологической воды должны быть содержащиеся в ней контролируемые компоненты, в таком минимальном количестве, чтобы их влияние не было значимым (определяется опытным путем);

4) устранение проблем следует проводить в начале их возникновения:

– причины биообрастаний и появления слизи в процессе очистки речной воды;

– причины повышения БПК и ХПК путем недопущения попадания органических соединений (мелкого волокна, крахмала) в воду, подлежащую глубокой очистке.

– по результатам наших исследований уже при разволокнении поступающей на предприятия макулатуры и последующей обработке массы (до стадии сгущения перед размолотом) ХПК в контуре водной циркуляции увеличивается на величину, превышающую 2000 мг/л [3];

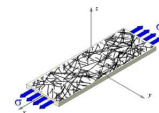
5) на биологическую очистку должна поступать вода, которую уже невозможно очистить иными методами.

6) минимизацией объемов воды, подлежащей очистке;

7) усреднением компонентного состава оборотной воды в отдельных контурах за счет проектирования буферных емкостей (для аккумуляции объема воды в контуре до 10 часов). На современных предприятиях объем таких емкостей может превышать объем бассейнов для волокнистой суспензии;

8) любые технические и технологические решения должны проводиться с учетом обеспечения разделения водных контуров РПО и БДМ.

В практическом смысле результатом подготовки свежей и процессной воды на предприятиях тарного картона из макулатуры должен быть контролируемый компонентный состав вод в таком минимальном количестве, чтобы их влияние не было значимым.



В УК «ОБФ» выполняется комплексная научно-исследовательская работа «Исследование влияния компонентного состава свежей и оборотной воды на свойства тарного картона с последующим научным обоснованием рациональных систем водопользования и использования ХВВ в системах короткой циркуляции БДМ». Для ее выполнения привлечены ведущие специалисты всех предприятий компании. Создан творческий научный коллектив, возглавляемый генеральным директором УК. Научное и теоретическое обоснование НИР изложено в работе [4]. Суть его сводится к следующему:

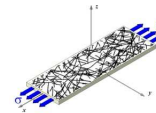
В свете новых сведений о поверхности волокна упрощенные геометрические модели областей контакта (принятые во многих более ранних исследованиях) сил связи между волокнами и другими твердыми частицами во влажном состоянии, во многих случаях больше нельзя рассматривать как вероятные.

Если еще недавно считали, что все процессы управляются на уровне структурной организации волокон – фибриллах, то сейчас очевидно, что наиболее значимыми являются межмолекулярные воздействия и условия их осуществления [5].

Все процессы адсорбции мелочи, наполнителя, клея, нейтрализованных анионных загрязнений на поверхности волокон должны пройти до напорного ящика.

Поскольку при отсутствии однородности невозможно максимизировать межмолекулярные контакты и извлечь наибольшую пользу, процесс перемешивания является определяющим. Это фундаментальное требование для максимизирования эффективности химии системы короткой циркуляции [6].

Суть процессов, происходящих в системе короткой циркуляции БДМ заключается в том, что катионные вещества с высокой плотностью заряда в состоянии быстро занять существенную часть доступной (заряженной) поверхности на твердых частицах, содержащихся в волокнистой суспензии. При последующем дозировании катионных удерживающих добавок молекулы с длинными цепями все еще в состоянии адсорбироваться на оставшихся отрицательно заряженных участках поверхности твердых частиц. Блокирующие катионные полимеры (с высокой плотностью заряда) препятствуют тому, чтобы молекулы флокулянта распределялись на поверхности (в виде плоских конформаций). Получающиеся трехмерные



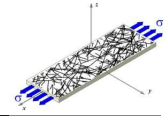
конформации в адсорбированном состоянии будут благоприятными для взаимодействия при образовании связей.

Программой НИР предусмотрено:

- изучение процессов в контурах водопользования, включающее выявление компонентов значимо влияющих на химию короткой циркуляции БДМ;
- разработка способов минимизации отрицательного влияния выявленных компонентов и критериев их количественной оценки;
- разработка научно обоснованной системы водопользования (с включением инновационных методов очистки) в производстве тарного картона из макулатуры;
- минимизация причин снижения эффективности ХВВ, используемых в системе короткой циркуляции БДМ;
- разработка алгоритма, связывающего формование, обезвоживание и удержание мелочи при минимизации расхода ХВВ и высоком качестве картонного полотна без снижения производительности БДМ.

Список литературы

1. Dexter R. J. Technological changes that accompany water closure can be used to lower production costs and add value to paper companys` Products Industry's Efforts at Effluent Closure Must Focus on Competitive Innovation / Pulp and Paper. - February 1996 . – p. 2-4.
2. Kuula Tuija. Решения компании Метсо в условиях более строгих природоохранных требований / Водопользование в технологии, экологии, энергетике и экономике предприятий. Междун. науч.-практич. семинар – Санкт – Петербург: Изд-во СПГТУ РП, – 2009. – С. 19-22.
3. Блинова Л.А. Стабильность качества тарного картона начинается со склада макулатуры [Текст]/ Л.А. Блинова, Л.В. Кузнецова, Е.А. Овсянникова, С.Л. Андреева. // Научные обоснования эффективных систем производства бумаги флютинга, тест-лайнера и гофрокартона. 12-я Междун. науч.-техн. конфер. – М.: Изд-во МГУЛ, 2011. – С. 76-86.
4. Дулькин Д.А. Современные представления о нано размерных структурах в бумажном производстве [Текст]/ Д.А. Дулькин, В.А. Спиридонов, Е.А. Овсянникова, С.Л. Андреева.// Научные обоснования эффективных систем производства бумаги флютинга, тест-лайнера и гофрокартона. 12-я Междун. науч.-технич. конфер. – М.: Изд-во МГУЛ, 2011. – С. 29-39.
5. Hubbe Martin E. Nanotechnology in wet end chemistry / www.nanotechobserver.com
6. Penniman John G. Copyright Papermaking-Chemistry.Com ©2005 /Paper Chemistry Laboratory, Inc// doi:10.1016/S0927-7757(97)00036-8.



ОСОБЕННОСТИ ФОРМОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНОГО ТАРНОГО КАРТОНА ИЗ МАКУЛАТУРЫ

С.Л. Андреева, Д.А. Дулькин, В.А. Спиридонов

ООО "Управляющая компания "Объединенные Бумажные Фабрики", Москва, Россия

При правильном выборе композиции и подготовки массы имеется практическая возможность управлять многими свойствами листа в процессе многослойного формования. Одним из основных факторов, определяющих межслоевую прочность многослойного картона, является не разность во влажности соединяемых слоев, а их вододержание (WRV), которое должно быть по возможности максимальным.

FEATURES OF FORMATION OF A MULTILAYERED TARE CARDBOARD FROM RECYCLING FIBER

S. Andreeva, D. Dulkan, V. Spiridonov

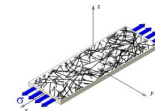
Open Company "Managing company" Incorporated Paper-mills ", Moscow, Russia

At a correct choice of a composition and weight preparation there is a practical possibility to operate many properties of sheet in the course of multilayered formation. One of the major factors defining ZD strength of a multilayered cardboard, the difference in humidity of connected layers, and their water deduction (WRV) which should be whenever possible maximum is not.

Перспективным направлением рационального использования полуфабрикатов с разной длиной волокон является производство тарного картона на бумагоделательных машинах с многослойным формованием, позволяющим управлять свойствами листа, используя длиноволокнистую целлюлозу лишь для армирования структуры бумаги [1].

На предприятиях УК «ОБФ» эксплуатируется круглосеточная КДМ и планируется выпуск двухслойного картона (топ-лайнера) на плоскосеточных машинах, и поэтому исследования особенностей формования двух- и многослойного картона (в том числе и с использованием свежих полуфабрикатов) является актуальной задачей.

Нами проведены две серии опытов. В первой использовали только свежие полуфабрикаты и акцентировали внимание на динамику сопротивления расслаиванию образцов, варьируя влажность соединяемых слоев, композицию и степень помола массы. Во второй серии опытов варьировали композицией массы соединяемых слоев из макулатуры разных марок, исследуя динамику физико-механических показателей образцов.



Показатель сопротивления расслаиванию образцов определяли по ГОСТ 136486–82 с использованием приспособления РК к разрывным машинам типа РМБ.

Изучение влияния дозирования лиственной бленой целлюлозы на физико-механические показатели образцов

Содержание лиственной бленой целлюлозы в образцах массой 100 г/м^2 варьировали от 0 до 100 %, а ее степень помола от 20-22 °ШР до 26-27 °ШР. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1. Динамика физико-механических показателей при изменении композиции и степени помола массы из сульфатной бленой целлюлозы

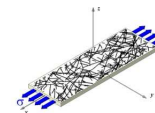
Композиция, %		Степень помола массы, °ШР			
		20-22		26-27	
хвойная целлюлоза	лиственная целлюлоза	Предел прочности при растяжении, кг/мм^2	Сопротивление излому, число двойных перегибов	Предел прочности при растяжении, кг/мм^2	Сопротивление излому, число двойных перегибов
0	100	0,79	13	1,40	52
40	60	1,14	110	1,56	334
60	40	1,20	171	1,94	451
70	30	1,18	251	1,96	694
80	20	1,24	283	2,17	850
100	0	1,33	659	2,25	1778

Добавление в композицию массы лиственной бленой целлюлозы в количестве более 30-40 %, независимо от степени ее помола, снижает физико-механические показатели образцов. Вместе с тем при повышении степени помола массы до 26-27 °ШР отрицательное влияние дозирования лиственной бленой целлюлозы уменьшается. При этом сопротивление излому увеличивается в 2,5-3,0 раза, а предел прочности при растяжении на 30-70 %.

Результаты исследований показывают возможность увеличения содержания лиственной бленой целлюлозы в композиции массы верхнего слоя до 30-40 % по критериям предела прочности при растяжении и сопротивления излому при повышении степени помола массы до 26-27 °ШР.

Исследование зависимости сопротивления расслаиванию двухслойных образцов от степени помола и сухости соединяемых слоев

Известно, что важными факторами сопротивления расслаиванию многослойного картона являются средство композиционного состава, сте-



пень помола и сухости соединяемых слоев [2]. Нами проведены ряд опытов, в процессе которых изготовлены и испытаны образцы, в подслои которых добавляли 20 % композиции массы верхнего слоя (в таблице 2 обозначены *).

Результаты исследований приведены в табл. 2 и на рис. 1,2.

Таблица 2. Влияние сопротивления расслаиванию двухслойных образцов от содержания в композиции верхнего слоя лиственной беленой целлюлозы, степени помола и сухости соединяемых слоев

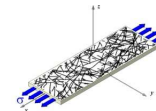
Степень помола массы верхнего слоя, °ШР	Сухость верхнего слоя, %	Сухость нижнего слоя, %	Сопротивление расслаиванию, кг/см ² ($\times 10^5$ Па)	Степень помола массы верхнего слоя, °ШР	Сухость верхнего слоя, %	Сухость нижнего слоя, %	Сопротивление расслаиванию, кг/см ² ($\times 10^5$ Па)
20	10	8,4	0,85	27	10	12,8	1,08
20	10	7,4	1,00	27	10	10,9	0,90
20	10	9,1	0,86	20	14	9,4	0,80
20	10	7,6	0,82	20	14	7,3	0,78
20	10	13,3	0,81	20	14	7,2	0,67
20	10	17,6	0,90	20	14	10,5	0,68
20	10	13,7	0,87	20	14	10,7	0,72
20	10	7,0	0,93	20	14	11,4	0,76
20	10	7,9	0,77	20	14	10,0	0,69
20	10	7,4	0,79	27	14	10,5	1,05
20	10	7,5	0,71	27	14	11,9	1,08
27	10	6,8	1,13	27	14	7,9	1,15
27	10	7,5	1,17	27	14	20,0	1,02
27	10	7,9	1,09	20	15,6	6,9	0,76*
27	10	7,4	1,00	20	15,5	7,2	0,68*
27	10	7,5	1,01	27	25,7	7,6	1,15*
27	10	8,6	1,06	27	25,2	8,4	1,16*

Анализ представленных данных показывает следующее:

Повышение степени помола массы поверхностного слоя влияет на сопротивление расслаиванию (увеличение на 25-35 %) в большей степени, чем сухость соединяемых слоев в исследуемом диапазоне.

Дозирование в подслои композиции массы верхнего слоя заметно улучшает исследуемый показатель только при увеличении степени помола массы с 20 до 27 °ШР (в исследованном диапазоне).

Полученные результаты согласуются с выводами авторов [3], утверждающих, что главным фактором, определяющим межслоевую прочность



картона является не разность влажности соединяемых слоев, а их водоудержание (WRV), которое должно быть по возможности максимальным.

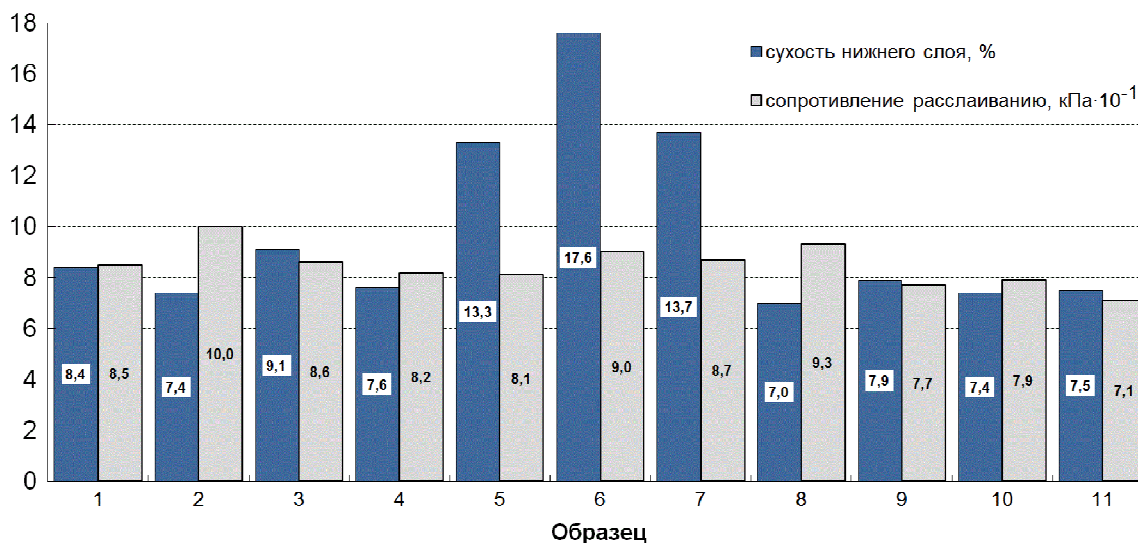


Рис.1. Динамика сопротивления расслаиванию двухслойных образцов при изменении сухости нижнего слоя (сухость верхнего слоя, 10 % и степень помола 20 °ШР)

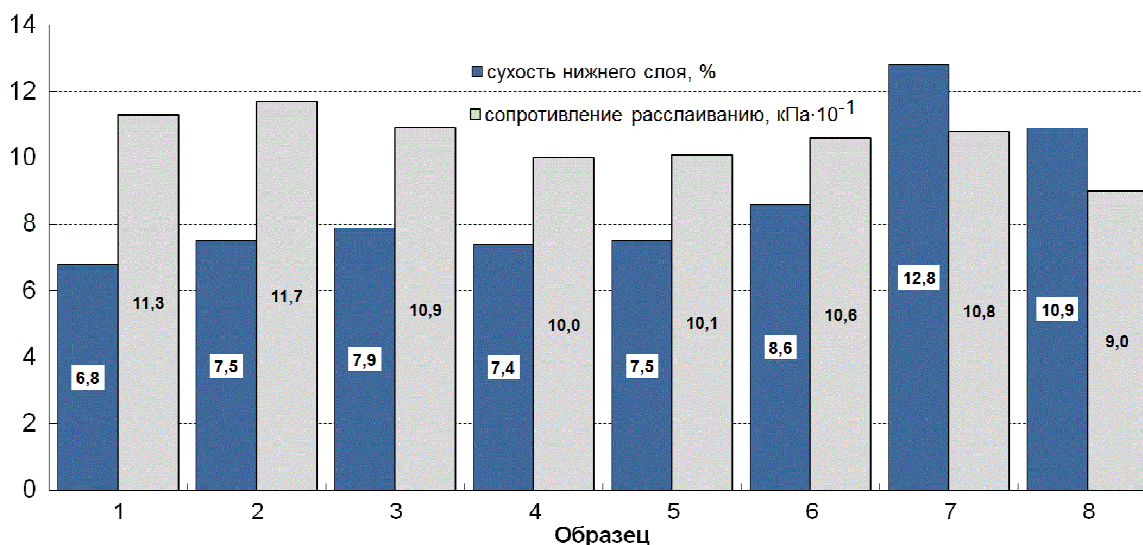
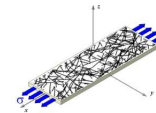


Рис.2. Динамика сопротивления расслаиванию двухслойных образцов при изменении сухости нижнего слоя (сухость верхнего слоя, 10 % и степень помола 27 °ШР)

Исследование влияния композиционного состава макулатуры на физико-механические показатели двухслойного макулатурного картона

Традиционно в композиции многослойного картона на ООО «Полиграфкартон» использовали древесную массу и ЦВВ собственного производства. Представлялось целесообразным исследовать влияние на физико-механические показатели картона композиционного состава массы из ма-



кулатуры марок: МС 5Б/1 – отходы производства гофрированного картона; МС 5Б/3 – отходы потребления гофрированного картона; МС 8В – отходы производства и потребления газет и газетной бумаги.

Планируемые варианты композиционного состава двухслойных отливок представлены в табл. 3.

Роспуск макулатуры производился в ролле «Валлей» до степени помола 26-27 °ШР для верхнего слоя и 30-32 °ШР для основного слоя.

Таблица 3. Варианты композиционного состава двухслойных отливок

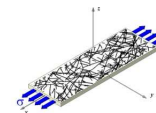
№ варианта	Композиционный состав верхнего слоя, %		Композиционный состав основного слоя, %	
	МС 5Б/1	МС 5Б/3	МС 5Б/3	МС 8В
1	0	100	100	0
2	10	90	90	10
3	20	80	80	20
4	30	70	70	30
5	40	60	60	40
6	50	50	50	50
7	70	30	40	60
8	80	20	30	70
9	90	10	10	90
10	100	0	0	100

На листоотливном аппарате ЛА-3 изготавливали двухслойные отливки по вариантам 1-6,10. После высушивания и кондиционирования образцов были проведены испытания их физико-механических показателей.

Первоначально исследования провели по вариантам 1,6 и 10, показавших нецелесообразность проверки вариантов 6-9 вследствие резкого снижения физико-механических показателей, обусловленного влиянием повышения содержания газетной макулатуры в композиции основного слоя.

Результаты испытаний представлены в табл. 4.

Из табл. 4 видно, что с увеличением содержания в композиции средних слоев макулатуры марки МС-8В и в верхнем слое марки МС 5Б/1, характеризующейся содержанием волокна большей длины, до третьего варианта наблюдается рост показателей сопротивления излому, разрывной длины и сопротивления продавливанию при монотонном снижении сопротивления расслаиванию. Результат закономерен, поскольку основное влияние на первые три показателя оказывают длинные хорошо фибриллиро-



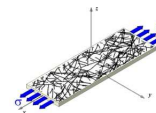
ванные волокна (содержание газетной макулатуры в композиции двух слоев не превышает 15 %). Дальнейшее увеличение содержания макулатуры резко снижает все показатели и является не допустимым.

Таблица 4. Физико-механические показатели стандартных двухслойных отливок (75×2) г/м² с различным композиционным составом

Варианты композиций элементарных слоев	Физико-механические показатели			
	Разрывная длина, м	Сопротивление излому, число двойных перегибов	Сопротивление продавливанию, кПа	Сопротивление расслаиванию, кг/см ²
1	3549	188	374	0,82
2	3664	309	405	0,77
3	4609	646	526	0,66
4	2736	377	293	0,75
5	2383	221	370	0,58
6	3112	224	366	0,69
10	2383	111	201	0,62

Список литературы

1. Elmlid C.G.: Fibre Fractionation – A way to make two interesting products of one. Fibre in Focus I, Södra Firmensymposium, Erbach, –2001.
2. Тольский, Г.А. Влияние различных факторов на свойства картона/ ВНИПИЭИлеспром. – 1965. – 48с.
3. Тольский Г.А., Крафт Г.Э. Влияние влажности элементарных слоев на межслоевую прочность картона/ Ленинградская лесотехническая академия им. С.М. Кирова// [www.dissercat.com /vliyanie-fundamentalnykh-i-fiziko-mekhanicheskikh-kharakteristik-voloknistykh-polufabrikatov](http://www.dissercat.com/vliyanie-fundamentalnykh-i-fiziko-mekhanicheskikh-kharakteristik-voloknistykh-polufabrikatov)



WET END SURVEY PROVIDES MACHINE OPTIMIZATION AND BIG INCREASE IN PRODUCTIVITY

K. Schreiber, R. Berger,

BTG Instruments GmbH, Herrsching, Germany

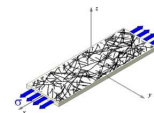
High additive dosages, foaming, poor paper machine runnability, heavy deposits and high COD loads are typical problems experienced by production managers, application engineers and R&D staff alike. The combination of BTG's laboratory instruments – measuring beside others charge demand, zeta potential, drainage freeness and retention - quickly give paper machine operators an insight into current wet end processes.

Highly closed water circuits give rise to the accumulation of dissolved substances, often with highly negative charges, in paper machine systems. The Particle Charge Detector measures the charges of substances dissolved in water. Based on the measured values, papermakers can control dosages of fixing agents to neutralize anionic trash or to stabilize charge variations. Charge Demand measurement also reliably determines the positive or negative charges of additives. This is important for predicting the adsorption behaviour of the particular chemical additive onto the fiber surfaces.

Starch, wet-strength agents, internal-size etc. attain maximum performance and cost effectiveness if they adsorb completely onto the fibers. Otherwise, they tend to accumulate in the circuit water where they cause foaming, deposits and increased COD levels. The System Zeta Potential measures only the charges of solids, such as fibers and fillers, in the system and can therefore indicate the adsorption behaviour of such additives. On the other hand, the charges of dissolved matter (polyelectrolytes, anionic trash) are measured with a Particle Charge Detector. Together, both charge measurements enable precise and efficient dosing of chemicals, at optimum dosage points within the process.

In combination drainage freeness and retention measurements enable to measure the dynamics of pulp drainability and fines retention, with and without various chemical additives. Since chemical additives may favourably or adversely impact paper machine runnability depending on reaction behaviour, it is important to assess the impact of the chemical upon the process condition. The reward is accelerated drainage, thus increased machine speeds and production.

A complete survey allows to get a clue about dynamics and reaction on your paper machine wet end. An example from a paper machine shows that applying this knowledge about the process can be easily used for adoptions and adjustments on a machine what results in better efficiency and better profits.



НАПРАВЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ БУМАГИ

Ф.Н. Капуцкий¹, Н.В. Черная², Н.В. Жолнерович², Д.И. Шиман¹, С.Г. Грибовская²

¹Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь

Статья посвящена изучению влияния состава новых вспомогательных добавок на основе стирола и малеинового ангидрида на эффективность их упрочняющего действия при использовании в композиции макулатурных видов бумаги. Установлена взаимосвязь между содержанием малеинового ангидрида в композиции добавки, ее молекулярной массой и эффективностью их направленного применения для упрочнения бумаги.

DIRECT APPLICATION OF SUBSIDIARY ADDITIONS FOR HARDENING OF PAPER

F. Kaputsky¹, N. Chiornaja², N. Zholnerovich², D. Shiman¹, S. Gribovskaja²

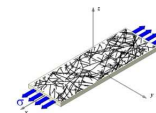
¹Belarusian State University, Minsk, Belarus

²Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

Article is devoted to studying the effect of new adjuvants based on styrene and maleic anhydride on the effectiveness of reinforcement when used in the composition of recycled paper. The relationship between the content of maleic anhydride in the composition of additives, its molecular weight and efficiency of their application for directional hardening paper

Большинство видов бумаги и картона в Республике Беларусь выпускают на основе использования вторичного сырья. Проблемы использования вторичного волокна и связанные с ними трудности достижения стабильных физико-механических показателей обусловлены нестабильностью фракционного состава и бумагообразующих свойств исходного сырья, наличием значительного количества мелочи, загрязняющей сточные воды предприятий. Усугубляет ситуацию возрастающая кратность циклов переработки макулатуры. В этой связи проблема упрочнения макулатурных видов бумаги и картона приобретает особую актуальность.

Наиболее простым, доступным и экономически эффективным способом решения указанной проблемы является применение в композиции бумаги вспомогательных добавок с направленным упрочняющим действием. Современный рынок представлен широким спектром таких веществ на основе сополимеров акриламида, полиаминов, полиамидаминов модифицированных эпихлоргидрином и др. [1-2]. Однако даже при незначительных расходах за-



траты на их применение в композиции бумаги для достижения требуемого комплекса свойств весьма велики.

Известно [3], что высокой эффективностью характеризуются так называемые стиромали (сополимеры стирола и малеинового ангидрида). Однако они применяются ограничено из-за трудности управления процессом их получения на стадии синтеза и возможности придания требуемых свойств путем достижения заданного содержания малеинового ангидрида в композиции добавки.

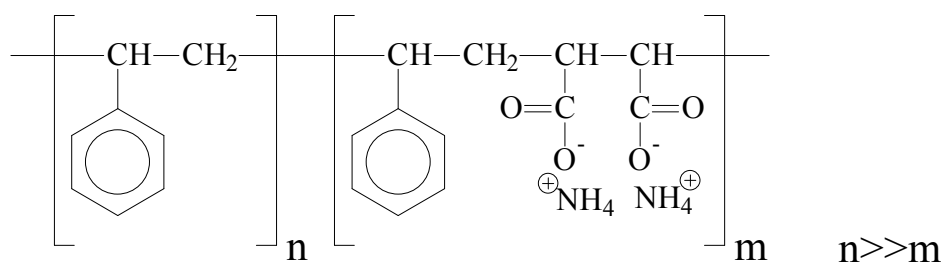
Решением проблемы получения добавок на основе стирола и малеинового ангидрида с требуемым комплексом свойств занимаются в НИИ ФХП БГУ (г. Минск, РБ). Сотрудниками разработан способ получения таких добавок путем контролируемого процесса полимеризации. Эффективность действия этих добавок и оценка возможности их направленного применения для упрочнения бумаги была исследована сотрудниками кафедры химической переработки древесины БГТУ (г. Минск, РБ).

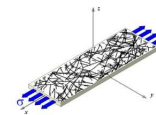
Для определения взаимосвязи между содержанием малеинового ангидрида в композиции добавок, их молекулярной массой и эффективностью упрочнения были проведены исследования бумажных масс и образцов бумаги из макулатуры марки МС-5Б (ГОСТ 10700-97), со степенью помола 35°ШР. Сравнительной оценке подвергались добавки со свойствами, представленными в табл. 1.

Таблица 1. Свойства добавок на основе стирола и малеинового ангидрида

Наименование образца	Содержание малеинового ангидрида, % мол.	Молекулярная масса, у.е.
Образец №1	10,7	10000
Образец №2	14,9	5700
Образец №3	17,4	4200
Образец №4	18,2	4900

Условиями синтеза обусловлено получение добавок слабого анионного характера, имеющих следующее строение:





Поэтому, при наличии в бумажной массе отрицательно заряженного волокна важно было вначале оценить влияние исследуемых добавок на способность к обезвоживанию бумажной массы и содержание взвешенных веществ в подсеточной воде. Расход исследуемых добавок в композиции бумажной массы был фиксированный и составлял 0,5 % от а. с. в. Полученные результаты представлены в табл. 2.

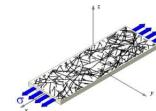
Таблица 2. Влияние вида добавки на параметры обезвоживания бумажной массы и свойства образцов бумаги

Наименование образца	Время обезвоживания, с	Содержание взвешенных веществ, мг/л	Разрывная длина, км	Поглощение энергии при разрыве, Дж/м ²
Без добавки	41,0	43,4	3,52	16,1
Образец № 1	25,2	77,5	3,70	17,0
Образец № 2	23,9	88,0	3,74	33,9
Образец № 3	29,3	98,8	3,63	26,8
Образец № 4	26,8	84,8	4,35	37,1

Из полученных данных видно, что время обезвоживания уменьшается практически в два раза, причем лучший эффект достигается при большей молекулярной массе добавки. Однако при этом более чем в два раза увеличивается содержание взвешенных веществ в подсеточной воде, что требует специальных подходов при разработке технологии направленного применения исследуемых добавок в композиции макулатурных видов бумаги и картона.

Положительным эффектом применения исследуемых добавок в композиции бумаги является увеличение ее прочностных характеристик таких как разрывная длина и поглощение энергии при разрыве. Так, при увеличении содержания малеинового ангидрида в композиции добавки до 18,2 % мол. разрывная длина возрастает до 4,35 км, а поглощение энергии при разрыве до 37,1 Дж/м².

Однако картина происходящих явлений существенно меняется при добавлении в систему проклеивающего компонента в сочетании с крахмалом. Поэтому для оценки влияния расходных параметров на эффективность упрочнения бумаги в композицию последовательно дозировали модифицированный катионный крахмал (ТУ 9187–002–96457359–07) с расходом 0,52 % от а.с.в., проклеивающую эмульсию на основе димеров алкилкетенов (АКД) (ТУ 2499–004–70048729–2007) с расходом 0,12 % от а.с.в. и исследуемые образцы добавок.



Установлено, что при таком содержании выше указанных химикатов в композиции бумажной массы способность ее к обезвоживанию возрастает и составляет при расходе добавок 0,5 % от а. с. в. 20–22 с.

Результаты влияния исследуемых добавок на физико-механические свойства образцов бумаги представлены на рис. 1–4.

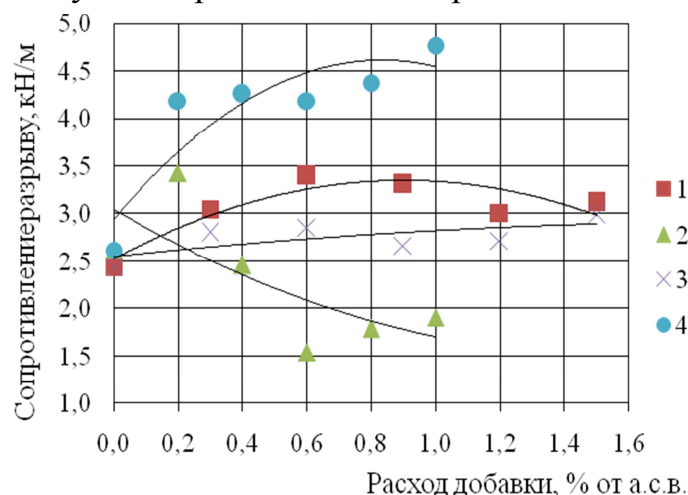


Рис. 1. Изменение сопротивления разрыву образцов бумаги в зависимости от состава исследуемых добавок (образцы №1–4)

Сравнительная оценка полученных результатов показала, что наибольшего эффекта упрочнения можно достичь при использовании добавки №4 с молекулярной массой 4900 и содержанием малеинового ангидрида 18,2 % мол. при ее расходе в композиции бумажной массы 0,6–1,0 % от а.с.в. Так, сопротивление разрыву увеличивается от 2,6 до 4,7 кН/м (рис. 1), а разрывная длина до 5,0 км (рис. 2).

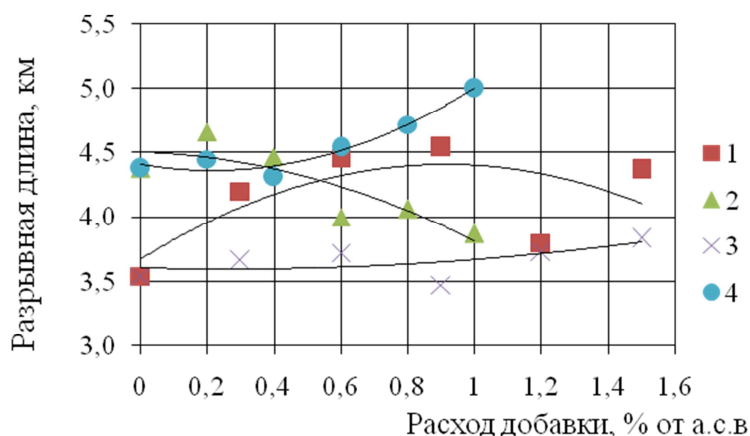
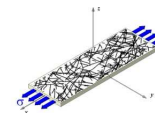


Рис. 2. Изменение разрывной длины образцов бумаги в зависимости от состава исследуемых добавок (образцы №1–4)



При этом важно отметить, что увеличение удлинения при использовании добавки с таким содержанием малеинового ангидрида наблюдается при расходах до 0,4 % от а.с.в. Дальнейшее увеличение расхода указанной добавки приводит к уменьшению удлинения образцов бумаги, что свидетельствует о снижении эластических свойств бумаги.

Подтверждением этому является увеличение поглощения энергии при разрыве образцов бумаги и их жесткости при разрыве (рис. 3, 4).

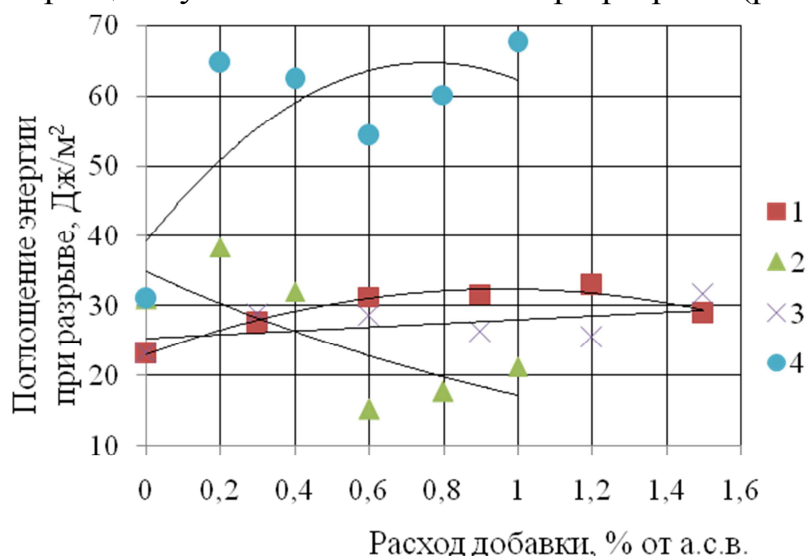


Рис. 3. Изменение поглощения энергии при разрыве образцов бумаги в зависимости от состава исследуемых добавок (образцы №1–4)

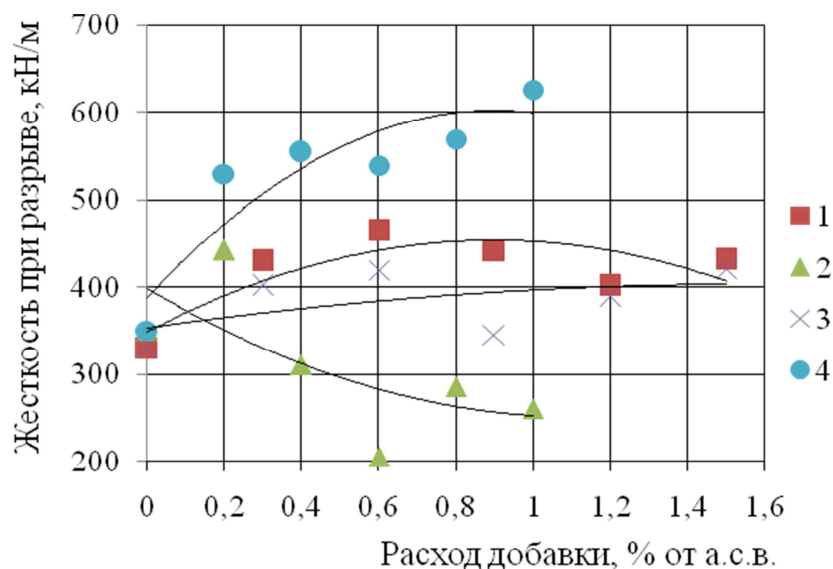
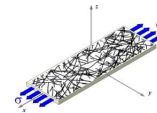


Рис. 4 – Изменение жесткости при разрыве образцов бумаги в зависимости от состава исследуемых добавок (образцы №1–4)



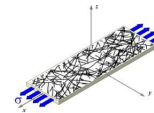
Повышение прочностных показателей бумаги вероятно обусловлено возможностью образования дополнительных водородных связей между волокнами при участии исследуемых добавок, о чем свидетельствует повышение жесткости структуры бумаги, как при увеличении расхода добавок в композиции бумажной массы, так и с увеличением содержания в композиции добавок малеинового ангидрида.

Особенностью при использовании добавок на основе сополимеров стирола и малеинового ангидрида, является возможность их применения также для повышения эффективности проклейки бумаги. Так, при использовании образцов добавок с содержанием малеинового ангидрида 10,7; 14,9 и 17,4 % мол. изменение впитываемости образцов при одностороннем смачивании находилось в пределах 13,6–19,8 г/м². Эффективность процесса проклейки увеличивалась в 1,3–1,5 раза.

Таким образом, выявлена взаимосвязь между составом добавок на основе стирола и малеинового ангидрида с различной молекулярной массой и эффективностью их упрочняющего действия при использовании в композиции макулатурных видов бумаги. Установлено, что наибольшим эффектом упрочнения характеризуется добавка с содержанием малеинового ангидрида 18,2 % мол. и молекулярной массой 4900. Показано, что применение новых добавок влияет на комплекс свойств бумаги и параметры обезвоживания бумажной массы, что требует направленного применения таких добавок для получения бумаги требуемого качества.

Список литературы

1. Технология целлюлозно-бумажных производств. Том II. Производство бумаги и картона. Ч. 1: Технология производства и обработки бумаги и картона. – СПб.: Политехника, 2005. – 423 с.
2. Bednar F. Использование окиси полиэтилена для улучшения качества бумаги. Polyethylene oxide disentanglement / F. Bednar, Z. Perin-Levasseur, van de Van T.G.M. // Paris J. 89 Annual Meeting: Abstracts. Pulp and Pap. Techn. Assoc. Can. (PAPTAC), Montreal, Jan. 27-30, 2003. – Montreal, 2003. – С. 24.
3. Крылатов Ю.А. Проклейка бумаги / Ю.А. Крылатов, И.Н. Ковернинский. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 288 с.



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ПРОЕКТАХ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ И МОДЕРНИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ ЦБП

А.А. Красикова

ЗАО «Архгипробум», Архангельск, Россия

В работе рассматриваются направления проектирования, используемые в проектах ЗАО «Архгипробум» по модернизации предприятий ЦБП. Данные проектные решения включают в себя последние достижения и новые технологии, разработанные в данной отрасли, позволяющие обеспечивать стабильное и высокое качество продукции.

TECHNOLOGICAL APPROACHES IN PROJECTS FOR RECONSTRUCTION AND MODERNIZATION OF PULP AND PAPER MILLS

A. Krasikova

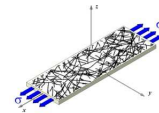
JSC “Arhgiprobum”, Archangelsk, Russia

In this study we describe projection directions used in projects of “Arhgiprobum” for modernization of pulp and paper mills. These project approaches include the latest achievements and new technologies worked out in this industry which allow providing stable and high quality of the output.

ЗАО «Архгипробум» осуществляет комплексное проектирование предприятий целлюлозно-бумажной промышленности, энергетики, нефтегазового комплекса, промышленных, гражданских зданий и сооружений, объектов транспортного назначения, инженерного оборудования, сетей и систем [2].

Приоритетными направлениями деятельности являются:

- технологические объекты целлюлозно-бумажной, лесной, деревообрабатывающей промышленности, лесные биржи и цеха деревообработки, заводы по производству ДВП и ДСП;
- объекты энергетики, включая паровые и водогрейные котлы, паровые турбины, а также объекты транспорта, металлообработки и строительной индустрии, автоматизированные системы управления производством;
- объекты химической и нефтехимической промышленности;
- работы в области охраны природы: разработка нормативов предельно-допустимых выбросов; системы очистки газов и установки утилизации тепла; очистные сооружения сточных вод; химводоочистка и обес-



соливание питательной воды для питания паровых котлов, а также водоочистные и водозаборные сооружения для промышленного и питьевого водоснабжения предприятий и населенных пунктов.

За последние годы ЗАО «Архгипробум» выполнил ряд уникальных проектов в лесной и целлюлозно-бумажной отрасли, таких как [1]:

– выпарная станция производительностью 600 т/час выпариваемой влаги, запущенная в эксплуатацию на Котласском ЦБК, в проекте которой реализована не только традиционная технология упаривания отработанных щелоков, но и одновременно с этим полное и эффективное обезвреживание сопутствующих вредных стоков и газовых выбросов;

- древесно-подготовительный цех № 4 на Архангельском ЦБК, аналога которому в Российской целлюлозно-бумажной промышленности нет, и который успешно работает с первых дней 2007 года;

- завод по производству моносulfитной полуцеллюлозы в г. Коряжма;

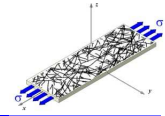
- реконструкция систем теплорекуперации и пароконденсатной системы с установкой термокомпрессоров на ОАО «Котласский ЦБК»;

Для рассмотрения в качестве примеров некоторых технологических решений, были выбраны следующие проекты:

1. Древесно-подготовительный цех №4 на АЦБК

Строительство древесно-подготовительного цеха № 4 на ОАО «Архангельский ЦБК» было предусмотрено программой технического перевооружения комбината на 2003-2004 гг. для замены ДПЦ № 2, находящегося в эксплуатации около 40 лет, физически изношенного, отличающегося низким уровнем механизации и высокими эксплуатационными затратами. Основные решения проекта по технологии производства содержатся в базисном инжиниринге, разработанном фирмой ANDRITZ OY (Финляндия), при участии ЗАО «Архгипробум» в решениях по компоновке зданий, сооружений и оборудования.

Проектом была предусмотрена установка современной высокопроизводительной однопоточной линии по переработке 2300 тыс.пл.м³ древесины в год, что позволило обеспечить потребность в технологической щепе действующего производства и создало резерв мощности для увеличения объема варки в будущем [5]. Уровень автоматизации нового производства позволяет персоналу вести дистанционный контроль и управление процессом, начиная от загрузки древесины на размораживающий конвейер до подачи технологической щепы в производство и коры в ТЭС-1 на сжигание.



В состав комплекса ДПЦ № 4 входят:

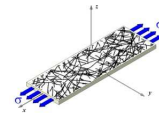
- ДПЦ с размораживающим конвейером, участком окорки и рубки древесины мощностью 2046 тыс.пл.м³ в год, участком сортирования щепы и подготовки коры;
- узел приема привозной щепы с автотранспорта мощностью 260 тыс.пл.м³ в год;
- открытый склад хвойной щепы вместимостью 90 тыс.нас.м³;
- открытый склад лиственной щепы вместимостью 45 тыс.нас.м³;
- склад коры вместимостью 8,5 тыс.нас.м³;
- межцеховые коммуникации непрерывного транспорта щепы и коры (в пределах биржи №1);
- транспорт щепы с биржи № 1 в варочный цех и коры в ТЭС-1 на сжигание.

