

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»



**Международная научно-техническая  
конференция**

**НОВЕЙШИЕ ДОСТИЖЕНИЯ  
В ОБЛАСТИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ  
ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ:  
ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, ХИМИЯ**

**4–6 апреля 2017 г.**

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

г. Минск

УДК [676+001.895] : 005.745(06)

ББК 35.77я73

Н72

**Новейшие достижения в области инновационного развития целлюлозно-бумажной промышленности: технология, оборудование, химия** : материалы докладов Международной научно-технической конференции. – Минск : БГТУ, 2017. – 180 с.

ISBN 978-985-530-601-7

Сборник составлен по материалам докладов Международной научно-технической конференции «Новейшие достижения в области инновационного развития целлюлозно-бумажной промышленности: технология, оборудование, химия», проведенной в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет», которые отражают актуальные проблемы качества целлюлозно-бумажных материалов, перспективы использования вторичных сырьевых ресурсов в технологии бумаги и картона, вопросы энерго- и ресурсосбережения в целлюлозно-бумажной промышленности. Рассмотрены вопросы экологической безопасности целлюлозно-бумажного производства, а также новые химические продукты и оборудование для повышения эффективности производства и контроля качества продукции.

Сборник рассчитан на использование работниками и научными сотрудниками, занимающимися вопросами в области целлюлозно-бумажной промышленности, аспирантами и студентами соответствующих специальностей.

Рецензент:

генеральный директор ОАО «Управляющая компания холдинга «Белорусские обои» Д.В. ЛИЗУРА

Редакционная коллегия:

Главный редактор

ректор, д-р техн. наук И.В. Войтов

Члены редколлегии:

зав. кафедрой ХПД, д-р профессор,

д-р техн. наук, БГТУ Н.В. Черная

доц. кафедры ХПД, канд. техн. наук

Н.В. Жолнерович

ISBN 978-985-530-601-7

© УО "Белорусский государственный технологический университет", 2017

## ОРГКОМИТЕТ

### Председатель

ВОЙТОВ И.В. ректор БГТУ, д-р техн. наук, профессор

### Члены оргкомитета

ДОРМЕШКИН О.Б. проректор по научной работе, профессор, д-р техн. наук, зам. председателя

ЛИЗУРА Д.В. генеральный директор ОАО «Управляющая компания холдинга «Белорусские обои»

ПШЕННЫЙ А.А. начальник управления целлюлозно-бумажного и лесохимического производства концерна «Беллесбумпром»

ЧЕРНАЯ Н.В. зав. кафедрой ХПД, профессор, д-р техн. наук, БГТУ, РБ

СОЛОВЬЕВА Т.В. д-р техн. наук, профессор, БГТУ, РБ

КОЛЕСНИКОВ В.Л. д-р техн. наук, профессор, БГТУ, РБ

КАЗАКОВ Я.В. зав. кафедрой ЦБП, д-р техн. наук, САФУ, Россия

КОВЕРНИНСКИЙ И.Н. д-р техн. наук, профессор, Россия

БОГДАНОВИЧ Н.И. д-р техн. наук, профессор, САФУ, Россия

АЛАШКЕВИЧ Ю.Д. член-корресп. РАО, д-р техн. наук, профессор, СибГАУ, Россия

СМОЛИН А.С. д-р техн. наук, профессор, СПбГУПТИД, Россия

БОЛТОВСКИЙ В.С. д-р техн. наук, профессор, БГТУ, РБ

ЖОЛНЕРОВИЧ Н.В. канд. техн. наук, доцент, БГТУ, РБ

ЗИЛЬБЕРГЛЕЙТ М.А. д-р хим. наук, ИОНХ НАН Беларуси, РБ

МАЦУЛЬ В.Н. канд. техн. наук, доцент, БГТУ, РБ

КУЗЬМИЧ В.В. д-р техн. наук, профессор, БНТУ, РБ

СМОЛКИН Б.Я. директор международного информационно-аналитического центра трансфера технологий БГТУ, РБ

ЧЕРНИК Е.О. зав. сектором ИВОНД, БГТУ, РБ

Сборник составлен по материалам докладов Международной научно-технической конференции «Новейшие достижения в области инновационного развития целлюлозно-бумажной промышленности: технология, оборудование, химия», проведенной в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет», которые отражают актуальные проблемы качества целлюлозно-бумажных материалов, перспективы использования вторичных сырьевых ресурсов в технологии бумаги и картона, вопросы энерго- и ресурсосбережения в целлюлозно-бумажной промышленности. Рассмотрены вопросы экологической безопасности целлюлозно-бумажного производства, а также новые химические продукты и оборудование для повышения эффективности производства и контроля качества продукции.

Международная конференция проводилась с целью повышения эффективности научных исследований, технологических и конструкторских разработок в технологии целлюлозно-бумажного производства.

В работе конференции участвовали ученые, инженерные работники и представители промышленных предприятий Беларуси, России, Германии, Нидерландов. Тематика докладов охватывает широкий спектр научных направлений в области технологии, оборудования и новых химических продуктов применяемых в производстве целлюлозно-бумажных материалов.

Состоявшиеся на конференции детальные и всесторонние обсуждения сделанных докладов и дискуссии по вышеперечисленным вопросам будут способствовать дальнейшему развитию научных исследований в области целлюлозно-бумажного производства.

ОРГКОМИТЕТ

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА БУМАГИ И КАРТОНА НА ОСНОВЕ НАКОПЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Опыт – это знания, накопленные человеком в течение жизни. Все мы знаем каким авторитетом на предприятиях пользуются, допустим, оберсеточники, которые помнят условия благополучного выхода из подобной трудной ситуации, произошедшей, например, при паводке позапрошлого года. Накопление жизненного опыта человеком – это обычная, не формализуемая индивидуальная повседневная деятельность каждого из нас.

Депонированная производственная информация, которая обычно фиксирует текущие условия функционирования предприятия для оперативного использования, часто остается невостребованной в дальнейшем, но, как и любая информация, она обладает объективной ценностью и требует для своевременного эффективного использования математических методов интеллектуального анализа больших объемов данных.

Для накопления информации мы использовали виртуальный производственный комплекс утилизации волокнистых отходов, созданный на основе результатов многолетних научных исследований автора доклада [1]. Виртуальный производственный комплекс представляет собой компьютерную программную системную математическую модель, которая воспроизводит основные функциональные возможности реального прототипа в режиме реального времени.

Для моделирования накопления результатов длительных наблюдений за работой комплекса мы использовали возможность генерирования и фиксации сочетаний всевозможных случайных значений природных сезонных погодных условий, ценовой ситуации на рынке сырья, химикатов, воды, энергии, возмещения ущерба, нанесенного окружающей среде производственной деятельностью, значений управляющих воздействий с синхронным вычислением качества получаемой продукции, загрязнения атмосферы и проточного водоема, суммы удельных энерготехнологических затрат.

База данных, приведенная на рис. 2, служит просто одним из возможных примеров накопленной информации. Подобных плохо структурированных сведений скапливается немало на каждом предприятии из журналов ОТК и лаборатории, синоптических карт, бухгалтерских отчетов и других источников.

Основной упор в этом докладе сделан не на накопление, а на методические возможности эффективного использования накопленной информации.

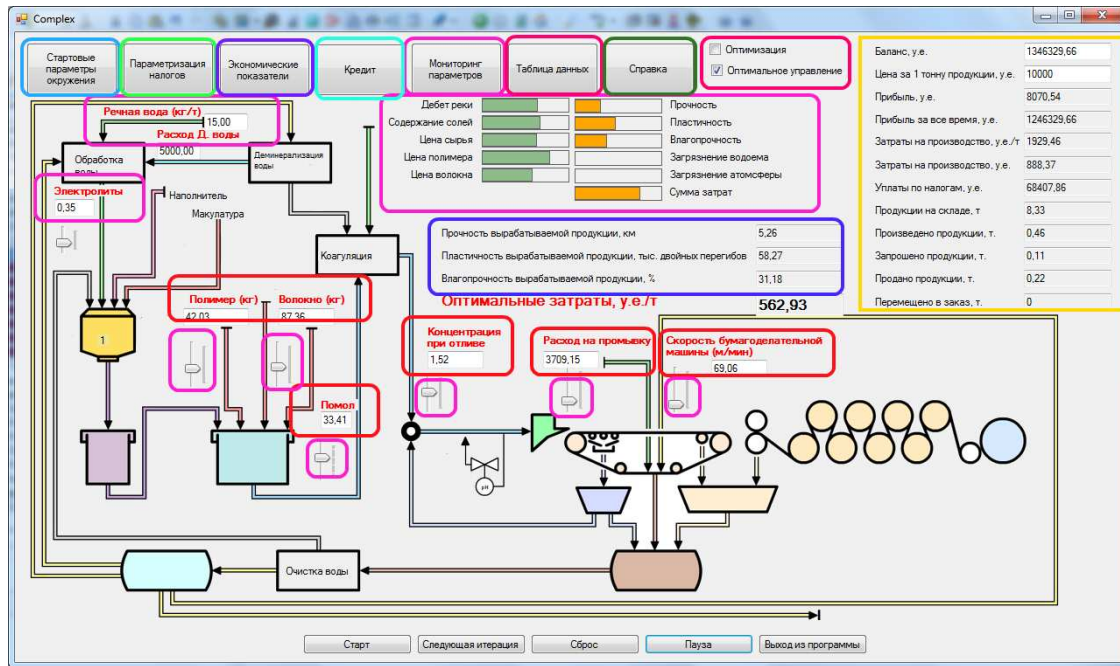


Рисунок 1 – Пульта управления комплексом

Номер	Дебет реки	Электро в рене	Текстиль воды	Цена полимер добавки	Цена воловои добавки	Цена электро	Цена речной воды	Цена сырья	Цена выброс в реку	Цена коагуля	Расход промыв воды	Расход речной воды	Расход деинер воды	Дуспити электро	Расход полимер	Расход воловои	Степень помола	Концент массы	Скорост	Прочнос	Пластик	Влагодор	Загрязн воды	Загрязн атмоск	Сумма затрат	
1	13.079...	0.00819	15.51	2.69	1.65	0.069	2.58	50.00	0.56	0.27	0.12	76369...	12031...	196.07	0.0500	75.01	100.03	20.00	0.700	150.07	1.81	9.85	10.71	0.2445	0.1435	788.59
2	13.061...	0.00843	14.58	2.64	1.69	0.067	2.58	47.58	0.56	0.27	0.12	77059...	11875...	197.81	0.0500	75.02	100.03	20.00	0.700	150.01	2.28	8.78	9.86	0.3279	0.1798	800.37
3	13.044...	0.00823	13.88	2.59	1.72	0.065	2.51	46.73	0.56	0.29	0.13	76143...	11685...	204.48	0.0500	74.99	100.03	20.00	0.700	150.00	2.61	8.00	9.26	0.0924	0.1655	775.42
4	13.025...	0.00800	14.88	2.54	1.75	0.065	2.46	47.66	0.56	0.28	0.14	75576...	11567...	200.68	0.0500	75.00	100.02	20.00	0.700	150.00	2.13	9.13	10.13	0.2254	0.1753	771.43
5	13.006...	0.00805	16.27	2.52	1.76	0.063	2.49	49.38	0.55	0.28	0.14	76087...	11591...	197.59	0.0640	75.02	100.01	20.00	0.700	149.96	1.04	9.82	12.42	0.4714	0.1759	795.36
6	12.987...	0.00797	15.90	2.52	1.74	0.067	2.56	50.63	0.55	0.29	0.13	76155...	11749...	200.75	0.0714	75.00	100.00	19.99	0.700	149.98	1.06	8.80	12.51	0.5190	0.1761	762.78
7	12.967...	0.00764	14.32	2.55	1.71	0.067	2.57	50.84	0.54	0.30	0.13	74862...	11960...	195.55	0.0788	75.01	99.99	19.99	0.700	150.02	1.67	6.37	11.50	0.5355	0.1777	761.29
8	12.947...	0.00761	13.85	2.59	1.67	0.068	2.52	50.47	0.53	0.28	0.13	73750...	12121...	189.79	0.0862	74.99	99.97	20.00	0.700	149.98	1.72	5.16	11.34	0.5416	0.1782	761.93
9	12.927...	0.00794	14.84	2.63	1.65	0.068	2.48	50.32	0.53	0.28	0.13	74458...	12169...	195.61	0.0936	74.96	99.97	20.00	0.700	149.95	1.13	5.58	12.14	0.5472	0.1788	765.90
10	12.906...	0.00805	15.61	2.67	1.64	0.065	2.49	50.73	0.53	0.29	0.13	75971...	12119...	198.33	0.0936	74.99	99.96	20.01	0.700	150.01	0.76	6.46	12.79	0.5744	0.1791	766.76
11	12.886...	0.00789	15.45	2.69	1.66	0.069	2.49	51.24	0.53	0.30	0.13	76052...	12047...	196.34	0.0936	74.99	99.97	20.00	0.700	150.03	0.84	6.28	12.66	0.5869	0.1794	777.18
12	12.865...	0.00794	15.15	2.69	1.69	0.067	2.44	51.15	0.54	0.29	0.13	74634...	12047...	238.54	0.0936	75.00	99.97	20.00	0.700	150.03	0.99	5.93	12.40	0.5875	0.1797	787.92
13	12.844...	0.00812	14.98	2.68	1.73	0.070	2.38	50.22	0.55	0.30	0.13	73725...	12161...	273.96	0.0936	75.03	99.98	20.00	0.700	150.06	1.07	5.73	12.25	0.5904	0.1799	803.63
14	12.824...	0.00797	14.58	2.65	1.75	0.070	2.40	49.05	0.56	0.31	0.13	74151...	12355...	324.38	0.0936	75.00	99.99	20.00	0.700	150.01	1.25	5.28	11.93	0.6015	0.1801	813.78
15	12.804...	0.00773	14.42	2.61	1.75	0.068	2.51	48.59	0.57	0.30	0.13	74384...	12531...	353.17	0.0936	75.00	100.01	20.00	0.700	149.94	1.33	5.10	11.80	0.6065	0.1802	812.28
16	12.784...	0.00792	15.09	2.59	1.74	0.068	2.59	49.20	0.57	0.28	0.13	73475...	12602...	388.45	0.0936	75.01	100.02	19.99	0.700	149.97	1.01	5.86	12.35	0.6000	0.1802	817.67
17	12.764...	0.00824	15.74	2.59	1.70	0.064	2.59	50.31	0.57	0.28	0.13	72898...	12519...	409.04	0.0936	74.99	100.02	20.00	0.700	150.00	0.69	6.62	12.92	0.5942	0.1802	809.06
18	12.745...	0.00822	15.30	2.60	1.67	0.067	2.54	50.85	0.57	0.29	0.13	74237...	12327...	469.43	0.0936	75.02	100.02	19.99	0.700	149.98	0.91	6.11	12.53	0.6022	0.1804	828.73
19	12.726...	0.00815	14.50	2.64	1.65	0.066	2.52	50.19	0.56	0.28	0.13	76419...	12123...	488.38	0.0936	75.03	100.02	20.00	0.700	150.00	1.29	5.19	11.87	0.6160	0.1804	832.01
20	12.707...	0.00833	14.72	2.69	1.65	0.067	2.54	48.80	0.55	0.28	0.13	77120...	12005...	484.62	0.0936	72.00	100.01	20.00	0.700	150.02	1.18	5.30	11.96	0.6215	0.1746	823.07
21	12.690...	0.00835	15.38	2.74	1.67	0.067	2.53	47.96	0.54	0.29	0.12	76177...	12010...	476.13	0.0936	70.01	100.00	20.00	0.700	149.98	0.85	5.98	12.46	0.6176	0.1700	820.23
22	12.672...	0.00797	15.07	2.77	1.70	0.064	2.48	48.63	0.53	0.30	0.12	75951...	12000...	483.77	0.0936	66.98	99.99	20.00	0.700	150.00	1.00	5.50	12.10	0.6153	0.1636	805.41
23	12.656...	0.00773	14.36	2.79	1.73	0.066	2.44	50.66	0.53	0.28	0.13	76120...	12179...	473.36	0.0936	64.97	99.98	20.00	0.700	150.06	1.35	4.61	11.45	0.6174	0.1588	806.86
24	12.640...	0.00789	14.81	2.78	1.75	0.064	2.47	52.74	0.53	0.28	0.14	76120...	12167...	453.80	0.0936	62.00	99.98	20.01	0.700	150.03	1.15	5.01	11.71	0.6136	0.1523	787.35
25	12.625...	0.00795	15.92	2.75	1.75	0.068	2.54	53.41	0.54	0.29	0.14	74859...	12046...	460.65	0.0936	59.99	99.98	20.00	0.700	149.98	0.60	6.19	12.61	0.5981	0.1473	786.69
26	12.611...	0.00779	15.72	2.70	1.73	0.069	2.54	52.17	0.55	0.29	0.14	73742...	11874...	465.85	0.0936	57.00	99.98	20.01	0.700	149.99	0.72	5.87	12.32	0.5842	0.1407	768.30
27	12.598...	0.00786	14.33	2.65	1.70	0.068	2.46	49.83	0.56	0.28	0.13	74430...	11751...	456.90	0.0936	52.01	99.99	20.00	0.700	149.95	1.48	4.17	10.92	0.5795	0.1289	726.64
28	12.586...	0.00813	13.87	2.60	1.67	0.070	2.40	47.87	0.56	0.30	0.12	75948...	11755...	467.79	0.0936	49.99	100.00	19.99	0.700	149.95	1.72	3.62	10.47	0.5845	0.1238	713.49
29	12.575...	0.00804	14.94	2.57	1.65	0.066	2.42	47.28	0.56	0.31	0.12	76049...	11893...	479.23	0.0936	50.00	100.02	20.00	0.700	150.02	1.21	4.79	11.34	0.5805	0.1229	701.50
30	12.564...	0.00773	15.85	2.55	1.66	0.068	2.49	47.97	0.56	0.31	0.13	74623...	12095...	464.82	0.0936	50.01	107.03	20.00	0.700	150.04	0.81	5.75	12.25	0.5579	0.1221	725.30
31	12.555...	0.00774	15.59	2.56	1.68	0.068	2.53	49.08	0.55	0.29	0.13	73669...	12253...	460.76	0.0936	50.00	121.05	20.00	0.700	149.99	1.09	5.34	12.24	0.5461	0.1214	754.90
32	12.547...	0.00796	14.96	2.58	1.70	0.069	2.52	49.81	0.54	0.29	0.13	74099...	12287...	469.76	0.0936	50.02	126.05	19.99	0.700	150.01	1.46	4.64	11.79	0.5446	0.1212	789.42
33	12.540...	0.00793	14.66	2.61	1.73	0.070	2.53	50.13	0.53	0.29	0.13	74379...	12191...	460.24	0.0936	50.01	130.05	20.00	0.700	150.02	1.65	4.28	11.61	0.5426	0.1210	807.36
34	12.534...	0.00790	14.46	2.62	1.75	0.065	2.59	50.53	0.53	0.28	0.14	73524...	12034...	459.11	0.0936	50.00	140.05	20.00	0.700	149.99	1.83	3.97	11.66	0.5339	0.1208	824.67

Рисунок 2 – Автоматическая запись накапливаемой информации

Применение нечетких множеств. Самым мощным и плодотворным методом рационального использования накопленной информации.