Согласно заданию на проектирование и транспортно-технологической схемы древесно-подготовительного комплекса, решениями проекта предусмотрены следующие операции с применением прогрессивного высокопроизводительного технологического оборудования:

- загрузка древесины в размораживающий конвейер ДПЦ;
- переработка древесного сырья в технологическую щепу;
- транспортировка щепы на открытые склады хвойной и лиственной щепы;
- измельчение и отжим коры;
- транспортировка коры в закрытый (под навесом) склад коры;
- прием привозной хвойной щепы с автотранспорта и ее транспортировка на открытый склад;
- транспортировка щепы со складов на сортирование и далее в производство;
- транспортировка коры со склада в ТЭС-1 на сжигание.

Неоспоримыми преимуществами нового ДПЦ-4 являются:

- незамедлительное поступление коры на сжигание;
- улучшение хранения щепы в кучах в зимнее время, предотвращение смерзания щепы;
- снижение травматизма и смертности среди обслуживающего персонала (стропальщиков), поскольку новая технология позволила отказаться от хранения балансов в штабелях, соответственно, отпала необходимость в ручной разгрузке штабелей.



- снижение потерь древесины в древесно-подготовительном производстве с 8 до 2,8 % (по хвойной древесине).

2. Завод по производству моносulфитной полуцеллюлозы в г. Коряжма

Завод по производству моносulфитной полуцеллюлозы производительностью 900 тонн в сутки, введенный в эксплуатацию в 2009 году в г.Коряжме, построен на основе самых современных технологий, что позволяет уменьшить сброс загрязнений на 15-20 %.

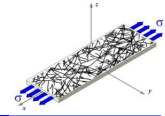
Основные технические решения по строительству нового завода в данном проекте приняты на основе контракта, заключенного ОАО «Котласский ЦБК» с фирмой «Metso» (Швеция). Цели и задачи, которые должны быть решены проектом [4]:

- повышение качества полуцеллюлозы;
- увеличение объема производства картона для плоских слоев (крафт-лайнера) и бумаги для гофрирования (флютинга);
- усовершенствование производства на базе наилучших существующих технологий (НСТ);
- снижение энергозатрат;
- повышение экологической безопасности;
- снижение эксплуатационных затрат;
- улучшение условий труда производственного персонала.

Хорошо зарекомендовавшее себя импортное оборудование позволяет получать полуцеллюлозу высокого качества из березы и осины. Полуцеллюлоза используется в качестве полуфабриката для производства бумаги для среднего гофрированного слоя (флютинга) и для плоских слоев картона (крафтлайнера).

Отработанный щелок после варки полуцеллюлозы подается на упаривание совместно с сульфатным щелоком, а затем на сжигание в содоре-генерационные котлы ТЭС-2 или ТЭС-3 для получения технологического пара и электроэнергии и для восстановления химикатов для последующего их возврата в технологический процесс.

Сточные воды, образующиеся при производстве моносulфитной полуцеллюлозы, направляются через производственную канализацию на станцию биологической очистки производственных сточных вод (БОПС) производительностью 271560 тыс.м³/год.



Реализация данного проекта позволила:

- получить полуфабрикат с более высокими механическими качествами, что положительно сказалось на повышении качества потребительской продукции;
- увеличить объем варки почти в 2 раза (с 145 до 300 тыс. тонн);
- увеличить объем производства бумажной продукции и повысить ее качество.

3. Реконструкция систем теплорекуперации и ПКС с установкой термокомпрессоров на ОАО «Котласский ЦБК»

Данный проект предусматривал реконструкцию бумагоделательной машины №1 для производства флютинга 125 г/м² без увеличения проектной мощности.

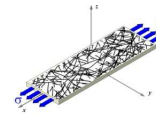
Основными целями реконструкции в проекте являлись [3]:

- замена пароконденсатной системы, колпака машины;
- замена теплорекуперационных агрегатов (ТРА) для вентиляции карманов и обогрева стабилизаторов полотна;
- замена ТРА для общеобменной вентиляции и обогрева подвесного потолка;
- замена наката;
- установка передвижного устройства грузоподъемностью 10+10 т.

В данном проекте реализуются следующие экологические аспекты:

- снижение удельного потребления пара с 1,9 кг пара/кг исп. воды до 1,35 кг пара/кг исп. воды при производстве флютинга, также соответственно снижается расход топлива;
- уменьшение вредных выбросов в атмосферу за счет снижения расхода топлива;
- сокращение удельного паропотребления при производстве флютинга.

Сушильная часть БДМ №1 согласно контракту, заключенному между ОАО «Котласский ЦБК» и фирмой «Lagio Energy» (Италия), оснащается изолированным закрытым колпаком высокой эффективности с теплоизолированными жалюзи для отвода влажного воздуха; выполняется реконструкция теплорекуперационных агрегатов для вентиляции карманов и обогрева стабилизаторов полотна, для вентиляции и обогрева цехового помещения и фальш-потолка, реконструкция системы вытяжки воздуха, системы вентиляции карманов и стабилизаторов полотна, включающие в себя приточные вентиляторы, пароконденсатные калориферы, стабилиза-



торы полотна и сеткопродувные ящики; выполняется реконструкция пароконденсатной системы со стационарными сифонами и АСУТП.

ПКС БДМ №1 представляет собой четырехступенчатую каскадную систему плюс термокомпрессор. Каждая сушильная группа машины имеет свой паровой коллектор, на который подается свежий пар давлением 5 бар и температурой 157°C, и коллектор конденсата для отвода пароконденсатной смеси в соответствующие водоотделители. Температура конденсата колеблется от 85 до 100°C, с такой температурой конденсат не может быть использован в хим. цехе ТЭЦ в цикле приготовления питательной воды.

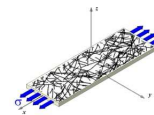
Помимо этих проектов, успешно завершены ряд совместных с иностранными фирмами проектов по установке импортного оборудования от ведущих производителей: Альстрем, Квернер, Носс, Импко, Ханивел, Валмет, Фойт, Ленцинг Техник, Бельмер и др.

Также ЗАО «Архгипробум» уделяет много внимания охране окружающей среды [1]. На Котласском ЦБК внедрена отбелка целлюлозы без использования элементарного хлора, на Архангельском ЦБК выполнена реконструкция потока небеленой целлюлозы с заменой промывного оборудования, в ТЭС-1 комбината установлен паровой котел мощностью 220 т пара/час, оснащенный современной газоочистной установкой.

Кроме этого, с участием Архгипробума реализованы первые российские проекты по снижению выбросов парниковых газов, финансируемые по кредитной линии Всемирного банка, в Архангельской области на Архангельском и Котласском комбинатах.

Список литературы

1. Васильев В.Ф. «Архгипробум»: основа для масштабных проектов [Текст] / В.Ф. Васильев // Итоги и перспективы. – 2011. – июль. – с. ...
2. Референц-лист ЗАО «Архгипробум»/ЗАО «Архгипробум». – Архангельск: Изд-во ЗАО «Архгипробум». – 2010. – с. 2-3.
3. ЗАО «Архгипробум». Пояснительная записка к проекту №35037. КБП. Реконструкция БДМ-1/ЗАО «Архгипробум». – Архангельск: Изд-во ЗАО «Архгипробум», 2008. – 118 с.
4. ЗАО «Архгипробум». Пояснительная записка к проекту №35031. КБП. Реконструкция. Завод по производству моносльфитной полуцеллюлозы производительностью 900 т/сут./ ЗАО «Архгипробум». – Архангельск: Изд-во ЗАО «Архгипробум», 2007. – 125 с.
5. ЗАО «Архгипробум». Пояснительная записка к проекту №21901. АЦБК. Древесно-подготовительный цех №4. / ЗАО «Архгипробум». – Архангельск: Изд-во ЗАО «Архгипробум», 2004. – 127 с.



БУМАГА С ПОВЫШЕННОЙ ВЛАГОПРОЧНОСТЬЮ

Е.В. Куркова, Г.Е. Иванов

Научно-исследовательский институт – филиал Федерального государственного унитарного предприятия «Гознак», Москва, Россия

Определена естественная прочность и влагопрочность хлопковой целлюлозы. Показана возможность увеличения влагопрочности при введении PPE и поверхностной обработке различными способами. Представлены результаты по влагопрочности и гидрофобности промышленных образцов бумаги из хлопка, изготовленной по различным технологиям.

PAPER WITH INCREASED WET-STRENGTH

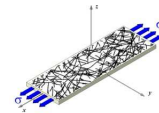
E. Kurkova, G. Ivanov

*Research Institute – Branch Office of the Federal State Unitary Enterprise “Goznak”,
Moscow, Russia*

Natural strength and wet-strength of cotton pulp is determined. Possibility of wet-strength increase by PPE introduction and surface treatment using different methods is shown. The results of wet-strength and hydrophobic property of cotton paper production prototypes produced using various technologies are presented.

Бумага-основа для бланков ценных бумаг и документов (далее – бумага-основа) должна быть долговечной и сохранять свою прочность после намокания в воде [1]. Потеря прочности и формы при увлажнении грозит утратой важной информации, а также сложностями в идентификации защитного комплекса. Сохранение во влажном состоянии механической прочности и формы – важное условие существования бумаги-основы.

Для изготовления бумаги – основы используется волокнистая композиция на основе натурального хлопкового волокна [2]. Хлопковая целлюлоза – самая прочная и чистая среди природных волокон, состоит из альфа-целлюлозы более чем на 90 %. Повышенная кристалличность, а также нативные особенности хлопка затрудняют его фибриллирование [1]. В то время как у древесной целлюлозы пучки фибрилл параллельны оси волокна и окружены гемицеллюлозными и лигнинными компонентами, облегчающими их разделение, у хлопкового волокна фибриллы расположены под углом 45° к оси волокна [1]. Поэтому для хлопковой целлюлозы рост размоленного числа идет скорее через укорочение волокна, чем через его фибрилляцию.



В связи с изложенным выше было интересно определить естественную прочность, а также естественную влагопрочность хлопковой целлюлозы.

На рис. 1 показана механическая прочность бумаги (разрывное усилие, Н) промышленных образцов из хлопка с различными добавками химических вспомогательных веществ (далее – «хвв»).

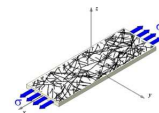
Естественная влагопрочность хлопка характеризуется разрывным усилием бумажной полоски *во влажном состоянии*. Результат испытаний составил по нашим данным – 1,01 Н (рис. 1, а). Бумага без добавок хвв потеряла форму, произошло разрушение связей между волокнами, однако сами волокна остались целыми.

Естественная прочность этой же бумаги в сухом состоянии (рис. 1, б) – составила – 37 Н. При разрушении полоски бумаги волокна хлопковой целлюлозы в зоне разрыва остались целыми (рис. 1, б). Можно предположить, что вклад естественных межволоконных сил связи, включая водородные, разрушающиеся при намокании, а также механические силы переплетения волокон из размолотой до стандартных параметров хлопковой целлюлозы составляет – 36 Н.

Прочность бумажного полотна можно увеличить добавкой к бумажной массе термореактивной влагопрочной смолы типа РРЕ [1, 3]. За счет образования связей, устойчивых к воздействию воды, разрывное усилие во влажном состоянии растет до 11 Н (рис. 1, в).

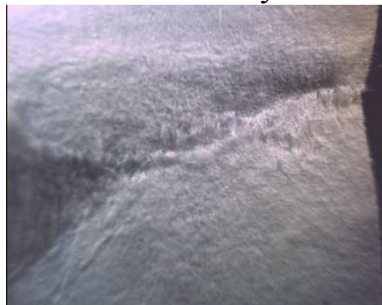
Разрывное усилие в сухом состоянии для промышленного образца влагопрочной бумаги из хлопка с добавкой смолы РРЕ составляет по нашим данным – 42 Н. Бумага практически не теряет форму (рис. 1, г).

Обработка бумаги дисперсией полимеров в режиме off line (рис. 1, д, е) приводит к росту разрывного усилия в сухом состоянии до 118 Н. Прочность во влажном состоянии бумаги этого образца – 107 Н. Образец практически не теряет форму при увлажнении. В зоне разрыва наблюдаем разрушение большей части хлопковых волокон. Можно предположить, что разрывное усилие бумаги с поверхностной обработкой off line превышает суммарную прочность хлопковых волокон стандартных параметров в зоне разрыва. Полученную по технологии off line бумагу можно позиционировать, как композиционный материал, свойства которого определяются в большей степени свойствами полимера, привнесенного на стадии поверхностной обработки [3]. При этом сохраняются все достоинства производства на БДМ непрерывным способом, а также сохранены



для потребителя базовые свойства бумаги-основы. Длина волокна и раз-
 мольное число для всех видов испытываемой бумаги – *const*.

Бумага из хлопка (без хвв)



во влажном состоянии

1,01 Н

a



в сухом состоянии

37,0 Н

б

Добавка PPE (4% товарного продукта)



во влажном состоянии

11 Н

в



в сухом состоянии

42 Н

г

Обработка ПУ в режиме off line



во влажном состоянии

107 Н

д



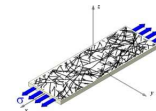
в сухом состоянии

118 Н

е

Рис 1. Фотографии зон разрыва бумаги из хлопкового волокна в сухом и во влажном состоянии. Влияние композиции бумажной массы на разрывное усилие и характер разрыва полоски бумаги ($\times 40$)

Известно, что целлюлоза из древесины имеет естественную влаго-
 прочность от 3 % до 10 % [1]. По результатам нашего исследования



(рис. 1, а, рис. 2) естественная влагопрочность хлопковой целлюлозы составляет 2,7 %. Низкое значение показателя «естественная влагопрочность» для хлопковой целлюлозы можно объяснить спецификой природы хлопкового волокна. У хлопковых волокон нет сопутствующих древесной целлюлозе гемицеллюлоз, а также лигнинных компонентов, приносящих свой вклад в межволоконные силы связи у древесной целлюлозы [1].

Добавка специальных влагопрочных терморезактивных смол типа PPE увеличивает влагопрочность до 25 % (рис. 2) [3, 4]. Однако адсорбционная способность волокон целлюлозы по отношению к смолам PPE ограничена. Для промышленных образцов бумаги из хлопка при расходе PPE от 4 кг/т до 6 кг/т товарного продукта влагопрочность бумажного полотна достигает 25 % – 45 %. Дальнейшее увеличение расхода смолы PPE до 8 кг/т не приводит к пропорциональному росту влагопрочности бумаги [4]. Максимально достигаемый результат от добавок PPE на хлопковой целлюлозе – 53-55 %.

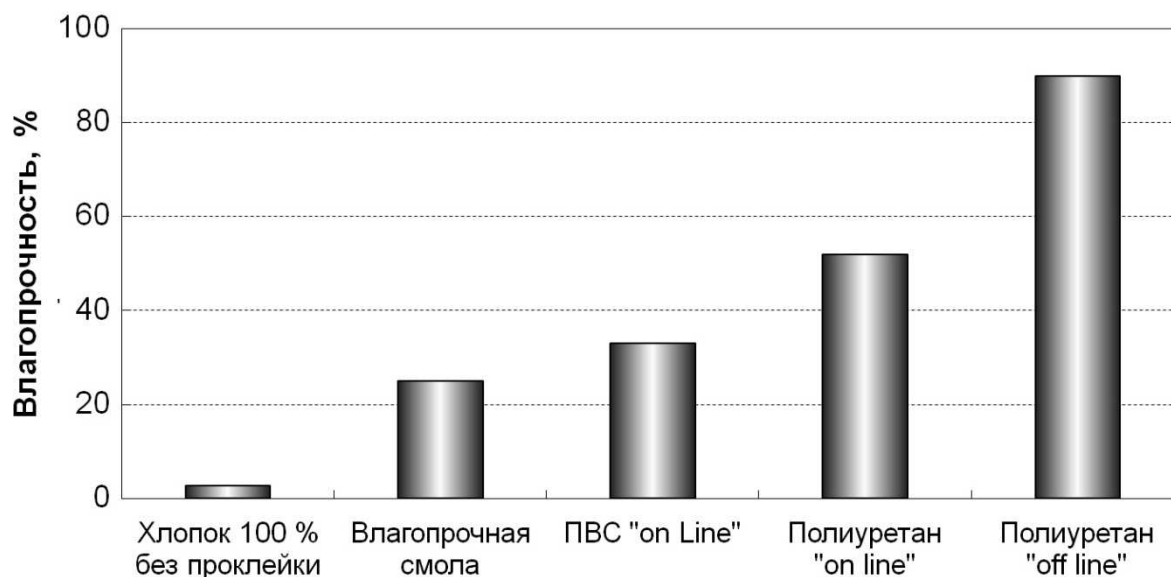


Рис. 2. Влагопрочность бумаги промышленных партий из хлопковой целлюлозы, изготовленной различными способами

На рис. 2 представлены результаты испытаний на влагопрочность промышленных образцов бумаги из хлопка, изготовленной по различным технологиям. Обработка бумаги-основы с поверхности дисперсиями полимеров, которые придают ей специальные барьерные свойства, существенно повышают показатель «влагопрочность» бумажного полотна. Показатель разрывного усилия и прочность до разрыва во влажном состоянии увеличивается более чем в три раза и достигает значения 118 Н и 108 Н соответственно.

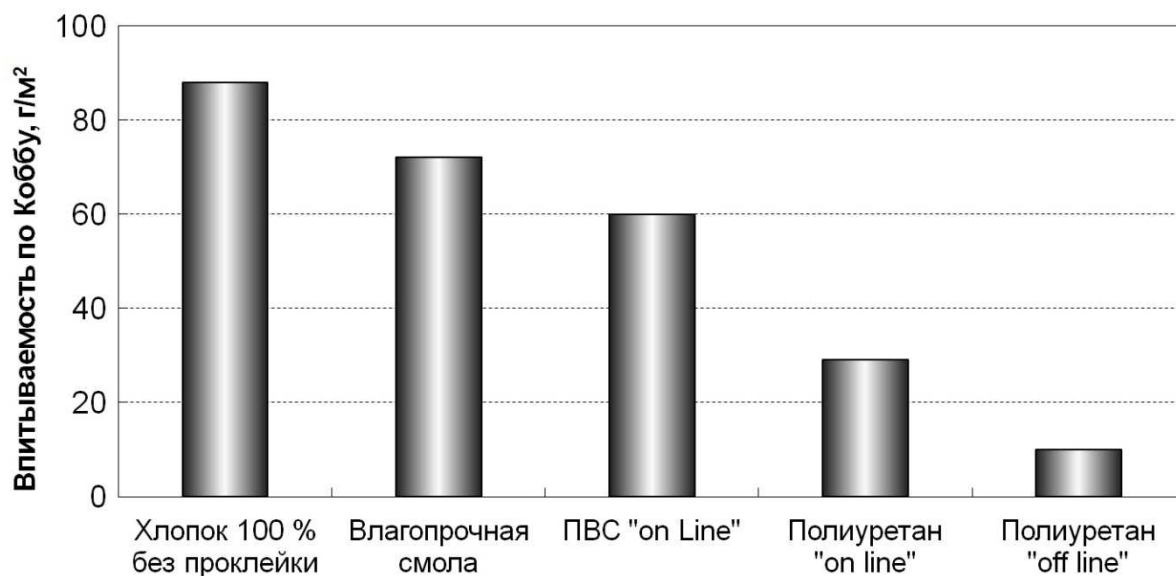
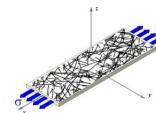
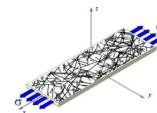


Рис. 3. Впитываемость воды при одностороннем смачивании бумаги промышленных партий из хлопковой целлюлозы, изготовленной различными способами

Влагопрочность хорошо коррелирует с барьерными свойствами бумаги [1]. На рис. 3 показана впитываемость воды при одностороннем смачивании бумаги промышленных партий, изготовленных по различной технологии. Образец бумаги с максимальной гидрофобностью имеет наибольшую влагопрочность (рис. 2, 3).



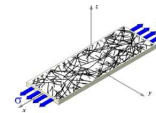
Рис. 4. Лепесток не разволокненного оборотного брака на поверхности бумажного полотна ($\times 100$)



Изготовление бумаги с повышенной влагопрочностью создает определенные трудности по возврату в основной технологический поток оборотного брака. Присутствие в бумажной массе неразволокненных фрагментов нарушает однородность поверхности бумажного полотна (рис. 4) и создает потенциальные трудности потребителям бумаги-основы. Поэтому изготовление бумаги с повышенной влагопрочностью может быть целесообразно только для бумаги специального назначения с комплексом особых свойств.

Список литературы

1. Фляте, Д.М. Свойства бумаги [Текст]. Издание 3-е / Д.М. Фляте. / –М.: Лесн. пром-сть, 1986. –680 с.
2. Зотова-Спановская, Н.Ф. Некоторые аспекты применения новых видов целлюлозного волокна в композиции бумаги / Н.Ф. Зотова-Спановская, З.М. Сухарева.Е.И. Неклюдова, К.Ф, Измайлова // Исследования по совершенствованию техники и технологии Гознаковского производства. Сборник трудов ВНИИ Гознака.М., ВНИИ Гознака -1979.-№9.-С.3-13.
3. Аким, Э.Л. Синтетические полимеры в бумажной промышленности [Текст] / Э.Л. Аким. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. –248 с.
4. Кожевников, С.Ю. Химия и технологии СКИФ для бумаги / С.Ю. Кожевников, И.Н. Ковернинский. – М.: Изд-во: Московского государственного университета леса, 2010. – 91 с.



ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ПЕЧАТНЫХ СВОЙСТВ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ БУМАГИ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАРБОНАТНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

В.И. Темрук¹, А.А. Пенкин², Т.В. Соловьева²

¹УП «Бумажная фабрика» Гознака, Борисов, Республика Беларусь

²УО «Белорусский государственный технологический университет», Республика Беларусь

Разработана и внедрена технология модифицирования карбонатных наполнителей катионным крахмалом, применение которой в производстве специальных видов бумаги позволяет существенно повысить ее прочностные и печатные свойства

INCREASING THE STRENGTH AND PRINTING PROPERTIES OF SPECIAL KINDS OF THE PAPER BY THE USING OF MODIFIED GCC FILLERS

V. Temruk¹, A. Penkin², T. Solov'eva²

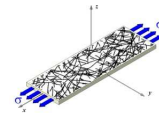
¹UE «Paper-mill» of Goznak, Borisov, Republic of Belarus

²Belarussian state technological university, Republic of Belarus

The technology of modifying of GCC fillers by the cationic starch is developed and introduced. Application of developed technology in manufacture of special kinds of a paper allows to essentially increase it strength and printing properties

Применение наполнителей в производстве специальных видов бумаги, к которым относится документная бумага, обеспечивает достижение специальных печатных свойств, в том числе высокой белизны, яркости, красковосприятости, способности воспроизводить элементы графической защиты. Кроме того наполнители в определенной мере улучшают макроструктуру бумаги и приводят к снижению затрат на ее изготовление за счет частичной замены целлюлозы на более дешевое минеральное сырье [1–4].

Одними из наиболее привлекательных по соотношению стоимость/технический результат являются природные карбонатные наполнители. Этим объясняется их самая высокая доля в объеме использования в бумажном производстве – 39 % от общего количества наполнителей (для сравнения доля осажденного карбонатного наполнителя составляет 18 %, каолина – 33 %, диоксида титана совместно с др. менее используемыми наполнителями – не более 2 %, доля талька, используемого скорее как средство борьбы со смоляными затруднениями, нежели как наполнитель –



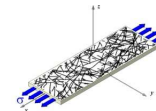
8 %) [4]. В Западной Европе использование природных карбонатных наполнителей еще выше, что определяется высоким качеством сырьевой базы по сравнению, например, с США [4].

В группу карбонатных наполнителей входят коммерческие продукты, получаемые размолом и фракционированием трех горных пород: мела, известняка, мрамора [5]. Белизна природных карбонатных наполнителей, полученных из мела и известняка невысока и обычно находится в пределах 80–88 %. Мрамор представляет собой перекристаллизовавшийся в результате геологических трансформаций и термических метаморфоз мел или известняк, которые подвергались воздействию больших давлений и высоких температур, [6]. Благодаря этому карбонатные наполнители, получаемые из мрамора и часто именуемые мраморным кальцитом, обладают низким содержанием посторонних примесей (до 1 %), высокой белизной – до 97 % и хорошей цветностью, что способствует существенному улучшению таких оптических показателей бумаги как белизна, непрозрачность, цвет [7–9].

Предприятия бумажной промышленности Республики Беларусь, выпускающие наполненные виды бумаги, и, в частности, бумагу документную (УП «Бумажная фабрика» Гознака Беларуси) используют, как правило, карбонатные наполнители в виде мела. Однако применение мела имеет определенные ограничения в производстве высококачественных документных бумаг из-за его относительно невысокой белизны и невозможности использования в композиции бумаги оптически отбеливающих веществ. Так, белизна мела марки «МТД-2», используемого в промышленных условиях УП «Бумажная фабрика» Гознака Беларуси, составляет всего 80–81 %, что ниже белизны используемых беленых видов целлюлозы (86–88 %). Поэтому в современных условиях для формирования повышенных печатных свойств бумаги документной использование карбонатного наполнителя в виде мраморного кальцита, обладающего высокой белизной и хорошими цветовыми характеристиками, приобретает высокую значимость.

Для эффективного использования мраморного кальцита в технологии бумаги документной должно быть предусмотрено решение двух актуальных задач. Первая задача характерна для всех наполненных видов бумаги и сводится к достижению высокой степени удержания наполнителя в композиции бумаги.

Вторую задачу мы ставим в виде гипотезы, сформулированной следующим образом – обеспечить направленное удержание наполнителя в по-



верхностных (верхнем и сеточном) слоях бумаги, подвергаемых в последующем поверхностной обработке (упрочнению) водорастворимыми связующими.

Решение этих задач, направленных на одновременное повышение прочностных и печатных свойств бумаги документной, может быть достигнуто модифицированием основных свойств мраморного кальцита. В качестве модифицирующего агента для мраморного кальцита использован высокомолекулярный катионный флокулянт – катионный крахмал, макромолекулы которого обладают сильным средством к целлюлозным волокнам.

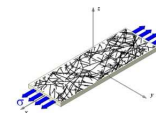
Модифицирование мраморного кальцита (марки Hydrocarb 40 UR, компания «ОМУА»), в промышленных условиях УП «Бумажная фабрика Гознака» осуществлялось обработкой его водной суспензии дисперсией катионного крахмала (марки Hi-Cat C 323 A) в одной из двух поочередно работающих емкостей, оборудованных перемешивающими устройствами рамного типа с регуляторами частоты вращения для получения требуемого размера флокул наполнителя. Основные свойства и характеристики наполнителя до и после модифицирования представлены в табл. 1.

Таблица 1. Влияние модифицирования на свойства мраморного кальцита

Наименование показателей	Значения показателей	
	до модифицирования	после модифицирования
Электрокинетические свойства:		
ζ-потенциал, мВ	+4,8	+11,9
Гранулометрические характеристики*		
минимальный диаметр частиц, мкм	7,2	13,8
наивероятнейший диаметр частиц, мкм	11,0	18,4
Оптические свойства		
белизна, %	94,5	93,1
координаты цвета		
<i>L</i>	98,29	96,79
<i>a</i>	0,379	0,546
<i>b</i>	0,740	0,945

*Примечание: в таблице представлены не действительные размеры частиц суспензии наполнителя, а их эквивалентные диаметры, определенные в целях доказательства флокулообразования седиментационным методом по закону Стокса [10].

Из табл. 1 видно, что модифицирование мраморного кальцита сопровождается образованием из наполнителя флокул с размерами в 2 раза



большими, чем исходные частицы с повышением значения их ζ -потенциала. В результате произойдет повышение общего удержания наполнителя в структуре бумаги с максимальным концентрированием его в поверхностных (верхнем и сеточном) слоях бумаги. Это обусловлено как адсорбционной составляющей общего удержания в результате усиленного электростатического взаимодействия частиц наполнителя с отрицательно заряженными целлюлозными волокнами, так и его структурно-фильтрационной составляющей в результате увеличения размеров частиц (их агрегации).

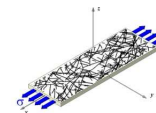
Свойства документной бумаги, полученной с использованием модифицированного мраморного кальцита и проклеенной с поверхности составом на основе окисленного крахмала и поливинилового спирта (ТУ ВУ 600017868.071-2007) представлены в табл. 2.

Таблица 2. Свойства документной бумаги, полученной с использованием модифицированного мраморного кальцита

Наименование показателей		Значения показателей	
		до модифицирования	после модифицирования
Координаты цвета	<i>L</i>	95,28	96,34
	<i>a</i>	1,78	1,10
	<i>b</i>	5,01	3,76
Оптическая плотность оттиска, Б		1,27	1,43
Разрешающая способность, мкм		58	51
Выделяющая способность, мкм	Позитив	10	10
	Негатив	27	20
Сопротивление излому, ч. д. п.		149	264
Разрывная длина, км		6,7	6,9
Гладкость, с		50	67
Зольность, %		6,2	9,7
Степень удержания, %		55,6	87,7

Данные табл. 2 свидетельствуют о существенном улучшении прочностных и печатных свойств документной бумаги и повышении степени удержания мраморного кальцита вследствие его модифицирования катионным крахмалом.

Для оценки влияния направленного удержания наполнителя в поверхностных (верхнем и сеточном) слоях бумаги на ее качество в табл. 3



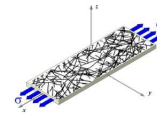
представлены показатели документной бумаги (ТУ РБ 600017868.032-2000), измеренные с лицевой и сеточной стороны.

Таблица 3. Показатели документной бумаги, измеренные с ее лицевой и сеточной стороны

Наименование показателей	Значения показателей	
	до модифицирования	после модифицирования
Белизна, %		
– с лицевой стороны	81	85
– с сеточной стороны	80	85
Разница между значениями лицевой и сеточной стороны	1	0
Оптическая плотность оттиска, Б		
– с лицевой стороны	1,39	1,32
– с сеточной стороны	1,10	1,23
Разница между значениями лицевой и сеточной стороны	0,29	0,09
Шероховатость по Бендтсену, мл/мин:		
– с лицевой стороны	244	263
– с сеточной стороны	395	342
Разница между значениями лицевой и сеточной стороны	151	79
Гладкость, с		
– с лицевой стороны	39	40
– с сеточной стороны	30	36
Разница между значениями лицевой и сеточной стороны	9	6
Стойкость поверхности к выщипыванию, № теста поДеннисону:		
– с лицевой стороны	20	20
– с сеточной стороны	16	18
Разница между значениями лицевой и сеточной стороны	4	2

Из табл. 3 видно, что использование модифицированного мраморного кальцита привело к снижению в 1,5-3 раза разницы между значениями всех перечисленных показателей, измеренных с сеточной и лицевой стороны бумаги. Полученные результаты свидетельствует об улучшении распределения мраморного кальцита в z-направлении бумаги после его модифицирования и снижении ее разносторонности.

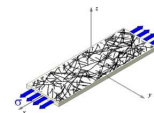
Рассмотренные технические решения, обеспечивающие повышение прочностных и печатных свойств бумаги, защищены двумя патентами



Республики Беларусь (№13365, №13858), которые внедрены в промышленное производство документной бумаги на УП «Бумажная фабрика» Гознака Беларуси.

Список литературы

1. Технология целлюлозно-бумажного производства: в 3 т. / редкол.: П. Осипов [и др.]. – СПб.: Политехника, 2002–2006. – Т.2: Производство бумаги и картона. Ч.1: Технология производства и обработки бумаги и картона / В.И. Комаров [и др.]. – 2005. – 423 с.
2. Clay-Starch composites and their application in papermaking / Se-Young Yoon [et al.] // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2006. – Vol. 100. – P. 1032–1038.
3. Improvement of paper strength with starch modified clay / Zegui Yan [et al.] // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2005. – Vol. 97. – P. 44–55.
4. Silenius, P. Improving the combinations of critical properties and process parameters of printing and writing papers and paperboards by new paper-filling methods: dis. ... doct. of science in techn. / P. Silenius. – Helsinki, 2003. – 129 p.
5. Regulation No 139/2004 merger procedure: Decision on Case No COMP/M.3796 – OMYA/HUBER PCC of Commission of the European communities, Article 8 accepted 19.07.2006: public version. – Brussel, 2006. – 125 p.
6. Манфред, А. Природный карбонат кальция в мелованных бумаге и картоне / А. Манфред // *Целлюлоза. Бумага. Картон*. – 2001. – № 5–6. – С. 34–39.
7. Изучение процессов удержания различных видов мела / Т. А. Стебунова [и др.] // *Целлюлоза. Бумага. Картон*. – 2000. – № 3–4. – С. 28–31.
8. Исследование свойств опытных образцов бумаги, наполненной различными видами мела / Т.А. Стебунова [и др.] // *Целлюлоза. Бумага. Картон*. – 2000. – № 5–6. – С. 38–40.
9. Lightweight, high-opacity by fiber loading: filler comparison / J. H. Klugness [et al.] // *Nordic Pulp and Paper Research Journal*. – 2000. – Vol. 15, №5. – P. 345–350.
10. Евстратова, К. И. Физическая и коллоидная химия / К. И. Евстратова, Н. А. Купина, Е. Е. Малахова; под ред. Г. С. Гольденберга. – М.: Высшая школа, 1990. – 487 с.



ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОТБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРОЦЕССА, УПРАВЛЯЕМОГО АСУТП, КРИТИЧНЫХ ДЛЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРАФТ-ЛАЙНЕРА

Э. Л. Алимпиев¹, Я.В. Казаков²

¹ОАО «Архангельский ЦБК», Архангельск, Россия

²Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

Основная проблема управления качественными характеристиками картона заключается в недоступности методов их измерения в режиме реального времени. Стабильность косвенных показателей полотна не гарантирует прогнозируемых значений потребительских свойств картона на длительных интервалах времени. Для определения причин вариации прочностных свойств крафт-лайнера предложены статистические методы.

STATISTICAL METHODS APPLICATION FOR THE TECHNOLOGICAL FACTORS SELECTION, WHICH ARE CRITICAL TO THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF THE KRAFT-LINER FOR APCS CONTROLLED PROCESS

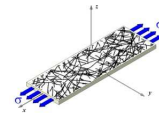
E. Alimpiev¹, Y. Kazakov²

¹Arkhangelsk PPM, Arkhangelsk, Russia

²Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

The main problem of control of board consumer properties is unavailability of methods to measure them in real time. On-line sheet stability does not guarantee the expected consumer properties of board for the long time periods. We suggest a statistical methods to determine the causes of variations in the strength properties of kraft-liner.

Одним из приоритетных направлений модернизации производства в настоящее время является сокращение доли не сортовой продукции в общем выпускаемом объеме. Зависимости качественных характеристик крафт-лайнера от основных определяющих факторов технологического процесса учтена в производственном регламенте. Для поддержания регламентного режима широко применяются системы АСУТП, и различные средства локальной автоматизации. Преимущество автоматизированного управления во многом определяется возможностью точно сопоставить количественные изменения воздействия и результирующей величины (отклика) процесса. Настройкой АСУТП удастся достичь устойчивой воспроизводимости таких характеристик крафт-лайнера, как масса 1 м^2 и влаж-

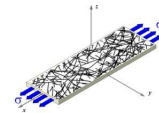


ность полотна в текущем режиме, но это не означает предсказуемости величин потребительских характеристик готовой продукции, определяемых лабораторными методами. Технологический процесс производства крафт-лайнера имеет ряд особенностей, затрудняющих управление качественными показателями, а значит потенциально являющимися причинами их нестабильности. К таковым относятся:

- невозможность объединения стадий процесса в едином цикле;
- большие объемы исходных компонентов и промежуточных полуфабрикатов (необходимость хранения и кондиционирования практически для каждой стадии переработки);
- значительные транспортные задержки, как управляющих воздействий, так и нежелательных возмущений;
- нестабильность состава и качества исходного сырья;
- переходные процессы, обусловленные инертностью технологического потока, возникающие вследствие остановов (перерывов в работе технологических участков, узлов, а также при смене вида выпускаемой продукции);
- неизбежность многократной переработки исходных материалов (обрывность машины, переработка не сортовой продукции и т.п.);
- сезонные колебания, препятствующие созданию стабильных начальных условий практически на всех стадиях процесса (температура и влажность окружающей среды, оказывающие влияние на состояние сырья и полуфабрикатов; температура, состав и биохимические показатели воды);
- уникальность условий производства, обусловленная свойствами технологических потоков, физико-химическими характеристиками используемых компонентов, особенностями конструкции технологического оборудования, сложностью выполнения текущих измерений и лабораторных анализов, условиями и ограничениями рабочих режимов.

Статистические методики позволяют учитывать воздействия, обусловленные влиянием случайных изменений. Предварительным этапом исследования стала обработка исходной выборки данных о технологическом процессе с целью определения их пригодности для применения статистического анализа [1].

В качестве контролируемых характеристик были выбраны прочностные показатели картона крафт-лайнера, производимого на КДМ-1 ОАО «Архангельский ЦБК» за годовой период: абсолютное сопротивление



ние продавливания (Π), кПа, и разрушающее усилие сжатия кольца в поперечном направлении (RCT), Н.

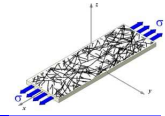
В качестве факторных признаков выбраны:

- x_0 (M) – масса 1 м^2 , г;
- x_1 (%НСПЦ) – процентное содержание НСПЦ в массе основного слоя, %;
- x_2 ($СП_{OC}$) – Степень помола массы основного слоя, °ШР;
- x_3 (c_{OC}) – концентрация массы в БПУ основного слоя, %;
- x_4 ($c_{НЯ1}$) – концентрация массы в напорном ящике основного слоя, %;
- x_5 ($pH_{НЯ1}$) – pH массы в напорном ящике основного слоя;
- x_6 ($t_{НЯ1}$) – температура массы в напорном ящике основного слоя, °С;
- x_7 (FS_{OC}) – соотношение напуска массы основного слоя;
- x_8 ($СП_{ПС}$) – степень помола массы покровного слоя, °ШР;
- x_9 ($c_{НЯ2}$) – концентрация массы в напорном ящике покровного слоя, %;
- x_{10} ($pH_{НЯ2}$) – pH массы в напорном ящике покровного слоя;
- x_{11} ($FS_{ПС}$) – соотношение напуска покровного слоя;
- x_{12} ($R_{КЛ}$) – расход канифольного клея, л/мин;
- x_{13} ($c_{КЛ}$) – концентрация канифольного клея, г/л;
- x_{14} ($\rho_{ГЛ}$) – удельный вес глинозема, г/см³;
- x_{15} ($pH_{ГЛ}$) – pH глинозема;
- x_{16} ($R_{ГЛ1}$) – расход глинозема основного слоя, м³/час;
- x_{17} ($R_{ГЛ2}$) – расход глинозема покровного слоя, м³/час;
- x_{18} (SN_{OC}) – суммарный напор в напорном ящике основного слоя, м;
- x_{19} ($SN_{ПС}$) – суммарный напор в напорном ящике покровного слоя, м;
- x_{20} ($СП_{НСПЦ}$) – степень помола НСПЦ.

Оценка выборочных данных производилась с применением процедур описательной статистики.

Поскольку все механические показатели крафт-лайнера существенно зависят от массы 1 м^2 , то анализ исходной выборки выполнен по данным, сгруппированным в соответствии со стандартными значениями массы 1 м^2 – 125, 140, 150 и 175 г. Объем выборок составил: картон 125 г/м² – 2888; картон 140 г/м² – 3649; картон 150 г/м² – 1971; картон 175 г/м² – 2992 наблюдений.

Результаты описательной статистики показали, что распределения большинства переменных приблизительно соответствуют нормальному закону, что означает допустимость применения для данной выборки методики корреляционного анализа [5].



Наибольшие отклонения имеют: x_1 (%НСПЦ) $V_\sigma = 35 \dots 55\%$; x_{12} ($R_{\text{КЛ}}$) $V_\sigma = 32 \dots 38\%$; x_{16} ($R_{\text{ГЛ}}$) $V_\sigma = 96 \dots 128\%$; x_0 (М) $E_k = -0,59 \dots -0,75$; x_2 (СПОС) E_k порядка $-0,26$; x_6 ($t_{\text{НЯ1}}$) $E_k = 2,0 \dots 2,6$; x_7 ($FS_{\text{ОС}}$), x_{11} ($FS_{\text{ПС}}$) $E_k = 7 \dots 8$; x_9 ($c_{\text{НЯ2}}$) $E_k = -0,52 \dots -0,74$; x_{14} ($\rho_{\text{ГЛ}}$) $E_k = -0,78 \dots -0,70$; x_7 ($FS_{\text{ОС}}$) $A_s = 1,86 \dots 2,74$; x_{16} ($R_{\text{ГЛ}}$) $A_s = 1,08 \dots 1,98$; y_4 (ВН) $A_s = 1,60 \dots 1,86$; x_{11} ($FS_{\text{ПС}}$) $A_s = -6,98 \dots 1,62$; x_{19} ($SN_{\text{ПС}}$) $A_s = -1,50 \dots -0,92$.

Для оценки степени взаимосвязи различных переменных применяется парный корреляционный анализ. На первом этапе расчетов вычислены коэффициенты парной корреляции для всех сочетаний x_i, y_j (табл. 1). При рассмотрении результатов заметно, что, во-первых, интересующие характеристики качества слабо коррелированы с воздействующими параметрами – абсолютные значения коэффициентов корреляции находятся в пределах $0,25 - 0,36$; во-вторых, перечень характеристик с наибольшей взаимосвязью отличается для разной массы 1 м^2 [3].

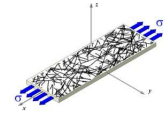
Полученные коэффициенты с абсолютными значениями $0,2$ и больше проверены на значимость по критерию Стьюдента, выполнена их интервальная оценка на репрезентативность для генеральной совокупности – коэффициенты действительны и репрезентативны [4].

Множественный корреляционный анализ использован для оценки силы взаимосвязи исследуемых характеристик крафт-лайнера с несколькими факторными признаками. Подбор перечня влияющих факторов выполнен тремя способами:

- по абсолютным значениям коэффициентов парной корреляции $|r_{xy}| > 0,2$;
- по значению коэффициента вариации $V_\sigma > 20 \%$;
- по сопоставлению экстремальным значениям x_i (10-е наибольшее / наименьшее значение для поквартальных наборов) усредненных значений y_j . (табл. 1) [2].

Значимость множественных коэффициентов корреляции $R_{y,1\dots i}$ оценена по критерию Фишера-Снедекора. Для всех $R_{y,1\dots i}$ величина $F_{\alpha; k1, k2}$ больше табличного значения, следовательно, коэффициенты значимы. Оценка пригодности методики расчета экстремальных значений для формирования набора факторных переменных также проводилась вычислением коэффициентов множественной корреляции (табл. 2).

При рассмотрении наборов влияющих факторов (табл. 2, 3), заметно, что наибольшей универсальностью обладает метод выбора переменных по абсолютной величине коэффициентов парной корреляции. В наборы пере-



менных, влияющих на прочностные характеристики, входят параметры массы ($СП_{OC}$, $СП_{НСПЦ}$) и технологические параметры напорных ящиков основного и покровного слоя (температура, концентрация массы), влияющие на взаимодействие волокон при формировании структуры крафт-лайнера на начальной стадии отлива. Значения коэффициентов множественной корреляции близки по абсолютному значению для картона с различной массой $1 м^2$.

Таблица 1. Степень связи переменных выборки

пример корреляционной связи									
Факторы		П				RCT			
Масса $1 м^2$, г		125	140	150	175	125	140	150	175
$СП_{OC}$	x_2	0	0	0	0	0	0	1	0
$c_{ня2}$	x_9	0	0	0	1	0	0	0	1
пример соответствия экстремальных значений									
Масса $1 м^2$, г		125	140	150	175	125	140	150	175
М	x_0	0	1	1	1	0	1	1	0
%НСПЦ	x_1	0	2	0	0	0	1	1	0
$СП_{OC}$	x_2	0	-1	0	1	-1	-1	0	0

0 – зависимость не выявлена; 1 – слабая прямая зависимость; 2 – прямая зависимость; (-1) – слабая обратная зависимость; (-2) – обратная зависимость

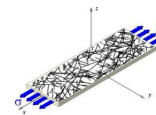
Таблица 2. Коэффициенты множественной корреляции

Характеристика	Влияющие факторы					$R_{y,1...i}$ для картона массой $1 м^2$, г				
						125	140	150	175	
$r_{xy} > 0,2$										
П	$c_{ня1}$	$t_{ня1}$	$c_{ня2}$	$SN_{ПС}$	$СП_{НСПЦ}$	0,36	0,37	0,30	0,26	
RCT	$СП_{OC}$	c_{OC}	$c_{ня1}$	$c_{ня2}$	$SN_{ПС}$	0,22	0,27	0,33	0,42	
$V_{\sigma} > 20\%$										
П	%НСПЦ	$R_{кл}$	$R_{гл1}$	$R_{гл2}$	-	0,04	0,34	0,30	0,38	
RCT	%НСПЦ	$R_{кл}$	$R_{гл1}$	$R_{гл2}$	-	0,21	0,14	0,32	0,26	

Таблица 3. Перечни факторов и коэффициенты множественной корреляции по методу экстремальных значений

Масса $1 м^2$, г	Характеристика	Влияющие факторы									$R_{y,1...i}$
125	П	c_{OC}	$pH_{ня1}$	$СП_{ПС}$	$pH_{ня2}$	-				0,25	
140	П	%НСПЦ	$c_{ня1}$	$pH_{ня1}$	FS_{OC}	$pH_{ня2}$	-				0,22
	RCT	%НСПЦ	$СП_{OC}$	c_{OC}	$pH_{ня1}$	$pH_{ня2}$	$R_{гл1}$	$R_{гл2}$	SN_{OC}	$SN_{ПС}$	0,33
150	П	М	$t_{ня1}$	$СП_{ПС}$	$R_{гл2}$	-				0,16	
	RCT	М	%НСПЦ	$pH_{ня1}$	FS_{OC}	-				0,31	
175	П	М	$СП_{OC}$	$t_{ня1}$	$c_{ня2}$	$R_{гл2}$	SN_{OC}	$SN_{ПС}$	$СП_{НСПЦ}$	-	0,58
	RCT	c_{OC}	$c_{ня1}$	$c_{ня2}$	$pH_{ня2}$	$SN_{ПС}$	-			0,39	

Наборы переменных, полученные по величине V_{σ} , имеют больший разброс по коэффициентам множественной корреляции и характеризуют



изменение условий формирования структуры полотна на мокрой части КДМ (расход канифольного клея и глинозема) и долю НСПЦ в композиции.

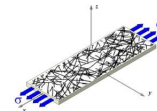
Наборы переменных, полученные по методу оценки экстремальных значений выборки характеризуются более высокими абсолютными значениями коэффициентов множественной корреляции, особенно на тяжелых сортах крафт-лайнера массой 175 г/м^2 , и могут использоваться дополнительно к наборам, полученным по методу коэффициентов парной корреляции. Наборы различны для крафт-лайнера разной массы 1 м^2 , метод более чувствителен к небольшим изменениям.

Таким образом, экспериментально показано, что для отбора технологических факторов процесса, управляемого АСУТП, критичных для прочностных характеристик крафт-лайнера для многофакторных регрессионных моделей требуется применение методов статистического анализа.

На основании количественных оценок уравнений связи рекомендован метод определения технологических факторов, приоритетных с точки зрения настройки процесса производства крафт-лайнера для получения оптимизированных прочностных характеристик. Определены способы уточнения и корректировки регламентных диапазонов, а также количественной оценки изменений, вносимых в схему технологического потока

Список литературы

1. Алимбиев, Э.Л. Использование статистического анализа для оптимизации параметров технологического процесса / Я.В. Казаков, В.И. Комаров, Э.Л. Алимбиев // Развитие научных основ современных способов комплексной химической и биохимической переработки растительного сырья: Наука – северному региону: сб. науч. тр.– Архангельск: Изд-во САФУ, 2010. – Вып. 83. – С. 76-84.
2. Алимбиев, Э.Л. Использование методики экстремальных значений для оценки влияния вариации технологических параметров процесса, управляемого АСУТП, на показатели качества крафт-лайнера. / Э.Л. Алимбиев, Я.В. Казаков, В.И. Комаров // Современные тенденции в развитии производства бумаги, картона, гофрокартона из макулатурного сырья: материалы 11-й Междунар. науч.-техн. конф. – Караваево, 2010. – С. 32-41.
3. Денисенко, В.П. Корреляционный анализ в целлюлозно-бумажном производстве / В.П. Денисенко, Н.М. Тертицкий. – М.: Лесн. пром-сть. 1968. – 152 с.
4. Комаров, В.И. Применение статистических методов контроля и управления качеством технологических процессов, услуг и продукции: Учеб. пособие/В.И. Комаров, Т.М. Владимирова, В.И. Жабин, В.В. Залаяжных, А.Е. Коптелов, С.И. Третьяков. –Архангельск, изд-во Арх. гос. техн. ун-та, 2009. –179 с.
5. Кремер, Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: изд. 2 переработанное/Н.Ш. Кремер, –М.: 2004. – 574 с.



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ МАССЫ ИЗ МАКУЛАТУРЫ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БУМАГИ И КАРТОНА

М.В. Ванчаков, А.В. Кулешов

Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрены и обобщены существующие технологические приемы повышения прочностных характеристик картонно-бумажной продукции на основе макулатурного волокна. Определены основные направления улучшения физико-механических показателей бумаги и картона из макулатуры.

IMPROVEMENT OF WASTEPAPER STOCK PREPARATION TECHNOLOGY TO INCREASE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PAPER AND PAPERBOARD

M. Vanchakov, A. Kuleshov

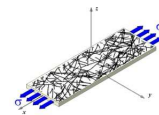
Saint-Petersburg state technological university of plant polymers, Saint-Petersburg, Russia

Reviewed and summarized the existing processing techniques of increasing the strength properties of paper and paperboard based on recycled fiber. The main directions for improving the physical and mechanical properties of paper and paperboard from wastepaper were determined.

Около 80 % объема продукции, изготавливаемой с применением макулатурного сырья, составляют тароупаковочные виды бумаги и картона. Важнейшими требованиями к такой продукции являются прочность, жесткость и устойчивость к деформациям.

Установлено, что физико-механические свойства вторичного волокна в силу ряда технологических причин ниже, чем у первичного. Исследования показывают, что при одинаковой степени помола уже после 2-3-х циклов переработки исходная волокнистая масса снижает показатели растяжимости, разрывной длины, сопротивления излому и продавливанию. Если снижение первых двух показателей обычно не превышает 10-15 %, то последние два теряют свыше 30 % своей исходной величины. Для поддержания требуемого качества продукции актуальной проблемой является выбор методов частичного или полного восстановления (регенерации) указанных показателей при переработке макулатуры.

В связи с неоднородностью состава макулатуры и различиями производственных схем ее подготовки привидение здесь фактических данных



об изменениях величины физико-механических показателей в конкретных случаях не имеет существенного смысла. Поэтому мы ограничимся указанием тенденций и самых общих сведений об этих изменениях.

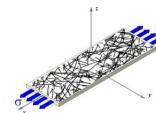
В данной работе делается попытка обобщения существующих технологий улучшения прочностных показателей картонно-бумажной продукции, полученной на базе макулатурного сырья.

Традиционным способом улучшения бумагообразующих свойств любого растительного, в том числе и макулатурного волокна является размол (рафинирование). По классическим представлениям в начале процесса размола преобладает действие факторов, оказывающих положительное влияние на показатели прочности продукции. Однако, на некотором этапе процесса наблюдается сильный спад значений механических показателей (в первую очередь сопротивления раздиранию) за счет укорочения волокон.

Волокна макулатуры, подвергшиеся ранее размолу до уровня, обеспечивающего требуемые показатели продукции, содержат определенную долю укороченных размолотых волокон. Повторный размол неизбежно увеличивает долю коротковолокнистой составляющей и тем самым, риск ухудшения механических показателей продукции ниже допустимого уровня. Поэтому размол вторичного волокна требует особого подхода и нескольких стадий.

Первая стадия размола макулатурного сырья должна обеспечить окончательный роспуск фрагментов (лепестков), пучков и узелков волокон, их пластификацию, а также набухание, пластификацию и нарушение целостности наружной клеточной стенки для облегчения дальнейшей обработки волокон. Эти задачи решает размол макулатурной массы в аппаратах гидродинамического типа (энтштипперы, пульсационные мельницы). За один проход в пульсационной мельнице степень разволокнения массы достигает 95-98 %, в зависимости от состава макулатуры, при энергетических затратах всего 20-25 кВт·ч/т. При этом практически не изменяется средняя длина волокна и незначительно увеличивается степень помола. Данная обработка массы является предварительной и позволяет снизить затраты на ножевой размол.

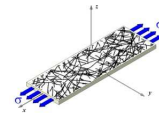
Размол макулатурной массы в ножевых мельницах для повышения механических показателей продукции следует производить в мягком режиме. Такой режим реализуется путем снижения удельной нагрузки на кромки ножей и оптимизации величины мощности привода мельницы.



Удельная нагрузка при обработке макулатурной массы должна составлять не более 0,2-0,5 Дж/м. Исследования показывают, что при таких условиях количество мелкой фракции увеличивается незначительно, а прочностные показатели, особенно сопротивление излому, заметно возрастают. Снижение удельной нагрузки на кромки ножей обеспечивается использованием размалывающей гарнитуры с максимальной режущей секундной длиной. Для этого снижают ширину ножей и канавок между ними, а также скорость вращения ротора. Снижение ширины ножей и канавок ограничивается с одной стороны необходимой прочностью их, а с другой - опасностью забивания канавок массой. В связи с этим рекомендуется устанавливать мельницы последовательно или использовать для размолта многодисковые мельницы. Несмотря на потери КПД мельницы, затраты энергии на размол в этих условиях сокращаются.

После разволокнения макулатурная масса содержит волокна различной длины. Размол такой массы сопровождается общим укорочением волокон и особенно коротковолокнистой фракции (КВФ). Повторно обработанные мелкие волокна приобретают свойства инертного наполнителя, что сопровождается снижением способности массы к обезвоживанию и не дает повышения прочности полотна. Это связано с тем, что значительную часть КВФ составляет так называемое «ороговевшее» волокно, плохо поддающееся регенерации и не способное образовывать межволоконные связи. Мягкий размол при низком давлении, в свою очередь, может оказаться недостаточным для обработки длиноволокнистой фракции (ДВФ), может привести к увеличению продолжительности процесса и повышению расхода энергии на размол. Не используемый потенциал волокон ДВФ может остаться не раскрытым. Для решения этих проблем признан целесообразным отдельный размол различных групп фракций волокна. Помимо прочего, это дает возможность улучшения экономических и экологических показателей производства.

На многих фабриках размол КВФ не производят с целью экономии энергии. В определенных условиях представляется целесообразным осуществлять размол КВФ только в гидродинамических безножевых аппаратах. Часть КВФ содержащаяся в оборотных водах, после осветления логично удалять из потока и использовать в альтернативных направлениях. Это будет способствовать стабильности качества макулатурной массы. Размол ДВФ макулатурного волокна следует производить в мягком режиме при указанных выше условиях. Экспериментальные данные показыва-



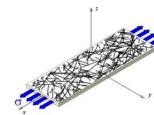
ют, что эти меры позволяют получать стабильное повышение механических показателей продукции. Кроме того, появляется возможность гибкого регулирования качества продукции за счет выбора необходимой композиции из КВФ и ДВФ бумажной массы.

В отдельных источниках отмечается способ размола (рафинирования) массы при высоких (до 30 %) концентрациях в аппаратах перемешивающего типа. При размоле они обеспечивают повышение прочностных показателей массы без дополнительного образования мелочи и ухудшения способности массы к обезвоживанию. Недостатком такой обработки является повышенный расход энергии на сгущение и размол массы.

В ряде источников отмечается влияние термодисперсионной обработки (ТДО) макулатурной массы на прочностные характеристики продукции из нее. Однако эта информация достаточно противоречива. Так, для книжно-журнальной и газетной макулатуры влияние ТДО на механические показатели массы, как правило, негативно и, тем более, чем выше температура ТДО. Это связано с наблюдаемым при ТДО явлением завивания волокон. Оно особенно заметно при использовании диспергаторов перемешивающего типа в процессе горячей ТДО. С другой стороны понижение температуры ТДО до уровня ниже 100 °С показывает некоторое увеличение прочностных характеристик при достаточно высоких расходах энергии (до 130 кВт·ч/т для белых сортов макулатуры). В данном случае процесс ТДО совмещается с рафинированием, когда процесс фибрилляции волокон превалирует над процессом их завивания. Это особенно заметно при использовании быстроходных дисковых диспергаторов. Отмеченное свидетельствует о том, что в настоящее время применение ТДО для повышения механической прочности массы не имеет ясной перспективы.

Отдельным направлением улучшения прочностных показателей продукции из макулатуры является использование различных химических вспомогательных веществ.

Повышение механических показателей можно получить при использовании в процессе роспуска и размола массы специальных смачивателей, например, смачивателя-пассиватора СЛ-98. Это особенно актуально для сильнопроклеенных видов макулатуры. Результаты исследований Дулькина Д.А. по использованию смачивателей показали увеличение сопротивления продавливанию на 10-20 % и других прочностных характеристик массы. Кроме того, им установлено, что при одинаковой продолжительности и условиях размола использование смачивателя дает прирост степени помо-



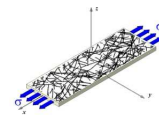
ла массы на 6-12 °ШР. Это объясняется повышением набухаемости волокон за счет увеличения гидрофильности их поверхности при воздействии смачивателя.

Традиционным химикатом для улучшения бумагообразующих свойств вторичных волокон служит гидроксид натрия. Его действие особенно эффективно при обработке небеленого волокна (коричневая ящичная макулатура), что связано с повышением степени его набухания в щелочной среде, сопровождающимся ростом гибкости и сил сцепления между волокнами. В меньшей степени это наблюдается при обработке беленых видов волокон. Гидроксид натрия следует вводить в массу (около 1 % к а.с. волокну) уже на стадии роспуска в гидроразбивателе. В случае необходимости (при роспуске сильноклееной макулатуры), целесообразно вводить в массу уже упоминавшийся выше смачиватель.

Положительное влияние на прочностные показатели оказывает введение в макулатурную массу модифицированного крахмала, главным образом катионного (впервые положительное влияние крахмала на прочность было выявлено при введении его в массу из целлюлозных волокон). При этом дозировка крахмала может значительно отличаться в зависимости от условий предприятия и составлять от нескольких килограммов до 30-40 кг на тонну бумаги (картона).

На ряде предприятий, вырабатывающих продукцию на основе макулатуры, для повышения прочности бумага и картона в сухом состоянии нашли применения высокомолекулярные полимерные смолы. В качестве примера можно привести смолы серии «Ультрарез DS» фирмы «Скиф», представляющие собой сополимеры акриламида и катионного мономера. При использовании данных смол стал возможен полный или частичный отказ от использования внутримассного крахмала.

Достаточно новым способом обработки макулатурного волокон с целью улучшения их бумагообразующих свойств является использование ферментативной обработки. Авторами статьи в лабораторных условиях исследовалось влияние ферментативной обработки макулатурной массы на показатели прочности лабораторных образцов. Масса из макулатуры марки МС-5Б размалывалась до 35 °ШР. Размолотую массу обрабатывали ферментом – препаратом α -амилазы «Aquazyme 120L» при расходе 5 кг/т а. с. волокна. Обработка проводилась при температуре 50 °С в течение 3-х часов. Кроме этого в исходную массу и в массу после ферментативной обработки вводился катионный крахмал «Perlcure B35» со степе-

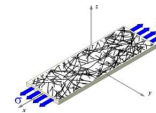


нию замещения 0,04 и расходом 10 кг/т а.с. волокна. Затем изготавливались лабораторные образцы бумаги массой 100 г/м². У полученных отливок определяли прочностные и деформационные характеристики.

Анализ полученных результатов показал, что ферментативная обработка макулатурной массы позволяет заметно повысить указанные характеристики. Так, прирост показателей прочности макулатурной массы, прошедшей ферментативную обработку, по сравнению с образцами из исходной массы, составил по разрывной длине и сопротивлению продавливанию 9 %, по сопротивлению раздиранию 17 %, а прочность на излом при многократных перегибах выросла почти на 60 %. Кроме этого, повысилась эффективность катионного крахмала, вводимого в качестве связующего и значительно снизилось отрицательное влияние крахмала, содержащегося в исходной макулатуре.

Для полноты картины, следует отметить возможность улучшения механических показателей продукции с помощью добавок в макулатурную массу свежего волокна. В этом случае прирост качественных характеристик выше пропорционального количества добавляемых свежих полуфабрикатов. Данное явление объясняется тем, что в свежем волокне больше «активных» составляющих, в том числе большое количество «активной» мелочи.

Обобщая рассмотренное, следует отметить, что только комплекс мероприятий может эффективно восстановить бумагообразующие свойства макулатурного волокна и, тем самым, прочностные характеристики продукции. Основными направлениями можно считать отдельную обработку различных фракций волокна и введение различных добавок в массу.



ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛУФАБРИКАТА ДЛЯ ТАРНОГО КАРТОНА С ПОВЫШЕННЫМИ ПРОЧНОСТНЫМИ И ДЕФОРМАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

М.А. Холмова, **В.И. Комаров**, А.В. Гурьев, Л.А. Миловидова

Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

Изучено влияние параметров варки и горячего размола на свойства сульфатной хвойной целлюлозы высокого выхода. Предложены технологические режимы получения полуфабриката с повышенными прочностными и деформационными характеристиками.

PREPARATION FOR THE CONVENIENCE CONTAINERBOARD WITH ENHANCED STRENGTH AND DEFORMATION PROPERTIES

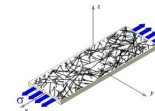
M. Holmova, **V. Komarov**, A. Guriev, L. Milovidova

Northern Arctic Federal University, Arkhangelsk, Russia

The effect of cooking options and hot milling on the properties of high yield kraft softwood pulp. Proposed technological modes of obtaining semi-finished products with enhanced strength and deformation characteristics.

В настоящее время перспективным направлением развития ЦБП является производство тарного картона. Картон как упаковочный материал используется во всех сферах производства. С увеличением спроса на тарный картон приоритетным становится его качество, которое зависит от технологии производства, технического состояния оборудования и свойств полуфабрикатов используемых для его производства. Одним из требований современной экономики является получение продукции с высокой добавленной стоимостью. Для этого необходимо снизить затраты на производство, улучшить свойства и повысить выход полуфабрикатов, что обеспечит экономию сырья при снижении массоемкости выпускаемой продукции.

Одним из основных полуфабрикатов для производства тарного картона является целлюлоза высокого выхода. Технология производства сульфатной ЦВВ сложилась еще в 80-х г.г. прошлого века и с тех пор не совершенствовалась. Процесс производства ЦВВ является двухстадийным: на первой стадии – обработка или варка щепы с химикатами при различной температуре; на второй – механическое разделение полупроваренной (размягченной) щепы на волокна с помощью горячего размола [1].



Анализ технической литературы показал недостаточность сведений о свойствах полуфабриката. Поэтому целью исследования явилась оптимизация технологического режима получения полуфабриката с повышенными прочностными и деформационными свойствами.

Для достижения поставленной цели было проведено исследование влияния технологических параметров процессов производства на свойства полуфабриката. Исследования были проведены как в лабораторных условиях, так и в производственных.

В настоящее время варка целлюлозы высокого выхода проводится по двум технологическим режимам с предварительной пропиткой щепы варочными реагентами и без нее.

Для сравнения двух режимов варки в лабораторных условиях был проведен эксперимент по режимам, соответствующим производственным условиям и представленным в табл. 1.

Таблица 1. Режимы лабораторных варок сульфатной хвойной ЦВВ

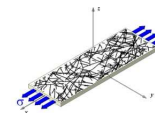
Параметры	Режим варки	
	1	2
Продолжительность пропитки щепы при температуре 113 °С, мин.	–	50
Продолжительность подъема температуры с 110 °С до температуры варки, мин.	70	–
Продолжительность варки, мин.	48	108
Гидро модуль варки	4	4

*1 – без предварительной пропитки щепы, 2 – с предварительной пропиткой щепы

Сравнение двух технологических режимов варки при получении сульфатной ЦВВ показало, что с увеличением числа Каппа выход сортированной целлюлозы и непровара повышается при проведении варки с предварительной пропиткой щепы и без нее (табл. 2).

Наибольший выход сортированной целлюлозы (54,2 %) наблюдается при проведении варки с предварительной пропиткой щепы, а непровара (1,6 %) – при варке без пропитки.

При одинаковом числе Каппа образцы ЦВВ, полученные при варке с предварительной пропиткой щепы варочным щелоком, характеризуются меньшей средневзвешенной длиной волокна и большими силами связи между волокнами и количеством волокон мелкой фракции. Так для образца ЦВВ с числом Каппа 100 ед. силы связи между волокнами больше на 41,2 %, а средневзвешенная длина волокна меньше на 13 %, по сравне-



нию с ЦВВ, полученной при варке без предварительной пропиткой щепы варочным щелоком.

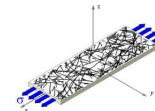
Таблица 2. Влияние условий варки на свойства сульфатной хвойной ЦВВ

Условия варки				Показатели целлюлозы			
режим варки	температура, °С	концентрация АЩ, г Na ₂ O/л	расход щелочи, %	выход, %			число Каппа, ед
				общий	сортированной	непротравы	
1*	170	45	18,0	48,0	47,4	0,6	77
	166	45	18,0	49,3	49,1	0,2	83
	164	45	18,0	52,4	51,9	0,5	94
	168	40	16,0	54,7	53,1	1,6	100
2*	160	45	18,0	50,3	50,1	0,2	76
	158	45	18,0	54,4	54,1	0,3	85
	158	40	16,0	54,1	53,9	0,2	90
	158	40	16,0	54,7	54,2	0,5	102

*1 – без предварительной пропитки щепы, 2 – с предварительной пропиткой щепы

Отсутствие конкретных сведений о том, какое число Каппа является оптимальным для сульфатной хвойной ЦВВ, применяемой для производства тарного картона, привело к необходимости исследования влияния числа Каппа на деформационные и прочностные свойства полуфабриката. Было установлено, что повышенными прочностными и деформационными характеристиками обладает полуфабрикат с числом Каппа на уровне 70–80. Повышение числа Каппа сульфатной ЦВВ от 75 до 100 приводит к снижению как деформативности, так и прочности. Так разрывная длина снижается на 12 %, сопротивление сжатию короткого участка образца на 4 %, жесткость при растяжении на 6 % (табл. 3). Это обусловлено, скорее всего, недостаточной разработанностью поверхности волокна при повышенных значениях числа Каппа, что свидетельствует о необходимости особого внимания к процессу размола и определенной оптимальной степени помола полуфабриката (при использовании в композиции картона сульфатной хвойной ЦВВ с повышенным числом Каппа).

Анализ физико-механических свойств лабораторных образцов сульфатной ЦВВ с одинаковым значением числа Каппа, полученных по режимам с предварительной пропиткой щепы варочным щелоком и без пропитки, показал, что образцы ЦВВ, полученные при варке с предварительной пропиткой щепы варочным щелоком, характеризуются повышенными прочностными и деформационными характеристиками (на 7 – 17 %), за ис-



ключением жесткости при изгибе (табл. 3). К тому же использование предварительной пропитки щепы варочным щелоком по сравнению с варкой без пропитки позволяет снизить температуру варки на 10 – 12 °С и на 2 % расход щелочи для получения ЦВВ с заданным числом Каппа.

Таблица 3. Влияние числа Каппа на свойства сульфатной хвойной ЦВВ

Условия варки			Число Каппа, ед	Степень помола, °ШР	Физико-механические свойства					
режим варки	температура, °С	концентрация АЩ, г Na ₂ O/л			прочностные			деформационные		
					П, кПа	RCT, Н	L, м	S _b , кН/м	SCT, кН/м	S _t , кН/м
1*	170	45	77	21	1020	410	8670	1,13	6,25	777
	166	45	83	18	930	396	8140	1,53	6,03	770
	164	45	94	20	953	400	7580	1,29	5,82	764
	168	40	100	20	868	345	8320	0,99	5,62	774
2*	160	45	76	21	1080	385	9900	2,03	6,43	940
	158	45	85	20	1060	385	8550	1,71	5,93	890
	158	40	90	19	930	385	8900	2,29	5,93	860
	158	40	102	20	1080	430	8650	1,51	6,21	880

*1 – без предварительной пропитки щепы, 2 – с предварительной пропиткой щепы

Таким образом, проведение предварительной пропитки щепы варочным щелоком, повышение температуры варки и концентрации активной щелочи приводит к повышению деформативности и прочности полуфабриката, используемого в композиции тарного картона.

Второй стадией производства сульфатной ЦВВ является горячий размол. Основными регулируемыми факторами горячего размола и сортирования являются удельная нагрузка на мельницы и концентрация массы при размоле [2, 3]. Исследование влияния параметров размола на свойства полуфабриката было проведено в производственных условиях. Удельная нагрузка на мельницы изменялась в интервале от 4 до 25 кВт/т, а концентрация массы от 3,0 % до 4,3 %, что соответствует минимально и максимально возможным уровням изменения этих показателей в производственных условиях.

Как следует из рис.1, увеличение удельной нагрузки на мельницах 2 ступени горячего размола при концентрации массы 3 % приводит к росту как деформативности и прочности, так и бумагообразующих свойств сульфатной хвойной ЦВВ массой 1 м² 125 г.

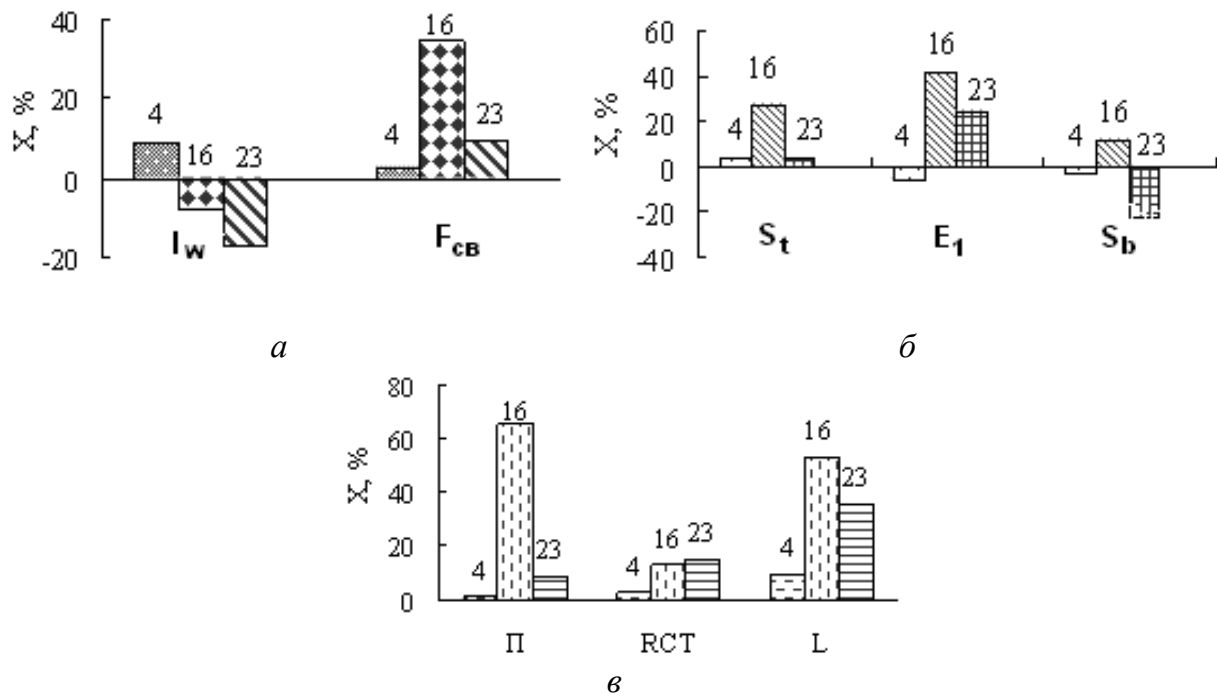
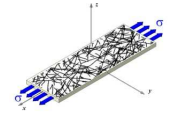
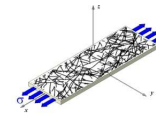


Рис. 1. Изменение бумагообразующих свойств (а), деформативности (б) и прочности (в) сульфатной хвойной ЦВВ в результате проведения горячего размола при концентрации массы 3 %. Цифры над столбцами диаграммы соответствуют удельной нагрузке на мельницы горячего размола, выраженной в кВт/т

Таблица 4. Влияние изменения удельной нагрузки на мельницах горячего размола на свойства готового полуфабриката, используемого в композиции тарного картона

Показатели	Удельная нагрузка на мельнице, кВт/т			
	4,0	15,0	15,1	24,8
Параметры размола				
Концентрация массы, %	3,10	3,57	4,23	4,39
Характеристики деформативности				
SCT , кН/м	–	3,99	4,41	4,17
E_1 , МПа	3100	3510	4030	3980
S_b , кН/м	670	715	745	745
Характеристики прочности				
Π , кПа	600	602	698	604
RCT , Н	223	272	352	238
L , м	6650	6250	7600	9100
Бумагообразующие свойства				
l_w , мм	2,54	2,52	2,52	2,39
МКФ, %	7,6	8,4	6,1	8,4
b , мкм	33,5	31,7	33,5	33,1
F_{cb} , МПа	1,05	1,32	1,85	1,5



При одновременном изменении концентрации целлюлозной массы и удельной нагрузки на мельницы горячего размола было обнаружено, что максимальные значения характеристик деформативности, прочности и бумагообразующих свойств сульфатной ЦВВ были достигнуты при нагрузке 15 кВт/т и максимальной концентрации массы 4,23 % (табл. 4).

Данные табл. 5 подтверждают повышение уровня значений деформативности и прочности для картона производственного изготовления массой 1 м² 125-175 г при использовании в его композиции сульфатной ЦВВ, подвергнутой горячему размолу при удельной нагрузке 15 кВт/т.

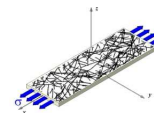
Таблица 5. Характеристики тарного картона

Удельная нагрузка, кВт/т	Масса 1 м ² , г	П, кПа	RCT, Н	SCT, кН/м
5	125	593	157	2,30
	140	660	202	2,70
	150	669	200	2,60
	175	757	285	3,10
15	125	612	161	2,45
	140	660	205	–
	150	682	222	–
	175	743	287	–
25	125	605	158	2,35
	140	658	203	2,70
	150	676	214	2,80
	175	757	278	3,20

Выводы:

1. Установлены технологические параметры варки сульфатной хвойной ЦВВ, позволяющие получать полуфабрикат с повышенными прочностными и деформационными характеристиками: необходимо поддерживать число Каппа на уровне 70–80, при этом температура варки и расход активной щелочи по режиму с предварительной пропиткой щепы варочным щелоком должна быть на уровне 158–160 °С и 18 % к массе а.с. древесины и без пропитки 170 °С и 18 % соответственно. После варки необходимо проводить горячий размол при удельной нагрузке на мельницы не менее 15 кВт/т и концентрации массы 4–6 %.

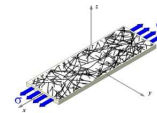
2. Установлено, что повышение числа Каппа сульфатной хвойной ЦВВ от 75 до 100 приводит к снижению на 4–12 % характеристик деформативности и прочности данного полуфабриката.



3. Установлено, что деформативность и прочность сульфатной хвойной ЦВВ со сравнимыми значениями числа Каппа, полученной по режиму с предварительной пропиткой щепы варочным щелоком на 7 % больше, чем при получении ЦВВ без предварительной пропитки щепы, за исключением жесткости при изгибе.

Список литературы

1. Галеева, Н.А. Производство полуцеллюлозы и целлюлозы высокого выхода / Н.А. Галеева. – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – 320 с.
2. Непенин, Ю.Н. Технология целлюлозы. В 3 т. Т.2. Производство сульфатной целлюлозы. / Ю.Н. Непенин. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 600 с.
3. Фляте, Д.М. Свойства бумаги. /Д.М. Фляте //Изд. 3-е, переработанное и дополненное. – М.: Лесн. пром-сть, 1986. – 680 с.



ИЗМЕНЕНИЯ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ И ПЕРЕРАБОТКИ

В.В. Коваленко¹, Н.В. Сысоева¹, В.К. Дубовый², А.И. Безлаковский³

¹Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

² Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, Санкт-Петербург, Россия

³ОАО «Новгородский завод стекловолокна», Великий Новгород, Россия

В статье рассмотрены принципы изменения фракционного состава штапельных стеклянных волокон в ходе массоподготовки. Установлено изменение геометрических размеров стеклянных волокон при воздействии агрессивных сред на примере серной кислоты высокой концентрации.

CHANGES IN FRACTION COMPOSITION OF MINERAL FIBERS DURING PROCESSING

V. Kovalenko¹, N. Sysoeva¹, V. Dyboviy², A. Bezlakovski³

¹Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

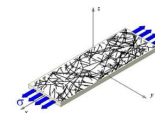
²Saint-Petersburg state technological university of plant polymers, Saint-Petersburg, Russia

³«Novgorod GlassFiber Plant» JSC, Novgorod

The article deals with the principles of change in the fractional composition of staple glass fibers during processing. The change of geometric dimensions of the glass fibers was found in case of aggressive substances action. There was sulfuric acid of high concentration.

Геометрические размеры элементарных волокон и фракционный состав материалов состоящих из дискретных волокон во многом определяет не только технологичность (т.е. способность материалов к переработке), но и свойства материалов в целом. Количество и размер пор, и как следствие геометрия волокон влияют на такие свойства как: изоляционные (шумо- и теплоизоляция), сорбционная емкость, впитывающая и фильтрующая способность и многие др.

Для использования минеральных штапельных волокон в производстве бумаги необходимо иметь представление не только об их диаметре, но и о средней длине и фракционном составе волокон [1]. В данной работе представлены результаты исследований геометрических размеров и их фракционных распределений для стеклянных штапельных волокон используемых для получения листовых бумагоподобных композитов. В качестве объектов исследований использовались микротонкие (МТВ), ультратонкие (УТВ) и супертонкие (СТВ) стеклянные волокна диаметрами 0,25 и 0,4; 0,6; 3,0 мкм соответственно.



Полученные данные подтвердили высокую полидисперсность стеклянных волокон по длине, даже в условиях производства штапельных волокон одной марки, рис. 1. Это обусловлено особенностями их получения, и подтверждается большой разницей между минимальным и максимальным значением по длине волокна, независимо от марки. Амплитуда колебаний волокон по длине тем выше, чем больше их диаметр. Например, волокна марки СТВ-3,0 имеют длину от 1-2 до 15 мм.

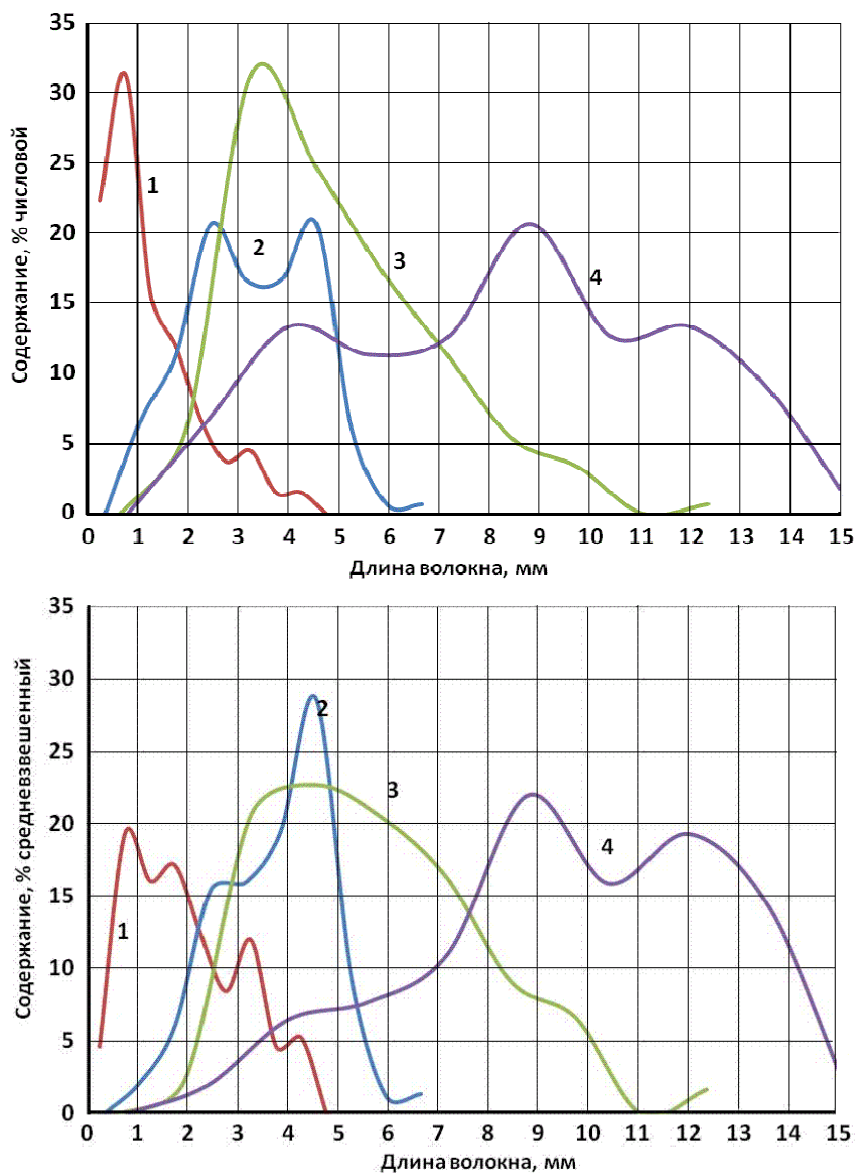
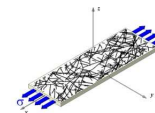


Рис. 1. Фракционное распределение по длине стеклянных волокон:
 1 – МТВ-0,25; 2 – МТВ-0,4; 3 – УТВ-0,6; 4 – СТВ-3,0

Фракционное распределение по длине волокон, свидетельствует о разнице между среднечисловым и средневзвешенным значением. При этом разница наиболее заметна для микротонких волокон (кривые 1 и 2, рис. 1),



что подтверждается более «весомым» вкладом длинных волокон в структуру материала, чем коротких. Известно, что именно средневзвешенная длина волокна более точно характеризует свойства волокнистого полуфабриката.

Для получения фракционного распределения по диаметру волокна использовался микрометр. Представленные данные свидетельствуют о высокой неоднородности не только по длине, но и по диаметру волокон (таблица, рис. 2).

Необходимо отметить высокую сопоставимость по диаметру волокон марок МТВ-0,4 и УТВ-0,6, отличается лишь распределение фракций по диаметру волокна.

Таблица. Изменения диаметра стеклянных штапельных волокон разных марок

Значение	Диаметр волокна, мкм			
	МТВ – 0,25	МТВ – 0,4	УТВ – 0,6	СТВ – 3,0
Среднее	0,32	0,50	0,56	2,07
Минимальное	0,08	0,16	0,16	0,96
Максимальное	0,80	0,96	0,96	5,60

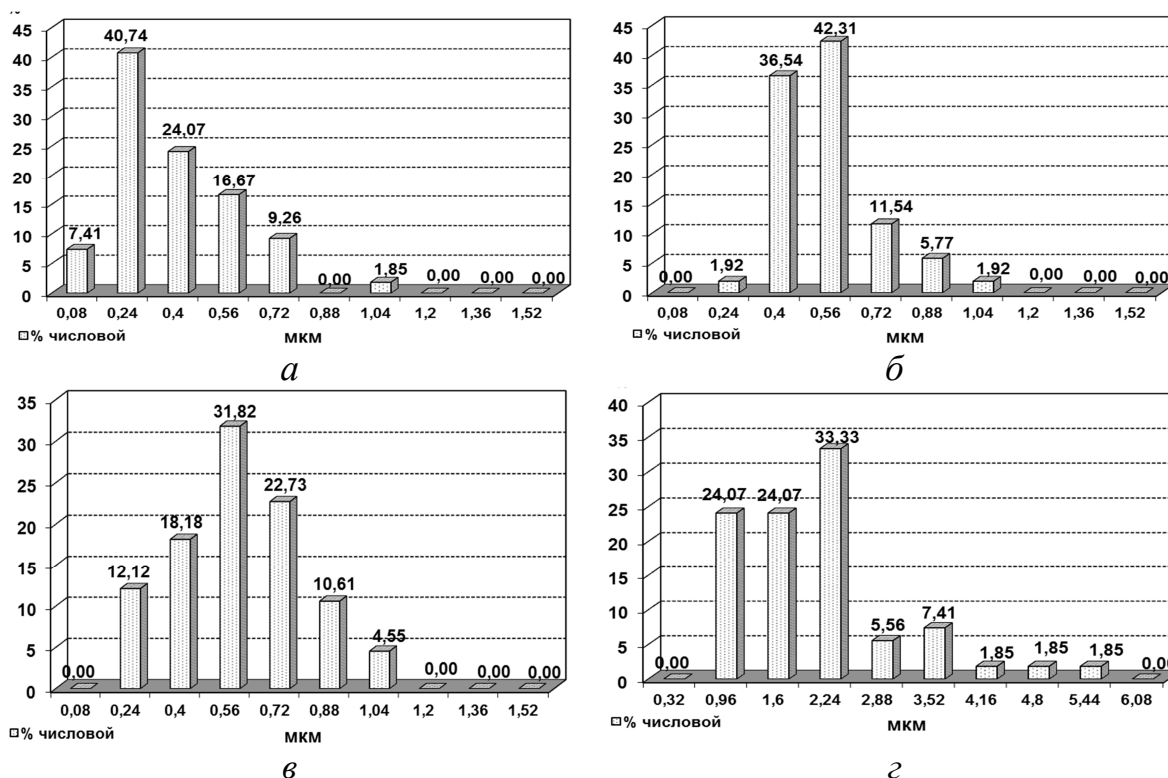


Рис. 2. Фракционное распределение по диаметру стеклянных волокон:
 а – МТВ-0,25; б – МТВ-0,4; в – УТВ-0,6; г – СТВ-3,0

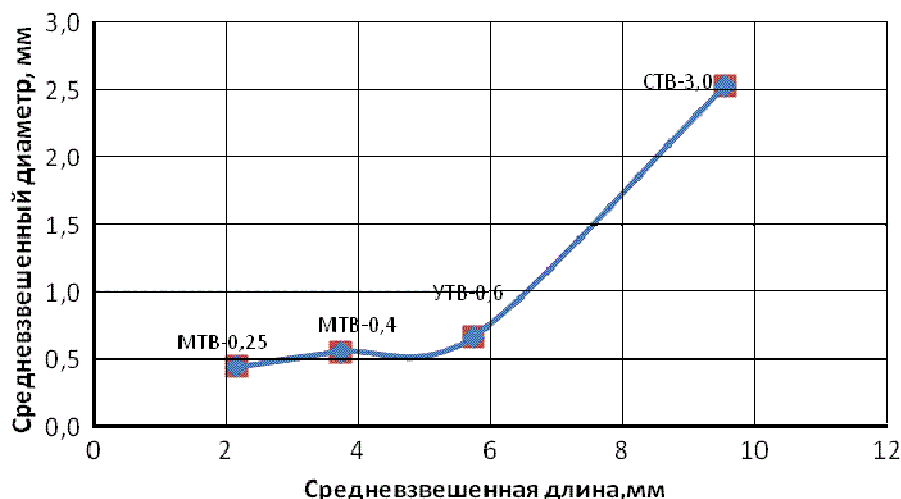
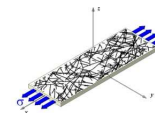


Рис. 3. Изменение геометрических размеров стеклянных волокон

По полученным данным была построена зависимость, наглядно отражающая изменения геометрических размеров стеклянных волокон, рис. 3. Полученная закономерность соответствует теоретическим представлениям: чем больше диаметр волокна, тем выше его длина.