мации является понятие лингвистической переменной – красное, не очень красное, совсем не красное и т.п. и функции принадлежности, как способа формализации субъективного смысла этих качественных показателей. Если носитель имеет лингвистическое значение, то его называют термом. Функция принадлежности определяет субъективную степень уверенности эксперта в том, что рассматриваемый носитель  $x$  соответствует содержательному смыслу данного нечеткого множества. Например, определить значения нечетких множеств

$C = \text{«средняя влагопрочность»}$  и

$B = \text{«высокая влагопрочность»}$

можно так:

$$C = \left\{ \frac{9}{0,1}, \frac{11}{0,4}, \frac{13}{0,6}, \frac{15}{0,8}, \frac{17}{1,0}, \frac{19}{0,9}, \frac{21}{0,7}, \frac{23}{0,5}, \frac{25}{0,1} \right\}$$

$$B = \left\{ \frac{17}{0,1}, \frac{19}{0,3}, \frac{21}{0,5}, \frac{23}{0,7}, \frac{25}{0,8}, \frac{27}{0,9}, \frac{29}{1,0}, \frac{32}{1,0} \right\}$$

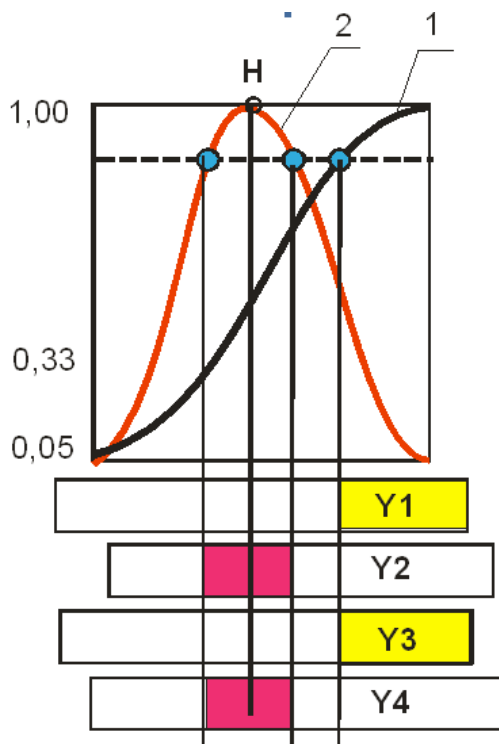


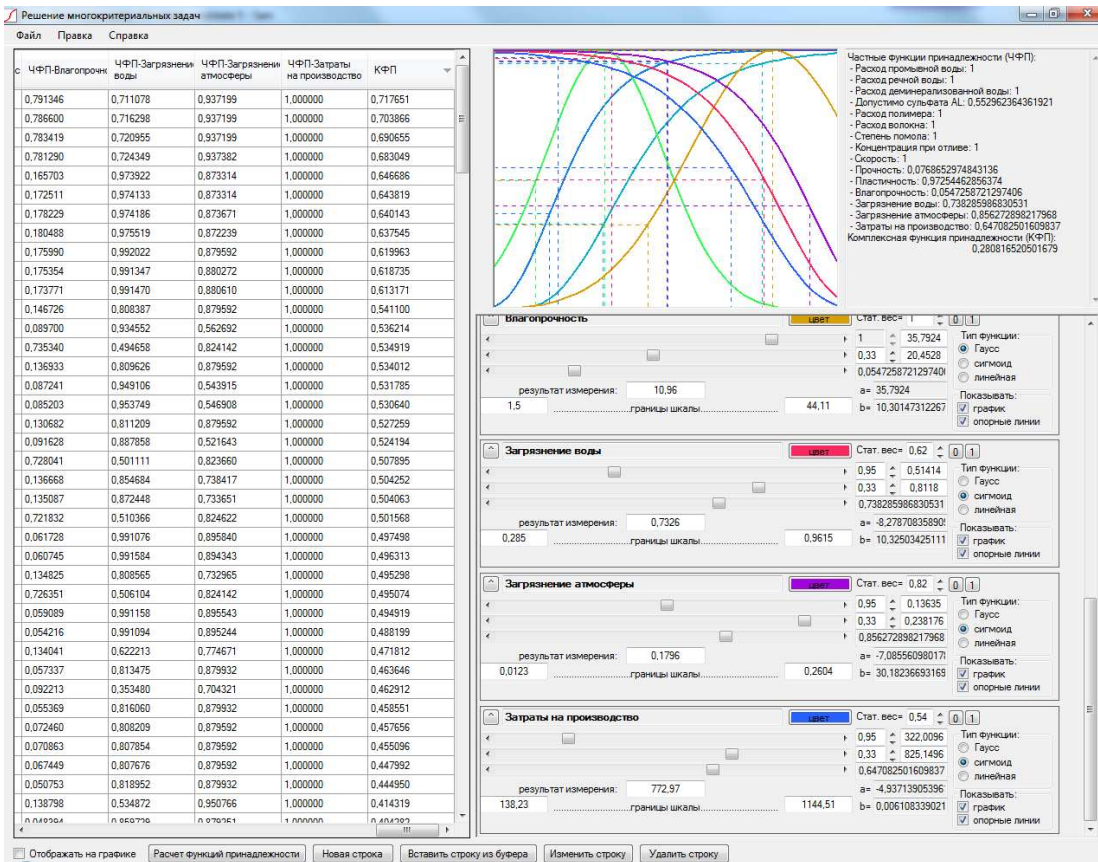
Рисунок 3 – Настройки требуемого качества

альные кривых, расположенных в координатном пространстве и имеющих ограничения с одной или с двух сторон.

Кривая, ограниченная с одной стороны, используется в тех случаях, когда за значения показателей качества продукции будут при-

Оси абсцисс (рис. 3) представляют собой натуральные равномерные шкалы значений тех показателей, по которым оценивается качество продукции. Чтобы увеличить эффективность алгоритма, шкалы показателей качества должны иметь возможность перемещаться в двух направлениях в горизонтальной плоскости, сжиматься и растягиваться до необходимой степени, с тем чтобы можно было зафиксировать любую шкалу в любом положении относительно любой из двух экспоненци-

ниматься все такие, которые больше или меньше определенной установленной величины.



**Рисунок 4 – Математико-графический образ качества бумаги**

Кривая с двухсторонними ограничениями используется тогда, когда качество продукции располагается в определенном диапазоне значений показателей, причем изменения значений показателя в обе стороны от установленных границ считаются явлением нежелательным.

Комплексная оценка (суперкритерий) вычисляется по формуле

$$D_i = \left( \prod_{j=1}^p d_{ij}^{\delta_j} \right)^{1 / \sum_{j=1}^p \delta_j},$$

где  $\delta_j$  – статистический вес (значимость)  $j$ -го критерия.

На рис. 4 показаны результаты ранжирования суперкритерия (программное средство FUZZY нашей разработки) с определением его максимального значения (оптимальный технологический режим).



Строка с максимальным значением суперкритерия определяет рациональные условия проведения процесса при заданных сезонных условиях.

Номер	Дебет реки	Электролиты в реке	Температура воды	Цена полимерной д.области	Цена волокнистой д.области	Цена электролитов	Цена речной воды	Цена сырья	Цена выброса в атмосферу	Цена слива в реку	Цена коагулянта	Расход промывной воды	Расход речной воды	Расход д.температурозависимой воды	Допустимо сульфата Al	Расход полимера	Расход волокна	Степень помола	Концентрация при отливе	Скорость	Прочность	Пластичность	Влагопрониц.	Загрязнение воды	Загрязнение атмосферы	Загрязнение на производство	Комплексная оценка
92	13,03108	0,0082	15,12	2,52	1,75	0,067	2,46	48,67	0,55	0,28	0,13	95199,44	8617,48	0	0,005	15,01	195,03	45	0,37	169,04	12,84	13,56	61,89	0,9529	0,0668	1215,62	0,93776
87	12,87038	0,00796	14,89	2,54	1,72	0,067	2,38	48,89	0,53	0,28	0,12	103000,76	8472,8	0	0,005	5	194,99	41	0,37	169	7,54	11,85	45,03	1,0377	0,0207	1106,35	0,877579917
88	12,90342	0,00753	14,93	2,52	1,68	0,065	2,39	48,15	0,55	0,29	0,13	104055,02	8501,64	0	0,005	50,01	194,96	41	0,37	169,03	7,62	5,4	48,29	0,9944	0,1051	1291,61	0,807099552
15	12,8368	0,00859	15,62	2,51	1,64	0,072	2,59	48,8	0,55	0,3	0,13	98330,98	14065,57	216,29	0,16	60,02	93,02	37	1,23	168,94	7,38	20,19	19,74	0,6748	0,148	842,93	0,663741204
14	12,86803	0,00853	15,71	2,5	1,6	0,071	2,6	48,25	0,55	0,31	0,13	98488,4	14048,52	205,95	0,16	60,04	93	37	1,23	168,95	7,36	19,98	19,67	0,7697	0,1494	825,91	0,657314972
156	12,75786	0,00786	15,04	2,48	1,73	0,067	2,6	50,11	0,52	0,3	0,13	94949,48	7078,68	605,45	0,0567	60,01	70	43,02	1,331	169,07	4,58	15,84	22,8	0,8593	0,1538	855,21	0,638781559
30	12,59688	0,00838	14,57	2,58	1,7	0,069	2,49	51,64	0,52	0,27	0,13	102051,02	19153,68	414,73	0,0345	39,99	200,05	42	1,02	116,94	4,64	3,66	32,46	0,9471	0,113	1409,08	0,631357552
31	12,61465	0,00825	14,73	2,62	1,67	0,071	2,52	50,81	0,51	0,28	0,13	102780,72	19100,32	401,34	0,0345	40,01	200,07	42	1,019	116,92	4,68	3,3	32,59	0,9588	0,101	1417,68	0,621605917
159	12,71226	0,008	14,68	2,62	1,63	0,066	2,55	50,29	0,54	0,28	0,13	98439,24	2822,77	603,64	0,0567	59,97	70,01	42,99	0,95	169	3,83	3,21	38,29	0,8294	0,1477	847,08	0,610288806
157	12,73826	0,0076	14,92	2,53	1,66	0,066	2,59	50	0,52	0,29	0,13	99686,37	7068,92	629,99	0,0567	60,01	69,99	43,01	0,95	169,04	3,88	2,73	38,35	0,9331	0,1477	850,48	0,585356175
192	12,91358	0,00801	14,41	2,49	1,62	0,071	2,48	49,53	0,56	0,28	0,13	99963,85	14316,68	59,92	0,1231	55,01	160,04	42,01	1,12	82,98	3,8	17,99	15,76	0,7804	0,1293	1163,33	0,575751214
158	12,72294	0,00764	14,8	2,57	1,61	0,065	2,57	50,08	0,53	0,28	0,13	100120,36	14594,17	616,51	0,0567	60	70	43	0,95	169,01	3,85	2,98	38,32	1,0626	0,1483	866,17	0,57183735
135	13,0798	0,00791	14,58	2,42	1,74	0,066	2,41	49,09	0,58	0,29	0,13	98569,4	13227,99	258,74	0,101	52	61	40	0,92	74	3,76	5,69	23,35	0,8049	0,139	673,69	0,568044741
136	13,10099	0,00779	14,56	2,39	1,69	0,066	2,4	49,77	0,57	0,3	0,13	101265	13236,32	260,06	0,101	52,01	153,98	40	0,92	74,01	4	5,58	21,26	0,7806	0,1343	1101,53	0,567825397
160	12,70647	0,00836	14,59	2,65	1,72	0,068	2,52	50,48	0,56	0,29	0,13	101417,64	2822,13	612,19	0,0567	59,97	70,01	42,99	0,95	88	4	1,5	42,14	0,9012	0,1477	867,23	0,551615069
86	12,83842	0,00851	14,86	2,57	1,73	0,07	2,38	49,75	0,52	0,29	0,12	100904,31	8445	0	0,005	5	194,99	35	0,37	168,95	2,08	7,82	27,63	1,0885	0,0233	1016,43	0,548757799
167	12,79977	0,00804	14,65	2,67	1,72	0,068	2,41	47,14	0,53	0,28	0,13	104696,65	10906,56	605,74	0,1379	39,99	106,98	35,99	0,47	178,94	11,39	5,87	11,03	0,8603	0,1154	891,14	0,520807096

Рисунок 4 – Оптимальный технологический режим

**Деревья решений.** Наша задача заключается в построении иерархической классификационной модели в виде дерева из множества примеров. Процесс построения дерева происходит сверху вниз. Сначала создается корень дерева, затем потомки корня и т.д.

На первом шаге мы имеем пустое дерево, имеется только корень и исходное множество. Требуется разбить исходное множество на подмножества. Это можно сделать, выбрав один из атрибутов в качестве проверки. Тогда в результате разбиения получаются  $n$  подмножеств и, соответственно, создаются  $n$  потомков корня, каждому из которых поставлено в соответствие свое подмножество, полученное при разбиении множества  $T$ . Затем эта процедура рекурсивно применяется ко всем подмножествам (потомкам корня) и т.д.

Алгоритм разбивает область значений независимой переменной на несколько интервалов и делит исходное множество на подмножества в соответствии с тем интервалом, в который попадает значение зависимой переменной.

На рис. 5 корнем дерева выбран атрибут загрязнения проточного водоема. Весь объем накопленной информации поделится на три уровня значимости всех признаков в зависимости от выбранного диапазона анализируемого показателя. Здесь алгоритм настроен на анализ условий получения результата с минимальным загрязнением. В каждом уровне отыскивается узел с максимальной вероятностью минимального загрязнения.

Оказалось, что минимальное загрязнение за период наблюдений зафиксировано при дебите реки < 12,952 км/с, допустимом содержании сульфата алюминия в оборотной воде < 0,021 мг/л, расходе полимерной упрочняющей добавки в пределах 47,07 – 57,51 кг/т.

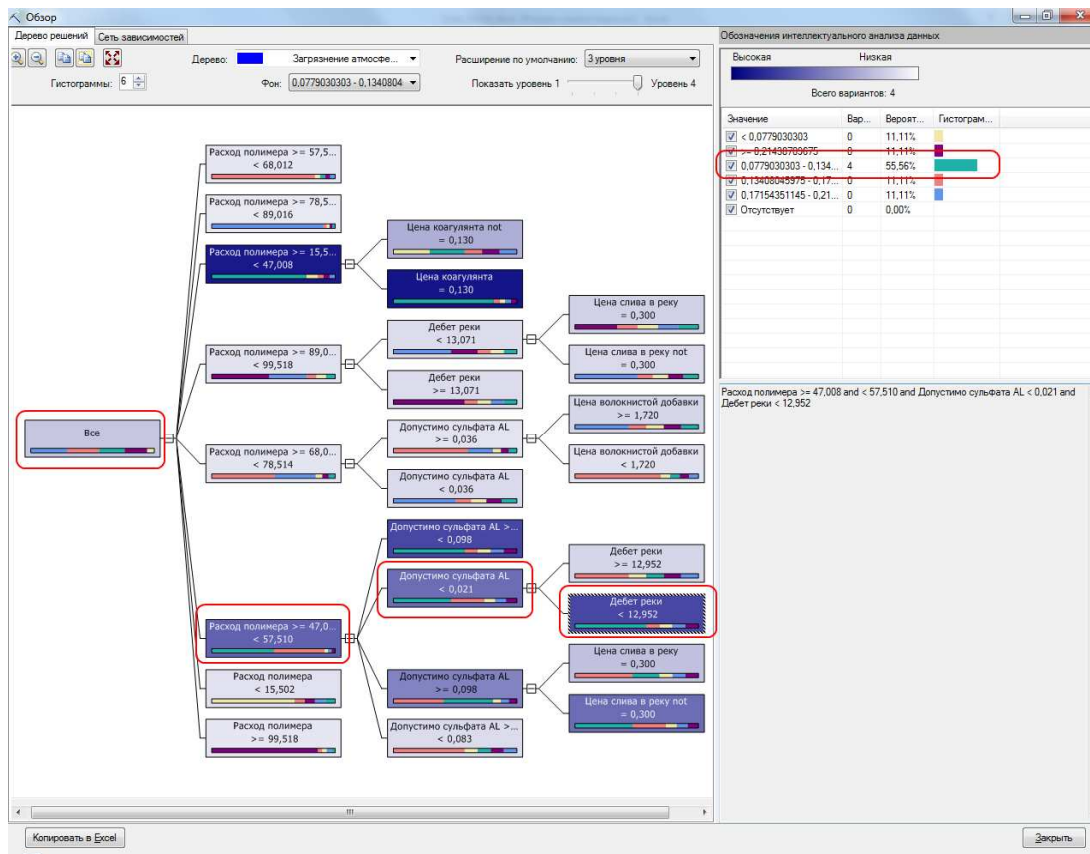


Рисунок 5 – Условия минимального загрязнения водоема

**Оптимальность по Парето** – такое состояние системы, при котором значение каждого частного показателя, характеризующего систему, не может быть улучшено без ухудшения других. Но наиболее известен Парето своим принципом оптимальности, который получил название «оптимум по Парето», который лег в основу так называемой новой экономики благосостояния. Оптимум по Парето гласит, что благосостояние общества достигает максимума, а распределение ресурсов становится оптимальным, если любое изменение этого распределения ухудшает благосостояние, хотя бы одного субъекта экономической системы. В ситуации, оптимальной по Парето, нельзя улучшить положение любого участника экономического процесса, одновременно не снижая благосостояния как минимум одного из остальных. Такое состояние рынка называется Парето-оптимальным состоянием. Ситуация, когда достигнута эффективность по Парето – это ситуация, когда все выгоды от совершенствования исчерпаны.

На рис. 6 показан результат анализа ситуации по Парето при установленных предельных требованиях к каждому оцениваемому признаку. Оказалось, что самыми тревожными (проблемными) показателями работы предприятия являются загрязнение воды, загрязнение атмосферы и прочность вырабатываемой продукции.

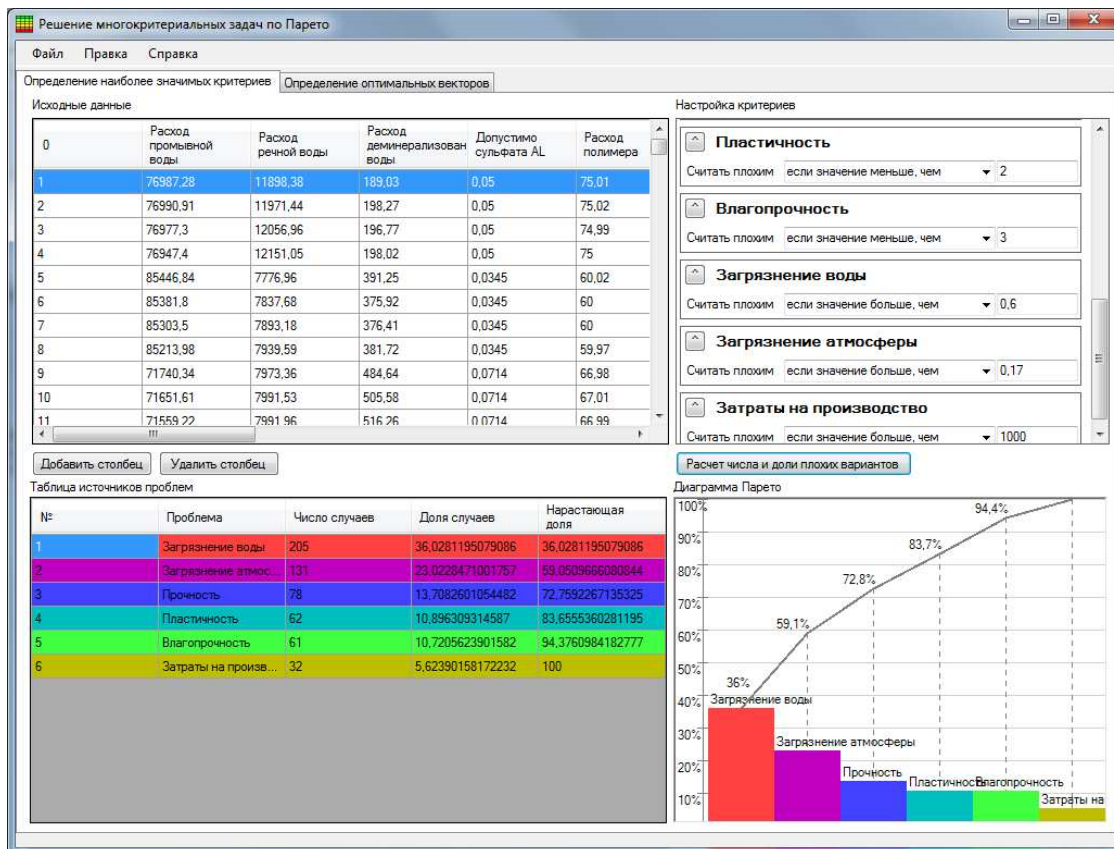


Рисунок 6 – Проблемные факторы по диаграмме Парето

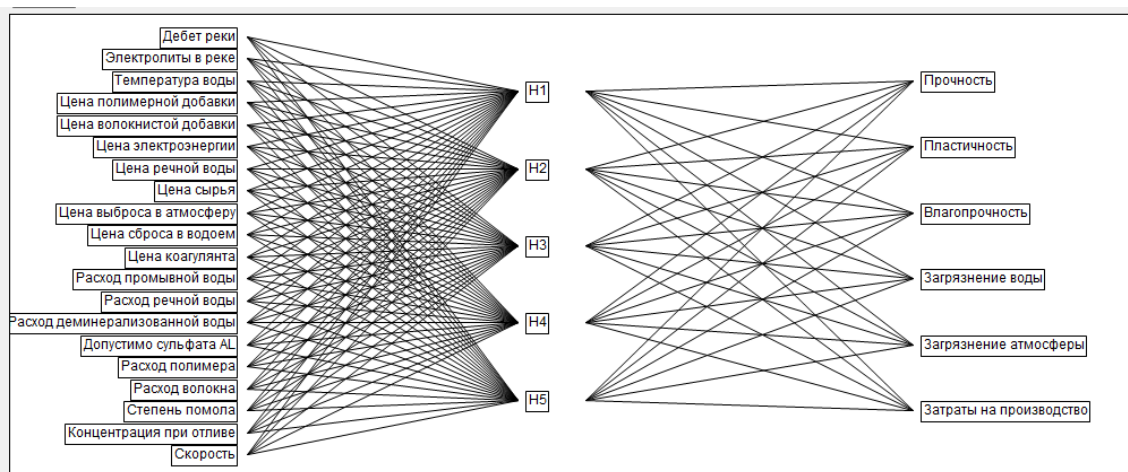
Значит, в решение этих проблем, прежде всего, и надлежит вкладывать основные организационные и финансовые средства. Программа также дает возможность установить пути решения этих проблем. Различают два вида диаграмм Парето – по результатам деятельности и по причинам.

**Искусственные нейронные сети** – это искусственная вычислительная система, имитирующая поведение биологических нервных систем. Задачи, которые могут решаться с помощью искусственных нейронных сетей, включают задачу классификации, кластерный анализ, аппроксимацию функций, задачу прогноза, оптимизации, поиска по содержимому и распознавания образов. Искусственные нейронные сети (ИНС) могут быть представлены, как взвешенные ориентированные графы, в которых вершины соответствуют нейронам, а ориентированные ребра с весами соответствуют связям между входами и вы-

ходами нейронов (рис. 7). Задача классификации данных для этого примера методом нейронных сетей решается быстро и просто. Интерпретировать результаты очень сложно. Нужно объяснить ранжировку невероятно большого числа сочетаний (ковариаций) признаков. Только парных взаимодействий придется рассмотреть 36, а с учетом взаимодействия различных значений внутри признаков 630! А это все еще нужно умножить на 6 (по числу выходных показателей).

Нужно обоснованно выбирать метод прогрессивной централизации. И одним из таких методов является концентрирование внимания вокруг объекта оптимизации. Объектов оптимизации в базе данных тоже много, но это уже существенно сужает и конкретизирует задачу использования информации, накопленной в базе данных.

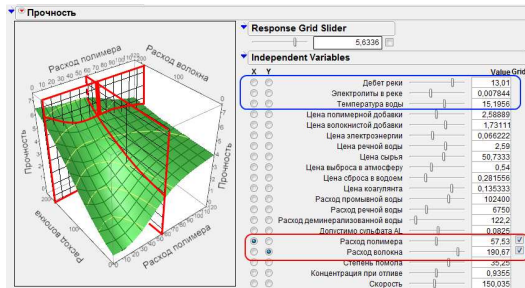
Значения всех признаков одновременно подаются на вход всех нейронов первого слоя. Затем их выходные значения подаются на вход всех нейронов следующего слоя. В общем случае сеть может содержать произвольное число слоёв. Все слои, за исключением последнего, называются скрытыми (hidden layers).



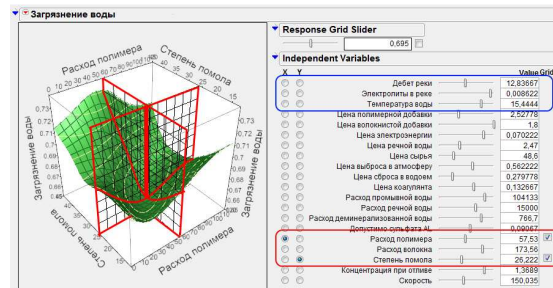
**Рисунок 7 – Архитектура нейронной сети**

В среде JMP SAS можно заказать получить ответ в виде оптимальных значений расхода волокна и степени помола (главные управляющие параметры), при которых обеспечивается минимум загрязнения (рис 8 и рис. 9). Тем самым мы уходим от необходимости рассматривать все остальные парные взаимодействия. Перемещениями ползунков мы добиваемся такого их положения, при котором на графике отмечается минимальное значение загрязнения. Перемещения оказываются целенаправленными, и отпадает надобность в их полном переборе. Перемещение ползунка Response Greed Slider синхронно перемещает решетку значений аппликаты (загрязнение водоема), а галочка в окошке фиксирует минимальное значение (0.17886).

Таким образом, нейронные сети можно использовать не только для классификации данных, но и для графической оптимизации производства бумаги и картона при различных сезонных условиях и ситуации на рынке труда, сырья, химикатов и продукции.



**Рисунок 8 – Определение рекомендательного режима получения заданного качества продукции в сезонных условиях**

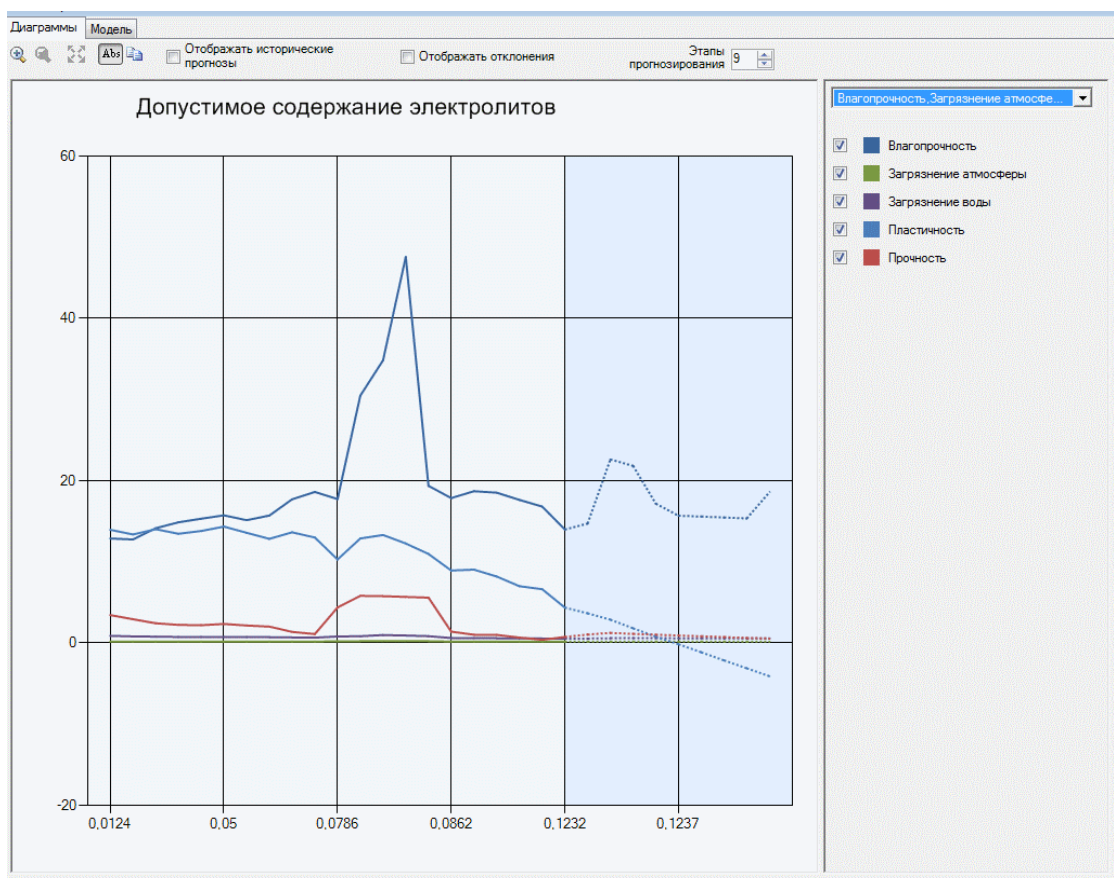


**Рисунок 9 – Определение рекомендательного режима получения минимального загрязнения водоема в сезонных условиях**

**Математическое прогнозирование.** В теории прогнозирования, если таблица данных и функция не содержат в явном виде аргумента времени, то такие модели данных называются причинно-следственными или казуальными. Если же таблица данных зависит только от времени, то такие модели данных называются моделями временных рядов. Модели временных рядов порождают понятия тренда и сезонных изменений. Трендом называется общая тенденция изменения данных в зависимости от времени. Сезонные изменения связаны с некоторыми повторяющимися через определенные временные интервалы факторами, периодически влияющими на процесс (систему). Термин «сезон» является «техническим» термином и никак не связан с погодными или годовыми сезонами. Как правило, сезон совпадает с периодом прогнозирования.

В зависимости от типа взаимовлияния тренда и сезонных изменений различают аддитивную модель, когда сезонные изменения добавляются к тренду, и мультипликативную модель, где тренд и сезонные изменения перемножаются. В моделях экономических данных чаще используется мультипликативная модель, поскольку замечено, что относительные величины сезонных изменений сохраняют свои значения, несмотря даже на резко изменившиеся внешние условия.

В надстройке SQL Server 2005 использовался единственный алгоритм ARTXP. Он был оптимизирован для краткосрочных прогнозов. Начиная с версии SQL Server 2008, в алгоритме временных рядов наряду с алгоритмом ARTXP используется второй алгоритм, ARIMA. Алгоритм ARIMA оптимизирован для долгосрочного прогнозирования.



**Рисунок 10 – Казуальный прогноз качества бумаги в зависимости от содержания электролитов в речной воде**

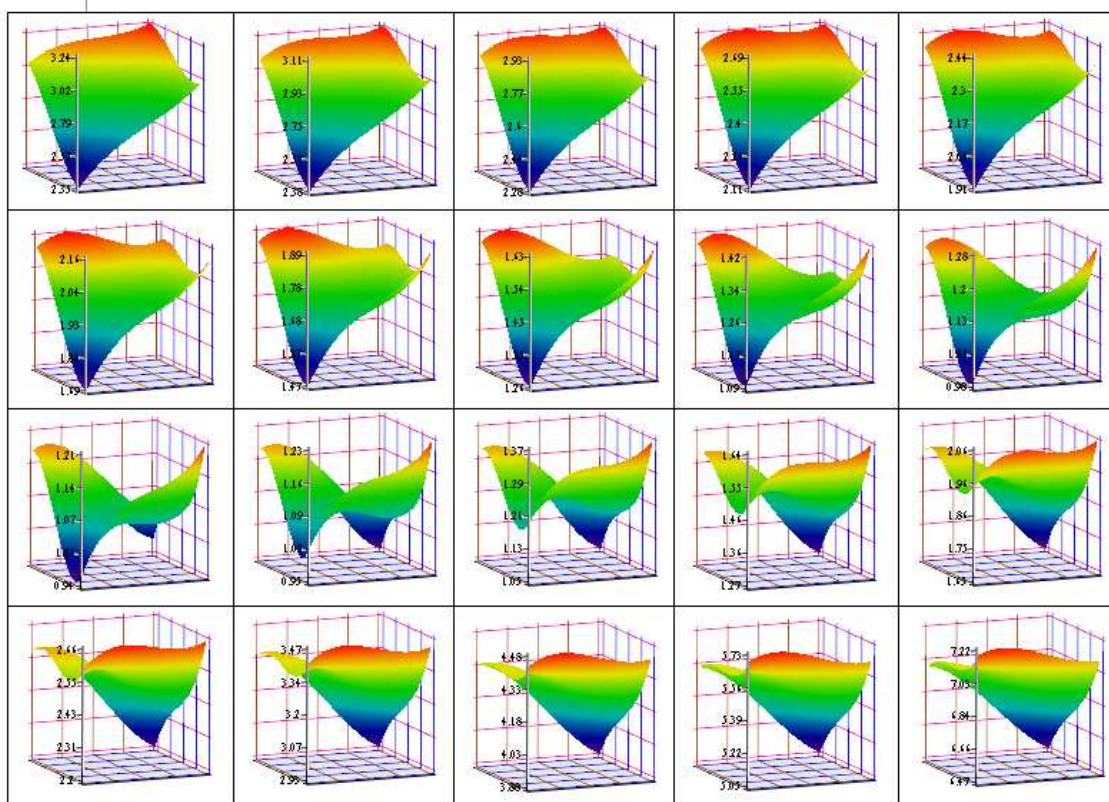
Как видно из рис. 10, от содержания электролитов в речной воде в наибольшей степени зависит показатель влажнопрочности бумаги, поэтому в период снеготаяния обеспечение качества продукции требует коррекции технологического режима.

**Получение и анализ стохастических моделей.** Имея таблично заданную функцию, мы можем получить линейную модель, потребовав минимизацию суммы квадратов невязок между измеренными и полученными по модели значениями свойства. Эта минимизация сопровождается решением системы нормальных алгебраических уравнений, которая получается путем приравнивания нулю первых производных по коэффициентам моделей основного функционала метода наименьших квадратов

$$F = \sum_{i=1}^N (Y^{мод} - Y^{эксн})^2 \rightarrow \min$$

Вычленив из общей базы данных интересующие меня столбцы независимых переменных, например, расход волокна, расход полимера и степень помола, я могу получить математическую модель проч-

ности бумаги. Мне не надо заботиться об организации активных экспериментов. Вся необходимая информация уже содержится в накопленных данных. Остается только применить метод наименьших квадратов и подобрать соответствующие линеаризующие преобразования. На рис. 11 приведена кинограмма кубической модели прочности бумаги в зависимости от расхода полимерной упрочняющей добавки (абсцисса), расхода волокнистой упрочняющей добавки (ордината) и прочность (аппликата). Степень помола выступает в качестве параметра, ответственного за динамику. Каждый кадрик в кинограмме отличается одним градусом Шоппер-Ригглера.



**Рисунок 11 – Кинограмма прочности бумаги в зависимости от степени помола**

Для одного закрепленного значения степени помола и различных значений расхода волокна и полимера рассчитывались по модели значения прочности с выявлением минимального и максимального, между которыми располагались поддиапазоны с назначенными цветовыми характеристиками. На первых десяти слайдах (21–30°Ш-Р) все идет так, как должно идти, т. е. расходы волокна и полимера действительно являются упрочняющими добавками. Без размола они позволяют повысить прочность до 3,24 км, с одним, очень важным уточне-

нием – упрочняющая способность в наибольшей степени проявляется на образцах с меньшей степенью помола.

С 31°Ш-Р начинается конкурентная борьба между волокном и полимером. При этом предлагается выбирать – либо волокно, либо полимер. Каждый работает самостоятельно, совместная работа приводит к резкому ухудшению эффекта.

С 36°Ш-Р и выше власть над прочностью полностью переходит к фактору «Степень помола». Если макулатуру размолоть до 36°Ш-Р и выше, не добавляя ничего, то достигается такой же эффект (3.24 км), как и при максимальных расходах упрочняющих добавок в неразмолотую (21°Ш-Р) волокнистую суспензию.

При высоких степенях помола (>36°Ш-Р) упрочняющей способностью обладают только добавки волокна, полимер покидает поле активных действий.

Таким образом, упрочняющее действие полимера происходит только при малых степенях помола.

Отсюда вывод – есть три способа упрочнения продукции: расход полимера, расход волокна и степень помола. Выбор (оптимизация) технологического режима определяется требованиями к качеству продукции и стоимостью ресурсов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В.Л. Колесников. Бумага и картон из волокнисто-полимерных композиций. – Мн., БГТУ, 2004, –242 с.

УДК 676.054.1

Ю.Д. Алашкевич, зав. кафедрой, член-корреспондент РАО,  
проф., д-р техн. наук [alashkevichud@mail.sibsau.ru](mailto:alashkevichud@mail.sibsau.ru)  
Р.А. Марченко, доц., канд. техн. наук [mapt@sibgtu.ru](mailto:mapt@sibgtu.ru)  
(СибГАУ, г. Красноярск)

#### **ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПРИ БЕЗНОЖЕВОЙ ОБРАБОТКЕ ВОЛОКНИСТЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ**

Безножевая обработка волокнистых растительных полуфабрикатов, в отличие от ножевого размола, имеет серьезные значительные отличия, как по способу воздействия на волокно, так и по ряду технологических и экономических показателей.

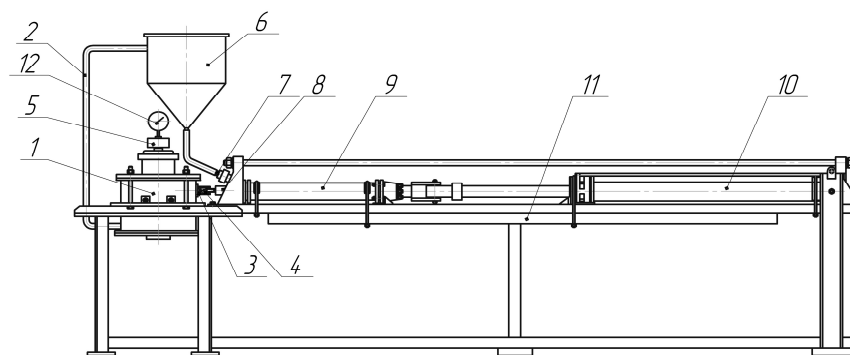
Основными положительными особенностями безножевого размола являются высокие качественные показатели обработанной волокнистой массы, что существенно при получении высококачественных готовых изделий в бумажном производстве.



Вместе с тем, безножевой размол, по сравнению с традиционным широко распространенным ножевым размол, имеет определенные недостатки, наиболее существенными из которых можно отметить низкую производительность оборудования, причиной чего отмечаются более высокие показатели по удельному расходу энергии на привод оборудования. Следовательно, задачей исследования безножевого размола явилось, при сохранении его положительных особенностей (качество помола), добиться значительного снижения энергозатрат, до показателей, сравнимых с ножевым размол.

В задачу экспериментальных исследований входило изучение качественных и количественных характеристик при движении струи волокнистой суспензии и контакте её с преградой. При этом, экспериментальным путем проведены замеры величины скорости и характера истечения струи при различных рабочих давлениях привода, замеры величины сил удара струи о преграду при различных режимах работы установки. Исследованы: влияние наличия преграды и её характера на качество помола волокнистой массы; влияние геометрических параметров насадки. Проведены специальные исследования по изучению кавитационных явлений при разработке волокнистых суспензий в установке «струя – преграда».

В качестве исследуемой установки безножевого размола была спроектирована и изготовлена установка «струя – преграда» [1].



1 – узел безножевого размола; 2 – трубопровод возврата; 3 – раструб; 4 – насадка; 5 – тормозное устройство; 6 – емкость; 7 – всасывающий клапан; 8 – выпускной клапан; 9 – рабочий цилиндр; 10 – приводной цилиндр; 11 – рама; 12 – тахометр

**Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки «струя – преграда»**

И наконец, определялись энергетические характеристики установки на различных режимах её работы, с целью оптимизации процесса размола.