Наряду с другими специфическими свойствами минеральные волокна обладают высокой устойчивостью к агрессивным средам. В связи с этим при дальнейшем исследовании было рассмотрено влияние воздействия кислоты на изменение геометрических размеров стеклянных волокон. Исследование проводили на волокнах предварительно прошедших обработку серной кислотой разной плотности в течение 3 суток.

При анализе полученных данных было сделано заключение о снижении средней длины волокна независимо от марки при увеличении плотности кислоты, вступающей с ним во взаимодействие. Вероятно, подобное явление можно объяснить повышением хрупкости стеклянных волокон при взаимодействии с кислотой.

Обращает на себя внимание тот факт, что длина волокон разных марок выравнивается. Например, средневзвешенная длина при повышении диаметра волокна колеблется в диапазоне 1,16 – 2,11 мм, при том, что длина исходных волокон разного диаметра отличается в разы. Полученные закономерности продемонстрированы на рис. 4, на примере волокон обработанных кислотой высокой плотности.

Установленное снижение полидисперсности по длине волокон прошедших кислотную обработку, позволило снизить флокулообразование в процессах массоподготовки перед отливом, и как следствие получить более равномерный на просвет листа, рис. 5.

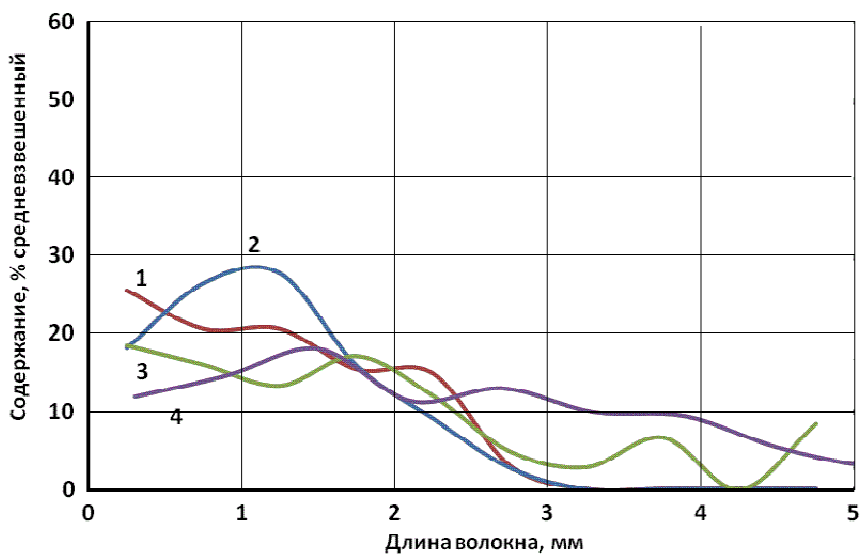
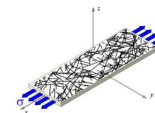


Рис. 4. Фракционный состав по длине стеклянных волокон, обработанных серной кислотой плотностью $1,34 \text{ г/см}^3$:
 1 – МТВ – 0,25; 2 – МТВ – 0,4; 3 – УТВ – 0,6; 4 – СТВ – 3,0

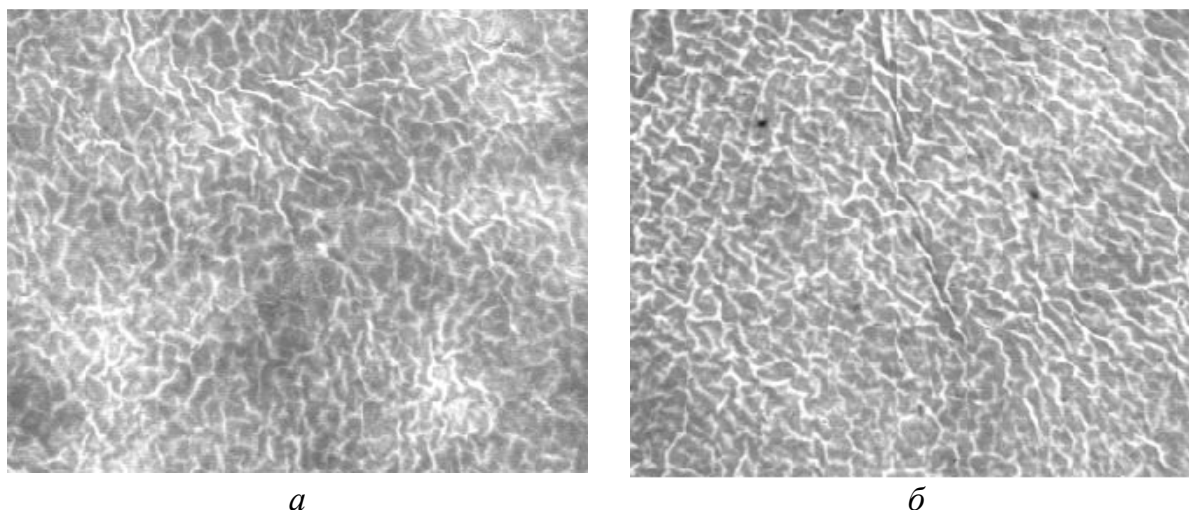
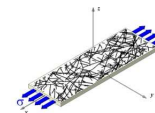


Рис. 5. Структура минеральноволокнистого композита на просвет:
 а – композит из необработанных волокон; б – из обработанных волокон

Распределение фракционного состава волокон по диаметру (рис. 6) показали значительное снижение поперечного сечения волокон прошедших кислотную обработку, в течении трех суток, по сравнению с исходными волокнами (см. рис. 2). Очевидно, это связано с растворением под действием кислоты входящих в состав волокна оксидов щелочных и щелочноземельных металлов. Необходимо отметить, что обработки кислоты в течении 30...60 мин (время пребывания массы в массоподготовительном отделе) не приводит к значимому снижению диаметра волокон. Несмотря



на отмеченное снижение среднего диаметра волокон высокая полидисперсность по этому показателю внутри одной марки сохраняется. Как было ранее отмечено, полидисперсность тем выше, чем больше диаметр волокна.

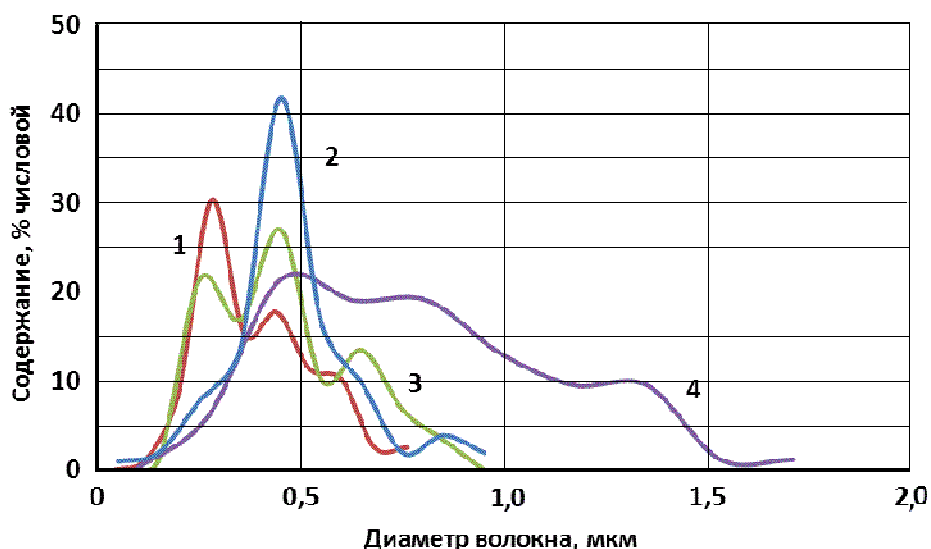
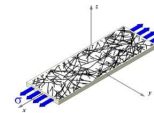


Рис. 6. Фракционный состав по диаметру разных марок волокон, обработанных серной кислотой: 1 – МТВ – 0,25; 2 – МТВ – 0,4; 3 – УТВ – 0,6; 4 – СТВ – 3,0

Подводя итоги можно выделить следующие основные положения: 1) стеклянные волокна обладают высокой полидисперсностью по длине и диаметру, даже внутри одной марки; 2) средняя длина стеклянных волокон в два и более раза превышает длину целлюлозных волокон, поэтому необходимо обеспечивать снижение флокуляции минеральных волокон в процессах массоподготовки; 3) экспериментально установлено, что ведение процессов перемешивания и проклейки в кислой среде повышает технологичность волокон, способствует снижению флокуляции и как следствие повышению равномерности просвета листа.

Список литературы

1. Дубовый, В.К. Бумагоподобные композиционные материалы на основе минеральных волокон [Текст]: Дис. ... д-р техн. наук./ Дубовый Владимир Клементьевич. – Санкт-Петербург – 2006. – 370 с.
2. Панасюк, В.И. Химический контроль производства стекла [Текст] / В.И. Панасюк. – М.: Гизлегпром, 1982. – 165 с.



ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФОРМИРОВАНИЯ УСАДОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТРУКТУРЕ КАРТОНА В ПРОЦЕССЕ СУШКИ

Т.В. Воробьева, Я.В. Казаков

Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

Измерены усадочные напряжения в структуре картона в процессе конвективной сушки. Установлены кинетические закономерности формирования усадочных напряжений при циклическом изменении влажности образца картона. Приведена сравнительная характеристика кинетических параметров в зависимости от массы 1 м^2 картона и направления ориентации волокна.

INVESTIGATION OF KINETICS PARAMETERS OF SHRINKABLE PRESSURE DEVELOPMENT IN CARDBOARD STRUCTURE DURING DRYING

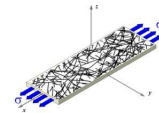
T. Vorob'eva, Y. Kazakov

Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

Shrinkable pressure are measured in cardboard structure in process convective drying. Kinetic relationships of shrinkable pressure formation are established at cyclic change of humidity of the cardboard sample. The comparative characteristic of kinetic parameters depending on a cardboard basic weight and a direction of fiber orientation is resulted.

В процессе сушки происходит формирование прочности бумажного полотна за счет сближения волокон, развития межволоконных сил связи. При этом возникают внутренние напряжения и, как следствие, усадка полотна бумаги. Если зафиксировать размеры образца, и, тем самым, исключить усадку в продольном направлении, то регистрация возникающих в образце напряжений позволяет дать количественную оценку напряжений, возникающих при формировании структуры бумаги при сушке.

При испарении влаги из капилляров структуры бумажного полотна происходит сближение волокон под влиянием силы поверхностного натяжения воды. Удаление воды, содержащейся в стенках и порах волокон, вызывает усадку бумажного полотна. Вначале она обусловлена межволоконной усадкой, т.е. испаряется только капиллярная влага, далее идет усадка самих волокон [1]. Одновременно с увеличением усадки уменьшаются диаметр пор бумаги, ее воздухопроницаемость и впитывающая способность.



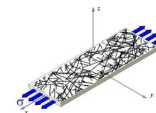
Усадка бумаги при сушке зависит от природы волокон и их гидратационных свойств, зависящих в свою очередь от химического состава волокон, наличия гемицеллюлозных спутников целлюлозы, количества лигнина, степени помола массы, а также от условий выработки бумаги на машине, т.е. натяжение бумаги в мокрой и сушильной частях машины и натяжения сушильных сукон [1].

При сушке развиваются усадочные напряжения, частично релаксирующие в процессе сушки. Условия сушки и ее продолжительность определяют равномерность и полноту происходящих процессов релаксации внутренних напряжений. В результате структура получаемых целлюлозно-бумажных материалов во многом определяется кинетикой теплообмена [2].

В ходе данной работы была использована методика количественной оценки напряжений, развивающихся в образце бумаги или картона при сушке [3]. Образцы с заданной сухостью 45-48 %, моделирующие свойства картона после прессовой части КДМ, выдерживались в течение суток в герметично закрытом полиэтиленовом пакете для выравнивания влажности образцов. Перед проведением испытаний у образцов измеряли толщину и определяли влажность.

При проведении эксперимента влажный образец размерами 100×25 мм закрепляется в зажимах разрывной машины «Тестсистема-101» без нагрузки. С помощью тепловентилятора реализуется конвективная сушка образца при температуре воздуха $\cong 85$ °С около поверхности образца. При увеличении сухости, в материале возникают внутренние напряжения, в результате чего образец бумаги воздействует с некоторой силой на силоизмерительный датчик. Регистрируемая датчиком нагрузка записывается в течение 3 мин. После этого образец картона увлажняется с помощью пульверизатора до сухости $\cong 50$ %, и регистрируется снижение нагрузки до нуля за счет пластификации целлюлозы и релаксации напряжений в образце. Цикл сушка-увлажнение повторяется несколько раз. Пример получаемой зависимости представлен на рис. 1.

При рассмотрении усадки волокна, выделяют 5 ступеней [2]. Перед началом процесса сушки вода содержится на поверхности волокна, в порах и пустотах микрофибрилл, в клеточной стенке и люмене. Сушка начинается с испарения влаги из межволоконного пространства, без изменения морфологии волокна. Это первая фаза, наблюдаемая при сухости 50-55 %. Хотя вода между волокнами уже удалена, испарение продолжается с поверхности волокна за счет диффузии воды из люмена на поверхность. Уда-



ление воды из люмена и с поверхности волокна составляет вторую фазу, и вызывает сжатие волокон с устранением межволоконного пространства. Это наблюдается при сухости 55-65 %. После удаления влаги из люмена, сушка продолжается за счет удаления воды из клеточной стенки. Когда происходит удаление воды из пустот между микрофибрилл целлюлозы, начинается усадка клеточной стенки. Индикатором начала усадки клеточной стенки является появление продольных складок. Это 3 фаза, наблюдаемая при сухости 65-75 %. В 4 фазе начинается поперечная усадка в областях без сцепления волокон. Люмен сплющивается, а образование продольных складок продолжается до сухости 75-85 %. После удаления большей части воды из клеточной стенки, в областях имеющих сцепления между волокнами, начинается поперечная усадка. Это 5 фаза, где сухость составляет более 85 %.

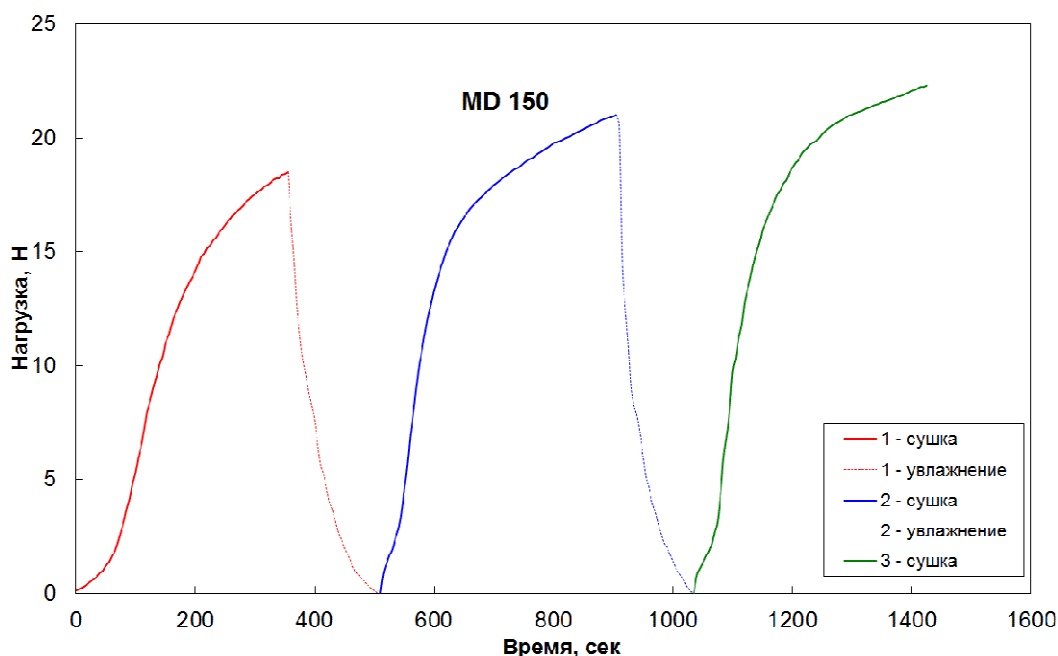
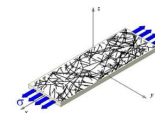


Рис.1. Зависимость регистрируемой нагрузки от времени в циклах сушки-увлажнения

Зависимости изменения усадочных напряжений, представленные на рис.1, имеют S-образную форму, на каждой из которых выделяются области, характеризующие процессы с разными механизмами формирования напряжений, и, соответственно, с разными кинетическими параметрами.

Для количественного определения кинетических параметров скорости роста усадочных напряжений в процессе сушки, построены графики полулогарифмической зависимости в координатах « $F-\ln(t)$ », рис. 2. Участки 1, 3 и 5 в этих координатах имеют характер зависимости, близкий к



прямолинейному. Скорость роста напряжений при сушке τ , определяется через угловой коэффициент линий тренда на прямолинейных участках.

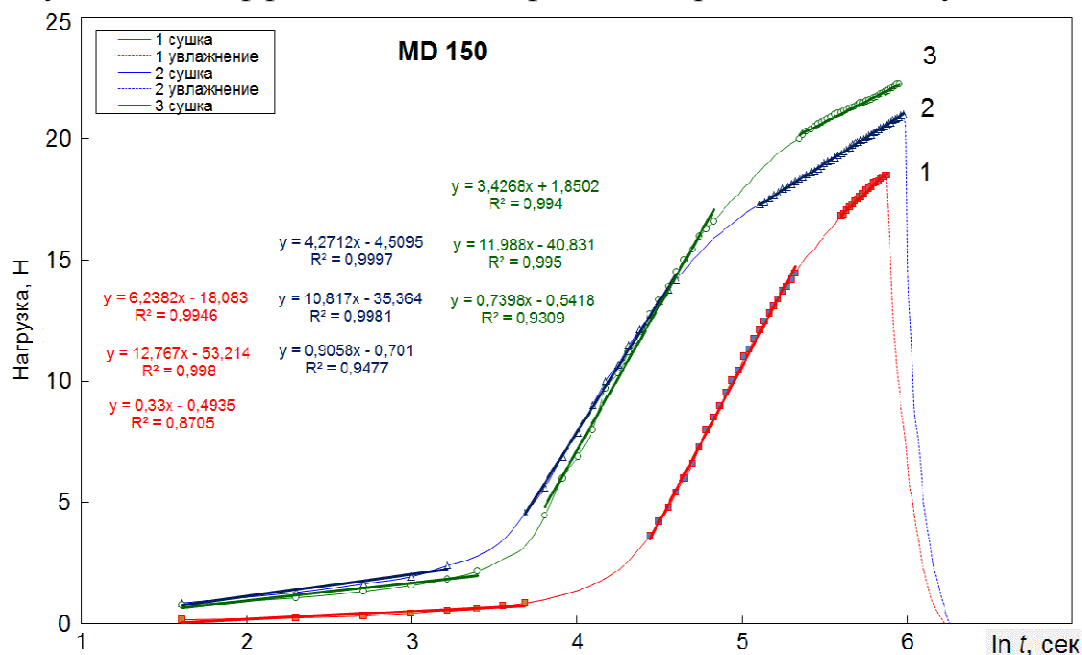
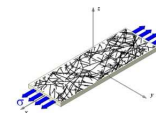


Рис. 2. Зависимость изменения нагрузки от времени в процессе сушки-увлажнения в координатах « $F-\ln(t)$ » для крафт-лайнера 150 г/м², машинное направление: 1 – первый цикл; 2 – второй цикл; 3 – третий цикл

Повторная сушка после увлажнения напряженного образца и полной релаксации пластифицированных влагой волокон демонстрирует более интенсивный рост усадочных напряжений. Это выражается в более крутом ходе кривых « $F-t$ » на всех участках, кроме последнего. Это объясняется тем, что в процессе сушки одновременно идут два процесса: рост напряжений за счет сближения волокон и образования новых связей и ослабление напряжений за счет релаксации. Причем повторное образование уже отрелаксировавших связей затруднено ороговением поверхности волокон. Максимальные величины отмечены на втором цикле сушки.

Величина усадочных напряжений и скорость их развития зависит и от преимущественной ориентации волокон в структуре. На рис. 3 представлены зависимости для образцов картона крафт-лайнер, массой 165 г/м², из которых четко прослеживается, что в машинном направлении, то есть в направлении вдоль оси волокон, усадочные напряжения проявляются гораздо в более сильной степени. Это связано, в том числе и с продольной усадкой самих волокон. Экспериментально установлено, что образцы картона, изготовленные в CD-направлении с низкой массой 1 м², разрушаются на 2-3 цикле испытания под действием внутренних усадоч-



ных напряжений. Кинетика роста усадочных напряжений на втором цикле резко отличается от первого цикла, а на третьем – образец разрушается.

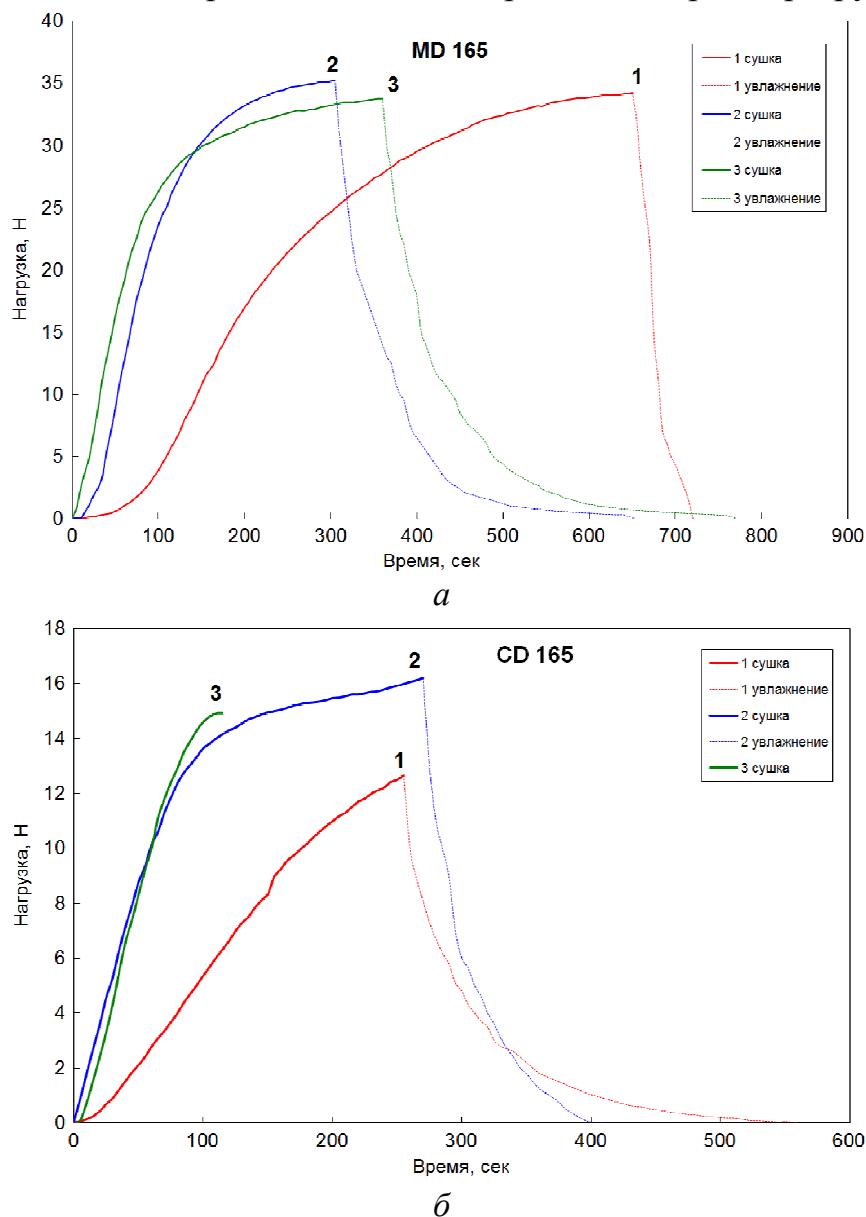
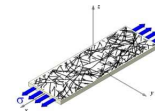


Рис. 3. Кривые зависимости нагрузки на датчик от времени в процессе сушки для крафт-лайнера 165 г/м²: *a* – машинное направление; *б* – поперечное машинному направлению; 1, 2, 3 циклы сушка-увлажнение

Величины усадочных напряжений зависят от массы 1 м², поскольку меняется количество целлюлозного материала, участвующего в процессе. На рис. 4. представлены кинетические кривые первого цикла для образцов крафт-лайнера с массой от 115 до 165 г/м², а в табл. 1 – величины параметров скорости роста напряжений τ на трех участках кривых, близких к прямолинейным, и величины нагрузок в образце F , регистрируемых силоиз-



мерительным датчиком на концах этих участков. Данные подтверждают важную роль как направления волокон в образце, так и их количества.

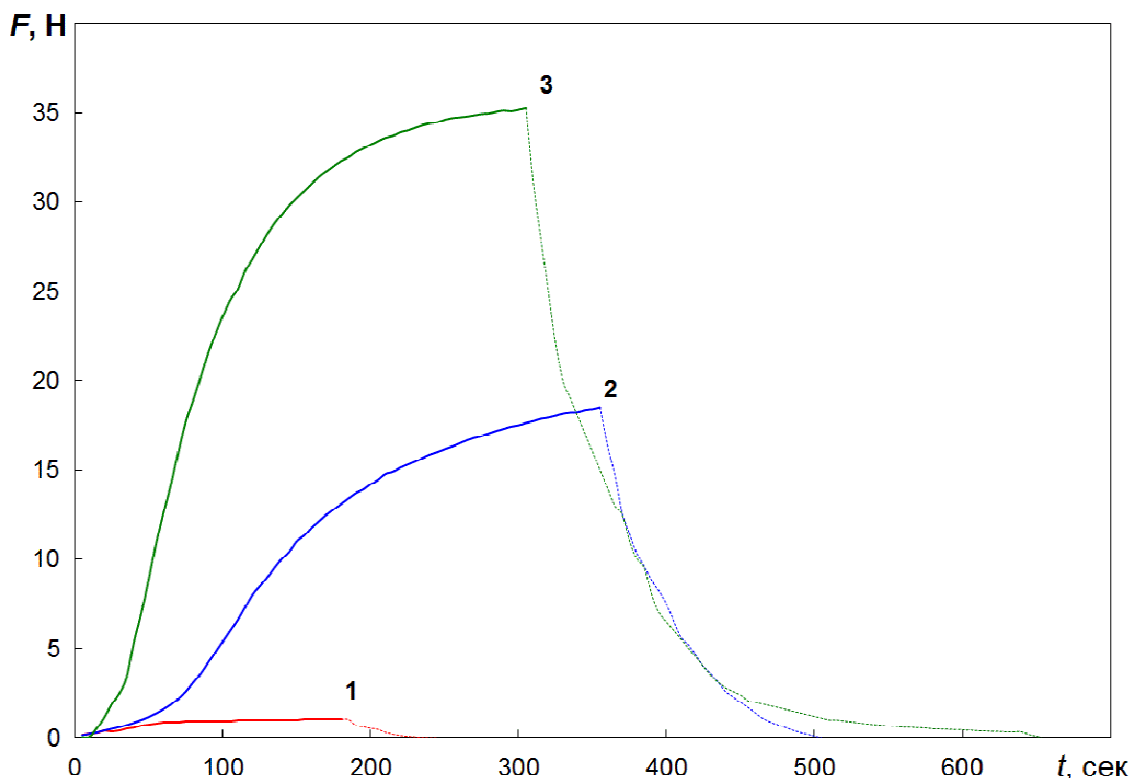
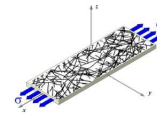


Рис.4. Кривые роста напряжений при сушке для крафт-лайнера в направлении MD: 1 – 115 г/м²; 2 – 150 г/м²; 3 – 165 г/м²

Таблица 1. Кинетические параметры усадочных напряжений при сушке картона разной массы 1 м²

Масса 1 м ² , г	Направ- ление	Цикл	Параметр скорости, Н/сек на участке			Максимальная нагрузка, Н, на участке		
			τ_1	τ_2	τ_3	F_1	F_2	F_3
115	MD	1	0,103	0,608	0,146	0,15	0,83	1,23
		2	0,130	0,913	0,124	0,21	0,79	1,06
		3	0,133	0,504	0,031	0,23	0,51	0,57
150	MD	1	0,338	12,767	6,238	0,86	14,45	18,51
		2	0,906	10,817	4,271	2,41	14,21	21,02
		3	0,74	11,988	3,427	2,16	16,60	22,24
165	MD	1	0,094	20,468	8,209	0,23	26,78	34,17
		2	0,757	19,960	4,458	1,15	29,30	35,26
		3	2,945	14,437	3,611	5,01	27,80	33,76
165	CD	1	0,260	7,826	6,864	0,45	9,75	12,65
		2	1,623	7,165	1,913	2,72	13,65	16,12
		3	1,288	8,907	5,094	1,56	12,40	14,92



Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

Предложен и экспериментально апробирован метод количественной оценки как величины усадочных напряжений, так и кинетических параметров их роста.

При циклическом изменении влажности образцов, величины параметров изменяются от цикла к циклу. Наибольшие усадочные напряжения и параметры скорости роста напряжений проявляются на втором цикле сушки.

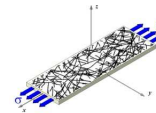
Для образцов в машинном направлении (MD) решающий вклад в рост напряжений вносит усадка самих волокон, а напряжения, возникающие при формировании межволоконных связей, носят второстепенный характер. Для образцов в поперечном машинному направлению (CD) усадочные напряжения в основном определяются связями между волокнами.

Экспериментально подтверждена зависимость величины усадочных напряжений от массы 1 м^2 образца, поскольку меняется количество целлюлозного материала, участвующего в процессе.

Анализ установленных количественных зависимостей позволяет определить оптимальный уровень натяжения бумажного полотна в сушильной части при его свободном ходе между сушильными цилиндрами. Используя полученные зависимости, можно выполнить расчет оптимального натяжения полотна в каждой сушильной группе и обеспечить наилучшие условия транспортировки бумажного полотна в сушильной части БДМ.

Список литературы

1. Фляте, Д.М. Технология бумаги. [Текст] Учебник для вузов. – М.: Лесн. пром-сть, 1988. – 440 с.
2. Иванов, С.Н. Технология бумаги [Текст] / С.Н. Иванов – М.: Лесная промышленность, 1970. – 696 с.
3. Воробьева, Т.В. Количественная оценка напряжений в структуре картона в процессе сушки /Т.В.Воробьева, Я.В. Казаков. //«Экология арктических и приарктических территорий. Материалы межд. Симпозиума. 6-10 июня 2010 г. – Архангельск, 2010. –с.167-170.



ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКОН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ДИАЛИЗНЫХ МЕМБРАН

О.С. Бровко¹, Я.В. Казаков², Т.А. Бойцова¹, И.А. Паламарчук¹

¹Институт экологических проблем Севера УрО РАН, Архангельск, Россия

²Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

Получены разделительные мембраны на основе интерполимерных комплексов (ИПК) с участием природных полиэлектролитов лигносульфоната натрия и хитозана. Для повышения механической прочности пленок в качестве сшивающего агента в композицию добавляли целлюлозу. Полученный полимерный композит испытан в качестве полупроницаемой мембраны для процесса диализа.

APPLYING OF CELLULOSE FIBERS FOR IMPROVING STRENGTH OF POLYMERS DIALYSIS MEMBRANES

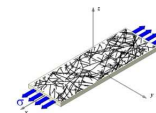
O. Brovko¹, Y. Kazakov², T. Boitsova¹, I. Palamarchuk¹

¹Institute of Northern Ecological Problems, Russian Academy of Science, Arkhangelsk, Russia

²Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

Obtained separation membranes based on interpolymer complexes (IPC) with the participation of natural polyelectrolytes sodium lignosulfonate and chitosan. To increase the mechanical strength of the films as a crosslinking agent in the composition added cellulose. The resulting polymer composite was tested as a semipermeable membrane for the process of dialysis.

Разделительные мембраны на основе интерполимерных комплексов (ИПК) применяются для процессов диализа и первопорации. Такие мембраны имеют различный композиционный состав, основными элементами которого являются: собственно ИПК, пластификатор и волокнистый наполнитель. В лаборатории химии растительных биополимеров разработан способ получения мембран на основе ИПК из полиэлектролитов природного происхождения лигносульфонатов натрия (ЛС-Na) и хитозана (ХТ). Макромолекулы полимеров, используемые для получения мембран, должны быть достаточно жесткими и образовывать жесткие надмолекулярные структуры. Важной характеристикой мембран на основе интерполимерных комплексов является их устойчивость в водных средах и к компонентам разделяемой системы. Сущность образования пленок состоит в том, что химический состав исходных пленкообразующих соединений претерпевает ряд изменений: сначала в растворе, затем в момент формирования пленки на поверхности подложки и, наконец, при термической обработке.



Мембраны (эластичные прозрачные пленки) получали, смешивая ЛС-На и ХТ в различных объемных соотношениях, варьируя составы смесей. Пленки готовили способом полива уксуснокислого раствора ИПК на подложку с последующей сушкой при комнатной температуре. Для улучшения механических характеристик пленок в качестве сшивающего агента в композицию добавили хвойную небеленую целлюлозу и пластификатор. Полученные мембраны в воздушно-сухом состоянии имеют гладкую поверхность, прозрачны и эластичны, хорошо набухают в воде. Водонабухающие мембраны, как правило, обладают хорошими диализными свойствами, поэтому полученный полимерный композит был испытан в качестве полупроницаемой мембраны для процесса диализа.

В табл. 1 приведены характеристики лигносульфонатов натрия до и после диализа через синтезированные полимерные мембраны. В процессе диализа содержание золы уменьшилось в 1,4 раза, т.е. основное количество неорганических солей ушло в диффузат. Среднемассовая молекулярная масса M_w высокомолекулярного образца возросла в 1,5 раза, а степень полидисперсности M_w/M_n уменьшилась.

Таблица 1. Характеристика образцов ЛС-На до и после диализа

ЛС – На	Зольность, %	M_w , а. е. м.	M_w/M_n
до диализа	13,8	24000	5,5
после диализа	10,2	37000	4,5

Гель – хроматограммы исходного образца и продукта мембранного разделения представлены на рис. 1. Для диализованного ЛС-На (б) пик высокомолекулярной фракции на бимодальной кривой молекулярно-массового распределения проявляется более ярко по сравнению с недиализированным ЛС-На (а).

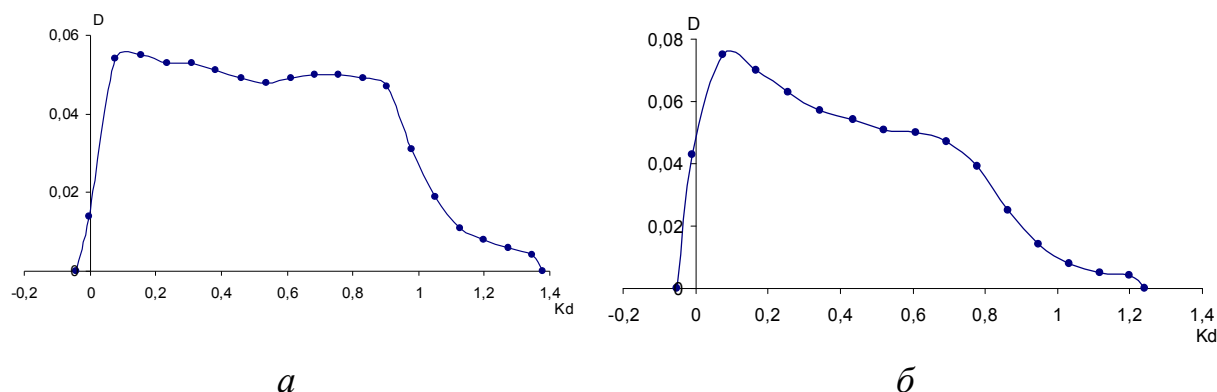
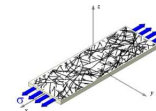


Рис. 1. Гель-хроматограммы ЛС-На до диализа (а) и после диализа (б)



Таким образом, показана принципиальная возможность использования полиэлектролитных комплексов на основе лигносульфонатов натрия и хитозана для получения пленок, применяемых для процесса диализа.

Испытания диализных пленок проведены в лаборатории физики бумаги кафедры технологии ЦБП САФУ с применением методик определения деформационных свойств целлюлозно-бумажных материалов.

Для оценки прочностных и деформационных свойств пленок проведены испытания образцов на растяжение с получением и математической обработкой кривой зависимости напряжение-деформация (« σ – ϵ »), получаемой путем обработки индикаторной диаграммы нагрузка–удлинение (« F – Δl ») при статических испытаниях на растяжение.

Для проведения испытаний на лабораторном резаке вырезали образцы 80×15 мм. При проведении испытаний расстояние между зажимами составляло 50 мм, скорость растяжения образцов – 50 мм/мин, ширина образцов – 15 мм.

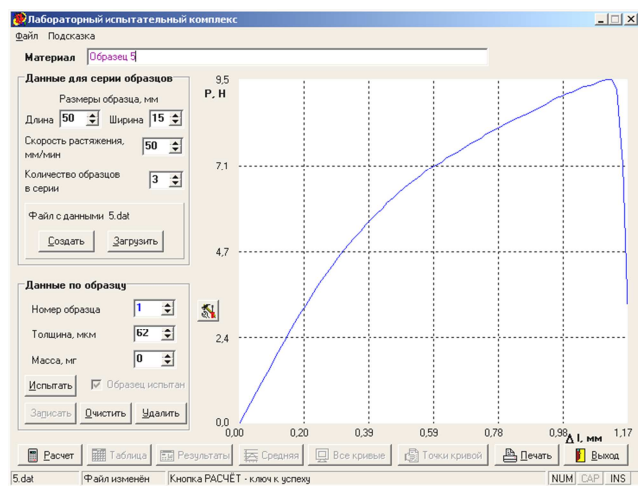


Рис. 2. Графическое представление результатов единичного испытания на растяжение на испытательном комплексе

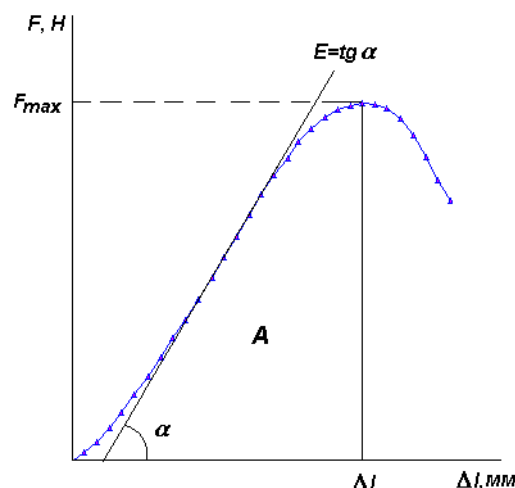
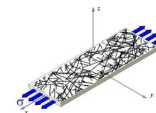


Рис. 3. Методика расчета механических характеристик

При выполнении математической обработки на ПЭВМ экспериментальных кривых нагрузка-удлинение, полученных при параллельных испытаниях, производится построение средней кривой, состоящей из 21 точки (рис. 2), и в каждой точке рассчитываются характеристики: усилие (F), Н; удлинение Δl , мм; напряжение (σ), МПа; деформация (ϵ), %; текущий модуль упругости (E), МПа; модуль общей деформации ($E_{од}$), МПа; работа (A), мДж; энергия, поглощаемая при растяжении (TEA), Дж/м² (рис. 3).



Результаты представлены в табл. 2 и на рис. 4 и 5. Средние для испытанных образцов пленок кривые зависимости нагрузка-удлинение и напряжение-деформация представлены на рис. 4.

Все испытанные образцы обладают невысокой прочностью и повышенной хрупкостью. Образцы пленок отличались по толщине и массе 1 м^2 , что следует учитывать при анализе результатов. Часть механических характеристик в сильной степени зависят от толщины (F , A , TEA), при вычислении других толщина учитывается в формулах (σ_p , E_1).