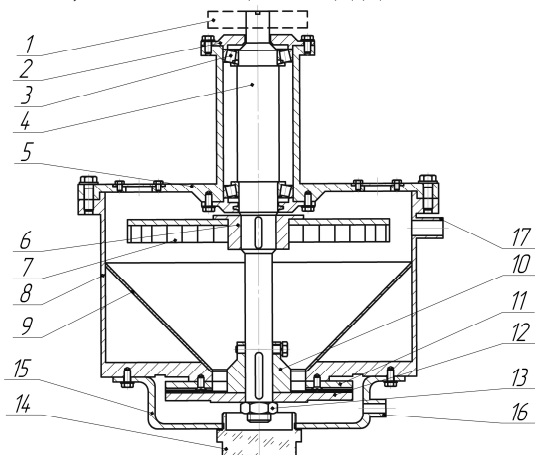
Для интенсификации процесса размола в безножевой размольной установке, в качестве приемного устройства была разработана и

изготовлена так называемая подвижная преграда, представляющая собой вращающуюся турбину с лопастями [2].

Исходя из теоретических исследований и анализа силовых воздействий на волокно, выяснилось, что при наличии преграды основными силовыми факторами процесса размола являются: удар струи волокнистой суспензии о неподвижную преграду и механизм разрушения волокна, связанный с кавитационным эффектом при контакте струи суспензии с преградой.

С использованием подвижной преграды (рисунок 2) появляется ряд факторов, влияющих на интенсивность размола, в частности геометрические параметры подвижной преграды, определяющие частоту контакта струи суспензии с ее элементами, скорость истечения струи, окружная скорость вращения подвижной преграды.

Вращение турбины осуществляется за счет контакта с лопастями струи суспензии, истекающей под давлением из насадки.



- 1 – тормозное устройство; 2 – крышка подшипника; 3 – подшипник;  
 4 – вал; 5 – крышка корпуса; 6 – ступица турбины; 7 – турбина; 8 – корпус;  
 9 – конус; 10 – ступица подвижного диска ножевой гарнитуры;  
 11 – неподвижный диск ножевой гарнитуры; 12 – подвижный диск гарнитуры;  
 13 – прижимная гайка; 14 – крышка; 15 – днище; 16 – патрубок выхода  
 волокнистой массы; 17 – патрубок подачи волокнистой массы

**Рисунок 2 – Узел безножевого размола**

В целом, влияние вышеуказанных параметров можно объединить в так называемый комплексный параметр работы безножевой установки, который, на наш взгляд, и должен объяснять механизм процесса размола при этом способе обработки волокна.

Понимая, что на процесс размола оказывает влияние скорость истечения струи, геометрические параметры турбины, количество лопастей турбины и скорость вращения турбины, необходимо найти ме-

жду ними зависимость, которая может выразаться в определении комплексного параметра рабочего колеса турбины [3].

При работе турбины рабочее колесо вместе с лопастями вращается вокруг оси турбины с угловой скоростью  $\omega$ . Выходящая из сопла и набегающая на лопасть струя волокнистой суспензии движется прямолинейно-поступательно, со скоростью –  $V_{стр}$ .

Рассмотрим движение лопасти относительно струи волокнистой суспензии. Для этого условно считаем струю неподвижной, а ось рабочего колеса перемещаем параллельно оси струи со скоростью –  $V_{стр}$ .

Вращение рабочего колеса с угловой скоростью  $\omega$  и прямолинейно-поступательное перемещение его оси со скоростью –  $V_{стр}$  соответствуют качению без скольжения образующего круга, соосного с рабочим колесом, радиусом

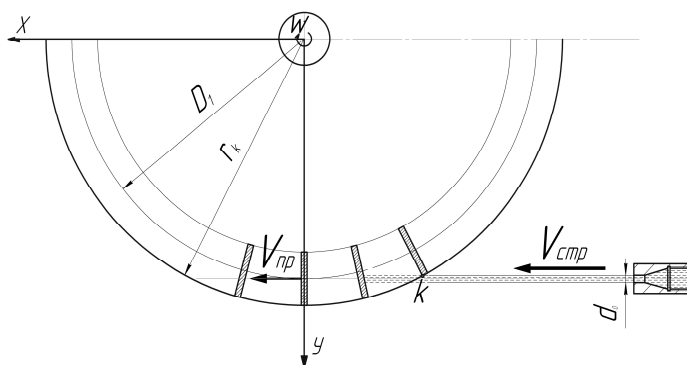
$$a = \frac{V_{стр}}{\omega}, \quad (1)$$

по горизонтальной плоскости, со скоростью оси –  $V_{стр}$ . При этом любая точка внутри этого круга описывает укороченную циклоиду (или трохойду).

Выберем систему декартовых координат, связанную со струей волокнистой суспензии (рисунок 3).

Ось абсцисс  $x$  направляем параллельно оси струи суспензии по скорости  $s$ , ось ординат  $y$  – вертикально вниз. Начало координат в исходный момент на оси рабочего колеса.

Рассмотрим перемещение точки  $k$ , в исходном положении находящейся на оси ординат на расстоянии  $r_k$  (рисунок 3, 4) от оси круга (положение  $k$ ).



**Рисунок 3 – Схема расположения насадки и рабочего колеса турбины**

В соответствии с рисунком 3, отрезки траекторий двух сходственных течек соседних лопастей, при входе в зону действия струи, смещены на величину:

$$\Delta x_n = 2 \cdot \pi \cdot a / z = P \quad (2)$$

Величину  $P$  назовем приведенным шагом рабочего колеса, а величину  $2 \cdot \pi / z$  угловым шагом  $\Delta t_{uw}$ , то есть

$$\Delta t_{uw} = 2 \cdot \pi / z \quad (3)$$

Тогда приведенный шаг рабочего колеса турбины равен

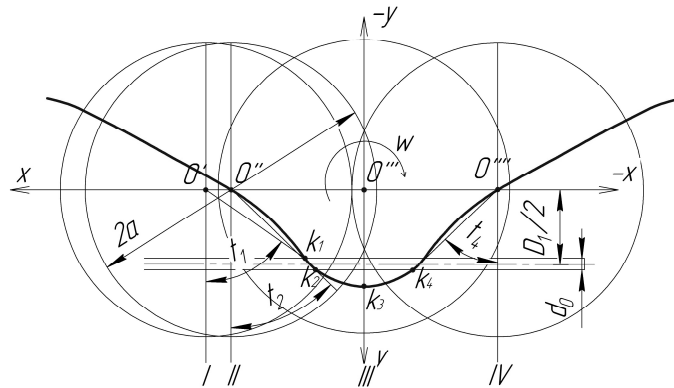
$$P = \Delta t_{uw} \cdot a \quad (4)$$

Обозначим  $P$  комплексным параметром, который в комплексе характеризует процесс истечения струи суспензии из сопла и контакта её с подвижной преградой.

С учетом выражений (1) и (4), окончательно комплексный параметр эффективности процесса размола можно записать

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot V_{cmp} \cdot r}{z \cdot V_{np}}, \quad (5)$$

где  $V_{np}$  – скорость вращения подвижной преграды, м/с;  $r$  – радиус подвижной преграды, м.



**Рисунок 4 – Различные положения входной кромки лопасти относительно струи волокнистой суспензии**

Таким образом, комплексный параметр эффективности процесса размола зависит от скорости истечения струи суспензии, геометрических параметров приемного устройства и скорости его вращения.

Механизм воздействия на волокно в установке зависит от многих факторов, в числе которых немаловажную роль играет частота контактов струи с преградой.

Глубокая же степень разработки, в конечном счете, зависит от энергии удара струи волокнистой суспензии и числа ее соударений о преграду.

Повышение скорости струи волокнистой суспензии обычными способами связано со значительными энергозатратами и конструктивными усложнениями. К тому же, исходя из теоретических расчетов, видно, что изменение скорости истечения струи волокнистой суспензии оказывает менее значительное влияние на комплексный параметр, чем изменение геометрических параметров приемного устройства, в частности изменение количества лопастей. Поэтому более предпочтительным представляется возможность регулировать значение комплексного параметра эффективности размола волокнистых полуфабрикатов в безножевой размольной установке с учетом конструктивных особенностей приемного устройства (диаметр турбины, количество лопастей на турбине) и скорости вращения подвижной преграды.

Комплексный параметр эффективности процесса размола влияет на величину импульса струи волокнистой суспензии при ее контакте с элементами подвижной преграды, а также на количество этих контактов.

При ударе струи суспензии о преграду воздействие на волокно может превышать предел его прочности, что приведет к локальным нарушениям его структуры. В таблице 1 представлены значения импульса струи волокнистой суспензии, возникающего в момент ее контакта с элементами подвижной преграды, значения давлений струи при контакте с преградой, а также количество этих контактов, в зависимости от комплексного параметра эффективности процесса размола, при  $V_{cmp}=200$  м/с,  $d_0=0,002$  м,  $\rho=1054$  кг/м<sup>3</sup>.

**Таблица 1 – Значения импульса, давления струи волокнистой суспензии при контакте с преградой и количества контактов в зависимости от комплексного параметра эффективности процесса размола**

Р, м	Импульс струи, кг·м/с	Давление, возникающее при контакте струи суспензии с преградой, МПа	Количество контактов струи
0,1	0,08	64,12	24300
0,2	0,16	128,25	12150
0,3	0,24	192,37	8100
0,4	0,32	256,50	6075
0,5	0,40	320,62	4860
0,6	0,48	384,75	4050
0,7	0,56	448,87	3471
0,8	0,64	513,00	3037
0,9	0,72	577,12	2700
1	0,79	641,25	2430
1,5	1,19	961,87	1620
2	1,59	1282,50	1215

### **Выводы**

В результате проведенных исследований процесса размола волокнистого материала безножевым способом, был теоретически обоснован механизм процесса размола волокнистых полуфабрикатов при производстве готовой продукции в целлюлозно-бумажном производстве, основанный на комплексном параметре эффективности процесса размола. Это позволит найти оптимальные параметры работы установки, с точки зрения повышения её производительности, улучшения качества помола и снижения электрозатрат.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Алашкевич, Ю. Д. Гидродинамические явления при безножевой обработке волокнистых материалов / Ю. Д. Алашкевич. – Красноярск, 2004. – 80 с.
2. Кутовая, Л. В. Обобщающий параметр безножевого способа обработки волокнистых полуфабрикатов: монография / Л. В. Кутовая, Ю. Д. Алашкевич. – Красноярск: СибГТУ, 2001. – 130 с.
3. Эдель, Ю. У. Ковшовые гидротурбины / Ю. У. Эдель. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград: Машиностроение, 1980. – 285 с.

УДК 661.183.2

Н.И. Богданович<sup>1</sup>, проф., д-р техн. наук;  
Е.А. Лагунова<sup>1</sup>, ассист.;  
Л.Н. Кузнецова<sup>1</sup>, доц., канд. техн. наук;  
С.А. Цаплина<sup>1</sup>, доц., канд. техн. наук;  
Н.В. Черная<sup>2</sup>, проф., д-р техн. наук

[e.lagunova@narfu.ru](mailto:e.lagunova@narfu.ru) (<sup>1</sup>С(А)ФУ имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск;  
<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет, г. Минск)

### **ПИРОЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕЙ**

Модельные эксперименты по пиролизу технических лигносульфонатов (ЛСТ) с добавлением карбоната и сульфата натрия в количествах, соизмеримых с их содержанием в окисленных ЛСТ, показали, что развитая пористая структура получаемых углеродных материалов (после отмычки Na-оснований) и, соответственно, высокие показатели сорбционных свойств могут быть достигнуты при дозировке сульфата натрия 90–100 и карбоната натрия 30–40% в расчете на сухие вещества исходных ЛСТ [1, 2]. Рассчитанные на основании изотерм адсорбции бензола по уравнению Дубинина-Радушкевича параметры пористой структуры углей на основе окисленных ЛСТ и исходных с оптимальной добавкой солей натрия позволяют утверждать, что при не-

значительной разнице в режимах пиролиза таким образом можно без дополнительной парогазовой активации получать угли с одинаковыми параметрами пористой структуры. В связи с установлением активирующего действия солей натрия на процессы формирования пористой структуры угля при пиролизе ЛСТ на натриевом основании, представляло интерес исследовать влияние ионов натрия в наиболее активной форме – форме гидроксида на выход и адсорбционные свойства получаемых науглероженных материалов [3].

Предварительные эксперименты показали, что добавка щелочи от 1 до 3 условных единиц (у. е.) позволяет проводить пиролиз при значительно более низкой температуре, чем для исходных ЛСТ в отсутствие данного реагента, и обеспечивает формирование развитой высокопористой структуры активных углей (АУ), а значит и высоких адсорбционных свойств в отношении общепринятых адсорбатов: сорбции йода ( $J_2$ ) и метиленового голубого (МГ) возрастают, соответственно, до 110% и 520 мг/г.

Из экспериментальных данных следует, что с увеличением расхода щелочи в области оптимальных дозировок резко возрастает количество отмываемого гидроксида натрия при незначительном накоплении карбоната натрия. Это может указывать на наличие определенных стехиометрических соотношений между количеством щелочи и содержанием кислородсодержащих функциональных групп лигносульфонатов. Действительно, проведенные стехиометрические расчеты подтверждают, что практически весь кислород, находящийся в исходных ЛСТ в химически связанном состоянии, переходит по реакции карбонизации в  $Na_2CO_3$ . Не исключается влияние подобного вида взаимодействия между органической матрицей ЛСТ и NaOH при термообработке и на формирование адсорбционных свойств АУ.

Таким образом, количество щелочи, необходимой для получения углеродных адсорбентов, можно регулировать, учитывая (или изменяя) содержание кислорода в различных лигнинах и контролируя содержание гидроксида и карбоната натрия в водных экстрактах, получаемых при промывке карбонизованных продуктов.

Для снижения количества кислородсодержащих групп в ЛСТ мы использовали предварительную термообработку (предпиролиз) при температурах 100 - 400°C. При этом наблюдалось снижение массы ЛСТ и соответствующее ему концентрирование элементного углерода. Последующая термообработка получаемого при предпиролизе науглероженного материала в присутствии NaOH приводит к существенному росту выхода активного угля в расчете на органические вещества ЛСТ. Особенно резкое увеличение выхода активного угля на-

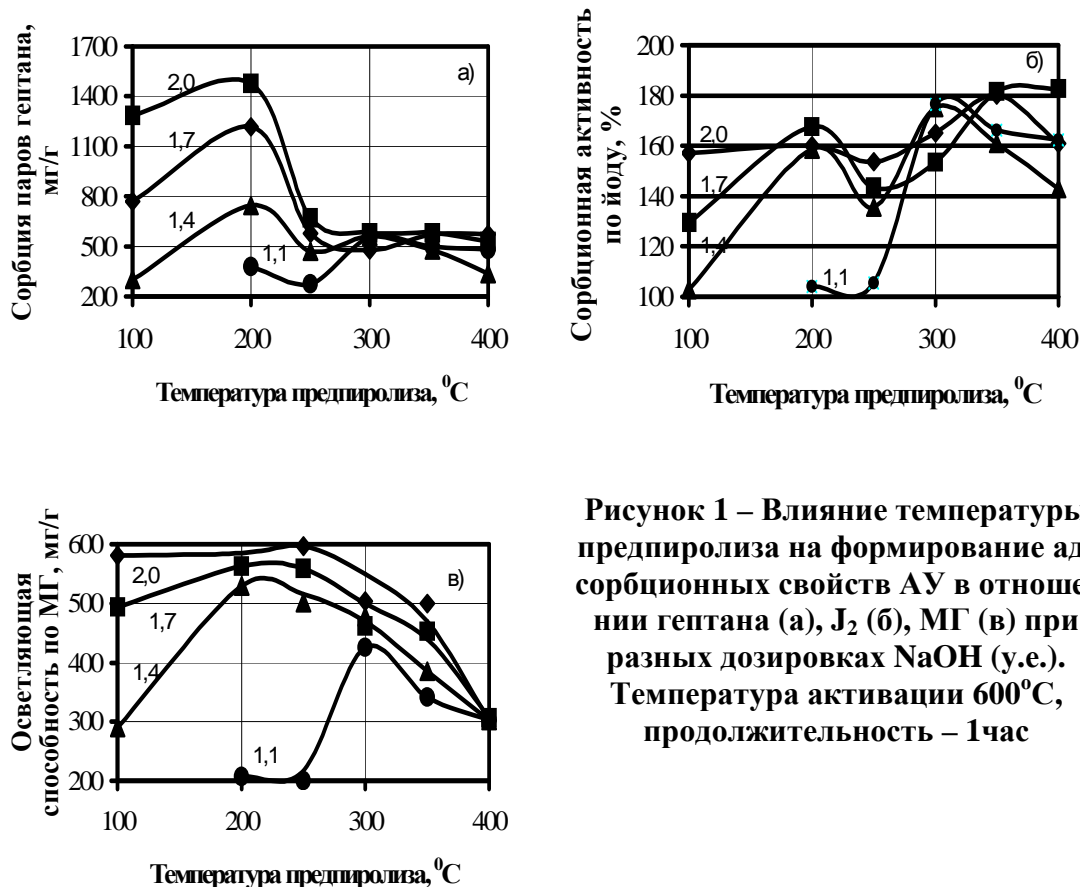
блюдается при использовании для активации карбонизованного остатка от предпиролиза в температурном интервале 200 - 300<sup>0</sup>С и с увеличением дозы NaOH. Дальнейшее повышение температуры предпиролиза (300 - 350<sup>0</sup>С) приводит к стабилизации выхода АУ на уровне 34 - 35% к органическим веществам ЛСТ вне зависимости от количества вводимой щелочи.

Наблюдаемая особенность влияния температуры предобработки ЛСТ на последующее формирование угольной массы подтверждает высказанное выше предположение о характере взаимодействия кислородсодержащих групп с NaOH в процессе активирования. Избыток кислорода перераспределяется по реакции окисления-восстановления в активированной щелочью лигнинной матрице таким образом, что приводит к “выгоранию“ угля и соответствующему перерасходу NaOH за счет образования Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Следовало ожидать, что именно предподготовка ЛСТ термообработкой в температурном интервале 200-300<sup>0</sup>С в наибольшей мере скажется на адсорбционных свойствах синтезируемого АУ. На рис. 1 представлены экспериментальные данные, характеризующие формирование адсорбционных свойств АУ в отношении гептана (эксикаторный метод), J<sub>2</sub> и МГ. Как следует из расположения опытных точек на графиках (рис.1), температура предпиролиза 200<sup>0</sup>С является достаточной для формирования узких микропор, ответственных за адсорбцию гептана из газовой фазы при дозировках NaOH 1,4 у.е. и выше. С увеличением дозы данного реагента адсорбция гептана растет достигая значения 1500 мг/г, что недостижимо для других методов активирования. Таким образом можно утверждать, что NaOH активирует углеродную матрицу на уровне микропор не столько в результате катализа ион-радикальных взаимодействий, сколько по топомическим реакциям, приводящим к изменению турбостратной структуры АУ. Судя по значению максимальной адсорбции подобные изменения должны приводить к полному разрыхлению турбостратной структуры и образованию аморфных гексоганальных сеток, произвольно ориентированных в пространстве, и исключающих наличие взаимно ориентированных (по типу графита) участков.

Адсорбционные свойства АУ в отношении МГ также практически полностью формируются при использовании ЛСТ, термообработанных перед активированием при температуре 200<sup>0</sup>С. Однако, образовавшаяся пористая структура, ответственная за сорбцию МГ (супермикро- и мезопоры), сохраняется при повышении температуры предобработки до 300<sup>0</sup>С, в то время как объем микропор (по адсорбции гептана) при этом резко (почти в 3 раза) снижается. Можно пред-



положить, что предобработка ЛСТ при температурах около 200°C оптимальным образом активизирует макромолекулы ЛСТ к последующему взаимодействию со щелочью, не приводя при этом к развитию конденсационных процессов, препятствующих в последующем протеканию топохимических реакций.



**Рисунок 1 – Влияние температуры предпириролиза на формирование адсорбционных свойств АУ в отношении гептана (а), J<sub>2</sub> (б), МГ (в) при разных дозировках NaOH (у.е.). Температура активации 600°C, продолжительность – 1 час**

Из полученных данных следует важный практический вывод, исследование которого не предполагалось при постановке задачи: температурная предобработка ЛСТ не только приводит к уменьшению содержания элементного кислорода в ЛСТ, но и является действительным методом формирования новой органической матрицы, во-первых, более устойчивой к термораспаду при последующем нагреве в присутствии NaOH, а во-вторых – более активной при формировании пор, ответственных за адсорбцию.

Адсорбция йода полученными АУ сложным образом зависит от температуры предпириролиза и дозировок NaOH. Некоторое снижение адсорбции J<sub>2</sub> при повышении температуры предпириролиза с 200 до 250°C в области дозировок 1,4 и 1,7 у.е. является, скорее всего следствием процесса формирования пористой структуры, при которой мик-

ропоры с полушириной менее 0,5 нм, практически недоступны для адсорбции J<sub>2</sub> и МГ, однако J<sub>2</sub>, имеющий меньший эффективный диаметр молекулы, должен сорбироваться по промежуточному типу между адсорбцией гептана и МГ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фадеев С.М., Кузнецова Л.Н., Цаплина С.А., Богданович Н.И. Пиролиз ЛСТ в присутствии карбоната и сульфата натрия // Экология северных территорий России, Т.2: мат-лы междунаро. конф., Арх-к, ИЭПС УрОРАН, 2002, с.585-590.

2. Богданович Н.И., Добеле Г.В., Цаплина С.А., Фадеев С.М., Кузнецова Л.Н. Термохимическая активация технических лигнинов сульфатом и карбонатом натрия // Современные теоретические модели адсорбции в пористых средах: мат-лы Всерос.сим. с участием иностран. ученых, М. ИФХ РАН, 1999, с.65.

3. Богданович Н.И. Пиролиз технических лигнинов //Изв. ВУЗов, Лесной журнал 1998, № 2-3, с.120-132.

УДК 676.2 : 501

И.В. Войтов, д-р техн. наук, проф., ректор [rector@belstu.by](mailto:rector@belstu.by)  
(БГТУ, г. Минск)

#### **КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ И ТЕХНОЛОГИИ БУМАГИ И КАРТОНА**

В технологии бумаги и картона широко используют различные волокнистые полуфабрикаты (первичные и вторичные), а также функциональные (для проклейки, упрочнения, наполнения и т.д.) и процессные (для управления электрокинетическим потенциалом и дисперсностью присутствующих частиц дисперсной фазы, а также для структурообразования, удержания, флокуляции и т.д.) химические вещества. Эффективность применения химических веществ зависит от многих технологических факторов, поскольку технология получения бумаги и картона относится к сложным химико-технологическим системам [1]. Качество готовой продукции зависит от каждой стадии производственного цикла [1, 2], а на ее себестоимость влияют расходы применяемых химических веществ.

Применяемые волокнистые полуфабрикаты, получаемые из хвойных и лиственных пород древесины, отличаются морфологическим строением, размерами, фракционным составом и, следовательно, бумагообразующими свойствами. Целлюлозные волокна относятся к

первичным волокнистым полуфабрикатам; они имеют, как правило отрицательный электрокинетический потенциал, который изменяется от  $-25$  до  $-120$  мВ. Макулатурное сырье относится к вторичным волокнистым полуфабрикатам; его переработка сопровождается определенными технологическими трудностями, среди которых следует отметить необходимость вынужденного повышения расходов применяемых химических веществ для придания бумаге и картону требуемого комплекса регламентируемых показателей качества. На поверхности макулатурных волокон находятся частицы дисперсной фазы ранее использованных функциональных и процессных химических веществ; поэтому электрокинетический потенциал волокон находится в диапазоне от  $-25$  до  $+25$  мВ.

Функциональные химические вещества представляют собой дисперсные системы, в которых дисперсной фазой являются, как правило, частицы размером  $50-250$  мкм с отрицательным электрокинетическим потенциалом (от  $-25$  до  $-120$  мВ), а дисперсионной средой – вода. В качестве процессных химических веществ применяют разнообразные водорастворимые соединения (электролиты, полиэлектролиты и др.), отличающиеся физико-химическими свойствами – структурой, степенью полимеризации, молекулярной массой, содержанием положительно и/или отрицательно заряженных групп и др.

Известно [2], что процессы проклейки, упрочнения и наполнения являются конкурирующими.

Существующая технология бумаги и картона основана на протекании процессов проклейки, упрочнения и наполнения в режиме гомокоагуляции [2]. Протекающие коллоидно-химические взаимодействия между присутствующими в бумажных массах частицами функциональных веществ и молекулами процессных химических веществ приводят к тому, что образуются коагуляты (агломераты), не способные равномерно распределяться и прочно фиксироваться на поверхности волокон (целлюлозных и макулатурных). Одной из основных причин является, по нашему мнению [2], то, что коагуляты являются не только крупнодисперсными и разновеликими (их размер изменяется от  $1800$  до  $6500$  нм), но и электронейтральными. Такие коагуляты обладают пониженной степенью удержания в структуре бумаги и картона, которая не превышает  $65\%$  при использовании первичных (целлюлозных) волокон и составляет  $35-45\%$  при использовании вторичных (макулатурных) волокон. Укрупненные частицы дисперсной фазы, имеющие размер  $2500-6500$  нм, удерживаются в структуре бумаги и картона механически, а удержание остальных частиц размером

1800–2500 нм [2] объясняется известными теориями гидроксида алюминия и координационной [1].

Основной нерешенной проблемой в технологии бумаги и картона является проблема повышения степени удержания частиц дисперсной фазы функциональных и процессных химических веществ. Особую роль играют коллоидно-химические взаимодействия, протекающие в бумажных массах.

К одним из перспективных способов решения этой актуальной проблемы является, по нашему мнению, способ, основанный на смещении процессов проклейки, упрочнения и наполнения из традиционного режима гомотоагуляции в более эффективный режим гетероадагуляции пептизированных частиц. Протекающие коллоидно-химические взаимодействия позволяют сначала получить новые комплексы (проклеивающие, упрочняющие наполняющие) в виде мелкодисперсных положительно заряженных пептизированных частиц, а затем обеспечить равномерное распределение их монослоем и прочную фиксацию на поверхности волокон. Такой режим, как доказано нами [2], обеспечивает компенсацию потери гидрофобности (до 5–8%) и прочности (до 8–17%) при производстве клееных видов бумаги и картона, а использование слабоосновного катионного полиэлектролита в количестве 0,8–1,5 кг/т позволяет заменить 10–12 кг/т электролита.

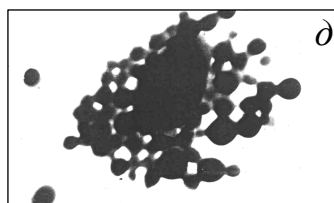
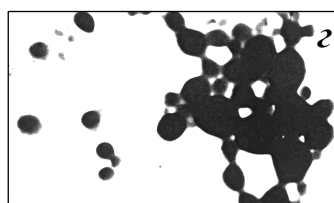
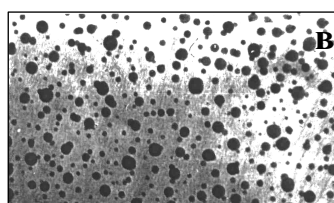
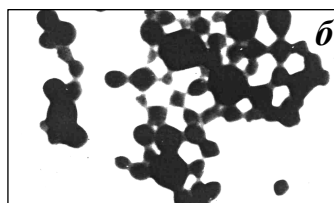
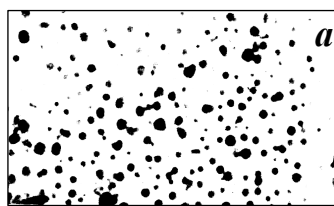
Приведенные ниже результаты исследований, представленные на рис. 1 применительно, например к гидродисперсиям модифицированной канифоли (ГМК), подтверждают целесообразность смещения протекающих процессов проклейки, упрочнения и наполнения из традиционного режима гомотоагуляции (существующая технология) в более эффективный режим гетероадагуляции пептизированных частиц (разработанная технология).

Нами впервые установлено, что в присутствии электролита коагуляционный процесс протекает в двух областях. В первой области коагуляции образуются коагуляты, способные при определенных условиях к пептизации (дезагрегированию), в то время как коагуляты, образовавшиеся во второй области, не способны к пептизации.

В первой области электролитной коагуляции (например, применяют гидродисперсии модифицированной канифоли (ГМК)), когда в дисперсную систему добавляют первую порцию электролита, из коагулюмов формируются коагуляты, способные к пептизации; их размер не превышает 1080 нм, а электрокинетический потенциал находится в области критических значений (от –20 до +20 мВ); степень агрегирования коагулюмов не превышает 10. Образовавшиеся коагуляты, как установлено нами [2], способны к пептизации (дезагрегированию).

Однако процессы проклейки, упрочнения и наполнения протекают в режиме гомокоагуляции из-за того, что размеры коагулятов являются достаточно большими.

Последующее добавление в дисперсную систему электролита (второй порции) приводит к пептизации (дезагрегированию) коагулятов. В этом случае, как установлено нами [2], можно заменить вторую порцию электролита (10–12 кг/т) на слабоосновной катионный полиэлектролит (0,8–1,5 кг/т). Пептизированные частицы являются мелкодисперсными (размер не превышает 210 нм) и положительно заряженными (электрокинетический потенциал возрастает до +35 мВ при



**Рисунок 1 – Микрофотографии исходной ГМК (а), коагулятов (б, з и д) и пептизированных частиц (в) при увеличении х500**

использовании второй порции электролита и до +50 мВ при использовании слабоосновного катионного полиэлектролита). Процессы проклейки, упрочнения и наполнения протекают в режиме гетероадагуляции пептизированных частиц (разработанная технология).

Во второй области электролитной коагуляции ГМК, в дисперсную систему дополнительно добавляют следующую (третью порцию) электролита, коагуляционный процесс возобновляется. Результатом этого является образование крупнодисперсных и разновеликих (их размер изменяется от 4200 до 6500 нм) электронейтральных коагулятов. Процессы проклейки, упрочнения и наполнения протекают в режиме гомокоагуляции (существующая технология).

Анализ микрофотографий (рис. 1) свидетельствует о том, что размеры коагулятов (б), образовавшихся в первой области электролитной коагуляции ГМК, меньше размеров коагулятов (з и д), образовавшихся во второй области коагуляции. Размеры пептизированных частиц (в) максимально приближаются к размеру частиц дисперсной фазы исходной ГМК (а).

Для образования пептизирующихся коагулятов и получения из них пептизированных частиц должны выполняться следующие основные условия:

- частицы дисперсной фазы в исходной ГМК должны иметь радиус не более  $10^{-8}$  м и  $\xi$ -потенциал не более  $-90$  мВ;

- повышение дисперсности системы способствует углублению протекающего процесса пептизации;
- эффективная толщина диффузной части двойного электрического слоя не должна превышать  $3 \cdot 10^{-10}$  м (3 Å);
- константа Гамакера, учитывающая когезионное взаимодействие частиц между собой, не должна превышать  $10^{-20}$  Дж;
- пептизирующиеся коагуляты должны представлять коагуляционные структуры с высокой подвижностью частиц относительно друг друга за счет разделения мест контактов прослойками дисперсионной среды (воды);
- толщина прослойки дисперсионной среды  $h_0$  должна быть не менее  $2 \cdot 10^{-10}$  м;
- необходимо уменьшать эффективную константу Гамакера  $A^*$ , характеризующую когезионное и адгезионное взаимодействие, до  $10^{-21}$  Дж и менее; для этого дисперсная система должна содержать требуемые формы пептизирующих катионов с учетом коллоидно-химических свойств применяемых ГМК;

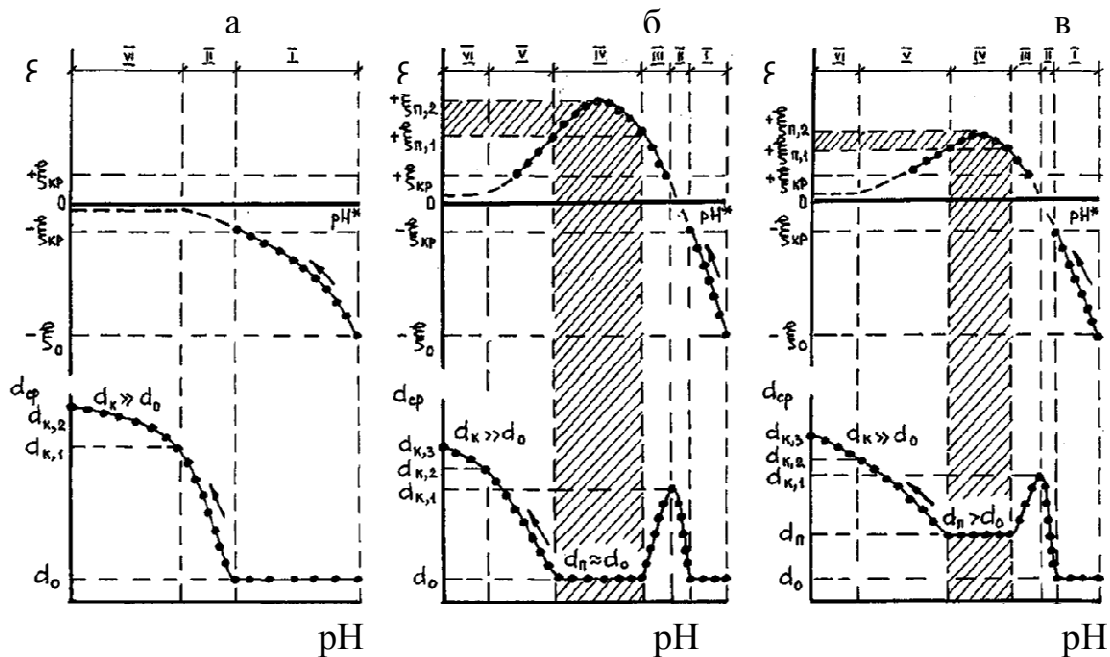


Рисунок 2 – Влияние pH дисперсной системы на  $\xi$ -потенциал и размеры ( $d_{cp}$ ) частиц при проклейке, упрочнении и наполнении бумажной массы в режимах гомокоагуляции (а), гетероадагуляции (б) и промежуточном режиме (в)

- для отталкивания поверхностных слоев расклинивающее давление (суммарный параметр, учитывающий как силы отталкивания, так и силы притяжения, действующие в пленке) должно быть положительным, что соответствует уменьшению энергии Гиббса с ростом толщины пленки.

О смещении процессов проклейки, упрочнения и наполнения в из режима гомокоагуляции (а) к режиму гетероадагуляции (б) и о существовании промежуточного режима (в) свидетельствуют зависимости, приведенные на рис. 2.

Из рис. 2, б видно, что пептизированные частицы имеют размер  $d_p$ , максимально близкий к исходным размерам частиц дисперсной фазы  $d_0$ ; они являются мелкодисперсными и положительно заряженными. Их электрокинетический потенциал  $\xi$  является положительным и находится в диапазоне от  $\xi_{п,1}$  до  $\xi_{п,2}$ . При пептизации выполняются два условия: во-первых,  $d_p \approx d_0$  и, во-вторых,  $\xi_{п,1} \leq \xi \leq \xi_{п,2}$ .

Коагуляты имеют размер  $d_k$ , значительно превышающий  $d_0$  и электрокинетический потенциал в области критических значений ( $-\xi_{кр} \leq \xi \leq +\xi_{кр}$ ).

К положительным аспектам, подтверждающим необходимость дополнительного присутствия в дисперсной системе оптимального количества катионного полиэлектролита  $R_{опт}$ , % от абсолютно сухого волокна, относится снижение содержания взвешенных веществ  $C$ , мг/л, в регистровой воде за счет повышения степени удержания волокна  $СТУ_v$ , %, и функциональных химических веществ  $СТУ_k$ , %. Применение слабоосновного (ППЭС) или сильноосновного (ПДМДААХ) катионного полиэлектролита способствует улучшению качества бумаги и картона. Об этом свидетельствуют данные, представленные в табл. Видно, что впитываемость при одностороннем смачивании  $Y_1$ , г/м<sup>2</sup>, уменьшается, степень проклейки по штриховому методу  $Y_2$ , мм, повышается, влагонепрочность  $Y_3$ , %, и разрывная длина  $Y_4$ , м возрастают.

**Таблица – Состав дисперсной системы и ее основные свойства**

Состав дисперсной системы			Основные свойства дисперсной системы					
$R_{опт}$	pH*	C	$СТУ_v$	$СТУ_k$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$
«Целлюлозные волокна – ГМК – электролит»								
–	7,2	11,8	94,3	70,4	17,0	2,4	2,6	4 600
«Целлюлозные волокна – ГМК – электролит – ППЭС»								
0,030	7,0	0,2	99,3	96,4	17,5	2,4	12,5	4 950
«Целлюлозные волокна – ГМК – ППЭС – электролит»								
0,035	6,9	1,8	99,2	89,3	23,0	2,1	9,8	4 750
«Целлюлозные волокна – ППЭС – ГМК – электролит»								
0,040	6,8	3,9	99,0	92,2	26,5	2,0	5,8	5 100
«Целлюлозные волокна – ГМК – электролит – ПДМДААХ»								
0,015	7,0	9,4	96,5	93,0	14,2	2,4	7,2	5 500
«Целлюлозные волокна – ГМК – ПДМДААХ – электролит»								
0,035	7,1	5,5	98,4	65,6	36,7	1,4	8,5	5 300
«Целлюлозные волокна – ПДМДААХ – ГМК – электролит»								
0,050	6,8	4,0	98,7	61,3	38,0	1,4	6,5	5 320

Из таблицы видно, что последовательность введения ГМК, электролита и катионного полиэлектролита оказывает существенное влияние на свойства дисперсных систем и полученных из них образцов бумаги (элементарных слоев картона). Поэтому рассматриваемая схема добавления химикатов к целлюлозным волокнам (в частности, по последовательности 1 «ГМК → электролит → катионный полиэлектролит») является, на наш взгляд, оптимальной при изготовлении высококачественных видов бумаги и картона, проклеенных ГМК в кислой и нейтральной средах.

Однако для повышения влагопрочности клееных видов бумаги и картона целесообразно использовать другую схему добавления химикатов к целлюлозным волокнам, а именно «ГМК → катионный полиэлектролит → электролит» (последовательность 2). Установлено, что введение в систему сильноосновного катионного полиэлектролита ПДМДААХ ( $R = 0,035$ ) способствует не только увеличению влагопрочности  $Y_3$  образцов бумаги от 2,6 до 8,5%, но и повышению разрывной длины  $Y_4$  от 4600 до 5300 м. Это можно объяснить повышением прочности структурированной сетки в результате увеличения степени флокуляции проклеенных целлюлозных волокон.

Следует подчеркнуть достоинства третьей схемы добавления химикатов к целлюлозным волокнам (последовательность 3 «катионный полиэлектролит → ГМК → электролит»). Эта схема рекомендуется нами при изготовлении слабоклееных бумаги и картона из волокнистого сырья с повышенным содержанием в нем мелковолокнуистой фракции. Особенно заметно этот эффект проявляется при использовании в дисперсных системах сильноосновных катионных полиэлектролитов в целом и ПДМДААХ в частности.

Следовательно, полученные данные свидетельствуют о целесообразности применения катионных полиэлектролитов при получении высококачественных видов бумаги и картона.