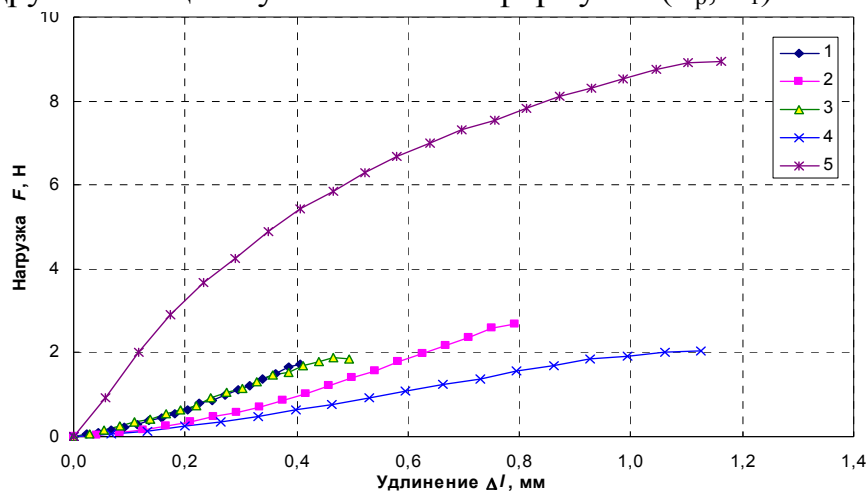


Рис. 4. Средние кривые зависимости «нагрузка-удлинение» для исследованных пленок

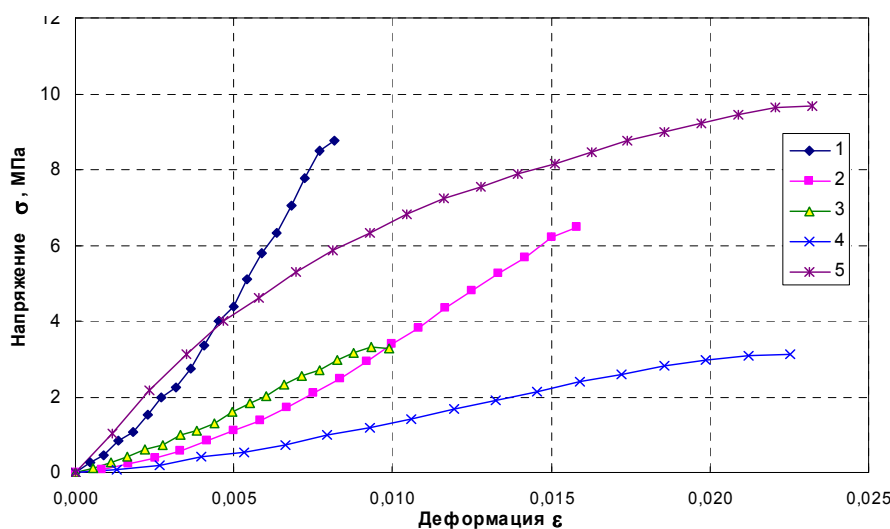


Рис. 5. Средние кривые зависимости «напряжение-деформация» для исследованных пленок

Для сравнительной оценки свойств пленок были вычислены относительные значения характеристик в процентах от максимального. Диаграмма для всех характеристик представлена на рис. 6.

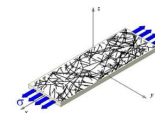


Таблица 2. Результаты испытаний образцов пленок на растяжение

Образец (состав)	δ , мкм	F_{\max} , Н	Δl , мм	ε	σ_p , МПа	E_1 , МПа	A , мДж	TEA Дж/м ²
№1 (ИПК+1П)	13	1,74	0,453	0,905	8,90	1630	0,33	445
№2 (ИПК+1Ц+1П)	28	2,74	0,833	1,667	6,60	645	0,87	1164
№3 (ИПК+1Ц)	38	1,97	0,549	1,098	3,46	555	0,51	679
№4 (ИПК+1Ц+1П)	44	2,10	1,325	2,650	3,21	210	1,40	1872
№5 (ИПК+4Ц+1П)	62	8,93	1,161	2,323	9,66	1010	6,44	8592
Среднее значение	36,8	3,50	0,864	1,728	6,37	810	1,913	2551
Минимальное	13,0	1,74	0,453	0,905	3,21	213	0,33	445
Максимальное	61,7	8,93	1,325	2,650	9,66	1630	6,44	8592

Анализируя свойства пленок, отметим следующее.

Образец № 1, не содержащий в композиции целлюлозных волокон, имеет минимальную толщину, а его аморфная структура не способна обеспечить достаточную прочность и растяжимость. Однако, за счет малой толщины, расчетные характеристики разрушающего напряжения и жесткости при растяжении достаточно велики.

Введение в композицию небольшого количества целлюлозных волокон (образец № 2), не образующих в структуре самостоятельной сетки, приводит к некоторому увеличению толщины пленки и соответственному возрастанию прочности. Однако без пластификатора упрочняющее влияние волокон нивелируется (образец № 3). Введение повышенной дозы пластификатора приводит к получению образца (№ 4) с минимальной жесткостью при растяжении, но с наибольшей растяжимостью и повышенной динамической прочностью.

Образец № 5 с повышенным содержанием целлюлозы в композиции демонстрирует механическое поведение, принципиально отличающееся от остальных образцов, что отражается в ходе кривых нагрузка-удлинение и напряжение-деформация и он обладает наиболее высокими прочностными и деформационными свойствами. Это может быть связано с формированием самостоятельной сетки из целлюлозных волокон, которая несет основную механическую нагрузку. Интерполимерный комплекс на основе биополимеров, в этом случае, играет роль наполнителя, который за счет пластификатора равномерно распределяется на волокнах.

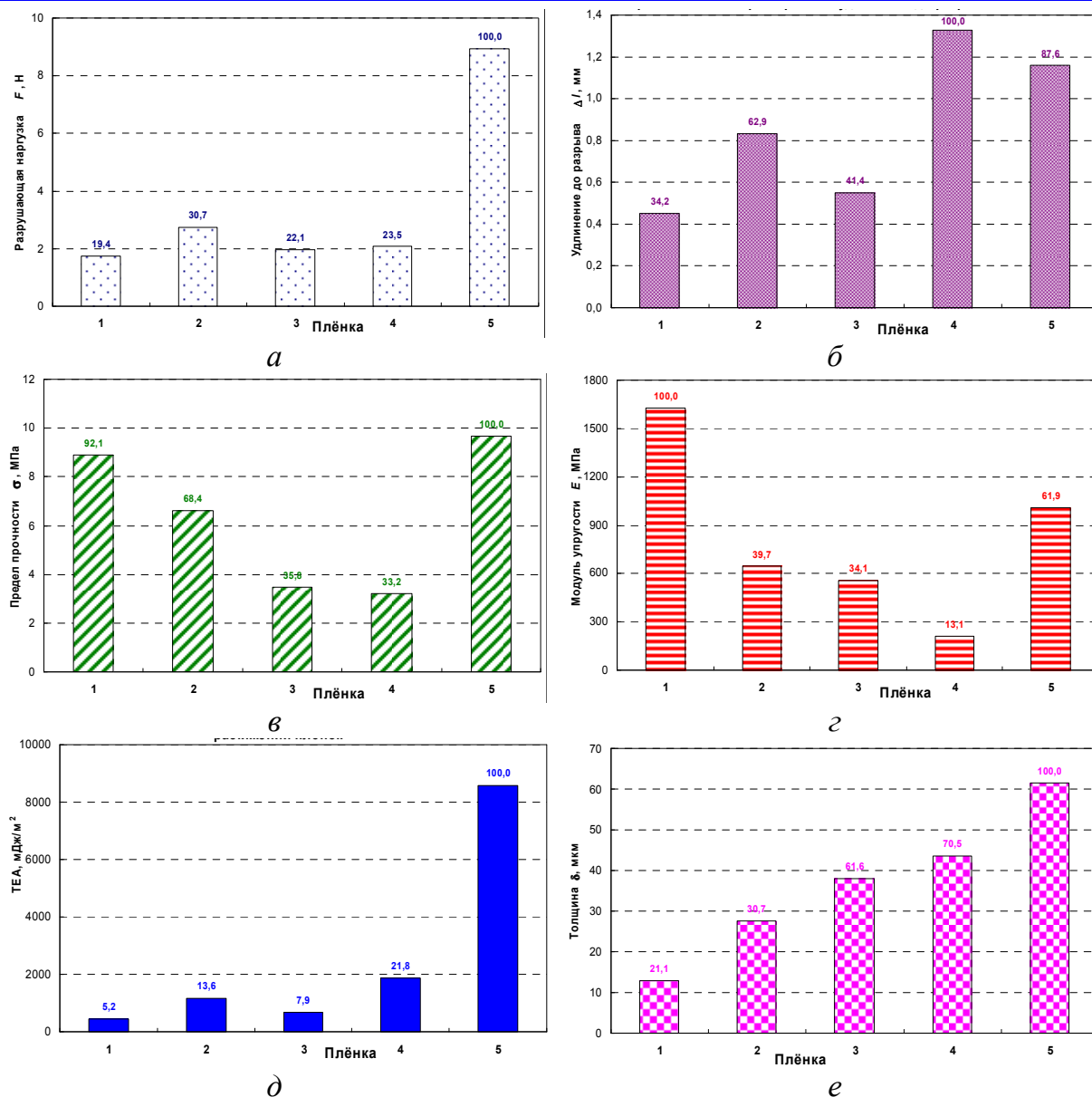
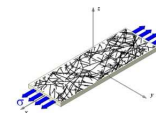
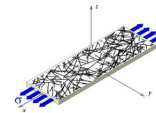


Рис. 6. Сравнительная характеристика физико-механических свойств пленок: а – разрушающее усилие F , Н; б – удлинение до разрушения Δl (dl), мм; в – предел прочности при растяжении σ_r , МПа; г – модуль упругости E , МПа; д – энергия, поглощаемая при растяжении TEA , Дж/м²; е – толщина, δ , мкм; цифры над столбцами указывают абсолютные величины; высота столбца – относительную величину

Таким образом, для максимальной эффективности использования целлюлозных волокон в целях повышения прочности полимерных диализных мембран, требуется оптимальное соотношение в композиции волокна и пластификатора, наличие которого обязательно.



ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СПОСОБНОСТИ ГОФРОЯЩИКОВ К ШТАБЕЛИРОВАНИЮ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА СЖАТИЕ

А.В. Крыжановский¹, А.Н. Журавлева², Я.В. Казаков³, А.В. Петухова³

¹ ОАО «Кондровская бумажная компания», Россия

² ОАО «Архбум», Подольск, Россия

³ Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

Предложен способ прогнозирования способности гофроящиков к штабелированию по результатам кратковременных испытаний на сжатие по методу ВСТ. На основании анализа и математической обработки кривой нагрузка-смещение определена максимально допустимая нагрузка на гофроящик при хранении затаренной продукции в штабелях.

PROGNOSIS OF STACKING ABILITY OF CORRUGATED BOXES FROM THE SHORT-TIME COMPRESS TEST

A. Kryzhanovsky¹, A. Zhuravleva², Y. Kazakov³, A. Petukhova³

¹ Kondrovo Paper Mill, Russia

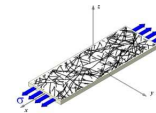
² Open Society "Arkbum", Podolsk, Russia

³ Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

The way of forecasting of stacking ability of corrugated boxes by results of short-term compression BCT-tests is offered. By the analysis and mathematical processing of loading-displacement curve, the maximum load on a corrugated board box at storage in piles is calculated.

Для оптимизации свойств упаковки при минимизации затрат в условиях появления новых и более жестких требований к качеству гофрокартона и гофроящиков, требуются знания о величинах и способах направленного регулирования деформационных свойств самого гофроящика. Эта информация требуется для расчета показателей прочности гофроящика, и для определения оптимальной композиции гофрокартона по технологическим и экономическим параметрам.

При оценке потребительских свойств тары из гофрированного картона, в основном речь идет о сопротивлении сжатию ящика – ВСТ (Box Compression Test) [1]. Определение сопротивления сжатию гофроящиков производится согласно ISO 12048 (ГОСТ 18211, TAPPI T804, FEFCO No.50) на испытательных прессах при скорости приложения сжимающей нагрузки 10 мм/мин. За результат принимается максимальное зна-



чение сжимающей нагрузки, регистрируемое датчиком прессы, и смещение при максимальной нагрузке. Современные испытательные прессы позволяют не только дать оценку максимального значения прочности при сжатии гофроящиков (при которых происходит разрушение гофроящика), но и дать оценку деформационного поведения гофроящика.

Испытания гофроящиков на сжатие проведены на прессе Testometric 25CT Vox, который позволяет не только дать оценку максимального значения прочности при сжатии гофроящиков, но и получить диаграммы зависимости нагрузка-смещение, нагрузка-время, смещение-время, что позволяет оценить деформационное поведение гофроящика в процессе испытания.

Нами ранее было показано [2], что прогнозировать способность гофроящика к штабелированию позволяют характеристики, получаемые при математической обработке кривой нагрузка-смещение при испытании гофроящика на сжатие при определении ВСТ (рис. 1).

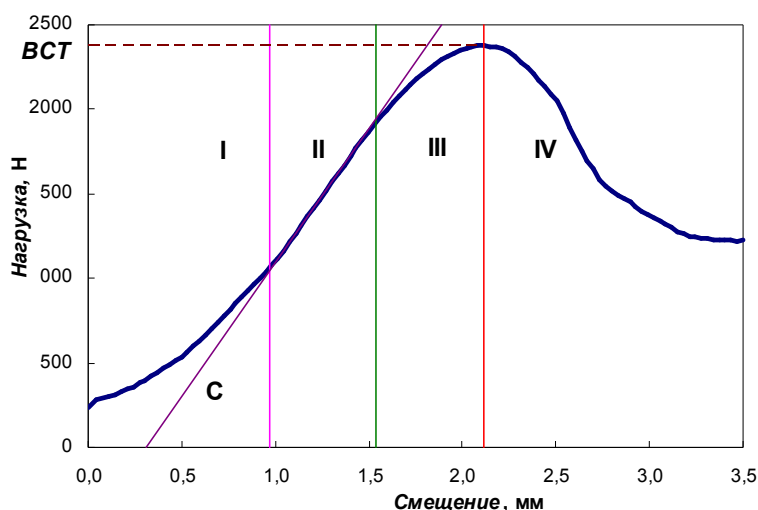
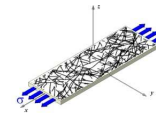


Рис. 1. Типичная кривая зависимости нагрузка-смещение при испытании гофроящика на сжатие

Сама кривая деформирования гофроящика при сжатии имеет сложный характер и состоит из нескольких участков. На начальном участке (I) происходит закрытие клапанов гофроящика и сжатие верхнего и нижнего дна за счет гофрослоя. На втором участке (II) сжимающую нагрузку воспринимают непосредственно вертикальные стенки гофроящика, и зависимость имеет линейный характер, что свидетельствует об обратимых деформациях. При нагрузках в пределах участка (II) гофроящик сохраняет и форму, и устойчивость, то есть не теряет потребительских свойств. На третьем участке (III) ящик еще не разрушен, но уже начинает терять форму,



загиб кривой свидетельствует о необратимых деформациях, при нагрузках в этой области гофроящик потеряв форму, не способен ее восстановить, а при длительном действии этой нагрузки (например, в штабеле) неизбежно разрушится. Последний участок кривой (IV), после точки максимальной нагрузки, характеризует разрушение гофроящика.

Анализ результатов математической обработки кривой зависимости нагрузка-смещение позволяет сделать заключение, что предельная величина нагрузки, выражаемая через ВСТ не подходит для оценки нагрузки, выдерживаемой гофроящиком при штабелировании. Гофроящик выдержит долговременную нагрузку, если она будет не выше, чем на границе зоны II.

В проведенном эксперименте на прессе Testometric 25СТ Вох испытаны гофроящики из трехслойного и пятислойного гофрокартона, с профилями гофры В, С, СЕ, ВС, с белым или бурным наружным слоем. Периметр и высота ящиков также имели разные величины.

Установлено, что расчетная величина нагрузки, которую гофроящик выдержит при штабелировании, составляет в среднем для ящиков из трехслойного гофрокартона 67 % от ВСТ (56...78 %), для пятислойного – 62 % от ВСТ (54...79 %) [3]. После статистической обработки результатов математической обработки кривых нагрузка-смещения, нами было предложено использовать при испытании на штабелирование нагрузку 54 % от ВСТ [2]. Проведенные серии тестов показали, что гофроящики выдерживают тест на штабелирование при этих условиях. Можно предположить, что сохранение несущей способности гофроящика в условиях стандартизированной температуры и влажности воздуха будет гарантировано, если нагрузка на нижний ящик в штабеле составит не более чем 54 % от ВСТ.

Для подтверждения данного предположения проведен эксперимент, в котором гофроящик подвергается длительному воздействию сжимающей нагрузки, что имитирует работу гофроящика при хранении продукции в штабелях на складах.

При оценке способности гофроящиков к штабелированию, то есть способности выдерживать приложенную сжимающую нагрузку в течение длительного времени, используется специальный режим работы испытательного пресса, когда машина поддерживает заданный уровень нагрузки за счет перемещения траверсы при ослаблении напряжений внутри гофроящика за счет релаксации напряжения. Такой режим испытания называется испытанием в режиме ползучести. Примеры получаемых диаграмм представлены на рис. 2.

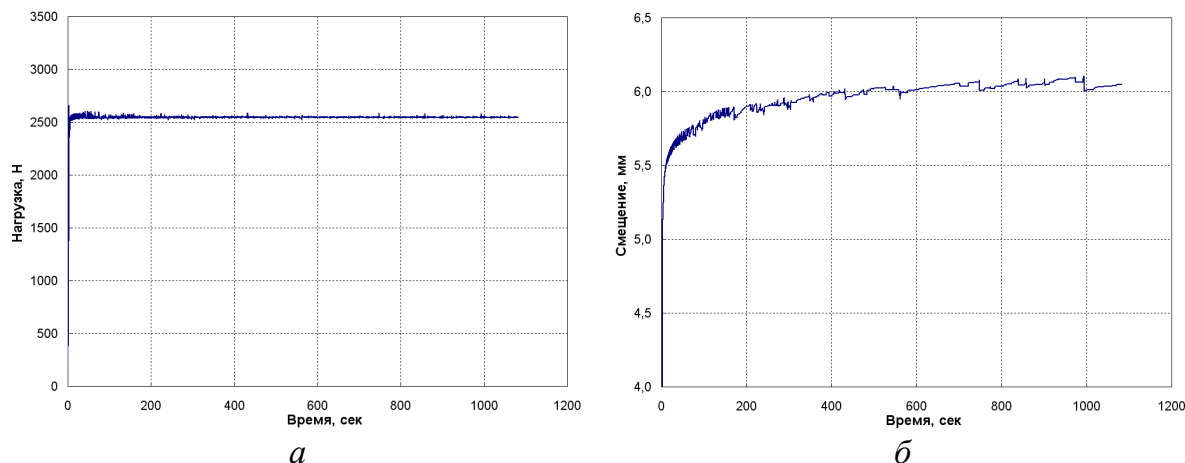
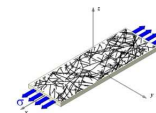
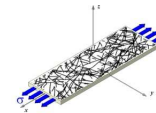


Рис. 2. Пример результатов испытаний гофроящика на штабелирование

Задаваемая нагрузка тестирования $F_{\text{тест}}$, Н, (рис. 2, а) поддерживается на заданном уровне и регистрируется смещение траверсы Δl , мм, (рис. 2, б) во времени. За весь период испытания, смещение траверсы увеличивается от Δl_{min} (смещение до достижения заданной нагрузки) до Δl_{max} (регистрируемое смещение в конце испытания), и составляет величину $\Delta l_{\text{полз}}$. Количественная оценка скорости релаксационных процессов и ползучести гофроящика может быть дана через параметр τ по величине углового коэффициента прямой, аппроксимирующей зависимость смещения от логарифма времени.

Таблица 1. Результаты обработки результатов испытаний гофроящиков при сжатии в режиме ползучести

Гофроящик	BCT , Н	$F_{\text{Тест}}$, Н	Δl_{min} , мм	Δl_{max} , мм	$\Delta l_{\text{Полз}}$, мм	τ
Гофроящики из трехслойного гофрокартона						
470×200×95 Т23 В бурый	2720	1598	1,903	2,541	0,638	0,095
380×380×228 Т24 С бурый	2930	1702	3,866	4,592	0,726	0,101
380×285×132 Т24 С бурый	3380	2043	3,221	4,146	0,925	0,141
370×148×355 Т24 С бурый	2330	1427	2,891	4,141	1,250	0,949
380×284×232 Т26 С бурый	3920	2211	5,631	6,445	0,814	0,117
3230 355×285×110 Т26 С бурый	4090	1826	3,463	4,109	0,646	0,102
Гофроящики из пятислойного гофрокартона						
380×282×232 П32 СЕ белый	4840	2768	4,788	5,366	0,578	0,085
380×250×180 П32 СЕ бурый	5840	3310	4,074	4,793	0,719	0,106
330×305×180 П32 СЕ белый	4530	2694	5,239	5,922	0,683	0,116
385×240×181 П32 ВС бурый	5880	3671	7,080	7,976	0,896	0,123
370×180×190 П32 ВС бурый	5210	2891	4,801	5,818	1,017	0,151



При проведении испытания на штабелирование важное значение имеет выбор величины нагрузки. Экспериментально подтверждено, что нагрузку на уровне 90 % от величины BCT гофроящик не выдерживает уже через несколько минут.

Результаты эксперимента по испытанию гофроящиков под действием нагрузки $F_{\text{тест}}$, в течение 8 часов представлены в табл. 1.

В целом, смещение за счет ползучести $\Delta l_{\text{полз}}$, больше у гофроящика из трехслойного гофрокартона (0,638–1,250 мм) чем у ящиков из пяти-слойного гофрокартона (0,578–1,017 мм). Это связано с большим выгибом стенок ящика из более тонкого материала. Величина смещения за счет ползучести $\Delta l_{\text{полз}}$, и параметра скорости τ определяются также релаксационными процессами в структуре гофрокартона.

Совместный анализ результатов кратковременных (BCT) и долго-временных испытаний на сжатие позволяет сделать заключение, что используя кратковременный тест BCT можно прогнозировать способность ящика к штабелированию. Алгоритм проиллюстрирован на рис. 3.

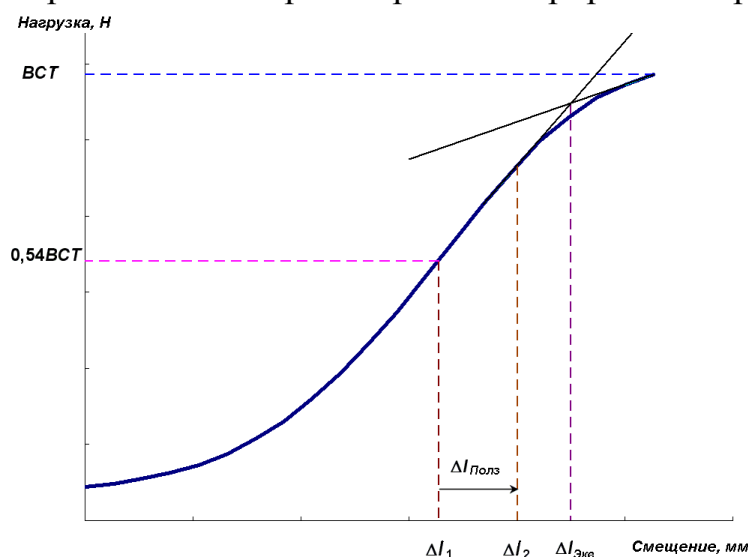
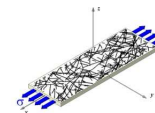


Рис. 3. Совместный анализ результатов испытаний гофроящиков на сжатие

Нагрузка $F_{\text{нач}}$, составляющая примерно 54 % от BCT , дает упругую деформацию Δl_1 . За счет ползучести она увеличивается на величину $\Delta l_{\text{полз}}$. По кривой нагрузка-смещение можно определить, в какой зоне окажется деформация ящика после выдерживания нагрузки (Δl_2) и его деформации за счет ползучести. Деформации обратимы до $\Delta l_{\text{экр}}$. Если, после нагружения и ползучести, деформации $\Delta l_2 < \Delta l_{\text{экр}}$, то ящик остается целым. Если $\Delta l_2 > \Delta l_{\text{экр}}$, то ящик начнет разрушаться.



В табл. 2 представлены результаты расчетов. Во всех случаях $\Delta l_2 < \Delta l_{\text{экв}}$, следовательно, выбор предельной величины нагрузки 54 % от BCT оказался правильным.

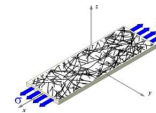
Таблица 2. Результаты совместной обработки результатов испытаний гофроящиков на сжатие

Гофроящик	BCT , Н	$F_{\text{Нач}}$, Н	$\Delta l_{\text{Полз}}$, мм	Δl_2 , мм	$F_{\Delta l_2}$, Н	$\Delta l_{\text{Экв}}$, мм
Гофроящики из трехслойного гофрокартона						
470×200×95 Т23 В бурый	2720	1598	0,638	2,568	2230	2,740
380×380×228 Т24 С бурый	2930	1702	0,726	4,006	2330	4,500
380×285×132 Т24 С бурый	3380	2043	0,925	3,975	2950	4,170
370×148×355 Т24 С бурый	2330	1427	1,250	4,300	2080	4,500
380×284×232 Т26 С бурый	3920	2211	0,814	5,604	2900	6,500
355×285×110 Т26 С бурый	4090	1826	0,646	4,446	2500	5,450
Гофроящики из пятислойного гофрокартона						
380×282×232 П32 СЕ белый	4840	2768	0,578	5,648	3500	6,520
380×250×180 П32 СЕ бурый	5840	3310	0,719	5,449	4390	6,130
330×305×180 П32 СЕ белый	4530	2694	0,683	6,383	3550	6,910
385×240×181 П32 ВС бурый	5880	3671	0,896	8,621	4720	9,370
370×180×190 П32 ВС бурый	5210	2891	1,017	6,487	4100	7,130

Таким образом, нами предложен и экспериментально обоснован метод оценки способности гофроящиков к штабелированию с использованием обработки кривой нагрузка-смещение при кратковременном испытании на сжатие по методу BCT , без проведения долговременных испытаний на штабелирование.

Список литературы

1. Markstrom, H. Testing Methods and Instruments for Corrugated Boards. – Ostervalva: Elanders Tofters AB, 1999. –103 p.
2. Kazakov, Ya. Determination of stacking ability of corrugated boxes from the analysis of loading–deformation curve at BCT test [Text] / Y. Kazakov, A. Krizhanovskiy, A. Zhuravleva, V. Komarov // 14th International symposium in the field of pulp, paper, packaging and graphics/ Proceedings. Zlatibor, Cigota. –2008. – P.81-85.
3. Казаков, Я.В. Определение необходимого уровня прочности гофроящиков [Текст] / Я.В. Казаков, А.О. Крыжановский, В.И. Комаров, А.Н. Журавлева //Новейшие технологии в производстве бумаги из макулатурного сырья и переработке гофрокартона: Научные труды 10-й Юбилейной междун. науч.-техн. конфер. 21-22 мая 2009 г. Караваево. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2009. – с.48-56.



ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ РАЗРУШЕНИЯ СТРУКТУРЫ БУМАГИ В ПРАКТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Е.С. Носкова, Е.В. Дьякова, **В.И. Комаров**

Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

Показана возможность использования двухпараметрического критерия разрушения структуры бумаги при растяжении, позволяющая оценить вклады хрупкого, вязкого и смешанного механизмов разрушения. Представлены результаты исследований по влиянию степени разработки волокна на механизм разрушения лабораторных образцов бумаги для гофрирования.

APPLICATION OF TWO-PARAMETER FRACTURE CRITERION PAPER STRUCTURE IN THE CASE STUDIES

E. Noskova, E. Dyakova, **V. Komarov**

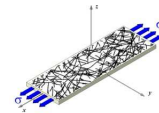
Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

The possibility of using of two-parameter fracture criterion of paper structure under tension in order to assess the contributions of fragile, viscous, and mixed mechanisms of destruction. The results of studies on the effect of the freeness of fiber on the fracture mechanism of laboratory samples fluting.

Известно, что физико-механические и другие свойства бумаги зависят от двух основных факторов – прочности волокон и интенсивности межволоконных связей. Структура бумаги и картона является структурой когезионного типа, т.е. образуется в основном за счет взаимодействий между самими волокнами при минимальном влиянии адгезионных сил. Последние могут вносить значительный вклад в прочность структуры лишь при использовании специальных добавок.

Очевидно, что возникновение и развитие трещиноподобных дефектов в структуре бумаги и картона, а также характеристики трещиностойкости, будут в значительной степени зависеть от плотности структуры, интенсивности и количества межволоконных связей, геометрических параметров волокон, их гибкости и т.п. Все указанные влияющие факторы можно варьировать и во многом регулировать в процессе размола бумажной массы.

Общепринятые представления о влиянии размола на физико-механические свойства бумаги исходят из того, что при постепенном увеличении степени разработки волокна его свойства меняются в двух проти-



воположных направлениях. С одной стороны происходит непрерывное повышение способности к связеобразованию за счет высвобождения гидроксильных групп на поверхности волокна и одновременного увеличения их гибкости. С другой стороны волокна постепенно укорачиваются, расщепляются и теряют прочность и жесткость.

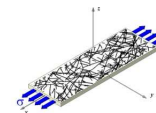
В результате данных процессов зависимости практически всех физико-механических показателей от степени помола волокна имеют выраженный максимум. Причем из всех стандартных физико-механических характеристик максимума значений раньше всего достигает сопротивление раздиранию – характеристика трещиностойкости [1]. Данные о влиянии помола на другую характеристику трещиностойкости – J -интеграл представлены в работе [2] применительно к наполненным видам бумаги и для ограниченного диапазона степени помола (25...40 °ШР).

Авторами разработан графоаналитический метод получения двухпараметрических диаграмм механического поведения бумаги и картона, позволяющий оценить вклад хрупкого, смешанного и вязкого механизмов разрушения в условиях растяжения образцов с трещиноподобными дефектами [3].

Изучение механизма разрушения бумаги и картона с использованием двухпараметрических диаграмм является важным как с точки зрения развития представлений о трещиностойкости, так и для выявления условий достижения максимальных значений исследуемых характеристик.

В качестве модельных образцов в работе использованы лабораторные композиции, имитирующие бумагу для гофрирования, состоящую из 40 % сульфатной хвойной ЦВВ и 60 % лиственной полуцеллюлозы. Степень помола каждого полуфабриката варьировалась в диапазоне от 12 до 60 °ШР. Результаты испытаний лабораторных образцов представлены в табл. 1, 2 и проиллюстрированы на рис. 1...3.

Характер изменения свойств лабораторных образцов в широком диапазоне степени помола бумажной массы, с одной стороны, позволяет констатировать, что сохраняются известные закономерности повышения прочности структуры бумаги. Это относится и к значениям общего критерия разрушения $K_{Ic} \cdot \sigma_p$, который возрастает почти в 10 раз. Аналогичным образом ведет себя коэффициент интенсивности напряжений K_{Ic} , а также значение разрушающего напряжения $\sigma_{кр}$. Подобное упрочнение структуры исследуемых образцов, очевидно, обусловлено наблюдаемым ростом межволоконных сил связи при сохранении собственной прочности волокна



на высоком уровне во всем диапазоне степени помола. Снижение средней длины волокон отдельных полуфабрикатов, входящих в композицию исследуемых образцов, не является критичным с точки зрения прочности структуры (табл. 3).

Таблица 1. Влияние размола на механизм разрушения бумаги для гофрирования лабораторного изготовления при растяжении*

Степень помола, ШР°	Вклад в механизм разрушения						$K_{Ic} \cdot \sigma_p$, МПа ² ·мм ^{0,5}	$l_{кр}$, мм
	в относительных единицах, %			в абсолютных единицах, МПа ² ·мм ^{0,5}				
	ХМ	СМ	ВМ	ХМ	СМ	ВМ		
12	25,5	43,6	30,8	241	412	291	944	8,2
20	28,5	47,6	23,9	1150	1919	963	4032	5,9
40	15,8	69,6	14,6	859	3511	1050	5420	11,4
60	26,8	41,5	31,7	1368	2119	1616	5108	6,2

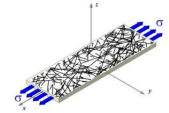
* $K_{Ic} \cdot \sigma_p$ – двухпараметрический критерий разрушения; $l_{кр}$ – критический размер дефекта; механизмы разрушения: ХМ – хрупкий; СМ – смешанный; ВМ – вязкий.

Таблица 2. Влияние размола на характеристики двухпараметрических диаграмм образцов бумаги для гофрирования лабораторного изготовления

Степень помола, ШР°	L_0 , м	$F_{св}$, МПа	K_{Ic} , МПа·мм ^{0,5}	$\sigma_{кр}$, МПа
12	10767	1,62	57,0	15,03
20	13753	1,96	101,0	33,61
40	14128	2,75	115,0	26,96
60	13763	2,84	118,0	43,80

Вместе с тем, анализ изменения характеристик двухпараметрической диаграммы механического поведения показал, что степень помола полуфабрикатов 40 °ШР является переходной с позиций рассматриваемых механизмов разрушения. Именно при данной степени помола отмечены минимальные значения вкладов предельных механизмов разрушения и максимум допустимого размера дефекта $l_{кр}$. Данный факт может быть объяснен следующим образом. При постепенном повышении степени разработки волокна, сопровождающейся его укорочением, происходит образование более равномерной структуры, которая содержит минимальное количество концентраторов напряжений.

При дальнейшем повышении степени помола полуфабрикатов интенсивность прироста межволоконных сил связи замедляется, а количество дефектов, связанных как с равномерностью формирования структуры, так



и с повреждениями отдельных волокон, наоборот возрастает. Вследствие этого, наблюдается смещение максимума экспериментальной кривой в сторону меньших значений $\sigma_{кр}$, снижение значения допустимого размера дефекта и увеличение вкладов предельных механизмов разрушения.

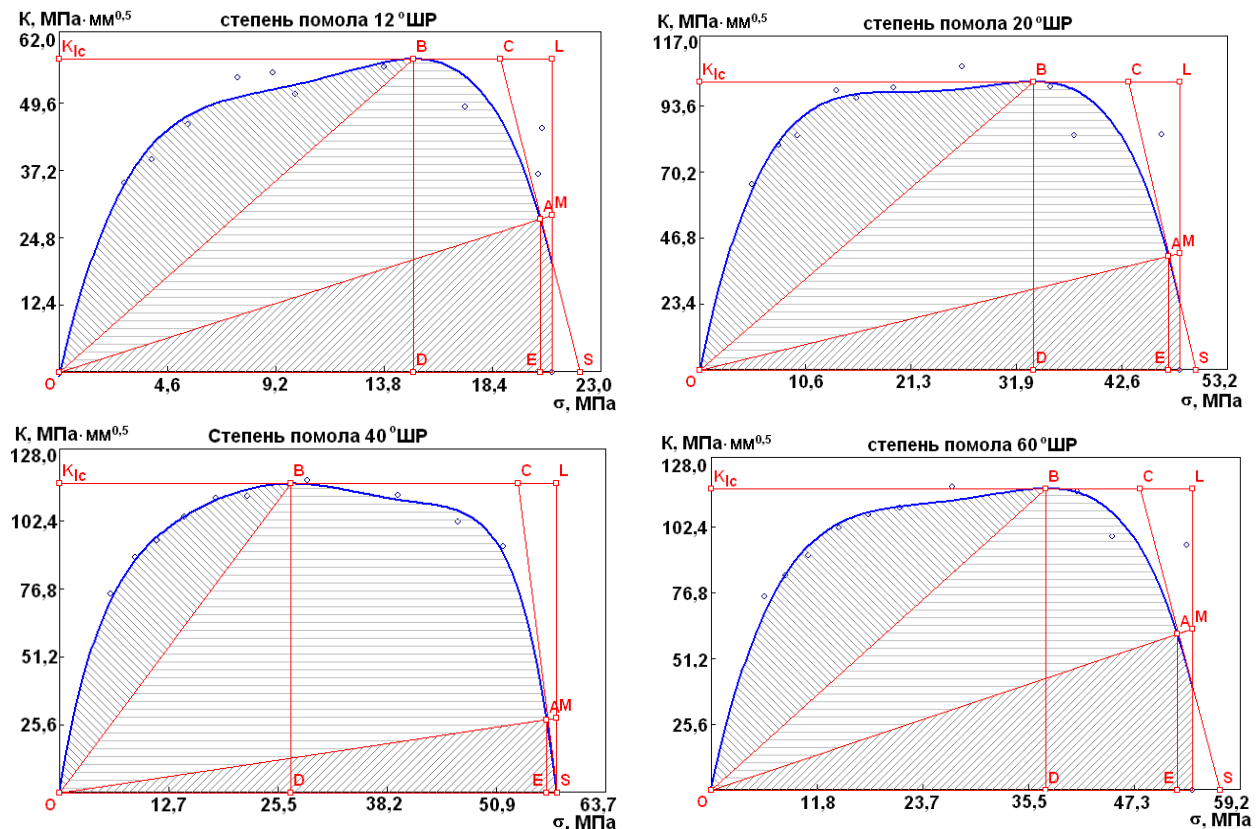


Рис. 1. Двухкритериальные диаграммы механического поведения исследуемых образцов бумаги для гофрирования при изменении степени помола

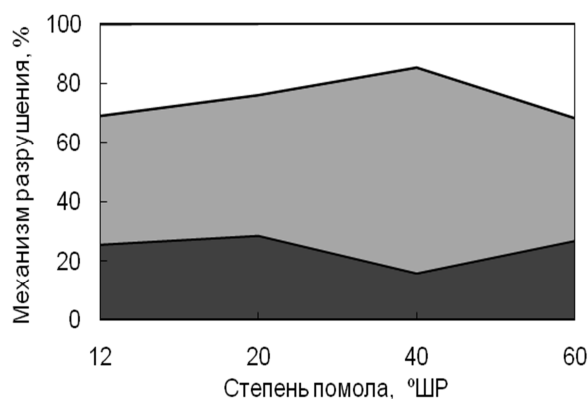


Рис. 2. Зависимость соотношения механизмов разрушения от степени помола массы: ■ – ХМ; ■ – СМ; □ – ВМ

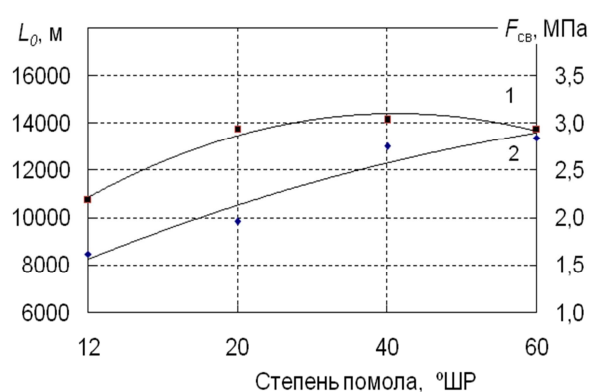


Рис. 3. Влияние степени помола на собственную прочность (1) и межволоконные силы связи (2)

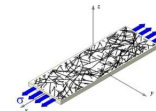


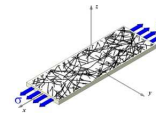
Таблица 3. Изменение структурно-морфологических характеристик волокон при размоле

Степень помола, ° ШР	Средняя длина, мм	Средняя ширина, мкм	Средний фактор формы	Доля мелочи, %	Грубость, мг	Число изломов на волокно
Сульфатная хвойная ЦВВ						
12	2,55	32,98	89,28	5,70	93,68	0,41
20	2,47	32,90	89,96	5,34	93,92	0,27
40	2,41	34,10	87,78	5,70	78,94	0,43
60	2,37	34,10	87,66	5,64	78,06	0,43
Лиственная полуцеллюлоза						
12	1,10	29,40	91,96	3,90	125,16	0,29
20	1,01	28,18	93,84	2,40	80,62	0,11
40	0,97	27,90	96,86	2,48	83,60	0,10
60	0,96	28,84	92,62	2,82	78,92	0,17

Таким образом, использование двухпараметрических диаграмм механического поведения под воздействием растягивающей нагрузки позволяет по новому оценить явления, происходящие в структуре бумаги при постепенном размоле волокон.

Список литературы

1. Кейси, Дж. П. Производство полуфабрикатов и бумаги [Текст.] / Дж. П. Кейси. – М.: Гослесбумиздат, 1958. – 338 с.
2. Кузнецова, М.Ю. Вязкоупругость наполненных целлюлозно-бумажных материалов [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук / Кузнецова Мария Юрьевна. – Архангельск: АГТУ, 2001. – 218 с.
3. Свид. № 2009612826 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для расчета двухпараметрического критерия разрушения целлюлозно-бумажных материалов (n -параметр). / Я.В. Казаков, Е.В. Дьякова, Е.С. Носкова, В.И. Комаров; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО АГТУ (RU). – № 2009611444; заявл. 03.04.2009; опубл. 01.06.2009, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.



КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ИЗГИБЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.И. Комаров¹, Е.Ю. Ларина²

¹ Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

² ФГУ «Архангельский ЦСМ», Архангельск, Россия

Дана количественная оценка величин зон пластической деформации в образце бумаги для гофрирования в результате ползучести материала, в плоскости листа и по толщине образца. Метод SCT позволяет определить критическую величину напряжения сжатия и рассчитать пластические деформации в сжатой зоне и в плоскости листа при изгибе образца.

QUANTITATIVE ESTIMATION OF BENDING PLASTIC DEFORMATIONS OF PULP-AND-PAPER MATERIALS

V. Komarov¹, E. Larina²

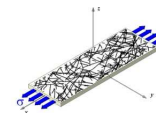
¹ Northern Arctic Federal University, Arkhangelsk, Russia

² FGI "Archangel CUM", Arkhangelsk, Russia

A quantitative estimation of the quantities of plastic zones in the sample fluting as a result of creep in the plane of the sheet and the sample thickness. SCT method to determine the critical value of compressive stresses and to calculate the plastic strains in the compressed zone in the plane of the sheet during bending of the sample.

Важнейшей проблемой отечественных предприятий, выпускающих тарный картон, является оценка качества. Необходимо отметить, что российские предприятия с трудом переходят на мировые стандарты оценки качества целлюлозно-бумажной продукции. Повышение требований, предъявляемых к упаковке, заставляет производителей тары совершенствовать как технологию, так и методы испытания. Прогнозировать поведение гофроящика при использовании не учитывая такой показатель как жесткость при изгибе затруднительно. Однако данная характеристика практически не контролируется при производстве бумаги и картона на отечественных предприятиях.

Оценка жесткости при изгибе (важнейшей характеристики тарного картона) в настоящее время проводится с использованием в основном статических методов и допущением, что материал работает упруго. В связи с этим актуальным является учет пластических деформаций при расчете жесткости при изгибе.



Необходимо отметить, что пластические деформации, возникающие в структуре волокнистых целлюлозно-бумажных материалов при испытании на изгиб, могут возникать во времени, по толщине образца и в плоскости листа.

Целью работы являлось исследование влияния пластических деформаций, возникающих в образце при испытаниях на измеряемую величину жесткости при изгибе бумаги для гофрирования.

Эксперимент проводился на приборе для определения жесткости при изгибе целлюлозно-бумажных материалов «Messmer Buchel Stiffness Tester 116-BD», в котором использована двухточечная схема нагружения [1]. Существующие методики расчета величин жесткости при изгибе, предлагаемые различными стандартами (ГОСТ 2493-96, SCAN P29), основаны на допущении, что бумага и картон при испытании деформируются упруго. Уравнение для расчета приведенной жесткости при изгибе в данном случае имеет вид [2]:

$$S_b = \frac{Pl^2 \cdot 60}{\theta \pi b}$$

где S_b – приведенная жесткость при изгибе, мН·м; P – величина нагрузки, Н; θ – угол изгиба, в градусах; l – испытываемая длина образца, м; b – ширина образца, м.

На кафедре целлюлозно-бумажного производства Северного (Арктического) федерального университета (до 2010 г. АГТУ) разработана программа для ЭВМ, позволяющая получать кривую зависимости изменения величины усилия (P), прикладываемая к образцу в зависимости от продолжительности испытания (τ) (рис. 1) [3].

Разработчиками стандартного метода измерения рекомендовано считать величину нагрузки в точке 1, т.е. в момент развития только упругих деформаций. После прекращения роста прикладываемой нагрузки и выдержке образцов под нагрузкой, точка 2 в нашем случае, наблюдается ползучесть материала. Отсюда, при расчете жесткости в точке 2 величина ее с учетом релаксации напряжения будет меньше, чем величина жесткости в точке 1 [4].