Таким образом, смещение процессов проклейки, упрочнения и наполнения из традиционного режима гомотоагуляции в более эффективный режим гетероадагуляции пептизированных частиц является необходимым условием при получении бумаги и картона улучшенного качества. Экологичность действующих производств повышается за счет максимального увеличения степени удержания в структуре бумаги и картона присутствующих функциональных и процессных химических веществ.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Фляте, Д.М. Свойства бумаги / Д.М. Фляте. – С-Пб: Лань, 2012.



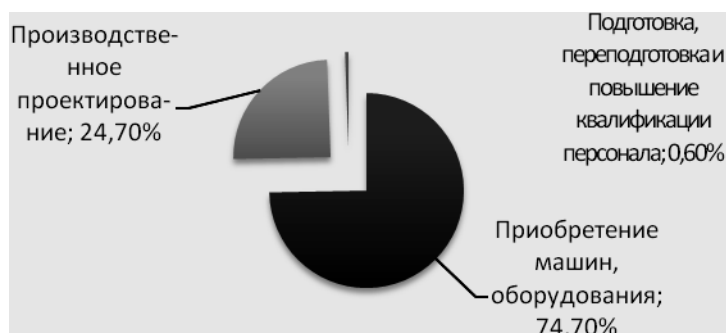
2 Черная, Н.В. Технология производства бумаги и картона : учеб. пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности «Химическая технология переработки древесины» / Н.В. Черная, В.Л. Колесников, Н.В. Жолнерович. – Минск: БГТУ, 2013. – 435 с.

УДК 676 : 338

Н.В. Черная<sup>1</sup>, проф., д-р техн. наук  
Е.В. Дубоделова<sup>1</sup>, ст. препод., канд. техн. наук [katedubodelova@tut.by](mailto:katedubodelova@tut.by)  
И.П. Деревяго<sup>2</sup>, зав. отделом, доц., канд. экон. наук  
(<sup>1</sup>БГТУ, <sup>2</sup>ГНУ «НИЭИ Министерства экономики РБ», г. Минск)

### СОСТОЯНИЕ СОВРЕМЕННОГО РЫНКА БУМАЖНОЙ И КАРТОННОЙ ПРОДУКЦИИ

Инвестирование в промышленность основывается на анализе комплекса факторов, среди которых роль маркетинговых исследований сложно недооценить. Согласно статистическим данным за 2016 г. количество инновационно-активных организаций целлюлозно-бумажного производства (далее ЦБП) и издательской деятельности (далее ИД) Республики Беларусь за период 2011-2015 гг. варьировало от 6 до 9 единиц. При этом их удельный вес в общем числе организаций промышленности составлял достаточно высокую величину – от 10,2 до 15% [1]. Структура затрат на технологические инновации показана на рисунке 1.



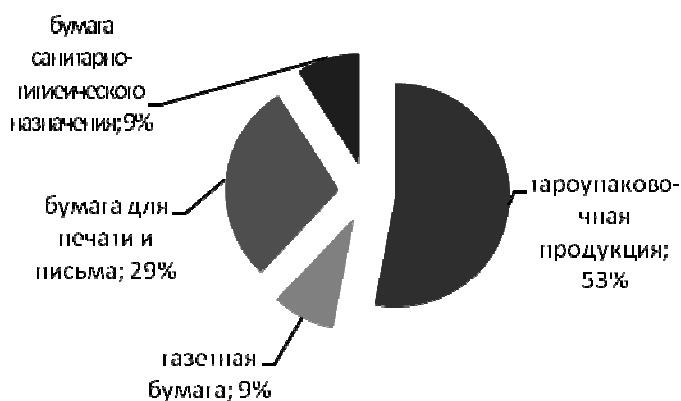
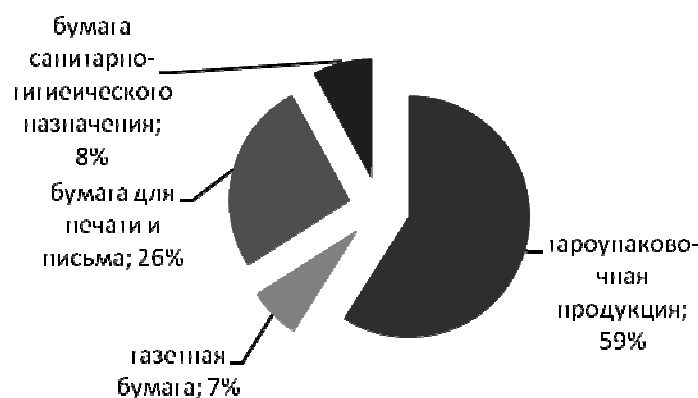
**Рисунок 1 – Структура затрат на технологические инновации организаций ЦБП и ИД Республики Беларусь**

Из рисунка 1 видно, что основные средства в РБ выделялись на техническое перевооружение отрасли. При этом в структуре инноваций за указанный период отсутствовали такие важные элементы развития отрасли как: исследования и разработки; приобретение новых и высоких технологий; компьютерных программ, баз данных и маркетинговые исследования. Для выбора направления развития отрасли ЦБП и ИД на текущий период необходимо проанализировать состоя-

ние современного рынка на территориях мирового сообщества, в том числе наиболее привлекательным для Беларуси рынкам Таможенного Союза и Евросоюза.

Анализ мирового рынка согласно данных [2] показал, что до 2010 г. наблюдался устойчивый рост производства бумаги и картона и достигал величины 8,7 млн. т./год, а период с 2010 до 2015г. характеризовался стабильностью – прирост составил 0,5%/год. В мировом сообществе в 2014 г произведено 401 млн. т бумаги и картона [2]. При этом на долю стран Европейского региона приходилось 22,9% или 92 млн. т. Структура производимой бумаги и картона для мирового сообщества и Европейского региона показана на рисунке 1.

*а*



*б*

*а* – мировое сообщество; *б* – Европейский регион

**Рисунок 2 – Структура производимой бумаги и картона в 2014 г.**

Из рисунка 2 видно, что структура производимой продукции для мирового сообщества и Европейского региона практически идентична. По долгосрочным прогнозам [2] на период с 2014 по 2030 гг. планирует-

ся рост спроса на санитарно-гигиеническую продукцию до 2,9%, картон, особенно тарный – с 1,8 до 2%, а также мешочную бумагу – до 0,7%.

В Европейском регионе импортируются и экспортируются такие товарные позиции как: бумага для печати и письма, бумага и картон немелованные и мелованные; бумага и картон крепированные, тиснен-ные или перфорированные; используемые в качестве основы для фото-, термо- и электро-чувствительной бумаги, основы для обоев; крафт-бумага, в том числе мешочная; оберточная бумага; фильтровальная бумага; сигаретная бумага; бумага для бытовых и санитарных целей; бумага глазурированная прозрачная и непрозрачная для пищевых целей; бумага и картон с различными покрытиями и многие другие виды [3]. В таблице 1 показана динамика некоторых товарных позиций.

Положительную динамику импорта при значительных объемах производства в представленных странах Европейского региона (таблица 1) можно объяснить и с позиции высокого среднедушевого потребления бумаги и картона. Так, для Германии в 2014 г. среднедушевое потребление составило 260 кг/чел., для Великобритании – 145 кг/чел. В тоже время для РФ этот показатель достиг в 2014 г. отметки 48 кг/чел. как во всем мировом сообществе, а для Беларуси – 32 кг/чел.

Лидирующие позиции на мировом рынке бумаги, картона, волокнистых полуфабрикатов для их производства по всем показателям занимают страны Азиатско-Тихоокеанского региона. Значительный рост доли бумажно-картонной продукции в структуре валового внутреннего продукта от 3 до 5,5% наблюдалось в 2013 г. для Китая, Юго-Восточной Азии, Африки, Средней Азии, Латинской Америки. Следует отметить, что средний возраст оборудования для указанных стран не превышал 30 лет, а средние мощности достигали 140 тыс. т./год [2].

Ростом спроса на бумажно-картонную продукцию характеризовались Индия, Средняя Азия, Ближний Восток, Латинская Америка, Китай, Восточная Европа, Юго-Восточная Азия. Для них повышение спроса варьировало от 1,4 до 4,2% в структуре потребления. Снижение спроса наблюдалась в Северной Америке, Японии, Западной Европе.

Нельзя не рассмотреть рынок волокнистых полуфабрикатов, которых в мировом сообществе в 2014 г было выпущено в количестве 409 млн. т. Он представлен на 56% макулатурой, на 26% – древесной массой, на 15% товарной целлюлозой, на 3% – волокнами недревесного происхождения. Исходя из представленной структуры рынка, роста спроса на древесную массу в 2014 г. от 2,7% до 4,5% для стран Африки, Средней Азии, Китая, Юго-Восточной Азии, Латинской Америки, Восточной Европы при ее общем объеме выпуска в количестве

61 млн. т, на период с 2014 по 2030 гг. ожидается рост спроса на древесную массу на величину свыше 1,9% [2].

**Таблица 1 – Динамика некоторых товарных позиций в странах Европейского региона**

Наименование товарной позиции	Объемы экспорта в 2015 г.	Пятерка лидирующих стран-экспортеров	Динамика экспорта за 2011-2015 гг.	Объемы импорта в 2015 г.	Пятерка лидирующих стран-импортеров	Динамика импорта за 2011-2015 гг.
Бумага для печати и картон массой 1 м <sup>2</sup> от 40 до 150 г в рулонах с содержанием древесной массы в композиции менее 10%, тыс. т	1099,9	Португалия, Германия, Польша, Швеция, Финляндия	+	445,0	Великобритания, Италия, Бельгия, Польша, Греция	+
Бумага для печати и картон с содержанием древесной массы в композиции более 10%, тыс. т	554,7	Швеция, Германия, Австрия, Бельгия	-	311,6	Германия, Великобритания, Польша, Франция, Бельгия	стабильная
Крафт-бумага, бумага и картон крепированные, тисненые или перфорированные, тыс. т	48,8	Франция, Италия, Словакия, Германия, Швеция	-	40,7	Италия, Великобритания, Германия, Швеция, Польша	+
Бумага и картон, используемые в качестве основы для фото-, термо- и электрочувствительной бумаги, основы для обоев, тыс. т	24,6	Германия, Бельгия, Италия, Франция, Испания	-	25,4	Нидерланды, Бельгия, Великобритания, Германия, Франция	-

Характеризуя рынок Российской Федерации необходимо отметить, что производство бумаги и картона в 2015 г составило 8,1 млн. т выросло на 0,5 млн. т в сравнении с 2010 г. При этом, как видно из рисунка 3, РФ в основном выпускала на экспорт товарную целлюлозу в количестве 1932 тыс. т и газетную бумагу – 976 тыс. т [4].

При характеристике ЦБП Республики Беларусь использованы данные национального статистического комитета РБ [1]. Удельный

вес ЦБП и издательской деятельности в общем объеме промышленного производства в 2015 г. составил 1,6% при его объеме 98,8 млрд. руб. (в ценах до деноминации). Данный показатель снизился на 0,3% по сравнению с 2010 г. При этом прибыль от реализации продукции, работ и услуг по данному виду экономической деятельности за период 2010–2015 гг. возросла с 268,0 млрд. руб. до 1057,9 млрд. руб., рентабельность продаж – от 7,9 до 8,1%. В 2015 г. наибольшим удельным весом в объеме промышленного производства характеризовались г. Минск – 41,9%. Минская – 19,6%, Гомельская – 14,7%, Гродненская области – 9,4%. Производство продукции представлено в таблице 2.



**Рисунок 3 – Структура экспорта и импорта бумаги, картона, волокнистых полуфабрикатов для их производства в РФ**

**Таблица 2 – Производство целлюлозы, бумаги, картона и изделий из них в Республике Беларусь [1]**

Наименование продукции	Объем производства	
	2010 г.	2015 г.
Целлюлоза древесная и целлюлоза из прочих волокнистых материалов, тыс. т	50,7	29,0
Бумага и картон, тыс. т	341,9	298,2
Обои, млн. усл. кусков	81	38
Бумага газетная, тыс. т	23,0	37,5

Из таблицы 2 видно, что для всех видов продукции, за исключением газетной бумаги, характерно снижение объемов производства на величину от 12,8% до 113%. Такую ситуацию можно объяснить снижением уровня потребления данной продукции на внутреннем рынке РБ при выпуске книг, брошюр, журналов и газет. Так, годовой тираж

наиболее массово выпускаемых в РБ на данный период газет, снизилась на 16%, книг и брошюр – на 49,9%. Характеризуя производство бумаги и картона в РБ по областям следует отметить, что основные производители сконцентрированы в Гомельской, Гродненской и Могилёвской областях. Наибольшими темпами увеличения объемов характеризовалась Могилевская область – с 43,8 в 2010-2011 гг. до 75,8 тыс. т в 2015, снижения – Гомельская область с 174,4 в 2014 г до 96,9 тыс. т в 2015 г. Незначительно (на 3,2 тыс. т) снизились объемы в Минской области. Для всех остальных областей наблюдалась стабильная ситуация.

Производство бумажных изделий санитарно-гигиенического назначения для РБ характеризуется незначительным удельным весом. В тоже время для данной продукции отмечается увеличение объемов производства: бумаги туалетной с 89658 тыс. шт. в 2011 г. до 98448 тыс. шт. в 2015 г.; платков носовых, салфеток косметических, целлюлозной ваты – с 9727 до 10287 тыс. шт., полотенец для рук – с 2928 до 7742 тыс. шт.

Производство бумажных изделий хозяйственно-бытового назначения (подносы, блюда, чашки и т.п.) в указанный период характеризуется стабильностью 2675–2762 тыс. шт. Производство отдельных видов печатной продукции – нестабильностью: производство тетрадей школьных снизилось на 32%, в то время как тетрадями общих стали выпускать на 14% больше, альбомов и папок для черчения и рисования – на 29% больше.

Исходя из состояния современного рынка ЦБП можно сделать вывод о том, что для дальнейшего развития отрасли и стабилизации рынка Республики Беларусь необходимы инновации на исследования и разработки новой продукции высокого качества, новых технологий. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии РФ разработало информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 1-2015 Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона, рекомендации которого, по нашему мнению, могут быть полезны и белорусским производителям.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Промышленность Республики Беларусь. Статистический сборник: под ред. И.В. Медведева. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2016. – 248 с.

2 Suhonen, Timo Future outlook for the forest industry / Timo Suhonen, Nicholas Oksanen // SPCI, Stockholm, April 28, 2016. – Stockholm: COPYRIGHT©PÖYRY. – 49 p.

3 Pulp and paper capacities capacités de la pâte et du papier capacidades de pasta y papel survey. Enquête, estudio 2013-2018. // Food and agriculture organization of the United Nations Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. – Roma, FAO, 2014. – 175 p.

4 Чуйко, В.А. Внедрение НДТ – основное направление повышения эффективности, экологичности и конкурентоспособности в ЦБП [Электронный ресурс] // XIV Международный Форум PAPER-FOR 2016, 25–26 октября 2016. – Санкт-Петербург, ЭкспоФорум. Режим доступа: [www.sbo-paper.ru](http://www.sbo-paper.ru).

УДК 665.93 : 676.017.66

Andre Jansen<sup>1</sup> director  
E. Maronchuk<sup>2</sup> director  
N. Zholnerovich<sup>3</sup> PhD

(<sup>1</sup>Messer Buchel BV, Netherlands;

<sup>2</sup>ООО «Сигма Микрон» Saint-Petersburg, Russia; <sup>3</sup>BSTU, Minsk, Belarus)

**INCREASING THE EFFICIENCY OF USING SIZING AGENTS  
WITH THE HELP OF AN ACT 2500 AUTOMATED COBB TESTER  
FOR DYNAMIC EVALUATION OF ABSORBENCY**

Sizing tests are of fundamental importance for a host of grades and applications, and as such a plethora of measurement techniques have been developed over the last century, including [1]:

1. Chemical – adding an acid or base liquid to one surface, with an indicator applied to the opposing side (e.g. Flotation, Stöckigt, Kollman and dry Indicator tests);

2. Electrical – applying electrodes to both surfaces, and following the change in conductivity or resistivity (e.g. Galvanic, Currier and Valley testers);

3. Optical – applying a dye solution to one surface and measuring changes in reflectivity of the opposing surface as the dye penetrates (e.g. BYK and Hercules Sizing testers);

4. Gravimetric – measuring the mass uptake per unit area (e.g. Cobb test);

5. Pragmatic – writing or printing with characters or images and assessing quality using optical instrumentation or visual examination (e.g. Pen & Ink Writing, Inkjet Printing);

6. Sonic Modulus – assessment of ultrasound transmission after application of a liquid (e.g. Emco DPM tester);

7. Volumetric – applying a known volume of liquid, and assessing volume uptake manually (e.g. Penescope tester).

All assess a set of related parameters, but they tend to rank papers differently, due in no small part to variations in the nature of the probe liquids used – this can be with respect to pH, ionic content, surface tension, and in some cases temperature and viscosity, all of which affect the mode by which liquids interact with cellulose fibers.

Some tests (e.g. pen & ink writing and inkjet) are more important for specific grades only and are not general tests applicable to all papers. Other tests (e.g. chemical or electrical) have fallen out of vogue, while the volumetric test was never popular and the ultrasonic method is very hard to interpret. With this in mind it is probably safe to say the most popular test throughout large swathes of the UK and European market is gravimetric assessment, most obviously typified by the well-known Cobb test (ISO 535; TAPPI T441; ASTM d3285).

### **Cobb Test Background**

Miss R.M. Cobb was chemist in charge of the research laboratory of Lowe Paper Company, Ridgefield, N.J. She presented her seminal paper at the TAPPI AGM of 1934 [2], and her work assessed, among other features, the effect of hydrostatic pressure (the ‘head’ of water sitting on top of the sheet, forcing it in to the paper structure) and contact time (how long the excess water re-mains in contact with the sample prior to couching). All this led to development of some reasonably simple and cheap laboratory equipment consisting of a base upon which the paper sample is placed, a metal cylinder which is clamped on top of the sample and used to contain liquid contact to a pre-determined area; and a roller to couch the wetted sample and remove excess liquid from the sheet prior to final weighing.

The test method involves weighing a sheet of sufficient area to allow a test to be performed. After the cylinder is clamped in place, water is applied to the paper surface and simultaneously a clock is started. At a pre-defined time the excess liquid is re-moved and the cylinder unclamped, and at a second time-limit the sample is couched using blotters and a heavy roller. The now damp sample is then reweighed, and the liquid uptake per unit area at the time used for couching is reported. High values indicate poor sizing.

The test procedure is simple to perform and gives reasonably reproducible values, although the method is subject to experimental or operator error in a number of ways:

1. Misweighing of initial (dry) or final (wet) weight;
2. Mismeasurement of the amount of liquid applied;
3. Mistiming with respect to the duration excess water contacts the sheet, or when couching is performed;



4. Mistakes with regard to the couching procedure. (If the ‘Cobb’ value is a little too high, a well-known trick is to ‘lean’ on the roller and apply a bit more pressure to help remove excess water and so reduce the value).

Indeed, in addition to the above, Miss Cobb noted the test suffers from other disadvantages, namely:

1. Constant attention must be given to the test;
2. Manipulation requires care and reasonably good technique;
3. Tests cannot be readily applied to light absorbent stock that soaks through in less than 15 seconds.

To this could also be mentioned the most common Cobb value is obtained after the vast excess of liquid is applied to the paper surface for 45 seconds (ISO 535) or 50 seconds (T441) prior to blotting at 60 seconds; for most end uses this represents a great excess both in water volume and contact duration compared with the timescale many liquids remain on a paper surface. In particular contact time has always been a major problem: the inability to work accurately well below 30 seconds where the vast majority of important interactions between liquids and paper take place – for example during printing, gluing, ruling and similar operations – is a major disadvantage. The inability to assess what is happening in the zone of interest can easily lead to oversizing, which has obvious cost implications and is a major cause of printing errors, gluing problems, and general adhesion issues (for example with hot foil applications).

It is against this background that one instrument manufacturer – **Fibro System AB** (part of the **TMI** group of companies) – has developed an automated instrument which shows good general correlation with the Cobb test and has a number of important advantages over the traditional method, namely:

1. It limits the amount of operator variability by removing many of the opportunities outlined previously where in-accuracy of even deliberate fraud can occur;

2. It produces far more accurate and consistent measurements, allowing chemical usage to be optimized and making significant financial savings possible;

With a measurement frequency of 10Hz (10 times per second) from the point of contact, it gives far more information on liquid-paper interactions that is possible with the traditional Cobb test;

3. It frees up testing staff to concentrate upon other work, as the test is entirely automated;

4. It improves safety by removing the need for sample preparation using sharp knives, and for couching the wetted sample using a heavy roller.

### ACT 2500 – measurement principle

The ACT (Automated Cobb Tester) 2500 (Figure 1) is a high specification instrument for continuous measurement of liquid uptake over time. The heart of the apparatus is a porous glass plate through which water is forced by a pumping system. Above the plate sits a soft pressurized rubber diaphragm; between the two is a stage upon which the paper sample (minimum size A5) rests (Figure 2).

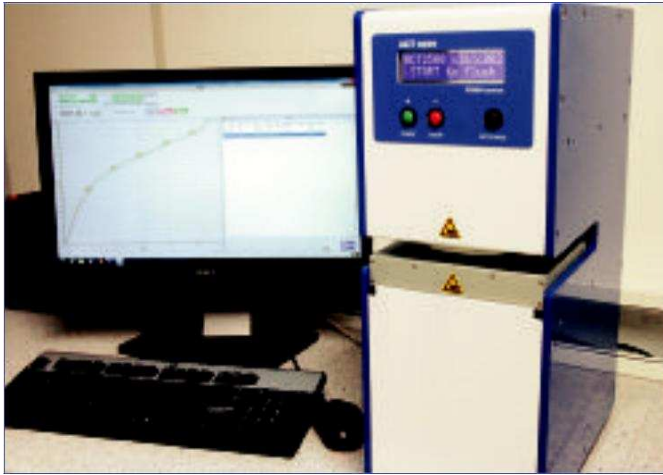


Figure 1. The ACT 2500

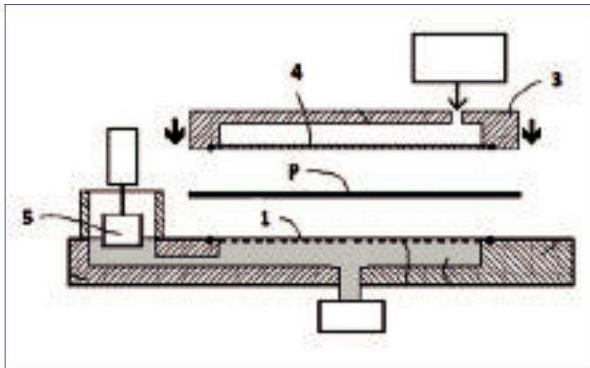


Figure 2. Graphic showing the relative positions of the porous plate [1], sample [P] and pressurised rubber diaphragm [4], along with the clamp [3] and level sensor (see below) [5]

Prior to a test, water is pumped through the plate to saturate its surface. Then the start button is pressed and the diaphragm is pressurized slightly pushing the paper sample onto the porous plate surface. The diaphragm promotes intimate contact between paper specimen and the plate; simultaneously it helps smooth out wrinkles and prevents sample distortion.

Immediately upon contact with water the paper specimen will start absorbing liquid through capillary attraction, and the volume of liquid upon the plate decreases. Attached to the plate is a liquid reservoir housing a very accurate level sensor; as liquid is depleted from the porous plate it is replenished from this second chamber, which has a cross sectional area one

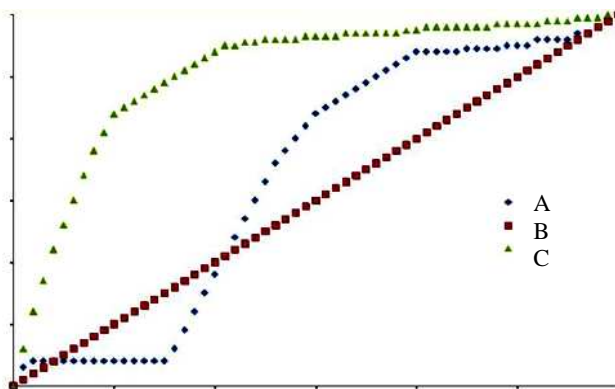
tenth that of the porous plate. Uptake of a 1  $\mu\text{m}$  layer of water from the plate equates to 1 gsm gravimetric absorption; in the reservoir this in turn equates to a 10 $\mu\text{m}$  change in level. It is this level the instrument monitors at 10Hz and which is used to calculate the Cobb value, with a resolution of 1 $\mu\text{m}$  (equivalent to a Cobb value of 0.1gsm). On a computer screen this data is shown continuously as an ever-changing curve on which any number

of data labels (or tags) can be pre-set – so it is possible, for example, to show the derived Cobb at 10, 20, 30, 40, 50 as well as 60 seconds contact as labels on the absorption curve.

All this is produced automatically without an operator needing to stand over the instrument, and after a test is completed, the instrument flushes through water to remove any fiber or filler adhering to the plate, and in approximately 30 seconds is ready for another test to commence.

### Continuous measurement vs spot test

The Cobb test has always been an imperfect assessment of sizing capability. It is a pragmatic test that has become widely accepted because it is reasonably easy to perform and the equipment is cheap. However, as performed in most mills it is a single spot test – regardless of whether the contact duration is chosen as 30 seconds, 60 seconds, 2 minutes or 30 minutes, it gives a single point of data. The test duration is chosen mainly for historic reasons, and in most cases has absolutely nothing to do with any end use criteria. Furthermore the user has no information as regards the way absorption occurred to get to the Cobb value produced. For example, *Figure 3* shows three hypothetical scenarios: curve A shows an initial rapid uptake as the surface is wetted, then a delay as a barrier is breached, before further



**Figure 3 – Model absorption curves showing three hypothetical modes of interaction between a liquid and paper**

absorption occurs; curve B shows linear absorption with time (a most unlikely proposition, but one a surprising number of people anticipate); and curve C shows rapid initial absorption reaching an asymptote due to saturation – the most common scenario. It is precisely these different modes of interaction which the ACT 2500 allows to be distinguished and quantified.

It is a truism that if you cannot measure a property, you cannot control or manipulate it in a way that is meaningful. For example, in the case of sizing it is necessary to know exactly what protection the sizing is there to achieve: for printing it could be to control ingress of fount during lithographic printing, or liquid ink with flexography or gravure, over short time periods; but with a wrapper it may be to protect the contents of a package if caught in a rain shower. In each case the duration of contact and the amount of liquid is different, and so the type and degree of sizing require-

ment will change; something a single point test is not able to assess in any meaningful way, but which continuous measurement allows to be targeted.

### **Time and size waits for no man**

A colleague at UMIST coined this title for an award-winning article some twenty five years ago [3]. The subject related to the cure time of AKD; however today with our ultra-fast machines it equally relates to a great many other properties – rapid testing and feedback of results can prevent production of copious quantities of poor quality paper.

For a typical 60 second Cobb assessment, an operator is occupied for some two or three minutes as regards sample preparation, weighing, manipulation of the apparatus, couching, reweighing, and result calculation. By contrast, the ACT allows productivity improvement by freeing operators from having to stand over the equipment, such that during the standard test method the technician simply inserts a sample and presses a button, after which he is free to concentrate upon other testing processes.

In addition, the ACT 2500 has an unusual mode for when it is imperative a result is produced very quickly. The instrument can be set to log data from numerous samples of the same grade, which it uses to produce a model of absorption characteristics. Then, when a new sample (of the same grade) is entered, it monitors the first few seconds of liquid absorption and from this calculates a predicted Cobb value at whatever set-point is required (as long as that contact duration formed part of the earlier test data used for modeling purposes). The accuracy with which this process works improves as the amount of data used to produce the model increases. This unusual procedure would allow, for instance, a testing department to provide extremely fast feedback to production should a problem be suspected on machine, holding the prospect of making on-the-fly changes to chemical additions much faster than would otherwise be the case – a time saving of just 1 or 2 minutes in testing could prevent production of several thousand meters of out of specification material on a modern fast machine!

### **Correlation with Cobb**

As outlined above, the ACT 2500 does not measure Cobb directly, because Cobb is a gravimetric test and the ACT is volumetric. However, for the majority of papers TMI has found excellent correlation. Meanwhile, there is a small group of papers which do not correlate ‘one-to-one’ for whatever reason (one theory being the couching process ‘forces’ water into the structure of some open grades, artificially raising the Cobb value; another being that hygroexpansion and wrinkling of some samples gives rise to structures capable of trapping extra water, again causing an anomalously high Cobb value).

So, is the lack of a universal one-to-one correlation a problem? Given the advantages outlined previously regarding removal of operator variability, improvement of result accuracy, the ability to analyze short-term absorption characteristics, speed of measurement and the improvement in safety, the answer is an emphatic 'NO'. To quote Allen Bowdler of Pratt Industries:

*This is not a recognized TAPPI test standard ... it is an in-house developed test that makes our paper and board **work** for our customers. Parallel Cobb testing using conventional manual 2 and 30 minute methods and the ACT proved to be accurate and consistent, confirming the ACT tester. Precision (reproducibility) with the ACT is superior to manual methods. The predictive feature of the ACT proved to be accurate and provides both the two minute and thirty minute Cobb values in considerably less time than the traditional method. The ACT unit has given the operations personnel prompt accurate Cobb test values that enable the operator to optimize sizing usage, reduce off spec paper production and reduce sizing costs.*

Standards have their place, but it should not be thought they are 'universal truths' akin to the 'Ten Commandments'. Most will, in time, be replaced as new instrumentation becomes available. For example, the manual contact angle standard (T458) was superseded by the automated test method (T558) produced, it is worth noting, by Fibro System AB – the company that has developed the ACT 2500. So Cobb was only ever a pragmatic method for giving an approximate assessment of how much size was present in a sheet, and how efficiently it was repelling water. By contrast, the advantages of the ACT 2500 in providing a rapid and accurate continuous readout of water uptake with time far outweighs any disadvantage in an apparent non-linear correlation with Cobb for some isolated grades.

### **Market Response**

In the last couple of years, since its introduction, well over a dozen instruments have been sold to companies across the world, including: America (BASF, Pratt Industries, Sappi); Asia Pacific (Australian Paper, Minfeng, Mudanjiang Hengfeng Paper); Europe (Saica); and Scandinavia (Arctic Paper). In most cases the justification stated by paper companies is chemical cost savings; in the case of the one chemical company so far to invest it is product development.

Universally, what users have discovered is the test is much quicker to perform and inter-operator (and therefore inter-shift) variability is removed. Production gets faster feedback of more accurate data and so can make finer adjustment of chemical flows more quickly, which equates to cost savings. Furthermore the data is stored automatically so cannot be manipulated or altered, and it is possible to feed this directly into a QMS system so precluding manual transcription of information. Meanwhile, R&D

can use the instrument to derive a better understanding of exactly how quickly water is imbibed when sizing changes are made, raising the prospect of significant cost savings being possible through altering either the chemical type or amount of size (or sizing promoter) added, so allowing the correct sizing properties for the grade being manufactured to be *designed*.

Whatever the requirements, the ACT 2500 offers so many advantages over traditional sizing measurements that it is well worth investigating, especially if you are producing on high-performance fast paper machines where rapid feedback of results is imperative, or are manufacturing high value-added products where correct design of sizing performance offers commercial advantages.

The ACT 2500 is manufactured by:

**Messmer Büchel**

Fokkerstraat 24, 3905 KV Veenendaal, Netherlands T: +31 (0)318 521500. E: buchel@buchelbv.com

Thanks also are due to **Test-Tech** (Paper Testing and Technology Ltd) of Amer-sham (PITA Corporate Members) for hosting the demonstration of the instrument.

#### REFERENCES

1 Chamberlain, D. History of Paper Test Instrumentation Part 2: Sizing Testers / *The Quarterly (Journal of the British Association of Paper Historians)*, No.56, October 2005, pp. 15–27.

2 Cobb, R.M. & Lowe, D.V. A Sizing Test and Sizing Theory / *Technical Association Papers*, Series XVII, 1934, pp. 213–216.

3 Ya Jun Zhou Time and Size Wait for No Man / *Paper Technology*, Vol.32, No.7, July 1991, pp.19–22. – Julius Grant & PMATA prize winning essay.

УДК 676.22 : 67.03

А.О. Новиков<sup>1</sup>, нач. бумажного производства  
Е.В. Дубоделова<sup>2</sup>, ст. препод., канд. техн. наук  
О.А. Новосельская<sup>2</sup>, ст. препод., канд. техн. наук  
С.А. Гордейко<sup>2</sup>, ассист., канд. техн. наук [sveta\\_gordeiko@mail.ru](mailto:sveta_gordeiko@mail.ru)  
Т.В. Соловьева<sup>2</sup>, проф., д-р техн. наук  
(<sup>1</sup>УП «Борисовская фабрика» Гознака, г. Борисов; <sup>2</sup>БГТУ, г. Минск)

#### **БУМАГА ДЛЯ ПЕЧАТИ, СОДЕРЖАЩАЯ ХЛОПКОВУЮ ЦЕЛЛЮЛОЗУ**

Более 40% выпускаемой бумажной продукции составляет бумага для печати, требования к качеству которой непрерывно возрастают, особенно к бумаге специального назначения (документная, бумага для паспортов и т.д.). Это обуславливает

повышенное внимание к ее функциональным свойствам и направлениям применения [1].

Бумага, изготовленная из хлопковой целлюлозы, отличается повышенной долговечностью и хорошей сорбционной способностью [2]. Но данный вид волокнистого сырья (хлопковая целлюлоза) очень “трудно” подвергается воздействию размалывающего и ронпускающего оборудований в связи с тем, что ее реакционная способность, по сравнению с древесной целлюлозой, понижена. Кроме того, хлопковая целлюлоза плохо удерживает наполнитель и проклеивающие вещества в композиции бумаги, отсюда – снижение прочности и водостойкости последней [3].

Целью данного исследования явился поиск современных технологических решений по изготовлению бумаги для печати со специальными свойствами за счет использования приемов, позволяющих усилить позитивные свойства хлопковой целлюлозы и невилировать ее негативные.

Объектами исследования являлись: бумажные массы из хлопковой целлюлозы совместно с беленой сульфатной целлюлозой хвойных пород в различных соотношениях и образцы бумаги (массой  $88 \pm 3$  г/м<sup>2</sup>), полученные из этих бумажных масс.

В качестве проклеивающих веществ использовали систему, состоящую из АКД (Dumar) и катионного крахмала с дополнительно введенными анионными группами (Vector), в качестве наполнителя применяли мраморный кальцит (Hydrocarb). Использование хлопковой целлюлозы в технологическом процессе получения бумаги вызвало необходимость исследования особенностей проведения основных его стадий: подготовки и размола волокнистых полуфабрикатов, наполнения и проклейки бумажной массы.

Исследования размола волокнистых полуфабрикатов позволило, в результате полученных экспериментальных данных, определить способ его проведения – в две ступени. При этом на первой ступени наиболее результативным явилось осуществление предварительного укорачивания волокон, а на второй – одновременно реализуемых процессов измельчения и фибриллирования волокон.

Для первой ступени размола определены следующие оптимальные значения параметров лабораторного размалывающего комплекта ЛКР-1: частота вращения ротора дисковой мельницы – 1450 об/мин, величина межножевого зазора – 0,6 мм, продолжительность процесса – 15 мин. На второй ступени размола параметры составили: частота вращения – 1600 об/мин, величина межножевого зазора – 0,45 мм, продолжительность процесса – 10 мин.

Основные показатели волокнистой суспензии из хлопковой целлюлозы после двухступенчатого размола имели следующие значения: степень помола – 54–56 °ШР, показатель средневзвешенной длины волокна – 53–55 дг, скорость обезвоживания – 9,3–9,5 мл/с.

Полученные лабораторные данные по двухступенчатому размолу хлопковой целлюлозы позволили разработать схему подготовки и подачи бумажной массы на бумагоделательную машину, включающую раздельный размол хвойной целлюлозы по принятому режиму и хлопковой – по разработанному режиму. В то же время, эксперимент показал, что добавление хлопковой целлюлозы, размолотой даже при оптимальных параметрах, приводит к снижению прочности готовых образцов бумаги, однако, степень этого снижения с увеличением дозировки хлопковой целлюлозы после старения бумаги была значительно меньше (таблица 1). Этот факт имеет особую значимость и подтверждает актуальность и важность использования в композиции бумаги специального назначения хлопковой целлюлозы.

**Таблица 1 – Влияние содержания хлопковой целлюлозы на свойства бумаги**

Наименование показателей	Значения показателей до и после старения бумаги с различным содержанием хлопковой целлюлозы									
	<i>до старения</i>					<i>после старения</i>				
Содержание хлопковой целлюлозы, %	0	25	50	75	100	0	25	50	75	100
Белизна, %	79,3	81,5	82,4	83,8	84,2	62,9	68,7	70,4	72,8	73,4
Сопротивление продавливанию, мН	680	520	360	280	200	320	268	240	200	190
Прочность на излом при многократных перегибах, ч.д.п.	2032	1567	680	420	170	1011	879	546	374	308
Разрывная длина, км	7,31	5,87	5,08	3,56	2,56	7,00	5,52	4,62	3,13	2,48

В ходе эксперимента были найдены оптимальные расходы волокнистых полуфабрикатов (30% хлопковой целлюлозы и 70% хвойной целлюлозы), проклеивающих веществ в виде системы реагентов и наполнителя. Разработанная схема введения в бумажную массу необходимых химикатов, предусматривает введение наполнителя (в виде мраморного кальцита, модифицированного катионным крахмалом – расход 6,4 кг/т) в композиционный бассейн, а проклеивающую систему (АКД – расход 6,44 кг/т и окисленный крахмал с дополнительно введенными анионными группами (Vector) – расход 6,39 кг/т) – в бак постоянного уровня.



По результатам лабораторных исследований были проведены опытно-промышленные испытания разработанной технологии на предприятии “Бумажная фабрика” Гознака.

В таблице 2 представлена характеристика показателей качества бумаги для паспортов, предъявляемых нормативными документами РФ и РБ, в сравнении с показателями качества бумаги, изготовленной с применением разработанных технологических решений с использованием хлопковой целлюлозы.

**Таблица 2 – Сравнительная характеристика показателей качества бумаги промышленного изготовления**

Наименование показателей	Значение показателей		
	требования к бумаге		промышленные образцы бумаги с содержанием в композиции хлопковой целлюлозы
	РФ	РБ	
Масса бумаги площадью 1 м <sup>2</sup> , г	88±3	88±3	88±3
Толщина, мкм	105±7	105±7	107
Прочность на излом при многократных перегибах в среднем по двум направлениям (ч.д.п.), не менее	100	280	305
Разрывная длина в среднем по двум направлениям, км	3,5	4,5	5,4
Влагопрочность, %	15	15	40
Поверхностная впитываемость воды при одностороннем смачивании (Кобб 30), г/м <sup>2</sup>	–	–	18
Степень проклейки, мм, не менее	1,8	2,0	2,0
Гладкость по верхней/сеточной стороне, с	–	30–80/ 15–30	40/42
Непрозрачность, % не менее	89	89	89
Белизна по верхней стороне, %, не менее	–	84	85,7
Содержание золы, %	–	–	9,5
Стойкость поверхности бумаги к выщипыванию, м/с, не менее, № теста по Денисону	2,2	2,2	2,2 16
Сорность, число соринок на 1 м <sup>2</sup> площадью от 0,1 до 0,3 мм <sup>2</sup> , не более	100	100	56

Как видно из таблицы, полученная в промышленных условиях по разработанной технологии бумага для паспортов по всем показателям качества превосходит бумагу, требования к которой

предъявляют заказчики РФ и РБ. Об этом свидетельствуют увеличение таких показателей, как прочность на излом при многократных перегибах от 280 до 305 ч.д.п., разрывная длина – от 4,5 до 5,4 км, влагопрочность от 15 до 40%, белизна по верхней стороне – от 84 до 85,7%.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Технология целлюлозно-бумажных производств. Т. II. Производство бумаги и картона. Ч. 1: Технология производства и обработки бумаги и картона. – СПб.: Политехника, 2005.