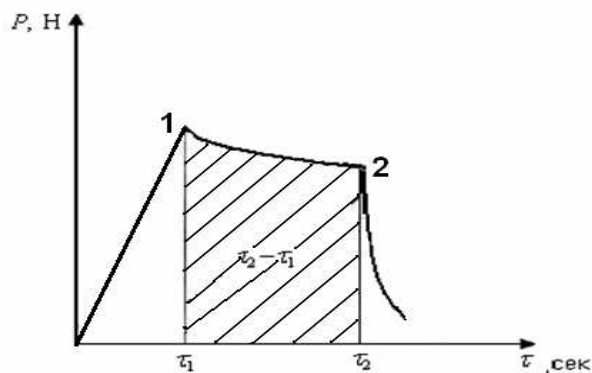
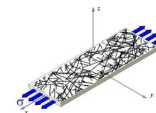


Рис. 1. Кривая зависимости усилия от продолжительности испытания: 1 – точка упругой деформации; 2 – точка определения жесткости при изгибе с учетом пластической деформации, возникающей в течение времени $\tau_2 - \tau_1$

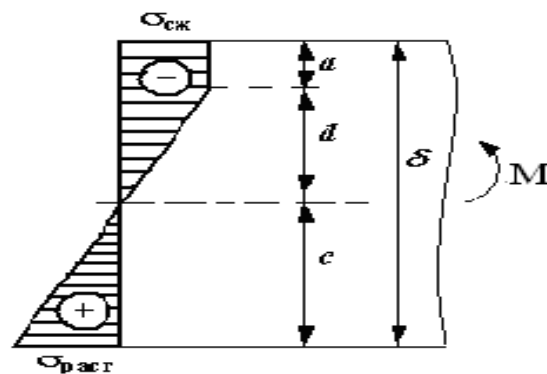


Рис. 2. Упрощенная эпюра нормальных напряжений при испытании на изгиб: a – слой, в котором возникает предельное состояние; d – слой, работающий на сжатие; c – слой, работающий на растяжение

Ранее была предложена гипотеза деформирования при изгибе целлюлозно-бумажных материалов [5], позволяющая рассчитать толщину слоя материала, в котором в сжатой зоне возникает неустойчивость структурных элементов, приводящая к снижению величины предела упругости и к снижению жесткости.

Принимаемые вид эпюры нормальных напряжений и уравнения для расчетов представлены на рис. 2.

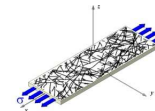
$$n_0 = \frac{\sigma_{сж}}{\sigma_{раст}}, \quad a = \delta \frac{n_0 - 1}{n_0 + 1}, \quad d = \delta \frac{2}{(n_0 + 1)^2}, \quad c = \delta \frac{2n_0}{(n_0 + 1)^2}$$

Расчет жесткости при изгибе с учетом неустойчивости, возникающей в слое a , производится по уравнению:

$$EI = E_{изг} \cdot \frac{b \cdot (\delta - a)^3}{12},$$

Толщину слоя, в котором это состояние наблюдается, можно вычислить, зная критическую величину напряжения сжатия ($\sigma_{сж}$), и рассчитать реальную величину жесткости при изгибе бумаги или картона, которая будет ниже величины рассчитываемой по используемым в настоящее время уравнениям.

Была предпринята попытка нахождения величины критического напряжения сжатия экспериментальным путем. Для этого были испытаны образцы бумаги для гофрирования методом SCT на сопротивление сжатию



короткого участка образца материала, активная длина испытываемого образца изменялась от 0,7 до 2,0 мм [6]. Анализ данной зависимости позволяет рассчитать величину x , т.е. длину образца, на которой развиваются пластические деформации при испытании на изгиб (рис. 3).

Длина испытываемой части образца бумаги для гофрирования составляла 25 мм. Ширина образца равнялась 38 мм. Угол изгиба составлял $30,0^\circ$.

В табл. 1 представлены данные о величинах жесткости при изгибе бумаги для гофрирования, измеренной стандартным методом и после заданной выдержки под постоянным усилием, т.е. при проявлении эффекта ползучести.

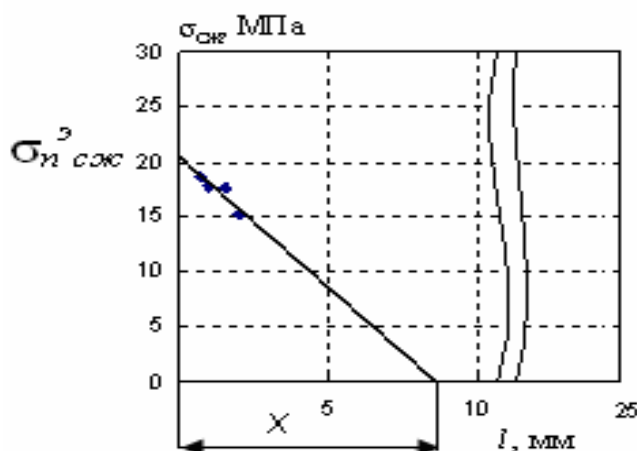


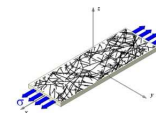
Рис. 3. Экстраполяция величины критического сопротивления сжатию $\sigma_{сж}^3$ с целью нахождения величины x

Таблица 1. Жесткость при изгибе бумаги для гофрирования, рассчитанная с допущением, что материал деформируется упруго (S_{by}) и с учетом пластических деформаций (S_{b2}), возникающих при постоянной деформации во времени.

Тип образца	δ , мкм	$\tau_1 - \tau_2$, сек	Точка 1 на кривой «P – τ »*			Точка 2 на кривой «P – τ »			ΔS_b^{**} , %
			S_{by} , мН·м	EI_y , мН·см ²	$E_{уизг}$, МПа	S_{b2} , мН·м	EI_2 , мН·см ²	$E_{2изг}$, МПа	
MD	196	1,3	1,70	648	2955	1,46	556	2570	14,1
CD	204	1,2	0,64	244	770	0,56	213	675	12,5
Отливка	179	1,3	1,25	476	2720	1,03	392	2230	17,6

*) см. рис. 1; **) $((S_{by} - S_{b2})/S_{by}) \cdot 100\%$

Из табл. 1 следует, что пластические деформации, возникающие в образце при проявлении эффекта ползучести продолжительностью $(\tau_1 - \tau_2)$, снижают измеряемую величину жесткости при изгибе в направлении MD на 14,1 %, в направлении CD – на 12,5 %, а у лабораторного образца – на 17,6 %.



В табл. 2 представлены результаты расчета жесткости при изгибе с учетом пластических деформаций, возникающих по толщине образца (S_{bt}) и в плоскости (S_{bn}) листа. Расчетная жесткость при изгибе, учитывающая пластические деформации по толщине образца, снижают измеряемую жесткость при изгибе с 54,7 до 68,0 %.

Таблица 2. Результаты жесткости при изгибе с учетом пластических деформаций, возникающих по толщине и в плоскости листа бумаги для гофрирования

Тип образца	S_{by} , мН·м	С учетом слоя a			Данные с учетом x			
		S_{bt}° , мН·м	a_T° , мкм	ΔS_{bt}° , %	S_{bn}° , мН·м	$\sigma_{n\text{ сж}}^{\circ}$, МПа	x , мм	ΔS_{bn}° , %
MD	1,70	0,66	76	61,2	1,36	25,1	11,5	20,0
CD	0,64	0,29	33	54,7	0,54	24,1	11,2	15,6
Отливка	1,25	0,40	67	68,0	1,10	21,6	9,7	12,0

Такое изменение величины (S_{bt}), очевидно, объясняется двумя причинами: во-первых, тем, что в расчетном уравнении величина толщины образца находится в третьей степени (δ^3), отсюда, любое изменение эффективной толщины приводит к значительному изменению жесткости при изгибе; во-вторых, существуют объективные затруднения с измерением эффективной толщины, что вносит коррективы в расчетную величину жесткости при изгибе.

Расчеты пластических деформаций, возникающих в плоскости листа, показали, что расчетная величина x (длина, на которой развиваются пластические деформации), меньше испытываемой длины образца l ($x < l$). Таким образом, пластические деформации в структуре бумаги развивались лишь в части образца. Данный факт позволил предположить, что образец изогнут по длине неравномерно, вследствие чего напряжения сжатия в структуре имеют различную величину и достигают критического значения только на отрезке x . Обнаружено, что пластические деформации в плоскости листа снижают расчетную жесткость при изгибе с 12,0 до 20,0 %.

Для подтверждения экспериментальных данных были сделаны фотографии образца бумаги для гофрирования находящегося под изгибающей нагрузкой (рис. 4). Воспроизведена линия изгиба образца при испытании на изгиб (рис. 5). Наглядно показано, что на участке OA образец находится в изогнутом состоянии (возникают пластические деформации), а после точки A наблюдается практически прямая линия.

Следует, что радиус кривизны и деформация сжатого участка образца в упругом и неупругом случае разные ($R_2 > R_1$).

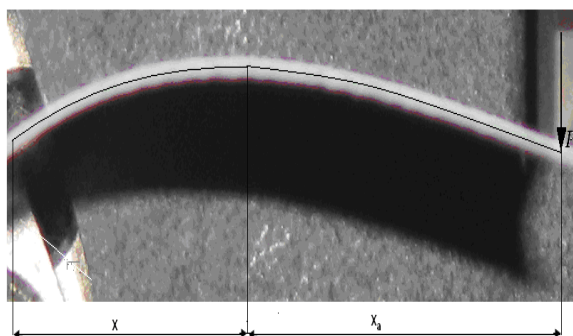
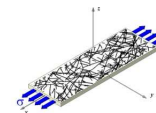


Рис. 4. Фотография образца при испытании на изгиб

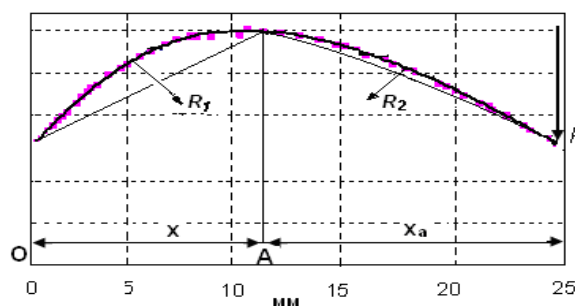


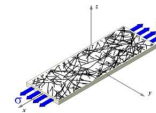
Рис.5. Форма испытуемого образца после при изгибе

Таким образом, пластические деформации в структуре бумаги развивались лишь в изогнутой части испытуемого образца. Следовательно, образец изогнут по длине неравномерно, а напряжения сжатия в структуре имеют различную величину и достигают критического значения только на отрезке длиной x .

Авторам впервые удалось обосновать и подтвердить экспериментально возможность использования специальных уравнений для определения пластических деформаций при испытании на изгиб во времени, по толщине и в плоскости листа применительно к волокнистым целлюлозно-бумажным материалам, позволяющих оценивать жесткость при изгибе с повышенной точностью.

Список литературы

1. L&W Handbook. Paper Testing and Process Optimization Catalog 2007. / Lorentzen & Wetter. Elanders Tofters, Sweden. 2006. – 179 p.
2. Комаров, В.И. Деформативность целлюлозно-бумажных материалов при изгибе [Текст] / В.И.Комаров. // ИВУЗ Лесной журнал. –1994. – № 1. – С. 86-91.
3. Свид. № 2010612795. Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для обработки результатов испытаний на изгиб целлюлозно-бумажных материалов (Stiffness). / Я.В. Казаков, Д.Г.Чухчин, Е.Ю.Ларина, В.И.Комаров; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО АГТУ (RU). – № 2010610990; заявл. 02.03.2010; опубл. 23.04.2010, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.
4. Ржаницын, А.Р. Теория ползучести [Текст] / А.Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1968. – 418 с.
5. Яценко, В.Ф. Прочность и ползучесть слоистых материалов (сжатие, растяжение, изгиб) [Текст] / В.Ф. Яценко. – Киев: Наукова думка, 1966. – 201 с.
6. ИТС-403.000.000ИО. Прибор для определения сопротивления сжатию на коротком расстоянии. Инструкция оператора. – Иваново. ООО «ИТС» (Измерительные системы). 2009. – 20 с.



ПОДБОР РАЗМОЛЬНОЙ ГАРНИТУРЫ – ЗАЛОГ ОПТИМАЛЬНЫХ БУМАГООБРАЗУЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКНИСТОГО ПОЛУФАБРИКАТА.

М.В. Шуралев¹, Н.В. Сысоева², **В.И. Комаров²**

¹ООО «Андритц», Санкт-Петербург, Россия

²Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

В работе рассмотрены особенности выбора размольной гарнитуры и оптимизация технологических параметров в современных условиях постоянного повышения требований качества к готовой продукции. Исследовано влияние удельной нагрузки на мельницах на изменение качества волокнистых полуфабрикатов.

SELECTION OF THE REFINER PLATES – A PLEDGE OF OPTIMAL PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF FIBROUS SEMI-PRODUCTS

M. Shuralev¹, N. Sysoeva², **V. Komarov²**

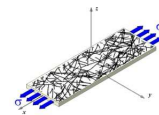
¹«Andritz» JSC, Saint-Petersburg, Russia

²Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

The modern development rate of both technology and equipment makes paper producers to increase the quality of the machine-made products while the prime cost of the products remains at the same level. The fastest and the easiest ways to achieve this aim are to optimize the mode of refining. The influence of the specific load on the mill to change the quality of fiber intermediates. The influence of the specific load on the mill to change the quality of fiber semi-finished products.

В производстве бумаги и картона размол волокнистых полуфабрикатов имеет очень большое значение. Он влияет на изготовление и свойства готовой продукции и во многом определяет экономичность ее производства. Особое значение размол приобрел в связи с расширением базы используемых полуфабрикатов из лиственной и низкокачественной хвойной древесины. Размол волокнистых полуфабрикатов – наиболее энергоемкий технологический процесс в целлюлозно-бумажной промышленности, поэтому экономия электроэнергии во многом зависит от того, насколько совершенны размалывающее оборудование и технология размола.

В нашей стране с конца 80-х годов XX века были прекращены работы по совершенствованию оборудования и гарнитуры для размола коротковолокнистого сырья. Не велись и научные исследования в этом направлении. В это время за рубежом создавались новое размалывающее оборудование и гарнитуры, позволяющие осуществлять размол, прежде всего, целлюлозы из



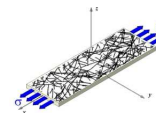
лиственных пород древесины и макулатурной массы при низких удельных нагрузках на режущие кромки ножей. Как результат, в последние десятилетия на рынке появились новые виды гарнитуры, отличающиеся геометрией и рисунком ножей, режущей длиной и материалом, а также др. характеристиками. Сегодня используется гарнитура с шириной ножей менее 3 мм. Переход от «грубого» к «тонкому» рисунку размольной гарнитуры обусловлен стремлением производителей снизить интенсивность при одновременном повышении равномерности воздействия на волокно.

Изготовление гарнитуры с тонким рисунком позволяет увеличить количество ножей на роторе и статоре, тем самым повысить удельную нагрузку на кромку ножа, т.е. увеличить работу, осуществляемую с волокном при прохождении его между размольной поверхностью ротора и статора.

Другим направлением развития и повышения эффективности процесса размола стал переход на многозонные виды гарнитуры. Ширина канавок между ножами в такой гарнитуре снижается от центральной зоны к периферии. Целлюлозная масса, переходя от зоны к зоне, приобретает направленность потока, что позволяет равномерно распределять нагрузку по всей поверхности волокна, избегая локальных напряжений. Одной из последних разработок фирмы «Андритц» стала гарнитура со спиральным расположением ножей под торговым запатентованным названием LemaxX.

Использование спирального наклона ножей позволило добиться постоянного угла пересечения ножей статора и ротора по всему диаметру диска. На данный момент спиральная размольная гарнитура с успехом применяется на многих российских предприятиях и в мире, обеспечивая высокие прочностные показатели размалываемых волокнистых полуфабрикатов. Для уточнения механизмов влияния размольной гарнитуры со спиральным расположением ножей были проведены промышленные испытания с целью исследовать влияние такой гарнитуры на фундаментальные свойства волокнистых полуфабрикатов при направленном регулировании процесса размола. Изменение режима размола достигалось путем увеличения удельной нагрузки на рафинеры при размоле волокнистых полуфабрикатов.

Определение влияния регулируемых параметров процесса размола на качество волокнистых полуфабрикатов для изготовления офисной бумаги производилось на одном из отечественных ЦБК, где осуществляется отдельный размол белых лиственных и хвойной целлюлоз. Дисковые рафинеры лиственного потока были оснащены спиральной размольной гарнитурой со следующими характеристиками рисунка размольной по-



верхности: 1,6 мм ширина ножа, 3,3 мм ширина канавки, 6,4 мм высота канавки. Для хвойного потока применялась спиральная гарнитура имеющая геометрию: 2,4 мм ширина ножа, 5,1 мм ширина канавки, 8,9 мм высота канавки.

На первом этапе последовательно увеличивали удельную нагрузку на рафинерах потока лиственной целлюлозы от (6 кВт·ч/т) до максимальной (28 кВт·ч/т) с шагом варьирования 5...9 кВт·ч/т, удельная нагрузка на рафинерах хвойного потока оставалась постоянной и колебалась в диапазоне 5...7 кВт·ч/т.

На втором этапе изменяли удельную нагрузку на рафинерах хвойного потока от минимальной (5 кВт·ч/т) до максимальной (20 кВт·ч/т) с шагом варьирования 5 кВт·ч/т, удельную нагрузку на рафинерах лиственного потока поддерживали постоянной (18...20 кВт·ч/т). Остальное оборудование на протяжении всего периода исследований работало в стабильном режиме.

При проведении исследований по воздействию спиральной гарнитуры на волокна лабораторные образцы изготавливали из 100 % лиственной и хвойной целлюлозы. Масса отливок составляла 80 г/м^2 , что соответствует плотности офисной бумаги. При каждом изменении удельной нагрузки осуществляли отбор проб массы из напорного ящика. Для оценки изменения свойств образцов их показатели сравнивали с исходной массой, отобранной из БВК. Для контроля рециркуляции массы в технологическом потоке проводили отбор проб из бассейнов лиственной и хвойной целлюлозы. Также контролировали скорость обезвоживания 700 мл суспензии (V_{700}), фактор формы волокна f и межволоконные силы связи $F_{св}$.

Увеличение ширины волокон b_b лиственной целлюлозы свидетельствует о приоритетном направлении процесса фибриллирования волокна, сопровождающегося «расплющиванием», «расчесыванием» и т.д. Значимого укорочения волокна отмечено не было. Конечно, некоторое сокращение длины волокон лиственной целлюлозы в процессе размола все-таки происходит, однако оно не превышает 4 %, т.е. является незначимым. Подобное явление, отмеченное в ходе исследований, позволяет высказать предположение о преимущественной фибрилляции волокон в процессе размола. Увеличение интенсивности размола с использованием спиральной гарнитуры не оказывает значимого влияния на собственную прочность волокна L_0 . Значения нулевой разрывной длины после II ступени размола колебались в диапазоне 11200...11400 м независимо от условий размола.

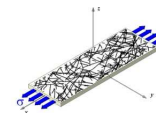


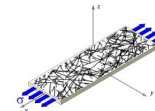
Таблица 1. Влияние изменения удельной нагрузки ($N_{уд}$) на фундаментальные свойства лиственной целлюлозы

Точка отбора пробы	Размол			Бумагообразующие свойства				
	$N_{уд}$, кВт·ч/т	СП, °ШР	V_{700} , с	$l_{ср.взв}$, мм	$b_в$, мкм	f	L_0 , м	$F_{св}$, МПа
БВК	–	14,4	8,0	0,833	21,4	89,5	12500	0,75
Бассейн лиственной целлюлозы		16,5	9,3	–	–	–	12021	–
После I ступени	6	19,5	13,1	0,830	21,5	89,6	11800	1,08
После II ступени		21,0	15,5	0,823	21,5	90,4	11300	1,76
Напорный ящик		26,5	26,0	1,030	22,6	88,4	9900	0,50
Бассейн лиственной целлюлозы		15,7	8,7	0,814	21,4	90,1	13130	1,19
После I ступени	15	19,5	13,8	0,821	21,5	90,9	11100	1,18
После II ступени		22,0	21,1	0,810	21,7	90,8	11400	2,38
Напорный ящик		30,0	32,7	0,903	22,1	86,7	10900	0,64
Бассейн лиственной целлюлозы		15,6	8,4	–	–	–	10950	1,11
После I ступени	23	20,0	13,0	0,829	22,0	86,3	10900	1,55
После II ступени		23,0	19,3	0,801	22,5	86,3	11400	2,21
Напорный ящик		26,5	32,7	0,920	22,5	88,2	10600	0,51
Бассейн лиственной целлюлозы		16,2	9,0	–	–	–	13330	0,66
После I ступени	28	21,0	14,6	0,811	21,6	87,7	11600	1,52
После II ступени		25,5	18,7	0,810	22,5	90,1	11200	2,25
Напорный ящик		28,5	34,6	0,963	22,6	88,9	10900	0,97

Изменение интенсивности размол лиственной целлюлозы в широком диапазоне удельной нагрузки от 6 кВт·ч/т до 28 кВт·ч/т приводит к увеличению степени помола лишь на 4...5 °ШР при сохранении средней длины волокна и одновременном повышении его ширины, а также увеличением в 2,0–2,5 раза межволоконных сил связи.

Аналогичные тенденции отмечены и для фундаментальных свойств хвойной целлюлозы. Исследование проводили в диапазоне удельной нагрузки, от 5 кВт·ч/т до 20 кВт·ч/т с шагом 5 кВт·ч/т. Степень помола поступающей из БВК хвойной беленой целлюлозы составляла в среднем 12,5 °ШР (11,0...13,5 °ШР).

Данные, представленные в табл. 2, показывают, что увеличение удельной нагрузки на мельницах хвойного потока уже до 10 кВт·ч/т позволяет значительно улучшить бумагообразующие свойства образцов. При ре-



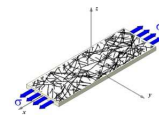
гулировании параметров размола на хвойном потоке изменения, зафиксированные в ходе исследований, несколько отличались от закономерностей, наблюдаемых при размоле лиственной целлюлозы.

Таблица 2. Влияние изменения удельной нагрузки ($N_{уд}$) на фундаментальные свойства хвойной целлюлозы

Точка отбора пробы	Размол			Бумагообразующие свойства				
	$N_{уд}$, кВт·ч/т	СП, °ШР	V_{700} , с	$l_{ср.взв}$, мм	$b_{в}$, мкм	f	L_0 , м	$F_{св}$, МПа
БВК	–	12,5	4,7	2,10	25,0	82,3	9200	0,669
Бассейн хвойной целлюлозы После II ступени Напорный ящик	5	13,5	6,6	2,11	25,8	82,6	9600	0,926
		14,0	6,8	2,05	25,7	82,4	10400	0,840
		21,5	24,9	1,09	23,0	88,5	8400	0,422
Бассейн хвойной целлюлозы после I ступени после II ступени Напорный ящик	10	13,5	5,83	2,08	26,9	82,6	8700	0,908
		14,5	6,79	2,10	28,7	82,8	10000	1,297
		15,5	8,02	2,06	26,8	82,8	10000	1,326
		29,5	30,43	0,80	22,2	83,8	7700	0,856
Бассейн хвойной целлюлозы После II ступени Напорный ящик	15	14,0	5,3	2,09	26,0	83,0	9600	0,284
		17,0	9,0	1,95	28,7	80,1	9200	0,823
		23,5	28,8	1,10	23,0	89,2	10800	0,438
После I ступени После II ступени Напорный ящик	20	15,0	6,75	2,02	26,7	83,1	10200	0,863
		18,0	8,68	1,92	26,3	83,6	10400	0,994
		30,5	34,83	0,99	22,2	89,5	8200	0,837

Было отмечено сокращение средней длины волокна хвойной целлюлозы почти на 9 % по сравнению с исходной (БВК). Это объясняется особенностями их морфологического строения. Наблюдаемое снижение длины волокна не является критическим, наоборот, оно позволяет сократить вероятность образования крупных агломератов (флоккул и пучков) в приотливе на сетке. Средний размер флоккул снижается от 4,4 до 2,8 мм. Максимальная степень помола хвойной целлюлозы в период исследования составляла 18 °ШР, а средняя длина волокна не опускалась ниже 1,92 мм.

Изменение собственной прочности хвойных волокон, представленное в табл. 2, согласуется с теоретическими представлениями – повышение нагрузки на мельнице, сопровождаемое фибриллизацией волокон, приводит к снижению их собственной прочности. Значение, полученное при



нагрузке 20 кВт·ч/т, выпадает из общей динамики, что можно объяснить повышением плотности образцов при одинаковых условиях отлива.

Значения межволоконных сил связи изменяются скачкообразно – максимум приходится на образцы, полученные при нагрузке 10 кВт·ч/т.

Ширина хвойных волокон при повышении степени помола от 13 до 18 °ШР увеличивается на 7...15 % вероятно за счет фибриллирования (расчесывания, расплющивания). Фактор формы хвойных волокон остается почти без изменения, несмотря на их значительную длину.

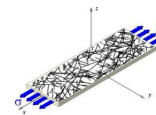
Отмеченные тенденции аналогичны полученным для лиственной целлюлозы. Известно, что скорость обезвоживания определяется площадью активной поверхности волокна, т.е. количеством свободных гидроксильных групп способных удерживать воду, образующихся в результате внешней фибрилляции. Так, отсутствие снижения скорости обезвоживания по достижении удельной нагрузки на мельнице 15 кВт·ч/т свидетельствует о преимущественно внутренней фибрилляции при дальнейшей интенсификации процесса размола.

Некоторые отличия во влиянии спиральной гарнитуры на изменение свойств лиственной и хвойной целлюлозы, вполне закономерны и обусловлены их разным морфологическим строением.

Как было отмечено ранее, сокращение средней длины привело к снижению флокулообразования и получению более равномерного листа в процессе отлива. Качество хвойной целлюлозы закономерно росло по мере прохождения целлюлозной массы от первой ко второй ступени размола.

На основании проведенных исследований, представленных в данной работе, и других экспериментов были предложены и внедрены рекомендации по изменению режима размола в массоподготовительном отделе БДМ, производящей офисную бумагу. Предложенный режим размола позволил повысить эффективность работы размольно-подготовительного отдела и улучшить качество формования бумаги (индекс формования повысился более чем на 5 %). При этом регламентированные техническими условиями показатели качества офисной бумаги оставались в пределах нормы.

Таким образом, тенденция использования в процессе размола гарнитуры с тонким рисунком ножей, сегодня, можно считать классической, особенно при подготовке волокнистых полуфабрикатов используемых в производстве беленых видов бумаг.



АНАЛИЗ НИСХОДЯЩЕЙ ВЕТВИ КРИВОЙ НАГРУЗКА-УДЛИНЕНИЕ ДЛЯ ОБРАЗЦОВ ХВОЙНОЙ СУЛЬФАТНОЙ НЕБЕЛНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Т.Н. Манахова, Я.В. Казаков, В.И. Белоглазов

Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

Предложена методика анализа и количественной оценки поведения целлюлозно-волоконистого материала при разрушении с использованием характеристик нисходящей ветви кривой нагрузка-удлинение. Выполнен расчет параметров разрушения для образцов сульфатной хвойной небеленой целлюлозы в условиях нехрупкого разрушения.

ANALYSIS POST-BREAK BEHAVIOR FOR TENSILE STRESS- ELONGATION CURVE FOR SOFTWOOD KRAFT PULP

T. Manakhova, Y. Kazakov, V. Beloglazov

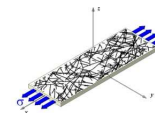
Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

The technique of analyzing and quantitative evaluation of the fracture behavior of pulp fiber material using the characteristics of the descending path of the load-elongation curve. The rupture parameters for the samples of kraft pulp in conditions of not brittle failure was calculated.

Прочность целлюлозно-волоконистых полуфабрикатов под воздействием различных видов нагрузки имеет большое значение для их практического применения. Для определения качества полуфабрикатов наиболее часто используют испытания на растяжение. При этом наиболее ценную информацию можно получить, используя результаты математической обработки кривой нагрузка-удлинение [1].

В практике исследований механического поведения образца целлюлозно-бумажного материала при растяжении установлено, что механизм разрушения при растяжении зависит от длины одноосно нагружаемых образцов. Если образец достаточно длинный, то он разорвется практически мгновенно, а образец с уменьшенной длиной продемонстрирует не мгновенный разрыв. Дальнейшее укорачивание образца приведет к устойчивому развитию зоны разрушения. На рис. 1 представлены типичные кривые нагрузка-удлинение для образцов хвойной сульфатной целлюлозы различной длины.

Когда образцы, достаточно короткие чтобы получить стабильные нисходящие участки кривых нагрузка-удлинение, растягиваются до состояния, когда деформация равна деформации разрушения ($\varepsilon = \varepsilon_f$) и напряже-



ние равно разрушающему напряжению ($\sigma = \sigma_f$), то считается, что вся дальнейшая деформация будет локализована в узкой зоне разрушения.

На рис. 2 показана типичная кривая напряжение-удлинение для случая не мгновенного разрушения, полученная для одноосно нагружаемого образца длиной $L = 3$ мм и шириной $W = 5$ мм.

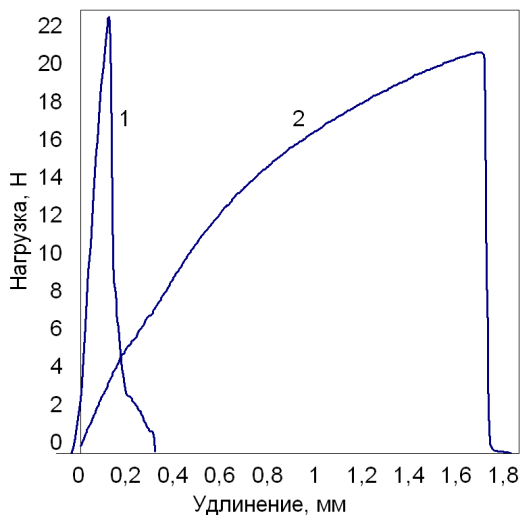


Рис. 1. Кривые нагрузка-удлинение для образцов хвойной небеленой сульфатной целлюлозы шириной 5 мм с длиной 3 мм (1) и 100 мм (2)

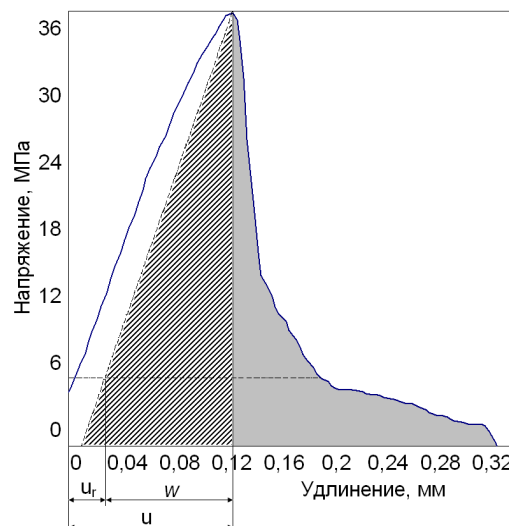


Рис.2. Кривая напряжение-удлинение для образца хвойной сульфатной небеленой целлюлозы длиной 3 мм и шириной 5 мм

Развитие процессов разрушения в локальной зоне происходит после достижения предела прочности на разрыв и характеризуется нисходящей частью кривой напряжение-удлинение. Восходящая часть кривой напряжение-удлинение предоставляет собой стандартную зависимость напряжение-удлинение [1].

Методика анализа нисходящей части кривой нагрузка-удлинение представлена в работе [2]. Увеличение зоны локального разрушения, w , определяется как разница между полным удлинением, u , и обратимым упругим удлинением не разрушенной части образца, $u_r = \varepsilon L$, т.е.:

$$w = u - \varepsilon L, \tag{1}$$

и, следовательно, w является дополнительной деформацией в зоне разрушения.

На рис. 3 представлена кривая напряжение-раскрытие трещины для образца длиной 3 мм и шириной 5 мм. Кривая роста трещины в зависимости от напряжения определяет основные свойства материала во время разрушения при растяжении [2].

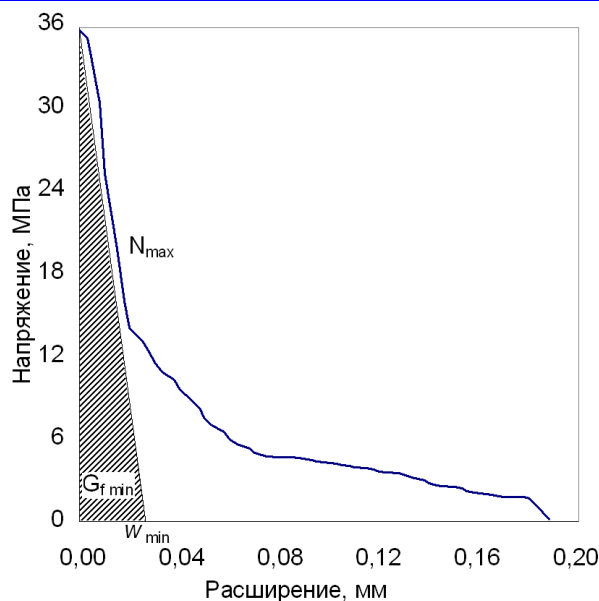
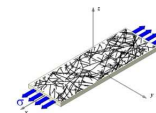


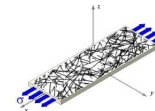
Рис. 3. Кривая напряжение-раскрытие трещины для образца хвойной сульфатной небеленой целлюлозы длиной 3 мм и шириной 5 мм

Энергия разрушения, G_f определяется как площадь под кривой напряжение-раскрытие трещины. Следовательно, энергия разрушения может быть описана как функция напряжения $\sigma(w)$ и расширения зоны локального разрушения:

$$G_f = \int_0^{w_{\max}} \sigma(w) dw, \quad (2)$$

где w_{\max} – раскрытие трещины до полного разделения поверхностей разрушения.

То, что характер нисходящей части кривой нагрузка-удлинение зависит от длины образца, нагружаемого одноосно, примерно одинаково можно объяснить, используя характеристики плотности энергии упругой деформации W_ε и энергия разрушения G_f . Для длинных образцов увеличение высвобождаемой энергии упругой деформации (на единицу площади), т.е. $\Delta G_\varepsilon = \Delta W_\varepsilon L$ при полном разрушении выше, чем увеличение энергии разрушения G_f , т.е. $\Delta G_\varepsilon > \Delta G_f$. Таким образом, для длинных образцов, высвобождаемой энергии упругой деформации достаточно для мгновенного и хрупкого разрушения образца. Для образцов с длиной меньшей, чем длина, при которой происходит мгновенный разрыв, разрушение будет частично мгновенным и частично не мгновенным. Причиной этого является изменение соотношения между возрастающей величиной высвобождаемой энергии упругой деформации ΔG_ε и возрастающей величиной энергии разру-



шения ΔG_f . Дальнейшее укорочение длины образца приведет к тому, что кривая нагрузка-удлинение будет иметь стабильно нисходящую ветвь без резкого падения напряжения до нуля. Это проиллюстрировано на рис.2. Для образца длиной 3 мм высвобождаемая энергия упругой деформации (заштрихованная область) меньше, чем энергия разрушения (область серого цвета).

Максимальная длина образцов, у которых кривая нагрузка-удлинение демонстрирует стабильную нисходящую ветвь без мгновенного падения нагрузки, является длиной устойчивости образца L_{stable} .

Длина устойчивости образца L_{stable} определяется частью кривой напряжение-удлинение с самым крутым участком, т.е. когда $N(w) = N_{max}$ (рис. 3), где N – наклон кривой:

$$L_{stable} = \frac{E}{N_{max}} \quad (3)$$

Для материалов с типичной кривой напряжение-раскрытие трещины, как показано на рис. 3, часто представляется удобным и рациональным сделать аппроксимацию части кривой $\sigma(w)$ с самым большим углом наклона при помощи прямой линии, проведенной из точки максимального напряжения σ_f . Соответствующее значение деформации при нулевом напряжении обозначается как w_{min} , а соответствующая энергия разрушения представлена как:

$$G_{fmin} = \frac{1}{2} \sigma_f w_{min} = \frac{1}{2} \sigma_f^2 \frac{1}{N_{max}} \quad (4)$$

Подстановка уравнения (4) в уравнение (3) дает:

$$L_{stable} = 2 \left(\frac{G_{fmin}}{\sigma_f} \right) \frac{E \sigma_f}{\sigma_f^2} \quad (5)$$

Также представляется возможным установить параметр материала, связанный с его длиной, которая называется внутренней или характеристической длиной материала l_{ch} . Этот параметр материала зависит от величины энергии разрушения G_f , предела прочности при разрушении σ_f и модуля упругости E :

$$l_{ch} = \frac{E G_f}{\sigma_f^2} \quad (6)$$

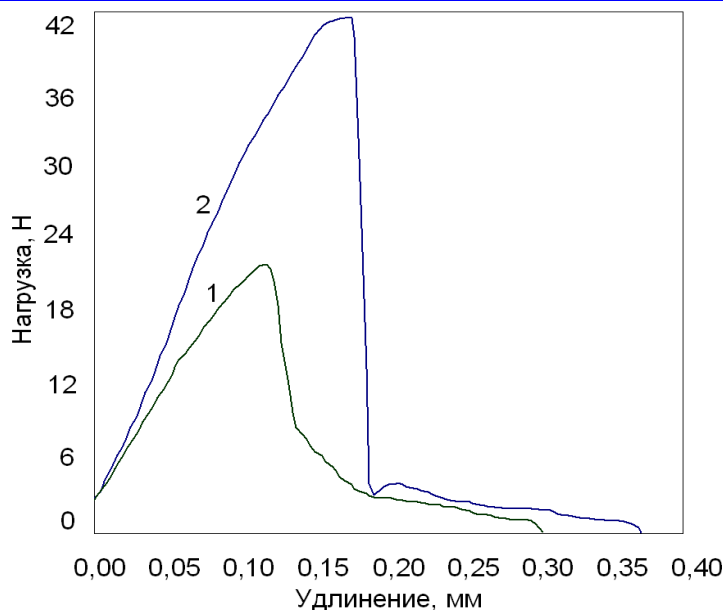
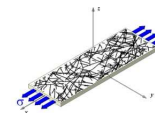
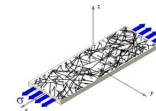


Рис. 4. Кривые нагрузка-удлинение для образцов сульфатной хвойной небеленой целлюлозы длиной 3 мм и шириной 5 мм со степенью помола 16 °ШР (1) и 40 °ШР (2)

Для определения представленных характеристик разрушения волокнистого целлюлозно-бумажного материала были проведены испытания образцов хвойной сульфатной небеленой целлюлозы со степенью делигнификации 45 ед. Каппа, массой 75 г/м² и со степенью помола 16 и 40 °ШР. На рис.4 представлены кривые нагрузка-удлинение для данных образцов, полученные на лабораторном испытательном комплексе, включающем разрывную машину ИТС-101, а также аппаратное и программное компьютерное обеспечение [3].

Значения характеристик образцов сульфатной хвойной небеленой целлюлозы, полученных при помощи анализа нисходящей ветви кривой нагрузка-удлинение представлены в табл. 1.

Установлено, что степень помола полуфабрикатов влияет на характер нисходящей ветви кривой нагрузка-удлинение. Сильно размолотый образец (№ 2 на рис. 4) имеет более гибкие и разработанные волокна по сравнению со слабо размолотым образцом (№ 1 на рис. 4). Соответственно более прочные связи между волокнами размолотого образца, не позволяют происходить выдергиванию отдельных волокон из структуры при приложении растягивающей нагрузки, в отличие от не размолотого образца № 1. Поэтому значение затрачиваемой на разрушение энергии G_f у образца № 2 выше, чем у образца № 1 в среднем на 35 %. Так же более высокое значение имеют разрушающее напряжение σ_f и модуль упругости E . А величина



ны дополнительной деформации в зоне разрушения w , характеристической длины l_{ch} и длины, при которой происходит устойчивое развитие разрушения, L_{stable} имеют меньшее значение за счет большей прочности образца № 2. Величины характеристической и устойчивой длины образца сопоставимы по величине со средней длиной волокна и с критической длиной волокна.

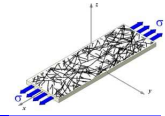
Таблица 1. Характеристики процесса разрушения образцов хвойной сульфатной небеленой целлюлозы

Характеристика	Степень помола	
	16 °ШР	40 °ШР
Разрушающее напряжение σ_f , МПа	35,8	93,4
Модуль упругости E , МПа	3760	5940
Дополнительная деформация в зоне разрушения w , мм	0,154	0,147
Энергия разрушения G_f , кДж/м ²	1,35	2,10
Дополнительная деформация при нулевом напряжении w_{min} , мм	0,026	0,012
Теоретическая энергия разрушения для упругого случая G_{fmin} , кДж/м ²	0,48	0,54
Характеристическая длина l_{ch} , мм	3,96	1,43
Устойчивая длина L_{stable} , мм	2,78	0,73

Таким образом, в результате проведенной работы разработан и реализован алгоритм определения характеристик, оценивающих механизм разрушения целлюлозно-бумажных материалов при одноосном растяжении, определены величины этих характеристик и показано, что значения характеристической и устойчивой длины образца сопоставимы по величине со средней длиной волокна и с критической длиной волокна.

Список литературы

1. Комаров, В.И. Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов [Текст] / В.И. Комаров – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. – 440 с.
2. Tryding, J. In-plane fracture of paper. – Sweden: Lund University, 1996. – 148 p.
3. Комаров, В.И. Анализ механического поведения целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей нагрузки [Текст] / В.И. Комаров, Я.В. Казаков // Лесной вестник МГУЛ. – 2000. – №3 (12). – С.52-62.



ВЛИЯНИЕ ЧИСЛА КАППА НА ДЕФОРМАЦИОННЫЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕБЕЛЕННОЙ ХВОЙНОЙ СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

А.А. Драчев, **В.И. Комаров,** Ю.В. Севастьянова

Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

В работе проводилось комплексное исследование влияния числа Каппа (в диапазоне от 10 до 50) на деформационные и прочностные характеристики хвойной сульфатной небеленой целлюлозы. В ходе исследований установлено, что прочностные и деформационные характеристики образцов целлюлозы в исследуемом интервале числа Каппа возрастают.

EFFECT OF KAPPA ON THE STRENGTH AND DEFORMATION CHARACTERISTICS OF SOFTWOOD KRAFT PULP BLEACHED

A. Dratchyov, **V. Komarov,** Y. Sevastyanova

Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

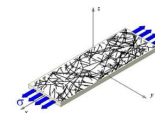
We conducted a comprehensive study of the effect of kappa (range 10 to 50) on the deformation and strength characteristics of softwood kraft pulp bleached. The studies found that the strength and deformation characteristics of cellulose samples in the investigated interval of Kappa increase.

Поскольку в настоящее время цены на сырье, топливо, электроэнергию, транспортные расходы внутри страны имеют ярко выраженную тенденцию роста, перед производителями сульфатной хвойной целлюлозы стоит проблема снижения себестоимости выпускаемой продукции. Повышение числа Каппа целлюлозы до разумных пределов положительно скажется на снижении себестоимости выпускаемой продукции, однако необходимо исследовать ее прочностные и деформационные свойства.

Целью работы является комплексное исследование влияния числа Каппа на деформационные и прочностные характеристики небеленой хвойной сульфатной целлюлозы.

Для достижения поставленной цели были реализованы следующие задачи:

- проведено исследование влияния числа Каппа целлюлозы на основные характеристики прочности;
- проведено исследование влияния числа Каппа целлюлозы на основные характеристики деформативности.



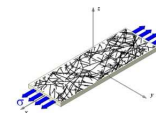
Для оценки влияния числа Каппа на свойства целлюлозы были определены стандартные показатели механической прочности, а также характеристики деформативности для образцов хвойной сульфатной небеленой целлюлозы в диапазоне от 17 до 66 единиц. Показатели прочности и деформативности определяли у отливок целлюлозы с массой $1 \text{ м}^2 75 \text{ г}$ при степени помола 30°ШР .

В табл. 1 представлены полученные структурно-размерные и прочностные характеристики образцов целлюлозы с числом Каппа в диапазоне от 17 до 50 единиц. Для оценки влияния числа Каппа на исследуемые характеристики были построены зависимости (рис. 1).

Таблица 1. Влияние числа Каппа целлюлозы на характеристики прочности хвойной сульфатной небеленой целлюлозы

Условия варки			Число Каппа	Структурно-размерные свойства		Характеристики прочности		
$T, ^\circ\text{C}$	$G, \%$	$\tau, \text{мин}$		$\rho, \text{г/см}^3$	$\delta, \text{мкм}$	$L, \text{м}$	$P, \text{кПа}$	$R, \text{мН}$
165,0	16,0	90	43,8	0,794	98,0	9700	588	1019
170,0	16,0	90	29,7	0,793	101,0	10220	510	1029
165,0	24,0	90	25,9	0,785	100,8	8900	511	1176
170,0	24,0	90	17,2	0,752	103,0	8800	489	1137
165,0	16,0	150	41,2	0,779	97,8	11100	593	1019
170,0	16,0	150	26,5	0,824	97,8	9300	627	1009
165,0	24,0	150	20,4	0,748	104,4	9100	523	1176
170,0	24,0	150	13,1	0,822	97,0	8400	449	1127
163,0	20,0	120	31,9	0,755	102,2	9700	521	1058
172,0	20,0	120	20,2	0,694	103,4	7900	390	1176
167,5	13,3	120	66,4	0,689	110,0	8600	468	1147
167,5	26,7	120	17,3	0,760	104,4	7700	441	1176
167,5	20,0	70	35,0	0,796	100,2	9300	536	1068
167,5	20,0	170	22,0	0,764	99,8	9600	513	1049
167,5	20,0	120	27,7	0,776	101,4	8800	499	1147
167,5	20,0	120	24,2	0,787	99,8	8500	452	1156
167,5	20,0	120	33,8	0,802	100,4	8400	513	1117
167,5	20,0	120	26,1	0,750	101,6	9000	481	1156
167,5	20,0	120	27,2	0,811	101,0	8100	460	1117
167,5	20,0	120	24,5	0,790	100,2	8700	487	1078

Полученные данные свидетельствуют о том, что повышение числа Каппа целлюлозы приводит к росту разрывной длины (L) в диапазоне значений числа Каппа 15...40 на 7...8 %, после чего величина разрывной дли-



ны практически не изменяется. Точно такой же характер имеет полученная зависимость изменения сопротивления продавливанию (Π) хвойной сульфатной небеленой целлюлозы от числа Каппа (рис. 2).

Сопротивление раздиранию (R) для образцов в диапазоне изменения числа Каппа 15...40 практически постоянно, после чего несколько снижается. Подобный характер изменения L и Π связан со способностью волокон к связеобразованию (F_{CB}). Нетипичное изменение сопротивления раздиранию, скорее всего, можно объяснить проведением дополнительного размола жестких целлюлоз, приводящего к уплотнению структуры.

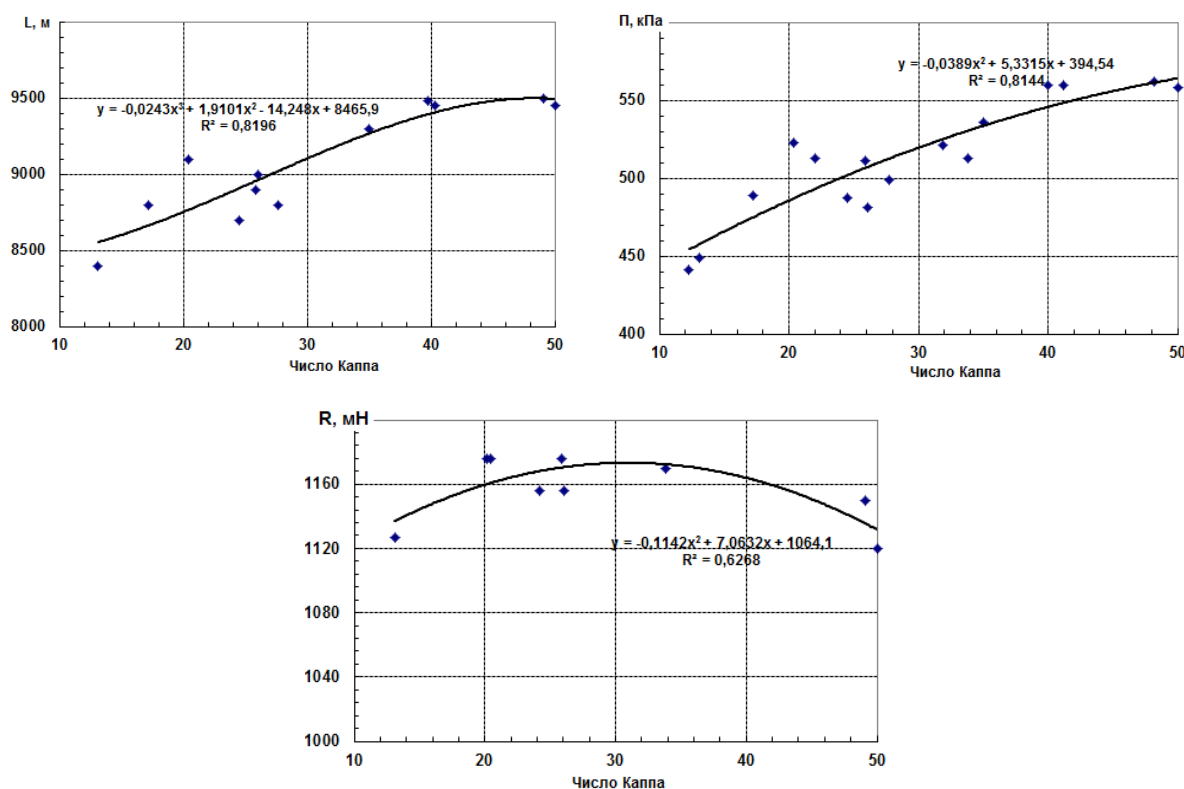
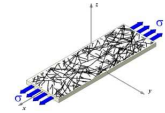


Рис. 1. Влияние числа Каппа целлюлозы на основные характеристики прочности небеленой хвойной сульфатной целлюлозы

На следующем этапе эксперимента исследовалось влияние числа Каппа на основные характеристики деформативности целлюлозы. Результаты испытаний представлены в табл. 2 и на рис. 2, 3, 4.

Согласно полученным экспериментальным зависимостям, представленным на рис. 3, установлено, что число Каппа целлюлозы различным образом влияет на такие характеристики, как начальный модуль упругости (E_1) и жесткость при растяжении (S_t).



Для образцов в интервале числа Каппа от 12 до 40 единиц наблюдается постепенный рост E_1 и S_t , что объясняется ростом межволоконных сил связи и повышением жесткости структуры. При увеличении числа Каппа до 40 и более единиц изменение этих характеристик незначительно. Повышение числа Каппа от 25 до 50 единиц приводит к увеличению начального модуля упругости на 14...16 % (на 1 единицу Каппа рост составляет 75 МПа), а жесткости при растяжении на 10...12 % (на 1 единицу Каппа рост составляет 6 кН/м).

По результатам исследования влияния числа Каппа целлюлозы на величину энергии, затрачиваемую при разрушении образца (TEA) (рис.3), можно сделать вывод о том что, значительное влияние число Каппа целлюлозы на эту характеристику оказывает в диапазоне от 12 до 35 единиц (повышение TEA составило 15 %), дальнейшее повышение числа Каппа целлюлозы не влияет на работу разрушения образцов, значения находятся на одном уровне от 130 Дж/м².

Таблица 2. Влияние факторов варки на характеристики деформативности небеленой хвойной сульфатной целлюлозы

Условия варки			Число Каппа	Деформационные свойства						
T , °С	G , %	τ , мин		σ_p , МПа	ϵ_p , %	TEA , Дж/м ²	E_1 , МПа	S_t , кН/м	S_b , н·м	$E_{изг}$, МПа
165,0	16,0	90	43,8	87,2	2,85	122,8	6305	614	0,32	3040
170,0	16,0	90	29,7	83,2	2,89	170,3	6145	612	0,39	3740
165,0	24,0	90	25,9	75,3	2,82	132,8	6110	597	0,30	2895
170,0	24,0	90	17,2	69,8	2,81	136,5	5700	595	0,33	2790
165,0	16,0	150	41,2	96,2	3,34	169,5	6380	635	0,30	3030
170,0	16,0	150	26,5	93,3	3,27	120,6	6635	645	0,30	2930
165,0	24,0	150	20,4	73,1	2,94	150,2	5670	604	0,35	2890
170,0	24,0	150	13,1	71,1	2,70	142,8	5940	567	0,30	2700
163,0	20,0	120	31,9	76,6	3,02	151,5	5925	600	0,30	2810
172,0	20,0	120	20,2	71,2	2,71	110,4	5285	595	0,35	3170
167,5	13,3	120	66,4	60,7	2,96	141,0	4640	504	0,30	2060
167,5	26,7	120	17,3	70,4	2,74	99,0	5645	574	0,32	2750
167,5	20,0	70	35,0	83,1	2,95	134,5	6235	619	0,37	3570
167,5	20,0	170	22,0	75,3	3,07	156,4	6090	618	0,30	2830
167,5	20,0	120	27,7	68,2	2,91	135,0	5875	596	0,27	2310
167,5	20,0	120	24,2	78,9	3,00	130,4	5685	563	0,31	3041
167,5	20,0	120	33,8	78,3	3,12	111,9	5970	576	0,29	2675
167,5	20,0	120	26,1	70,9	3,08	149,4	5375	546	0,30	3070
167,5	20,0	120	27,2	69,3	2,79	113,9	6100	587	0,30	3120
167,5	20,0	120	24,5	76,3	2,78	124,0	5750	560	0,34	2890

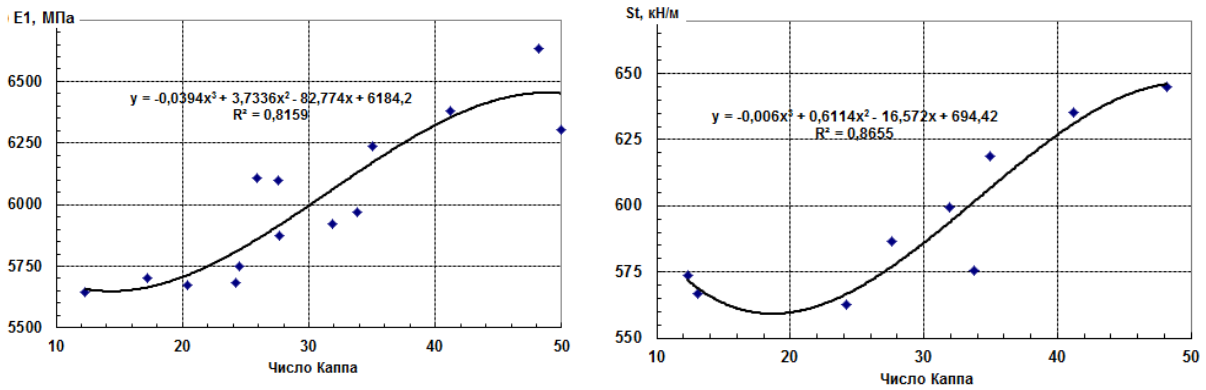
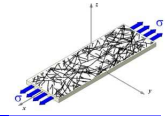


Рис. 2. Изменение основных характеристик деформативности в зависимости от числа Каппа небеленой хвойной сульфатной целлюлозы

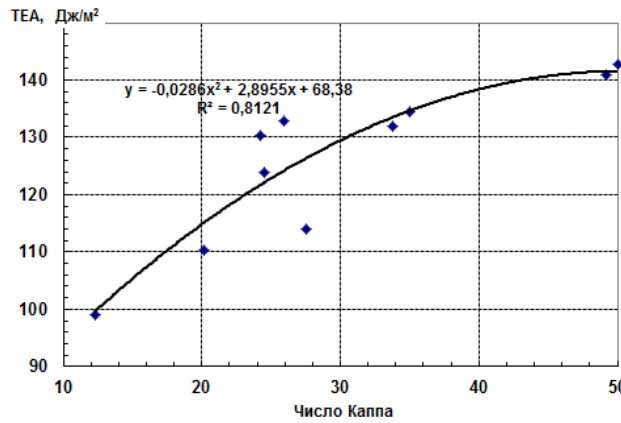


Рис. 3. Изменение TEA в зависимости от числа Каппа небеленой хвойной сульфатной целлюлозы

Зависимости влияния числа Каппа на разрушающие напряжение и деформацию носят схожий характер с зависимостями, полученными для E_1 и S_t (рис. 4).

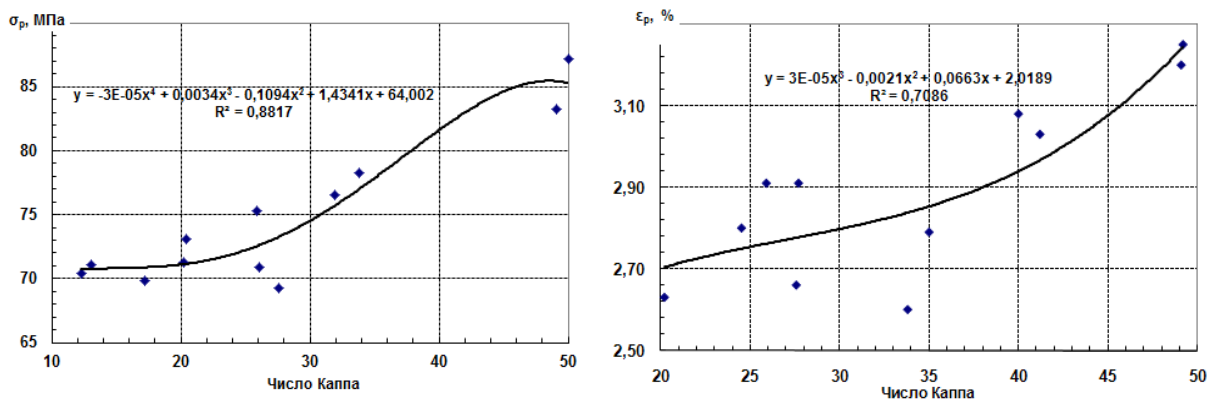
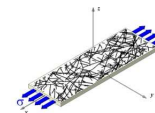


Рис. 4. Влияние числа Каппа небеленой хвойной сульфатной целлюлозы на разрушающее напряжение и деформацию разрушения



Однако необходимо отметить, что если повышение этих характеристик наблюдается для образцов с числом Каппа 25 и более единиц, то рост значений разрушающего напряжения характерен для образцов целлюлозы с числом Каппа 20 единиц, значения разрушающих деформаций начинают значительно увеличиваться для образцов с числом Каппа более 35 единиц, увеличение составляет 15 %.

На рис. 5 представлено влияние числа Каппа целлюлозы на основные характеристики жесткости при изгибе.

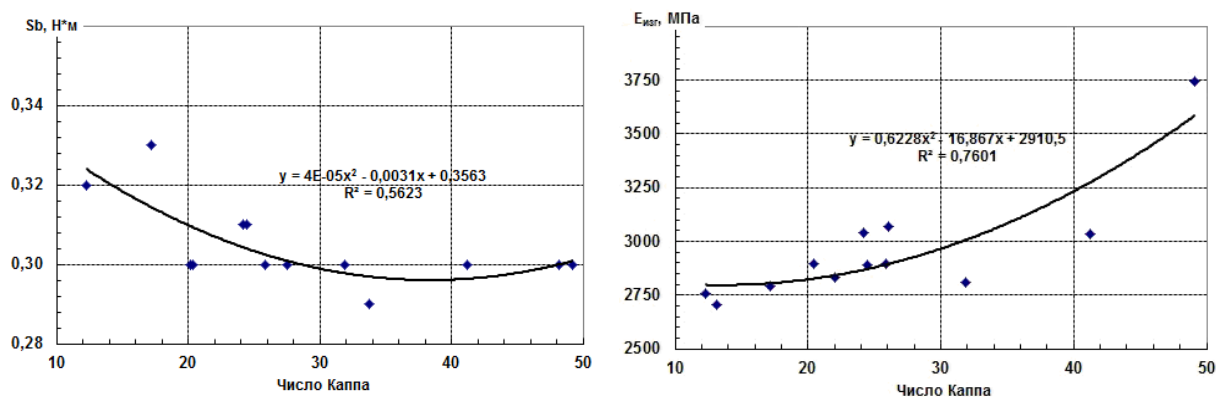
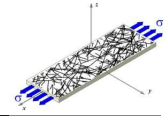


Рис. 5. Влияние числа Каппа небеленой хвойной сульфатной целлюлозы на сопротивление изгибу

На основании проведенного эксперимента можно сделать следующие выводы:

В диапазоне значений числа Каппа от 15 до 40 единиц хвойной сульфатной небеленой целлюлозы разрывная длина увеличивается от 8500 до 9500 м, сопротивление продавливанию – от 450 до 550, сопротивление раздиранию максимально на уровне 1160 мН. Дальнейшее повышение числа Каппа практически не влияет на величины R и Π , но приводит к снижению R , что обусловлено наличием дополнительного размола у жестких целлюлоз.

Повышение числа Каппа небеленой хвойной сульфатной целлюлозы приводит к повышению жесткости образца и росту значений таких характеристик деформативности, как E_1 , S_t , TEA при одновременном снижении S_b и $E_{изг}$. Основной интервал изменения этих характеристик соответствует интервалу изменения числа Каппа 15...40 единиц.



ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ВАРКИ И КЦО НА ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ, ДЕФОРМАЦИОННЫЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛИСТВЕННОЙ СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

М.Е. Романов¹, В.И. Комаров², Л.А. Миловидова², Т.А. Королева²

¹ООО «БКТ-Сервис»

²Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

Исследовано влияние условий варки и кислородно-щелочной обработки лиственной сульфатной целлюлозы на характеристики прочности.

EFFECT OF COOKING AND OXYGEN DELIGNIFICATION STAGE CONDITIONS ON FUNDAMENTAL, DEFORMATION AND STRENGTH CHARACTERISTICS HARDWOOD SULPHATE PULP

M. Romanov¹, V. Komarov², L. Milovidova², T. Koroleva²

¹BKT-Service

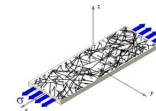
²Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

The influence of cooking and oxygen delignification stage conditions on characteristics hardwood sulphate pulp was investigated.

В настоящее время лиственная беленая сульфатная целлюлоза пользуется повышенным спросом, поскольку является основным материалом при производстве писчих и печатных видов бумаг. Такая ситуация заставляет предприятия искать возможности увеличения объемов производства этого вида полуфабриката. Одним из путей увеличения выработки целлюлозы по варке может быть повышение доли березовой древесины в составе древесного сырья. В связи с этим целью нашей работы было установить влияние условий варки и КЦО на характеристики целлюлозы.

Технология производства лиственной белой целлюлозы с включением ступени кислородно-щелочной обработки позволяет использовать целлюлозу после варки с числом каппа 17...19. Результаты работы [1] показали, что уровень числа каппа целлюлозы 17...19 ед. может быть получен по нескольким режимам варки при использовании в качестве сырья смеси древесины березы и осины в соотношении 70:30 соответственно. Для всех приведенных режимов варки [1] не было выявлено ухудшения избирательности варочного процесса.

Для более полной оценки качества образцов целлюлозы были определены фундаментальные, прочностные и деформационные характери-



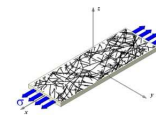
ки. Для проведения испытаний были изготовлены отливки массой 75 г/м^2 при степени помола 30 ШР. Результаты определения приведены в табл. 1.

Принятые условные обозначения: L_0 – нулевая разрывная длина, м; $F_{\text{св}}$, – силы связи, МПа; ρ – плотность отливки, г/см^3 ; E_1 – начальный модуль упругости, МПа; TEA – энергия разрушения образца, Дж/м^2 ; S_t – жесткость при растяжении, кН/м; σ_p – разрушающее напряжение, МПа; ε_p – деформация разрушения, %; L – разрывная длина, м; R – сопротивление раздиранию, мН; Π – сопротивление продавливанию, кПа.

Таблица 1. Влияние условий варки на характеристики лиственной сульфатной целлюлозы

Характеристика	Режим варки							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Условия и результаты варки								
Концентрация варочного щелока, г/л Na_2O	58	58	58	58	58	60	60	62
Температура, °С	153	156	156	159	159	153	156	156
Продолжительность стоянки, мин	80	60	80	40	60	60	40	40
Число капша	17,6	18,9	18,1	18,3	17,5	17,5	17,2	16,2
Вязкость, мг/л	950	950	1000	1100	900	1000	1100	1100
Фундаментальные свойства:								
L_0 , м	17000	16700	16700	16000	15600	16500	13600	13600
$F_{\text{св}}$, МПа	3,53	4,20	4,17	3,85	3,51	4,32	3,73	3,45
ρ , г/см^3	0,82	0,83	0,85	0,85	0,84	0,83	0,84	0,82
Деформационные свойства:								
E_1 , МПа	6600	6600	7600	6700	6800	6400	–	6400
TEA , Дж/м^2	103	109	120	126	127	113	–	115
ε_p , %	2,56	2,61	2,73	2,85	2,70	3,18	–	2,80
σ_p , МПа	72,8	73,2	75,0	75,2	78,1	69,3	–	68,7
S_t , кН/м	570	580	620	580	580	540	–	540
Прочностные свойства:								
L , м	8600	8800	9100	8900	8300	8600	8300	8200
R , мН	340	400	340	410	350	350	350	350
Π , кПа	690	730	700	730	714	610	630	680

Как видно из представленных данных, все образцы целлюлозы имели высокий уровень значений сил связи $F_{\text{св}}$, характерный для лиственной целлюлозы. Четкой зависимости изменения этого показателя от условий варки в данном случае не прослеживается. Можно отметить лишь некоторое



снижение $F_{св}$ для образца целлюлозы, полученного при варке с начальной концентрацией активной щелочи 62 г/л в ед. Na_2O и температуре варки 156 °С.

Повышение температуры варки до 156 °С при начальной концентрации активной щелочи 60...62 г/л (табл. 1, режимы 7,8) и проведении варки при начальной концентрации активной щелочи 58 г/л и температуре 159 °С (режим 5) сопровождается некоторым снижением прочности волокна L_0 .

Снижение величины разрывной длины L зафиксировано только для образцов целлюлозы, полученных при варках на температуре 156 °С с высокой концентрацией активной щелочи 60 и 62 г/л и на максимальной температуре 159 °С с начальной концентрацией активной щелочи 58 г/л. Для остальных образцов целлюлозы изменение разрывной длины находилось в пределах ошибки определения.

Изменение показателей сопротивления раздиранию и продавливанию также были незначительными и находились в пределах ошибки определения.

Изменение деформационных характеристик образцов целлюлозы, в основном, находилось в пределах установленных ошибок эксперимента.

Некоторое снижение начального модуля упругости E_1 и жесткости при растяжении S_t зафиксировано только для образцов, полученных при проведении варки на температуре 156 °С и начальной концентрации активной щелочи 60 и 62 г/л в ед. Na_2O . Для этих же образцов, как уже было отмечено, снижается разрывная длина. Заметное повышение начального модуля упругости E_1 для образца целлюлозы, полученного при варке на температуре 156 °С, начальной концентрации активной щелочи 58 г/л и максимальной продолжительности стоянки 80 мин (режим 3) объясняется повышением плотности отливки ρ и, следовательно, снижением толщины отливки. Этот факт подтверждается снижением сопротивления продавливанию Π .

С повышением начальной концентрации активной щелочи снижается также жесткость при растяжении S_t .

Для оценки влияния кислородно-щелочной обработки на изменение деформационных, прочностных, фундаментальных характеристик для образца целлюлозы с числом каппа 18 ед полученным из смеси древесины березы и осины в соотношении 70:30 соответственно, были проведены одно- и двух- ступенчатые обработки по режимам представленным в табл. 2.

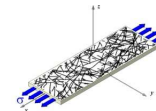


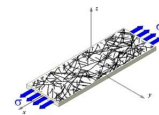
Таблица 2. Режимы кислородно-щелочных обработок

Вид обработки	Параметры обработки			
	Расход щелочи, кг/т	Температура, °С	Продолжительность, мин	Давление, МПа
Одноступенчатая КЩО	20	95...100	60	0,4
Двухступенчатая КЩО:				
1-я ступень	25	80	30	0,8
2-я ступень	25	100	60	0,4

Таблица 3. Влияние режима КЩО на свойства лиственной сульфатной целлюлозы

Характеристика	Режим обработки		
	Небеленая целлюлоза	Одноступенчатая КЩО	Двухступенчатая КЩО
Число каппа	18,4	10,7	9,0
Содержание лигнина, %	0,52	0,23	0,11
Фундаментальные свойства:			
L_0 , м	16500	16700	16600
$F_{св}$, МПа	4,07	2,57	2,13
ρ , г/см ³	0,84	0,60	0,48
Деформационные свойства:			
E_1 , МПа	6970	2150	1410
TEA , Дж/м ²	118	173	255
ϵ_p , %	2,73	2,69	3,57
σ_p , МПа	74,5	51,2	40,8
S_t , кН/м	590	520	490
Прочностные свойства:			
L , м	8900	8500	8550
R_a , мН	380	640	700
Π_0 , кПа	720	330	390
Структурно-морфологические свойства:			
средняя длина, мм	0,95	0,93	0,92
средняя ширина, мкм	23,4	22,6	22,5
средний фактор формы	87,0	85,4	85,8
грубость	71,0	–	70,1
число изломов на мм	0,76	0,92	0,90
число изломов на волокно	0,66	0,79	0,77
средняя длина сегмента, мм	0,67	0,61	0,62

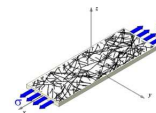
Для определения характеристик изготавливались отливки массой 1 м² 75 г при степени помола 30 °ШР. Для получения более полных данных по фундаментальным характеристикам целлюлозы был использован анализатор волокна FiberTester. Результаты представлены в табл. 3.



После проведения одноступенчатой КЩО число каппа снизилось на 43 % при снижении содержания лигнина на 55,8 %. Для 2-х ступенчатой КЩО эффективность по снижению числа каппа составила 51 % при снижении содержания лигнина 78,8 %. Разница в эффективности по снижению числа каппа и снижению содержания лигнина, скорее всего, объясняется присутствием в целлюлозе групп гексенурановых кислот.

Как следует из представленных данных, в результате проведения КЩО произошло существенное снижение межволоконных сил связи, снижение плотности, причем для 2-х ступенчатой КЩО это снижение было более высоким. При этом величина нулевой разрывной длины практически не изменилась. В результате значение разрывной длины для целлюлозы после одно- и двух- ступенчатой КЩО остались практически такими же, какими были для небеленой целлюлозы. Но существенно возросло сопротивление раздиранию и снизилось сопротивление продавливанию (табл. 3). Снижение сил связи привело к существенному снижению модуля упругости в зоне упругих деформаций, т.е. к повышению способности к деформациям. Соответственно произошло снижение характеристики жесткости при растяжении S_t . Повышение способности к деформациям привело, как и следовало ожидать, к увеличению работы разрушения в тем большей степени, чем больше было снижение значений сил связи или величины сил связи. В тоже время снижение сил связи привело к снижению напряжения разрушения σ_p . Кислородно-щелочная обработка привела к незначительному снижению средней длины и средней ширины волокна, одновременно произошло снижение фактора формы, что хорошо согласуется со снижением сопротивления продавливанию, т.е. характеристики в значительной степени, зависящей от сил связи. Несмотря на существенное снижение содержания лигнина в целлюлозе грубость волокна практически не изменилась. Кислородные обработки привели к повышению числа изломов, т.е. волокно более изогнутое, и соответственно к снижению средней длины сегмента.

Таким образом, при проведении варки лиственной щепы, содержащей 70 % березы и 30 % осины в интервале температур 153...159 °С и начальной концентрации активной щелочи 58 г/л в ед. Na_2O для образцов целлюлозы с числом Каппа 17...19 отсутствует влияние изменения условий варки на фундаментальные, деформационные и прочностные характеристики. Некоторое снижение прочности волокна, разрывной длины и некоторых деформационных характеристик (E_1 , S_t) происходит при одновре-

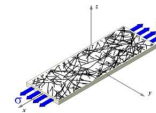


менном повышении температуры варки до 156 °С и начальной концентрации активной щелочи до 60...62 г/л.

Проведение КЦО привело к существенному снижению сил связи, и соответственно к повышению сопротивления раздирания и снижению сопротивления продавливания. При этом возросла способность волокна к деформациям, что выражается в снижении модуля упругости E_1 и жесткости при растяжении S_t . Кроме того КЦО приводит к небольшому снижению средней длины и средней ширины волокна и увеличению числа изломов при соответствующем снижении фактора формы.

Список литературы

1. Севастьянова, Ю.В. Особенности варки лиственной сульфатной целлюлозы [Текст]/Ю.В. Севастьянова, Т.А. Королева, Л.А. Миловидова, Г.В. Комарова, В.И. Комаров // В сб. докладов Междун. науч.-техн. конфер. «Проблемы развития Российской целлюлозно-бумажной промышленности», 25-28 ноября 2003 г. Москва – Черноголовка: РИО ИПХФ РАН, 2003. – С. 65-68.



СРАВНЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУЛЬФАТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ НОРМАЛЬНОЙ, УСЫХАЮЩЕЙ И СУХОСТОЙНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Г.Е. Коротаев, **В.И. Комаров**, Ю.В. Севастьянова

Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

Изучение деформационных и прочностных свойств сульфатной целлюлозы, полученной из здоровой, усыхающей и сухостойной древесины проводилось с целью исследования возможности использования фаутной древесины в ЦБП. Прочностные характеристики целлюлозы из сухостойной и усыхающей древесины незначительно ниже, чем у образцов целлюлозы, полученных из здоровой древесины.

COMPARISON OF DEFORMATION AND STRENGTH CHARACTERISTICS OF SOFTWOOD KRAFT PULP, OBTAINED FROM NORMAL, DYING AND DEAD WOOD

G. Korotaev, **V. Komarov**, Y. Sevastyanova

Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

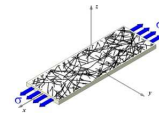
The study of deformation and strength properties of kraft pulp, obtained from healthy, decaying and dead wood was carried out to investigate the possibility of using low quality wood in the pulp and paper industry. Strength properties of pulp from decaying and dead wood slightly lower than those of cellulose samples obtained from healthy wood

Поскольку в настоящее время перед производителями бумаги и картона стоит проблема в недостатке сырья для производства, использование сухостойной и усыхающей древесины очень актуально. Так как в Архангельской области ее запасы очень велики, возможно ее использование в смеси со здоровой древесиной, что может сократить затраты на производство.

Целью исследовательской работы является сравнение деформационных и прочностных характеристик сульфатной целлюлозы, полученной из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины.

Для достижения поставленной цели были реализованы следующие задачи:

- получение целлюлозы из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины;
- сравнение структурно-размерных и фундаментальных характеристик образцов целлюлозы, полученных из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины;



– сравнение деформационных и прочностных свойств целлюлозы из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины;

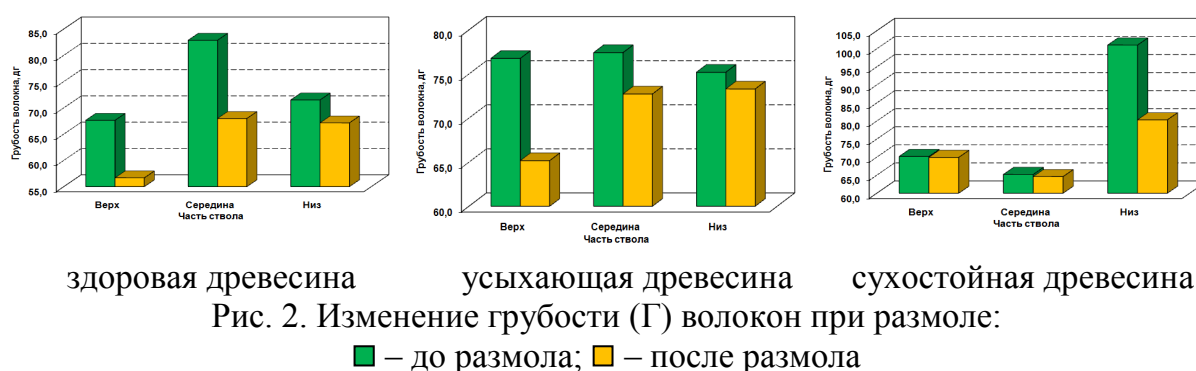
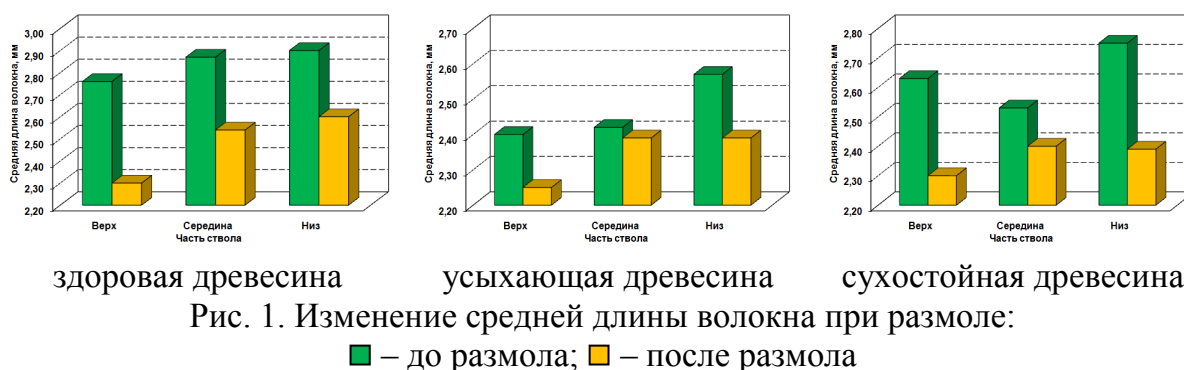
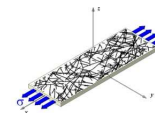
При поддержке Министерства природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области были получены образцы нормальной, усыхающей и сухостойной ели произрастающей на одной делянке при одинаковых условиях. Для достижения поставленной цели в производственных условиях ДПЦ-4 ОАО «Архангельский ЦБК» были получены образцы щепы из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины на рубительной машине «ННҚ». Кроме того, интересно было исследовать целлюлозу, полученную из вершины, середины и комля ствола. Щепка фракционировалась согласно ГОСТ, на фракционаторе «АЛГМ-3», для варки использовалась смесь фракций сита № 10 и 20.

Для предотвращения влияния факторов варки на выход и свойства получаемой целлюлозы режимы варок были выбраны для всех образцов щепы одинаковые: температура варки – 165 °С, гидромодуль – 3; расход активной щелочи – 20 %; продолжительность варки – 2 часа. В ходе эксперимента получены целлюлозы с различным числом Каппа от 24 до 32.

Отметим, что выход целлюлозы из здоровой древесины больше примерно на 2 % по всей длине ствола по сравнению с образцами усыхающей и сухостойной ели. Наряду с этим, необходимо выделить различную избирательность процесса делигнификации для здоровой и поврежденной древесины: число Каппа образцов целлюлоз, полученных из усыхающей древесины выше на 4...7 % (исключение низ ствола), а для целлюлоз из сухостойной древесины эта разница составляет от 10 до 14,5 %.

Согласно действующим ТУ на хвойную сульфатную небеленую целлюлозу показатели прочности определялись в отливках массой 1 м² 75 г из целлюлозы размолотой до 30 °ШР. На стадии изготовления отливок были определены основные структурно-размерные характеристики и фундаментальные свойства полученных образцов целлюлозы до размола и при заданной степени помола. Результаты исследования представлены на рис. 1.

Необходимо отметить, что по структурно-размерным характеристикам полученные образцы целлюлозы отличаются незначительно. Наибольшей длиной волокна обладают образцы из здоровой древесины, для них же характерно и наибольшее изменение данной характеристики от 10 до 15 %. Ширина волокон для всех образцов была практически одинакова и несущественно изменялась при размоле в среднем на 5 %. Грубость волокон находится практически на одном уровне (рис. 2).



Результаты определения собственной прочности волокна и межволоконных сил связи представлены в табл. 1. Повышенной прочностью обладают волокна, полученные из средней и нижней части стволов для всех видов древесины, при этом собственная прочность волокон целлюлозы из сухостойной древесины не ниже собственной прочности волокон из нормальной древесины.

В ходе эксперимента установлено, что наибольшей способностью к образованию межмолекулярных сил связи ($F_{св}$) обладают образцы целлюлозы из нормальной древесины, при этом значения этой характеристики одинаковы для образцов целлюлозы полученной из всех частей ствола. При этом межмолекулярные силы связи для нормальной и сухостойной древесины значительно различаются по длине ствола, для верха и середины ствола эта разница составляет 50 %, в то время как показатели для низа ствола находятся примерно на одном уровне для всех образцов целлюлозы.

На следующем этапе эксперимента исследовали влияние качества древесины на основные характеристики прочности, полученных образцов целлюлозы согласно действующим ТУ. Результаты эксперимента представлены в табл. 2 и на рис. 3.

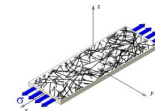


Таблица 1. Фундаментальные свойства сульфатной целлюлозы

Часть ствола	L_0 , м	$F_{св}$, МПа	ρ , г/см ³
полученная из здоровой древесины ели			
верх	18500	2,29	0,708
середина	18500	2,49	0,707
низ	16600	2,14	0,699
полученная из древесины усыхающей ели			
верх	15900	1,51	0,730
середина	16300	1,85	0,730
низ	14900	1,64	0,748
полученная из сухостойной древесины ели			
верх	15700	1,07	0,706
середина	18250	1,27	0,709
низ	18000	2,40	0,727

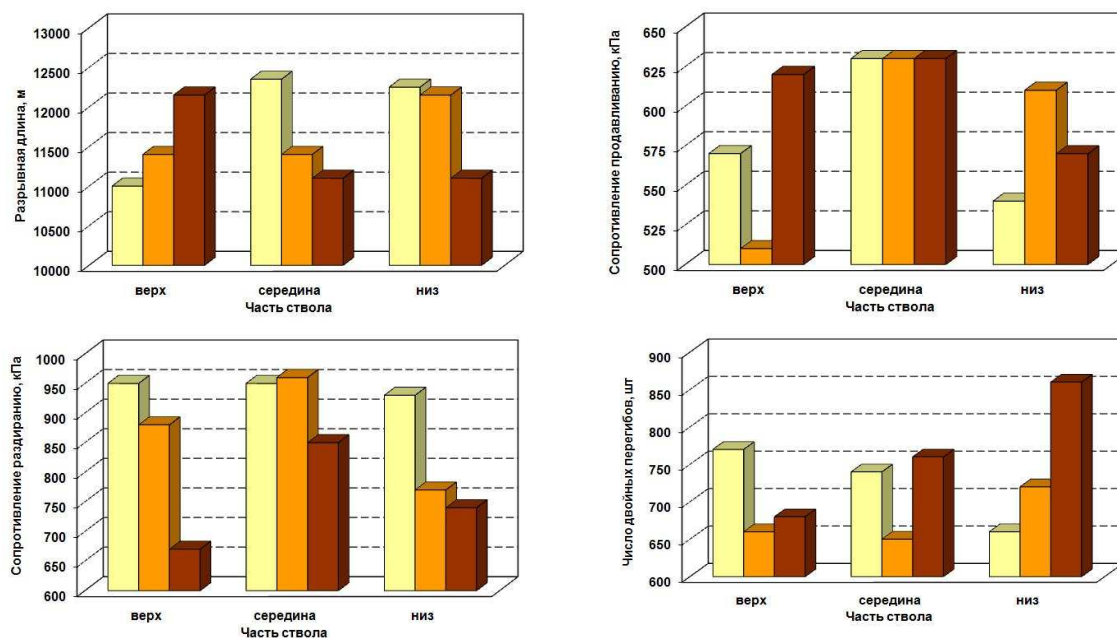
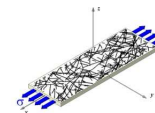


Рис. 3. Влияние качества древесины на основные характеристики прочности хвойной сульфатной целлюлозы, полученной из: □ – нормальной древесины; ■ – усыхающей древесины; ■ – сухостойной древесины

Установлено, что разрывная длина образцов целлюлозы (L), полученных из сухостойной и усыхающей древесины незначительно отличается от значений этой характеристики целлюлозы, полученной из здоровой древесины. Сопротивление продавливанию (Π) во всех полученных образцах целлюлозы находятся примерно на одном и том же уровне. Существенные отличия получены для сопротивления раздиранию (R) образцов целлюлозы из сухостойной древесины – значения R ниже на 20...32 %.



На следующем этапе эксперимента проводилось исследование деформационных характеристик образцов целлюлозы полученных из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины. Результаты эксперимента представлены в табл. 2.

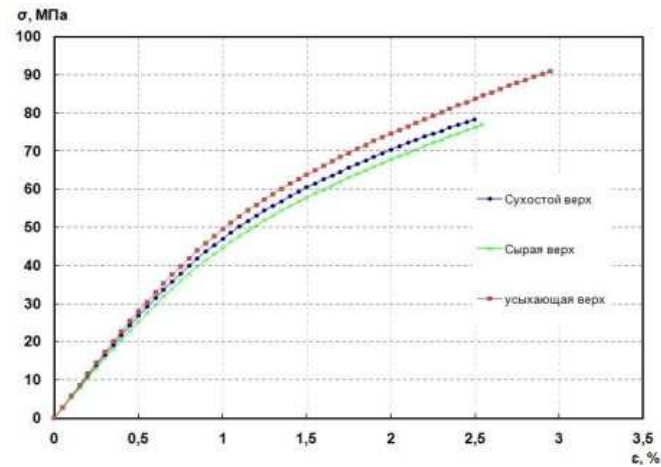
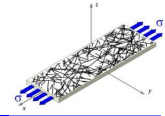
Таблица 2. Влияние качества древесины на основные деформационные свойства сульфатной целлюлозы

Часть ствола	S_t , кН/м	TEA , МПа	σ_p , МПа	ε_p , %
полученная из здоровой древесины ели				
верх	605,3	152,4	84,3	2,77
середина	603,3	161,8	87,3	2,86
низ	586,4	132,4	77,0	2,54
полученная из древесины усыхающей ели				
верх	618,6	176,3	91,0	2,95
середина	628,5	149,4	83,2	2,65
низ	628,5	149,4	82,2	2,65
полученная из сухостойной древесины ели				
верх	582,4	125,9	78,3	2,49
середина	573,3	137,1	78,6	2,67
низ	588,6	158,2	88,2	2,85

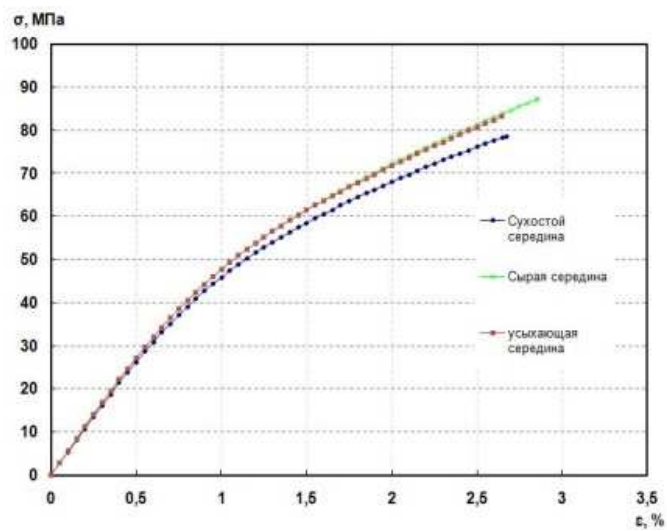
В ходе эксперимента не выявлено существенных отличий для характеристик жесткости (S_t) целлюлозы, полученной из нормальной, усыхающей и сухостойной древесины по всей длине ствола. При этом максимальной жесткостью при растяжении обладали образцы из усыхающей древесины. У образцов целлюлозы полученных из сухостойной древесины наблюдается увеличение разрушающего напряжения от верха к низу ствола, в то время как у нормальной древесины оно снижается от вершины к комлю.

Для наиболее наглядного представления об изменении деформационных характеристик целлюлозы построены зависимости напряжения – деформации, представленные на рис. 4.

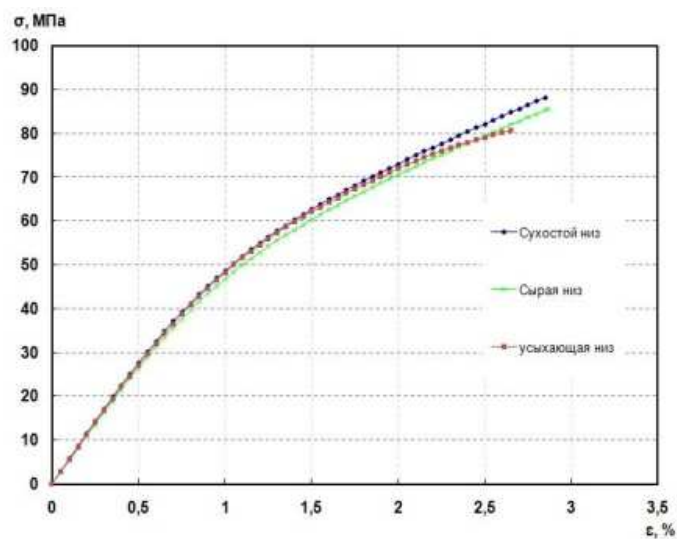
По данным рисунка можно сделать вывод о том, что деформационные характеристики наиболее сильно отличаются для образцов целлюлозы полученных из вершинной части ствола, а для образцов целлюлозы из срединной и комлевой части стволов значение разрушающих напряжения и деформации практически одинаково. Эти различия в значениях обуславливаются существенной разницей в числе Каппа целлюлоз.



а

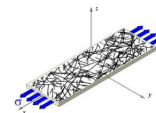


б



в

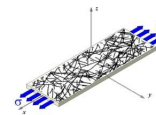
Рис. 4. Зависимости « σ – ϵ » для образцов целлюлозы, полученных из:
а – верха; *б* – середины; *в* – низа ствола



На основании проведенного эксперимента можно сделать следующие выводы:

Прочностные характеристики целлюлозы из сухостойной и усыхающей древесины незначительно ниже, чем у образцов целлюлозы, полученных из здоровой древесины: разрывная длина снижается примерно на 8...10 %, сопротивление продавливанию одинаково для всех образцов целлюлоз, установлено, что сопротивление раздиранию сухостойной древесины ниже на 20 %.

Деформационные характеристики наиболее сильно отличаются для образцов целлюлозы полученных из вершинной части ствола, а для образцов целлюлозы из срединной и комлевой части стволов значение разрушающих напряжения и деформации практически одинаково. Эти различия обуславливаются существенной разницей в числе Каппа образцов целлюлозы.



ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ И ПОРОДНОГО СОСТАВА СЫРЬЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ И ЖЕСТКОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУЦЕЛЛЮЛОЗЫ

М.Л. Демидов, А.В. Гурьев

Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

Работа содержит обобщенные данные о прочности и жесткости различных разновидностей полуцеллюлозы с позиций ее потенциального использования в композициях крафт-лайнера и флютинга.

INFLUENCE OF PRODUCTION METHOD AND SPECIES COMPOSITION OF RAW-MATERIAL ON STRENGTH AND STIFFNESS CHARACTERISTICS OF SEMI-CHEMICAL PULP

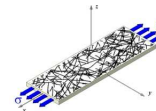
M.L. Demidov, A.V. Guriev

Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

The paper contains generalized data on the strength and stiffness of different types of semi-chemical pulp from the standpoint of its potential use in a compositions of kraft liner and fluting

Полуцеллюлоза, как один из базовых полуфабрикатов для изготовления флютинга и крафт-лайнера, должна иметь специфический комплекс свойств, обусловленных требованиями к тарному картону. С одной стороны, это максимально высокий уровень сопротивления сжатию вдоль плоскости листа (жесткости), выражаемого при помощи характеристик RCT , SCT , CMT , CCT и др. С другой – достаточную прочность, оцениваемую такими показателями как сопротивление продавливанию, разрыву и способность к растяжимости. Уровень значений указанных характеристик зачастую сопоставляется с качеством нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы, получаемой из лиственных пород древесины.

В связи с тенденцией к наращиванию объемов производства тарного картона требуется и увеличение выработки полуцеллюлозы. Однако, нейтрально-сульфитная варка имеет ряд технико-экономических ограничений, которые связаны с необходимостью получения моносulfита натрия из серы либо, а также с затруднениями при регенерации отработанного варочного раствора. При совместной регенерации с черными щелоками сульфатного производства неизбежно повышение сульфидности белого щелока. Кроме того, красный щелок имеет более низкую теплотворную



способность и его сжигание не достаточно эффективно с энергетической точки зрения. Альтернативным вариантом производства полуцеллюлозы является варка с зеленым щелоком.

Процесс варки полуцеллюлозы с зеленым щелоком известен с середины прошлого века, реализован в ряде промышленных технологий (например, компании *Andritz*). Вместе с тем данные о свойствах подобных полуфабрикатов существенно разнятся, поскольку полуцеллюлоза не является товарным продуктом и вырабатывается из сырья ареала произрастания в непосредственной близости от места производства, как правило, смешанного состава. В связи с этим основной целью наших исследований было сравнение способов получения полуцеллюлозы и качества полуфабрикатов в зависимости от породы древесины. Для этого проведены серии лабораторных варок нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы и полуцеллюлозы на зеленом щелоке по режимам, представленным в табл. 1.

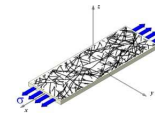
Таблица 1. Режимы получения полуцеллюлозы в лабораторных условиях

Способ варки	Нейтрально-сульфитный	С зеленым щелоком
Гидромодуль	3:1	3:1
Расход активных реагентов, % от а.с.д.	8 (в ед. Na_2CO_3)	8 (в ед. Na_2O)
Температура варки, °С	175	168
Продолжительность подъема температуры, мин	35	–
Продолжительность стоянки на конечной температуре, мин	25	30

Результаты варок в зависимости от способа получения и породы древесины представлены в табл. 2.

Таблица 2. Обобщенные результаты варок нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы и полуцеллюлозы с зеленым щелоком

Способ варки	Порода древесины	Выход, %	Число Каппа	Показатели качества полуцеллюлозы				
				L , м	Π , кПа	RCT , Н	SCT , кН/м	CMT_{30} , Н
Нейтрально-сульфитный	береза	71,5	102	8700	490	305	4,80	210
	осина	73,5	101	8300	500	310	5,00	225
С зеленым щелоком	береза	73,7	114	9300	540	330	5,55	250
	осина	74,5	115	8900	510	330	5,30	245



Результаты варок показали, что полуфабрикат, полученный способом варки с зеленым щелоком, обеспечивает более высокий выход и соответствующий уровень характеристик качества. Кроме того, установлено, что варки березы и осины, с точки зрения свойств полуфабрикатов, протекают практически одинаково.

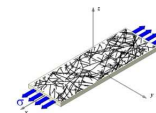
Для получения дополнительных сведений о полуфабрикатах каждую пробу после роспуска и после размола до 30 °ШР исследовали с помощью анализатора свойств волокон *Fiber Tester* [1] (табл. 3).

Таблица 3. Основные структурно-морфологические характеристики волокон полуцеллюлозы, полученной из березовой и осиновой древесины

Способ варки	Порода древесины	Степень помола, °ШР	Средняя длина, мм	Средняя ширина мкм	Фактор формы, %	Грубость, мкг	Количество изломов на волокне
Нейтрально-сульфитный	береза	исх.	1,12	29,7	90,3	173	0,47
		30	0,99	28,1	92,2	62	0,26
	осина	исх.	1,08	29,7	90,7	170	0,43
		30	0,94	27,6	92,5	74	0,24
С зеленым щелоком	береза	исх.	1,09	30,9	89,5	148	0,52
		30	0,96	29,2	90,7	77	0,38
	осина	исх.	1,07	31,1	89,4	162	0,49
		30	0,94	29,4	90,9	72	0,36

Результаты измерения основных структурно-морфологических характеристик волокон полуцеллюлозы из березы и осины, полученных различными способами варки свидетельствуют лишь о некоторых отличиях. В частности волокна полуфабрикатов, выделенные с использованием зеленого щелока, в меньшей степени теряют грубость в результате размола, а также сохраняют значительное количество изломов. Последнее косвенно указывает на существенно лучшую устойчивость таких волокон к укорочению и к сохранению их гибкости.

С учетом изложенных результатов в дальнейшем проведены серии варок полуцеллюлозы с зеленым щелоком из осины с добавками как березовой древесины, так и еловой древесины из усыхающих лесов. Использование последней является остро выраженной проблемой в Северных регионах России лесного массива в связи с расширяющимся биопоражением, недостаточно развитой инфраструктурой лесозаготовок и транспортировки



сырья [2]. Спелую и сушающую древесину необходимо перерабатывать с получением продуктов с высокой добавочной стоимостью. Древесину сушающих лесов возможно использовать для производства сульфатной небеленой целлюлозы, направляемой потребителям в товарном виде.

Вместе с тем, с нашей точки зрения, есть альтернативное нетрадиционное решение – добавка хвойной древесины сушающих лесов (ДУЛ) при выработке полуцеллюлозы (в нашем случае преимущественно из осины с использованием зеленого щелока). При реализации такого подхода появляется возможность косвенной замены части целлюлозы высокого выхода в композиции флютинга и крафт-лайнера, а также регулирования физико-механических свойств полуцеллюлозы на стадии ее получения.

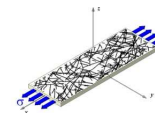
Данные о выходе, степени делигнификации, характеристиках прочности и сопротивления сжатию лабораторных образцов полуцеллюлозы из смесей различных пород представлены в табл. 4.

Таблица 4. Обобщенные результаты варок полуцеллюлозы с зеленым щелоком из осиновой древесины с добавками других пород

Добавка березы, %	Добавка ДУЛ, %	Выход, %	Число Каппа	Показатели качества полуцеллюлозы				
				L , м	Π , кПа	RCT , Н	SCT , кН/м	CMT_{30} , Н
–	–	74,5	115	8900	510	330	5,30	245
10	–	77,5	125	7800	490	370	5,25	265
20	–	77,6	127	8200	510	340	5,20	270
30	–	78,3	131	8000	490	340	4,95	275
–	10	75,8	117	9200	510	320	5,10	220
–	20	76,8	121	9300	500	315	4,90	205
–	30	77,9	126	9500	510	305	5,00	180

Установлено, что при добавлении к осиновому сырью, как березы, так и еловой древесины сушающих лесов повышается выход полуфабриката и число Каппа. При этом добавка березовой древесины приводит к существенному повышению таких характеристик сопротивления сжатию полуцеллюлозы, как RCT и CMT_{30} и, напротив, вызывает снижение уровня сопротивления сжатию короткого участка образца по методу SCT . При увеличении добавки хвойной древесины сушающих лесов возрастают прочностные характеристики полуфабриката, но в то же время снижаются характеристики жесткости.

Для удобства сопоставления физико-механических свойства полуфабрикатов, полученных в различных условиях, на рис. 1 и 2 основные ха-



Характеристики прочности и жесткости представлены в относительных единицах. При этом за 100 % приняты характеристики качества полуцеллюлозы из осины, полученной по способу варки с зеленым щелоком.

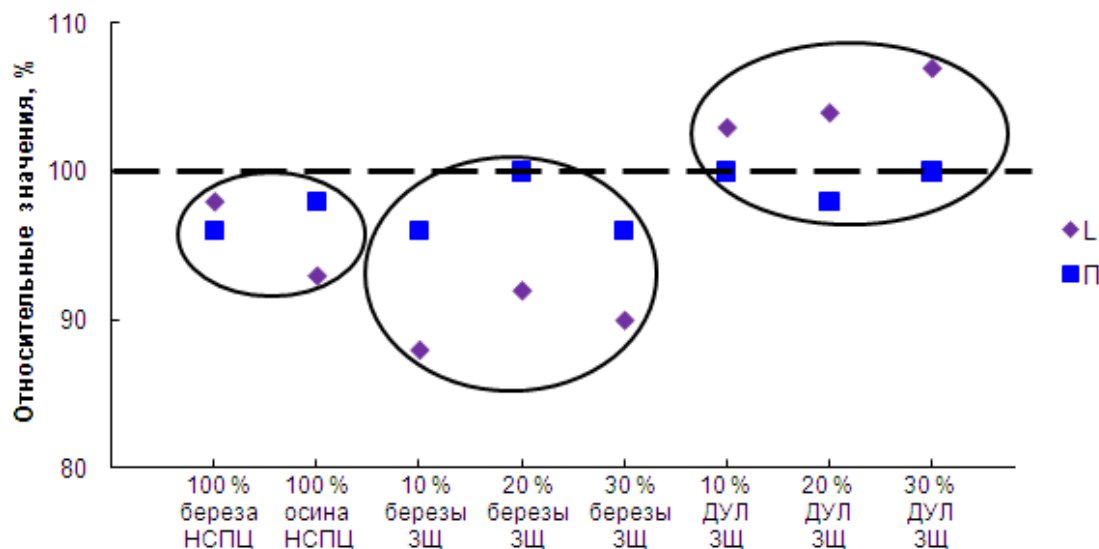


Рис. 1. Характеристики прочности полуфабрикатов

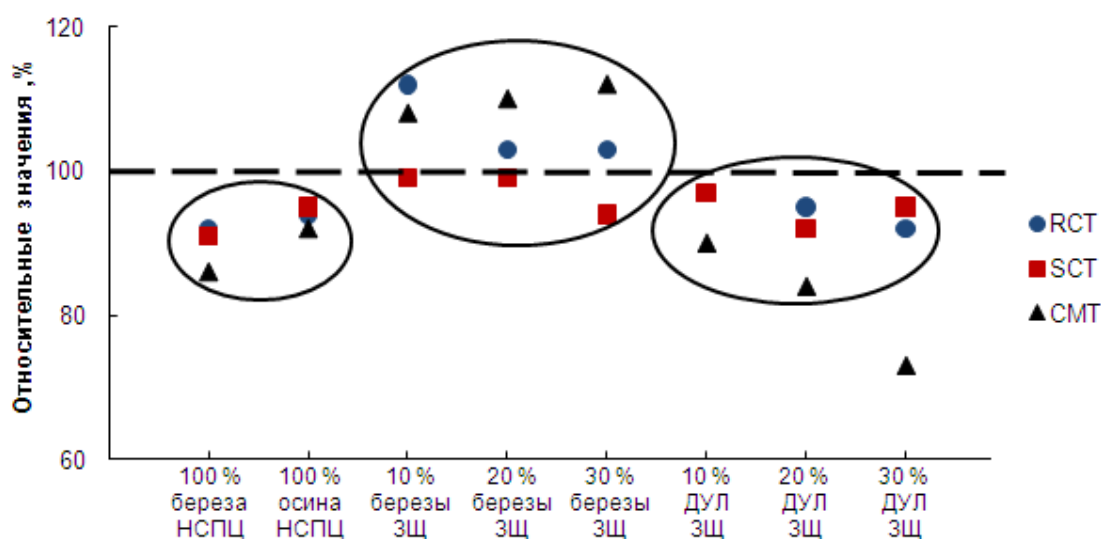
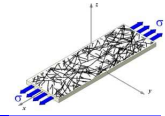


Рис. 2. Характеристики жесткости полуфабрикатов

Полученные данные достаточно четко группируются на три области значений, показывающих, что для повышения механической жесткости (сопротивления сжатию) полуцеллюлозы из осины на варку следует добавлять древесину березы. Добавка хвойной щепы из древесины усыхающих лесов позволяет поддерживать и повышать прочность полуфабриката, но показатель жесткости при этом в целом сохраняются на уровне, характер-



ном для нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы из отдельных лиственных пород.

Результаты, полученные в ходе эксперимента, позволяют сделать следующие заключения.

1) Образцы полуцеллюлозы, полученные способом варки с зеленым щелоком, имеют высокий выход и не уступают по качеству классической нейтрально-сульфитной полуцеллюлозе.

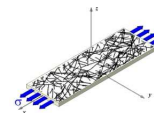
Особое внимание следует обратить на высокий уровень характеристик качества полуцеллюлозы из осины, так как считается, что волокна этой породы обладают более низкой прочностью и бумагообразующими свойствами.

2) Полуцеллюлоза из смеси осиновой и березовой древесины обеспечивает высокие характеристики жесткости полуфабриката, что является важным критерием при изготовлении тарного картона.

3) Образцы полуцеллюлозы, полученные в лабораторных условиях из осины с добавкой хвойной древесины усыхающих лесов, имеют необходимый выход и высокую прочность, что дает возможность снизить затраты на производство, благодаря повышению содержания полуцеллюлозы в композиции тарного картона.

Список литературы

1. Х. Карлссон. Гид по волокну. Анализ волокна и его применение в ЦПП. Справочное руководство. – Лорентцен и Веттр АБ. – Швеция. – 2008. – 118 с.
2. Варфоломеев Ю.А. Модернизация производства переработки еловой древесины с биоповреждениями // ИВУЗ. «Лесной журнал» – 2010. – №4. – С. 142-147.



АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПРИ РАСЧЕТЕ ВЯЗКОСТИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННОГО ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Т.А. Королева, Н.А. Онохина

Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск, Россия

Контроль качества целлюлозы на промежуточных стадиях производства беленой целлюлозы варки и отбелики может осуществляться методом определения вязкости раствора целлюлозы. Автоматизация обработки данных при расчете характеристической вязкости целлюлозы позволяет сократить общую продолжительность процесса определения вязкости целлюлозы.

AUTOMATED DATA PROCESSING TO CALCULATE THE VISCOSITY OF THE CELLULOSE WITH THE USE OF MODERN PROGRAMMING LANGUAGE

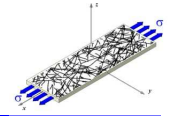
T. Koroleva, N. Onohina

Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia

Quality control of cellulose in the intermediate stages of production of bleached pulp cooking and bleaching can be carried out by determining the viscosity of the cellulose solution. Automation of data in calculating the intrinsic viscosity of the cellulose reduces the total duration of the process of determining the viscosity of cellulose.

Сегодня для предприятий целлюлозно-бумажной промышленности актуальной задачей является увеличение производительности беленой целлюлозы. Реконструкция оборудования на действующих предприятиях и введение новейших технологий, сопровождаемых современным программным обеспечением, позволяют получать экологически безопасный, высококачественный полуфабрикат. Многостадийный технический процесс производства беленой целлюлозы ограничен во времени и требует динамичного контроля качества целлюлозы на промежуточных стадиях процессов варки и отбелики. К одним из важнейших требований к качеству товарной целлюлозы относится соответствие характеристик механической прочности целлюлозы ГОСТ.

Определение стандартных характеристик механической прочности целлюлозы: разрывная длина, сопротивление раздиранию, число двойных перегибов на промежуточных стадиях производства целлюлозы достаточно дорогостоящий, продолжительный и технически трудновыполнимый процесс. Альтернативой для решения этой проблемы может быть опреде-



ление вязкости целлюлозы. Ряд исследователей в своих работах [1-5] утверждают, что существует корреляция между механической прочностью блененной целлюлозы и деградацией углеводов, которая характеризуется вязкостью раствора целлюлозы. Для проведения определения вязкости целлюлозы на промежуточных стадиях производства не требуется дорогостоящее техническое сопровождение, а продолжительность определения занимает не более 60 минут с учетом подготовки проб целлюлозы.

Процедура определения вязкости раствора целлюлозы проводится вискозиметрическим методом в соответствии с требованиями международного стандарта ISO 5351/1-1981(E) [6] и скандинавского стандарта SCAN-CM 15:99 [7].

Принцип определения вязкости целлюлозы заключается в следующем: образец целлюлозы растворяют в растворе куприэтилендиамина, далее измеряют время истечения раствора целлюлозы в капиллярной трубке тест-вискозиметра и время истечения раствора куприэтилендиамина в капиллярной трубке калибровочного вискозиметра.

В стандарте SCAN-CM 15:99 вязкость целлюлозы определяется характеристической вязкостью $[\eta] = \frac{\eta_{ratio} - 1}{c}$, расчет величины, которой приводится в двух вариантах. В первом варианте расчет проводится по формуле Мартинса, во-втором – при использовании значения величины $[\eta] \cdot c$ при различных значениях η_{ratio} , приведенных в таблице.

Величина характеристической вязкости целлюлозы $[\eta] = \frac{\eta_{ratio} - 1}{c}$ в соответствии с формулой Мартинса рассчитывается по уравнению:

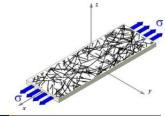
$$\log \frac{\eta_{ratio} - 1}{c} = \log[\eta] + k \cdot [\eta] \cdot c, \quad (1)$$

где η_{ratio} – относительная вязкость раствора целлюлозы; k – эмпирическая константа (для системы целлюлоза-куприэтилендиамин $k=0,13$); c – концентрация раствора, г/мл.

Относительная вязкость раствора рассчитывается по уравнению:

$$\eta_{ratio} = \frac{\eta}{\eta_0} = ht, \quad (2)$$

где η – вязкость раствора целлюлозы; η_0 – вязкость раствора растворителя – куприэтилендиамина; t – время истечения раствора целлюлозы в куприэтилендиамина, сек; h – константа, определяемая при калибровке вискозиметра, сек^{-1} .



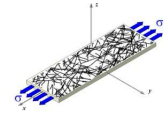
Расчет при использовании значений, приведенных в таблице стандарта, имеет следующую последовательность действий: определяется величина относительной вязкости в соответствии с уравнением 2, далее в таблице находится значение $f=[\eta] \cdot c$, соответствующее η_{ratio} , затем характеристическая вязкость целлюлозы $[\eta]$ рассчитывается по формуле f/c .

Безусловно, оба варианта расчета характеристической вязкости, достаточно продолжительны и трудоемки, основное время в расчете занимает определение величины $f=[\eta] \cdot c$. Автоматизировать обработку данных можно с помощью создания специальной программы на одном из множества, существующих языков программирования. Разработчики стандарта SCAN-СМ 15:99 предложили программу расчета на языке Бейсик по циклическому алгоритму с использованием условного оператора. Бейсик (BASIC – Beginners Allpurpose Symbolic Instruction Code) является символьным командным универсальным кодом для начинающих.

В настоящее время для создания программ (скриптов) в операционных системах семейства Microsoft Windows широко применяется современная версия языка Бейсик – Visual Basic Scripting Edition (VBS). Для обработки скрипта VBS в системе Windows существует два интерпретатора: оконный WScript и консольный CScript, оба интерпретатора – компоненты Windows Script Host.

В связи с последними усовершенствованиями операционной системы нами были выполнены преобразования программы предложенной в стандарте SCAN-СМ 15:99. Создана программа (скрипт) для расчета на языке Visual Basic Scripting Edition, в основе которой вместо условного оператора используется оператор цикла с пост условием **Do ... loop While**.

```
S=Inputbox("Введите массу навески, г")
R=Inputbox("Введите коэффициент сухости целлюлозы")
Z=Inputbox("Введите время истечения раствора")
P=Inputbox("Введите постоянную вискозиметра")
Er=P*Z
Do
E0=SQR((Er-1)/0.3 + 1/0.36)-1/0.6
Er0=1+E0*EXP(E0*0.13*LOG(10))
dEr=Er-Er0
E0=E0+dEr*EXP((-E0)*0.13*LOG(10))/(1+E0*0.13*LOG(10))
Er0=1+E0*EXP(E0*0.13*LOG(10))
dEr=ABS(dEr)
loop while dEr < 0.00002
C=S*R/50
```



$X = E0 / C$

MsgBox "Характеристическая вязкость = " & X & " мл/г, _
табличное значение= "&E0&", концентрация раствора целлюлозы_
= "&C&" г/мл"

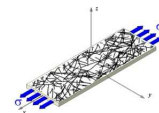
Эта программа проста в создании и применении, достаточно написать данный текст программы в текстовом редакторе Блокнот и сохранить файл с расширением *.vbs. После запуска файла на исполнение на экране появляется окно сообщения для ввода необходимых исходных данных для расчета, и в последнем окне вывода сообщения мы можем видеть величину характеристической вязкости, табличное значение и концентрацию раствора целлюлозы.

Данная программа может служить основой для создания программы на языке Visual Basic for Application, с помощью которой возможно организовать обработку данных непосредственно на странице документа Word.

Определение характеристики вязкости целлюлозы и автоматизированная обработка полученных данных позволяет за небольшой промежуток времени осуществлять контроль качества производства беленой целлюлозы на промежуточных стадиях. Непосредственно на участке варки определение вязкости целлюлозы, позволяет не только прогнозировать механическую прочность, получаемого полуфабриката, но и дает возможность эффективно скоординировать технологический режим последующего процесса отбелики.

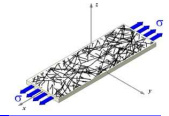
Список литературы

1. Rydholm S.A. Pulping processes / Interscience Publishers. – 1965. – P. 970-971.
2. Dillner B. / Svensk Papperstidn. – 1993. – 96(2):22.
3. Henley D. / Svensk Papperstidn. – 1960. – 63.(5):143.
4. Rydholm S.A. Pulping Processes / Interscience Publishers. – 1965. – P. 1155-1163.
5. Lennholm H. Investigations of cellulose polymorphs by ^{13}C -CP/MAS-NMR spectroscopy and chemometrics / Ph.D.Thesis, Royal Institute of Technology. – 1994.
6. INTERNATIONAL STANDARD ISO 5351/1 – 1981 (E) Cellulose in dilute solutions – Determination of limiting viscosity number
7. SCANDINAVIAN PULP, PAPER AND BOARD SCAN-CM 15:99 Viscosity in cupriethylenediamine solution

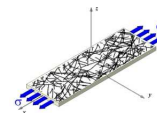


Алфавитный указатель

- Berger R. 194
Lindblad G. 78
Schreiber K. 194
Zibulski U. 136
Абрамова В.В. 95
Аким Э.Л. 24
Алимпиев Э.Л. 219
Андреева С.Л. 188
Атласов К.А. 102
Башкова И.А. 102
Безлаковский А.И. 125, 238
Белоглазов В.И. 57, 280
Бойцова Т.А. 251
Бровко О.С. 251
Ванчаков М.В. 225
Власенко В.С. 102
Воробьева Т.В. 244
Галиханов М.Ф. 154
Горжанов В.В. 167, 171
Грибовская С.Г. 195
Гурьев А.В. 57, 95, 231, 305
Демидов М.Л. 305
Дмитриева О.Б. 95
Долинская Г.И. 177
Драчев А.А. 286
Дубовый В.К. 45, 238
Дулькин Д.А. 34, 52, 116, 183, 188
Дьякова Е.В. 57, 70, 263
Евтюхов С.А. 64
Жолнерович Н.В. 195
Журавлева А.Н. 257
Иванов Г.Е. 207
Каверина А.А. 171
Казаков Я.В. 15, 88, 219, 244, 251, 257, 280
Капуцкий Ф.Н. 195
Карманова Т.Е. 142
Кашин А.Н. 167
Коваленко В.В. 238
Ковернинский И.Н. 52
Кожевников С.Ю. 52
Комаров В.И. 15, 57, 70, 110, 136, 142, 231, 263, 268, 274, 286, 292, 298
Комарова Г.В. 136
Кондаков А.В. 130
Королева Т.А. 136, 292, 311
Коротаев Г.Е. 298
Красикова А.А. 201
Крыжановский А.В. 257
Кулешов А.В. 225
Куркова Е.В. 207
Лавров И.В. 116, 160
Ларина Е.Ю. 268
Лоцманова Е.М. 64
Манахова Т.Н. 280
Махотина Л.Г. 149
Миловидова Л.А. 110, 136, 142, 231, 292
Мусина Л.Р. 154
Николаев Е.С. 40
Новожилов Е.В. 130
Носкова Е.С. 263
Овсянникова Е.А. 183
Онохина Н.А. 311
Паламарчук И.А. 251



Пенкин А.А. 171, 213
Петухова А.В. 257
Плешанов В.А. 102
Пошина Д.Н. 130
Романов М.Е. 292
Севастьянова Ю.В. 110, 116,
286, 298
Синчук А.В. 116, 160, 183
Смирнов Е.В. 130
Смирнова Е.Г. 64
Смолин А.С. 40
Соловьева Т.В. 167, 171, 213
Спиридонов В.А. 160, 183, 188
Сухов Д.А. 104
Сысоева Н.В. 121, 238, 274
Темрук В.И. 167, 213
Терентьев К.Ю. 130
Ульяненко А.Г. 102
Холмова М.А. 95, 231
Черная Н.В. 195
Чухчин Д.Г. 130
Шабиев Р.О. 40
Шиман Д.И. 195
Шуралев М.В. 274
Юха Ю.С. 78



СПОНСОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ



ОАО «Архангельский ЦБК»

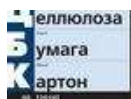


ОАО «Управляющая компания «Объединенные бумажные фабрики»



ООО «ОПТЭК»

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА



Журнал «Целлюлоза. Бумага. Картон.»



Лесной журнал. Известия высших учебных заведений

НАШИ ПАРТНЕРЫ



Завод сеток и подшипников ФАСИЛ А.О.



ООО «ИТС»



ОАО «Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат»



ПРОИЗВОДСТВО КАРТОНА

Картон для плоских слоев
гофрокартона
Бумага для гофрирования
Картон универсальный
Гофрокартон
Ящички из гофрированного картона

ПРОИЗВОДСТВО ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Целлюлоза лиственная сульфатная
беленая
Целлюлоза хвойная сульфатная
беленая

ПРОИЗВОДСТВО БУМАГИ И ТЕТРАДЕЙ

Бумага писчая, оберточная,
обложечная тетрадная
Тетради ученические, общие

ПРОИЗВОДСТВО ДВП

Плиты древесно-волоконистые твердые

Россия, 164900,
Архангельская область,
г. Новодвинск, ул. Мельникова, 1
Тел. 8 (818-52) 6-35-00
Факс 8 (818-52) 6-32-31
www.appm.ru

Отдел сбыта

Тел.: 8 (818-52) 6-31-95, 6-31-97
Факс 8 (818-52) 6-36-75, 6-31-92, 4-39-32
e-mail: sale@appm.ru

Отдел экспорта

Тел. 8 (818-52) 6-31-28
Факс 8 (818-52) 4-92-33
e-mail: export@appm.ru

Отдел маркетинга

Тел. 8 (818-52) 6-31-23
Факс 8 (818-52) 6-32-79
e-mail: market@appm.ru

Продукция сертифицирована

ГРУППА КОМПАНИЙ «ОБЪЕДИНЕННЫЕ БУМАЖНЫЕ ФАБРИКИ»



КАРТОН

ГОФРОПРОДУКЦИЯ

ДВП

**БУМАЖНО-БЕЛЫЕ
ИЗДЕЛИЯ**

- картон для плоских слоев и бумага для гофрирования
- переплетный картон ■ коробочный картон
- гофрокартон ■ гофрокороба
- плиты древесноволокнистые твердые
- тетради ученические и школьные
- блокноты ■ альбомы для рисования

«УК «Объединенные бумажные фабрики»
Телефон: (495) 514-03-24
e-mail: com@ukobf.com
www.ukobf.com

Световые и лазерно-сканирующие микроскопы от компании Carl Zeiss



We make it visible.

- Прямые микроскопы:

Axio Imager A1/M1
Axio Imager D1/Z1
Axioscope A1
Axio Imager Vario **Новинка**

- Инvertированные микроскопы:

Axio Observer A1m, D1m, Z1m

- Лазерные сканирующие микроскопы

Axio CSM 700
LSM 700
LSM 780 **Новинка**



SteREO Discovery. V20



- Стереоскопические микроскопы:

Stemi 2000 / 2000C
SteREO Discovery. V8 / V12
SteREO Discovery. V20

- Система анализа изображения:

Axiovision
AxioCam (цветные и черно-белые цифровые камеры)

*Консультации. Квалифицированная помощь в подборе оборудования.
Сервисное обслуживание.*

На правах рекламы

ООО «ОПТЕК»
в России и странах СНГ

www.optecgroup.com

Россия, Москва
105005, Денисовский пер., 26
Тел: +7 (495) 933 51 51
Факс: +7 (495) 933 51 55
e-mail: office@optecgroup.com

Россия, Санкт-Петербург
197022, ул. Академика Павлова, 5 литер "Е"
Тел: +7 (812) 702 08 11
Факс: +7 (812) 702 08 12
e-mail: office-spb@optecgroup.com

ОПТЭК
Объединяя решения

Атомно-силовой микроскоп Dimension FastScan™ Bruker

Dimension FastScan™

Самый быстрый АСМ в мире



Dimension FastScan™ - это первый атомно-силовой микроскоп, обеспечивающий получение изображений за секунды без потерь в разрешении и производительности прибора



Высокое разрешение

- FastScan™ осуществляет точный контроль силы при взаимодействии зонд-образец, что обеспечивает высокое разрешение и долговечность работы зонда
- Получение высококачественных изображений при 20 Гц в режиме TappingMode™ и при 6 Гц в режиме ScanAsyst™
- Система компенсации температуры сканера снижает уровень шума до долей нанометра
- Система линеаризации и сканирующая система FastScan™ обеспечивают уровень шума по вертикали менее 0.03 нм и 0.04 нм соответственно, сверхнизкий тепловой дрейф и получение результатов с высокой точностью

Возможна модернизация Dimension Icon™ до Dimension FastScan™

Смотрите видео на www.bruker-axs.com

Высокая производительность

- Скорость сканирования в сотни раз быстрее по сравнению с существующими аналогами, до нескольких кадров в секунду, как на воздухе, так и в жидкой ячейке
- Система автоматического перемещения зонда в точку, выбранную при помощи видеосистемы, позволяет проводить прецизионные измерения
- Используемое программное обеспечение в сочетании с эксклюзивной технологией ScanAsyst™ обеспечивает чрезвычайную

На правах рекламы

Доступны 17 различных режимов работы!

Обратитесь за более подробной информацией в ООО "ОПТЭК"

197 022, Санкт-Петербург,
ул. Академика Павлова, 5,
литер "Е"

Тел.: +7 (812) 702 08 11
Факс: +7 (812) 702 08 12
E-mail:

office-spb@optecgroup.com

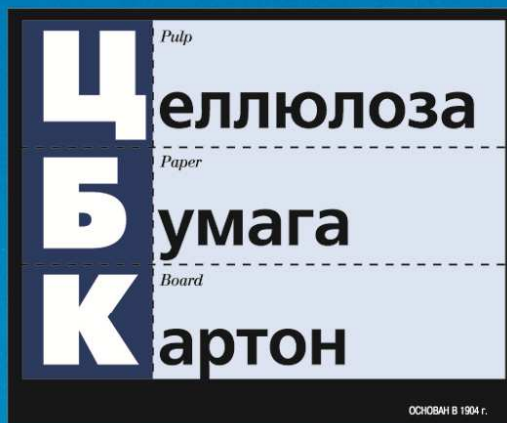
Горячая линия: 8-800-2000-567
(звонки по России бесплатные)

Подберите кантилеверы в
интернет-магазине:

<http://shop.zeiss.ru/>

ОПТЭК
Объединяя решения

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ
ЖУРНАЛ



Полная информация о:

- технологии
- оборудовании
- химикатах
- экологии

производства

- целлюлозы
- бумаги
- картона

www.cbk.ru





**Factory of sieves and sliding bearings
FASIL A.D. Arilje, Republic of Serbia**

Tel: +381 (0)31 89-11-31 ; +381 (0)31 89-16-51
Fax: +381 (0)31 89-14-48 ; +381 (0)31 89-32-57
General manager: +381 (0)31 89-12-45
E-mail: fasil@fasil.rs
Web: www.fasil.rs

ISO 9001:2008
ISO 14001:2004

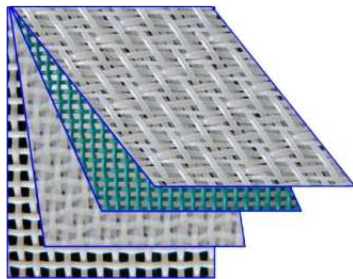
Завод сеток и подшипников ФАСИЛ А.О.

31230 Республика Сербия, Ариле, ул. Светолика Лазаревича, 18

SIEVE PRODUCTION

Fabrics for cellulose and paper industry

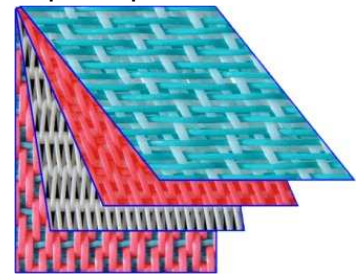
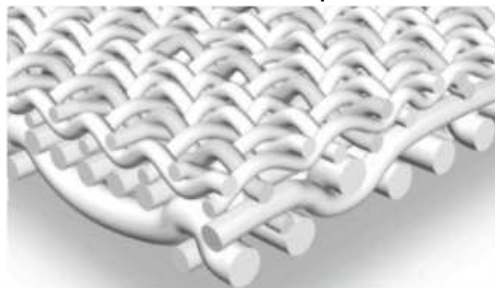
The best polyester and polyamide materials with high mechanical and physical characteristic



ПРОИЗВОДСТВО СЕТОК

Сетки для целлюлозно-бумажной промышленности

Сетки изготавливаются из высококачественных полиэфира и полиамидов, отличающихся высокими механическими и физическими характеристиками.



Forming fabrics

- for all kinds of paper, cardboard and cellulose and for all paper-machines
- 1-layer, 2-layer, 3-layer (SSB).

Формующие сетки

- для всех видов целлюлозы, бумаги и картона и для всех типов БДМ
- одно-, двух- и трехслойные (SSB)

Dryer fabrics

- woven fabrics
air permeability CFM 50-600
- spiral fabrics
air permeability CFM 120-1000

Сушильные сетки

- тканые сетки,
воздухопроницаемость CFM 50-600
- спиральные сетки,
воздухопроницаемость CFM 120-1000

Drums refurbishing and water purifying systems (stainless steel, phosphor-bronze, ...)

Обтяжки для барабанов и системы для очистки воды (из нержавеющей стали, фосфористой бронзы и синтетики)

Technical metallic and synthetic sieves

Технические металлические и синтетические сетки

Sieves for wood processing industry

Сетки для деревообрабатывающей промышленности

Filtering fabrics

Фильтрационные полотна



Factory of sieves and sliding bearings
FASIL A.D. Arilje, Republic of Serbia

Tel: +381 (0)31 89-11-31 ; +381 (0)31 89-16-51
Fax: +381 (0)31 89-14-48 ; +381 (0)31 89-32-57
General manager: +381 (0)31 89-12-45
E-mail: fasil@fasil.rs
Web: www.fasil.rs

ISO 9001:2008
ISO 14001:2004

FILTER PRODUCTION



**ПРОИЗВОДСТВО
ФИЛЬТРОВ**

- Oil, gas, air water (and other fluids) purifiers
- Intake baskets and extractors
- DN purifiers of all purposes
- Disk sieves, filter disks and sealings
- Frame and vibro sieves
- Laboratory sieves
- Mufflers
- Special kinds of purifiers

- Фильтры очистки масла, топливные, воздушные (и для очистки других газов), водяные
- Всасывающие корзины и сетчатые фильтры
- "ДН" фильтры для разных областей применения -
- Дисковые сетки, фильтрационные диски и уплотнители
- Рамочные и вибрационные сетки
- Лабораторные сетки
- Демистеры
- Специальные фильтры

**SLIDING BEARINGS
PRODUCTION**



**ПРОИЗВОДСТВО
ПОДШИПНИКОВ
СКОЛЬЖЕНИЯ**

Foundry of non ferrous metals
(bronze, copper and their alloys)

- continuous casting
- housing centrifugal casting

- casting in metal molds
- casting in sand molds

Литейный цех цветных металлов
(бронза, медь и медные сплавы)

- литье непрерывным способом
- литье в изложницах центробежным способом

- литье в металлических формах
- литье в песчаных формах

Machining (finalization and part production)

Heat exchangers

Машинная обработка

Теплообменники

С искренним уважением

Stevo Popovic



ООО «ИТС»
153012, г. Иваново, ул. Свободная д.2
тел./факс: (4932) 300-519

e-mail: ooaits@newmail.ru
www.test-system.ru

Разработка и производство оборудования для контроля физико-механических свойств материалов целлюлозно-бумажной промышленности, систем автоматизированного сбора и обработки данных и специализированного программного обеспечения

Машины для испытания материалов на растяжение и сжатие с нагрузками от 0,1 до 2 кН в различном конструктивном исполнении Серии «ИТС 8000»; «ИТС 8100»; «8200»



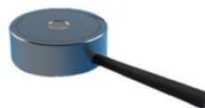
Специализированные машины для испытания материалов



Оборудование для пробоподготовки



Навесное оборудование и аксессуары для проведения испытаний



Температурные камеры от -150°C до $+1200^{\circ}\text{C}$
Комплекты для модернизации
Разработка и изготовление оборудования в короткие сроки
Модернизация уже существующего оборудования
Подбор наилучшего оборудования в соответствии с финансовыми возможностями Потребителя



Общество с ограниченной ответственностью
«ИТС»