2 Черная Н. В. Технология производства бумаги и картона: учеб. пособие для студентов/ Н. В. Черная, В. Л. Колесников, Н. В. Жолне-рович. Минск: БГТУ, 2013.

3 Блинушова О.И. // Химия растительного сырья. 2008. №1 С. 131–138.

УДК 676.017

М.А. Иконникова<sup>1</sup>, магистрант [ikonnikova.margo@yandex.ru](mailto:ikonnikova.margo@yandex.ru);

Т.А. Королёва<sup>1</sup>, доц., канд. техн. наук;

Ю.В. Севастьянова<sup>1</sup>, доц., канд. техн. наук;

К.А. Иванов<sup>2</sup>, рук-ль консалтингового направления, канд. техн. наук

(<sup>1</sup> С(А)ФУ имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск;

<sup>2</sup>ООО «Макорус», г. Санкт-Петербург)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕДРЕВЕСНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ ВИДОВ БУМАГ**

Недревесное растительное сырье – лен, конопля, джут, кенаф, багасса, солома, тростник – исторически является сырьем для производства различных целлюлозно-бумажных материалов в таких странах, как Китай, Индия, Египет [1].

В зависимости от способа переработки недревесного однолетнего сырья полученный полуфабрикат может быть использован как при производстве различных видов картона, оберточной бумаги, так и при производстве писчих и печатных видов бумаг средних и высоких сортов [2].

В данной работе по заказу ООО «Макорус» ([www.makorus.com](http://www.makorus.com), Санкт-Петербург) и ТОО «Kagaz Shahary SEZ» (Казахстан) в лабораторных условиях исследовалась возможность получения полуфабриката из технической пеньки, пригодного для производства печатных видов бумаг.

В таких странах как Швейцария, Бельгия, Турция, Норвегия из технической пеньки получают папиросную и фильтровальную бума-

гу, включая водонепроницаемую, во Франции, помимо перечисленных видов бумаг, – офсетную и бумагу для печати, в Италии – бумагу для банкнот, ценные бумаги и бумагу ручной работы.

Техническая пенька включает в себя две составляющие: длиноволокнистую фракцию (ДВФ) – это волокно, получаемое из стеблей растительной пеньки, и коротковолокнистую фракцию (КВФ, костра) – это низкосортное короткое волокно.

В статьях [3, 4] было показано, что по компонентному составу данное сырье близко к древесному, и для получения полуфабриката, пригодного для отбеливания, необходима стадия делигнификации. Учитывая предыдущий опыт, для реализации поставленной цели были определены следующие задачи:

- 1) изучение влияния способа подготовки сырья перед варкой на качество полуфабриката;
- 2) определение оптимального соотношения КВФ и ДВФ технической пеньки при моносльфитной варке для получения полуфабриката, пригодного к дальнейшей отбеливке;
- 3) исследование возможности использования технологии ТСФ для отбеливания полуфабриката;
- 4) изготовление и оценка качества образцов офисной бумаги.

Эксперимент был выполнен на базе оборудования Инновационно-технологического центра «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» САФУ имени М.В. Ломоносова.

Условия для моносльфитной варки были следующие: ГМ = 6, расход щелочи – 3,5 %, расход сульфита натрия – 16 %, подъем до конечной температуры варки в течение 60 мин, стоянка на конечной температуре 175 °С в течение 120 мин.

На первом этапе проводились варки смеси сырья при соотношениях КВФ и ДВФ 25/75, 60/40 и 75/25, соответственно. ДВФ с содержанием костры не более 5 % предварительно измельчалась до 1,0–1,5 см, затем смесь подвергалась экстрагированию водой в течение 12 часов и удалению фильтрата из массы перед варкой.

**Таблица 1 – Показатели целлюлозы после варки с сульфитом натрия**

КВФ/ДВФ при варке	25/75	60/40	75/25
Число Каппа массы после промывки и размола до 15-20 °ШР, ед.	28	48	55
Выход целлюлозы, %	72,3	75,0	75,1
pH <sub>к</sub>	7,7	7,2	7,8

Анализируя данные таблицы 1 и наблюдения поведения массы в процессе размола в мельнице PFI, к наиболее оптимальному соот-

ношению КВФ/ДВФ на стадии варки можно отнести соотношения 60/40 и 75/25. Выход полученных полуфабрикатов высокий (75 %), масса после варки достаточно светлая (яркость не менее 35 %), и ее размол в мельнице PFI не вызывает затруднений. Полуфабрикат, полученный при варке смеси с высоким содержанием ДВФ (75 %), имеет низкое значение числа Каппа (28 ед.), достаточно высокий выход (72,3 %), но процесс размола сопровождается сильным «сваливанием» целлюлозы, что вызывает технические затруднения при работе размольного оборудования.

Дальнейшая отбелка для образцов полуфабрикатов, полученных при соотношениях сырья КВФ/ДВФ 60/40 и 75/25, проводилась по схеме (O<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>)-ЭДТА-Prepox-ЩП<sub>1</sub>-ЩП<sub>2</sub> (таблица 2).

**Таблица 2 – Условия отбелки целлюлозы по ступеням в схеме (O<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>)-ЭДТА-Prepox-ЩП<sub>1</sub>-ЩП<sub>2</sub> при соотношениях КВФ/ДВФ 60/40 и 75/25**

Условия	Степень отбелки*				
	(O <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> )	ЭДТА	Prepox	ЩП <sub>1</sub>	ЩП <sub>2</sub>
Концентрация массы, %	8	4	8	8	8
Расход NaOH, кг/т	35	–	25	10	7
Расход H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , кг/т	–	–	35	20	8
Расход ЭДТА, %	–	0,2	–	–	–
Температура, °С	1 ст. 82–85	90	105	80	80
	2 ст. 100				
Давление, МПа	1 ст. 0,8	–	0,2	–	–
	2 ст. 0,5				
Продолжительность, мин	1 ст. 30	30	120	120	120
	2 ст. 60				
рН	10,5–11,0	4,0–4,5	10,5–11,0	10,5–11,0	10,5–11,0
Яркость целлюлозы, % КВФ/ДВФ = 60/40	–	–	–	–	72,0
Яркость целлюлозы, % КВФ/ДВФ = 75/25	–	–	–	–	65,0

\*(O<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>) – технология двухступенчатой КЩО, ЭДТА – обработка этилендиаминтетрауксусной кислотой, Prepox [5] – двухступенчатая КЩО с усиленным пероксидом водорода второй ступени обработки, ЩП – отбелка пероксидом водорода.

Максимальная яркость полуфабриката (72,0 %) была получена для образца с соотношением КВФ и ДВФ 60/40, увеличение содержания КВФ на 15 % (образец 75/25) привело к снижению белизны до 65,0 %, что, безусловно, связано с более высоким значением числа Каппа целлюлозы перед отбелкой.

На следующем этапе работы был опробован способ подготовки сырья, который включал стадию размола до 15-18 °ШР, после чего

смесь также подвергалась экстрагированию водой в течение 12 часов и удалению филтраты из массы перед варкой. Далее была проведена повторная варка смеси сырья 60/40, кроме того для изучения вклада каждой из фракций на выходные параметры целлюлозы были проведены варки 100 % ДВФ и 100 % КВФ сырья. Режим варки соответствовал режиму, приведенному ранее, с поправкой на сокращение продолжительности стоянки на конечной температуре до 80 мин.

Все образцы были отбелены в условиях, приведенных в таблице 2. Полученные результаты эксперимента представлены в таблице 3.

**Таблица 3 – Показатели небеленой и беленой целлюлозы**

КВФ/ДВФ при варке	0/100	60/40	100/0
Степень помола массы перед варкой, °ШР	15	18	11
Число Каппа массы после промывки и размола до 30 °ШР, ед.	23,3	35,1	–
Выход целлюлозы, %	67,0	71,2	71,0
Н-фактор	1520	1520	1518
pH <sub>к</sub>	7,3	7,1	8,0
Яркость целлюлозы после варки, %	46,9	41,3	37,5
Яркость целлюлозы после отбелки, %	73,2	71,0	57,3

Сравнение результатов варки и отбелки смеси сырья КВФ/ДВФ = 60/40 (таблицы 1, 3) показали, что дополнительная стадия размола сырья, даже при сокращении стадии стоянки на варке, позволяет получить полуфабрикат с более низким значением числа Каппа и значением белизны 71,0 %. Выход целлюлозы после варки при этом снизился на 3,8 % (с 75,0 до 71,2 %), но выход по-прежнему остался высоким.

Максимальное значение белизны как после варки, так и после отбелки были достигнуты при переработке 100 % ДВФ. К сожалению, нет технической возможности перерабатывать волокна полуфабриката из 100 % ДВФ в чистом виде из-за возникающих проблем с сильным скручиванием и переплетением волокон.

Таким образом, по выполненной части эксперимента можно сделать следующие выводы:

- подготовка сырья перед варкой включает следующие стадии: измельчение ДВФ до 1,0-1,5 см, смешение с КВФ в требуемой пропорции, водная экстракция смеси и дальнейший размол до 15-18 °ШР;

- оптимальное соотношение фракций КВФ и ДВФ для моносультитной варки, которое позволяет получить полуфабрикат, пригодный для дальнейшей технологической переработки и отбелки, составляет 60/40, соответственно;

- отбелка полуфабриката, полученного при моносультитной варке сырья, с соотношением КВФ и ДВФ 60/40 по технологии ТСФ

в условиях эксперимента позволяет достигнуть максимальную яркость целлюлозы 71,0 %.

На заключительном этапе исследования было опробовано использование полученного беленого полуфабриката из технической пеньки при соотношении КФВ/ДВФ сырья на варку 60/40 в композиции офисной бумаги. Далее аббревиатура в тексте для данного полуфабриката упоминается как целлюлоза из недревесного растительного сырья (ЦНРС).

Композиция по волокну была определена следующая:

1. 70 % ЦНРС и 30 % хвойная сульфатная целлюлоза (СФАЦ).
2. 60 % ЦНРС, 20 % хвойная СФАЦ и 20 % лиственная СФАЦ;
3. 100 % ЦНРС.

Композиция по химикатам соответствовала техническим условиям, предъявляемым для производства офисной бумаги.

Оценка основных физико-механических и оптических характеристик образцов офисной бумаги, полученных в лабораторных условиях (таблица 4) показывает, что данный полуфабрикат может быть использован для производства офисной бумаги, но необходима отработка режимов массоподготовки, а также композиции по волокну и химикатам.

**Таблица 4 – Характеристики образцов офисной бумаги, полученной в лабораторных и производственных условиях**

Показатель	Композиция по волокну			SvetoCopy (CD/MD)	Методики
	1	2	3		
Масса, г/м <sup>2</sup>	80	80	80	80	ГОСТ 13199, ISO 536
Толщина, мкм	133,8	111,6	118,8	100	ГОСТ 27015,
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,591	0,668	0,636	0,785	ISO 534
Яркость, %	84,0	85,5	83,0	96	ГОСТ 30113, ISO 2470
Зольность, %	5,4	5,3	5,3	22	ГОСТ 7629, ISO 2144
Влажность, %	8	8	8	4,6	ГОСТ 3525.19, ISO 287
Прочность на излом, шт.	570	610	540	67/202	ГОСТ 13525.2
Разрывная длина, м	4300	6100	4800	2950/6100	ГОСТ 13525.1
Сопротивление изгибу, мН*см <sup>2</sup>	41	36	37	81/212	ISO 2493

## ЛИТЕРАТУРА

1 Kamoga Omar Lwako M., Byaruhanga Joseph K., Kirabira John Baptist. «A review on pulp manufacture from non wood plant materials». International Journal of Chemical Engineering and Applications. – 2013. – Vol. 4, № 3. – P. 144-148.

2 Непенин, Н.Н. Технология целлюлозы. Т. 3 Очистка, сушка и отбелка целлюлозы. Прочие способы производства целлюлозы / Н.Н. Непенин, Ю.Н. Непенин. Москва: «Экология», 1994 г.

3 Иконникова М.А., Королёва Т.А., Вальков Р.К. «Использование недревесного сырья в целлюлозно-бумажном производстве». Сборник материалов IV всероссийской отраслевой научно-практической конференции «Инновации – основа развития целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности». Т. 1. – 2016. – С. 149-157.

4 Иконникова М.А., Королёва Т.А., Севастьянова Ю.В., Иванов К.А. «Способ получения целлюлозы, пригодной для изготовления бумаги, из недревесного сырья растительного происхождения». Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых-2016. Сборник материалов конференции. – 2016. – С. 364-370.

5 Salminen J., Koukkari P., Paren A. Thermochemical experiments and modelling of the PO bleaching stage. JPPS. – 2000. – № 12. – P. 26.

УДК 676.224.2 : 67.05

Е.В. Куркова, зам. нач. отдела технологии бумаги,  
канд. техн. наук, [Kurkova E V@goznak.ru](mailto:Kurkova_E_V@goznak.ru);

О.С. Мартьянова, науч. сотр., [Martyanova O S@goznak.ru](mailto:Martyanova_O_S@goznak.ru);

К.С. Архипов, ст. науч. сотр. [Arhipov K S@goznak.ru](mailto:Arhipov_K_S@goznak.ru);

(Научно-исследовательский институт –  
филиал акционерного общества «Гознак», г. Москва)

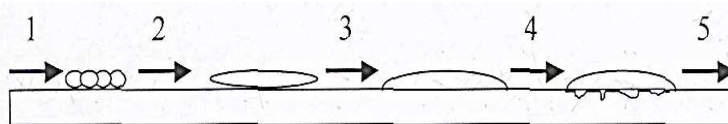
### **ПЕРСОНАЛИЗАЦИЯ ДОКУМЕНТОВ**

#### **ЛАЗЕРНЫМ ПРИНТЕРОМ**

При персонализации бланков ценных бумаг и документов лазерным принтером появляется проблема удержания тонера на бланке. Бланк любого документа при использовании подвергается многократному сложению (сгибанию и разгибанию), при этом персональные данные, внесенные лазерным принтером, могут быть полностью или частично утеряны.

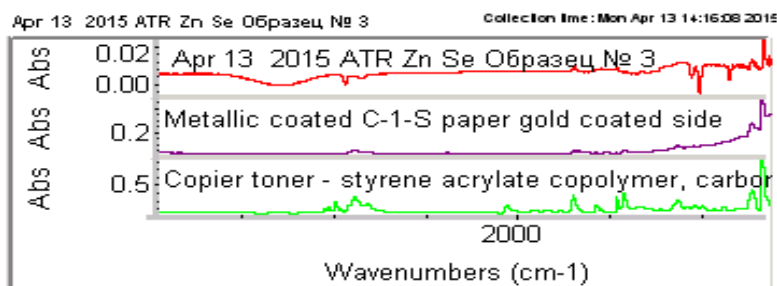
Механизм закрепления лазерного тонера на поверхности бумажного листа известен [1]. Электростатически переносимый слой тонера в принтере нагревается посредством передачи тепла до температуры перехода тонера в вязкотекучее состояние, происходит спека-

ние его частиц (рисунок 1, поз. 1 и 2). Расплав тонера смачивает поверхность бумаги (поз. 3) и растекается, проникая в поры и капилляры бумаги (поз. 4). По окончании нагрева тонер остывает и закрепляется на поверхности (поз. 5). Прочность закрепления оценивают измерениями степени адгезии лазерного тонера [2].



**Рисунок 1 – Трансформация лазерного тонера на поверхности бумаги**

Известно, что взаимодействие полимеров возможно только в растеклованном вязкотекучем состоянии. При этом создается общая для поверхности бумаги и лазерного тонера надмолекулярная структура, аналогичная композиционному материалу и способствующая усилению адгезии [3]. Для этого мы изучили состав тонера с помощью ИК-спектроскопии. Результаты показаны на рисунке 2.

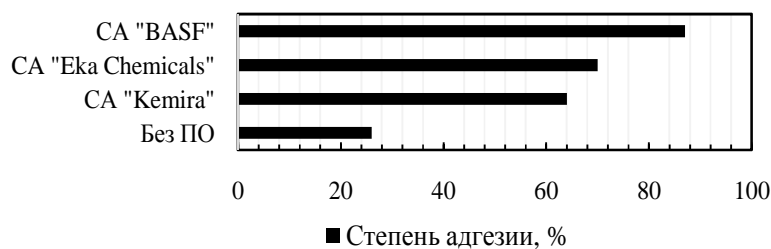


**Рисунок 2 – Спектр идентификации лазерного тонера**

Наряду с металлическим пигментом в состав тонера входит стирол-акриловый сополимер (далее СА), используемый в качестве носителя пигмента. Химия поверхности должна быть совместима с химией печати. Отсюда следует, что увеличить адгезию тонера можно путем введения в бумажное полотно термоактивных полимеров – добавок в пропиточный состав, имеющих средство к носителю пигмента лазерного тонера - СА.

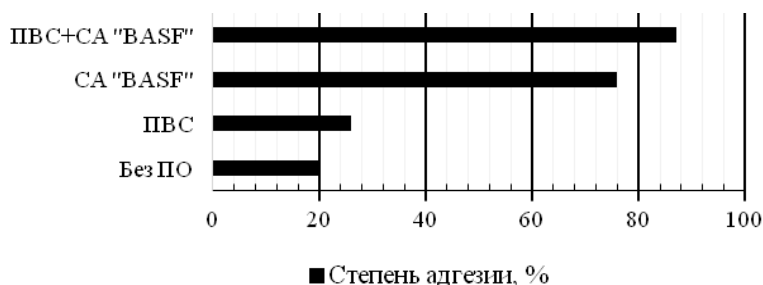
На рынке имеется ряд продуктов требуемых свойств. Выбор оптимальной добавки для технологии изготовления специальной бумаги-основы для бланков ценных бумаг и документов осуществлялся путем контроля степени адгезии лазерного тонера [2]. Бумажное полотно пропитывалось составом с добавкой в пропиточной ванне, в досушивающей части БДМ компоненты состава закреплялись на волокнах бумажного полотна, глубоко проникая в поры и капилляры. На рисунке 3 показаны результаты исследований. Максимальный результат по адгезии тонера получен при использовании продукта СА фирмы «BASF».





**Рисунок 3 – Выбор марки стирол - акрилового сополимера для усиления адгезии лазерного тонера**

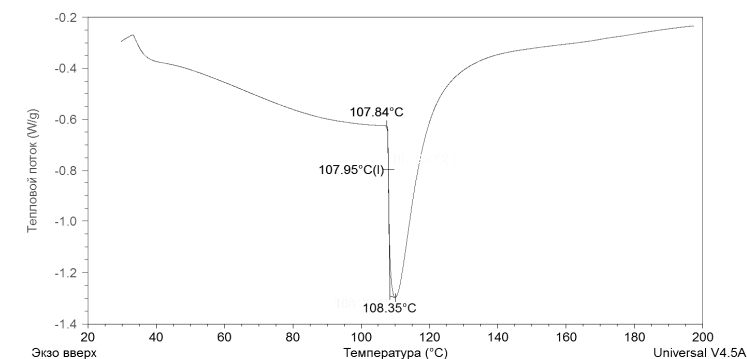
Выигрыш от его использования в рецептуре проклеивающего состава на основе раствора ПВС - показан на рисунке 4.



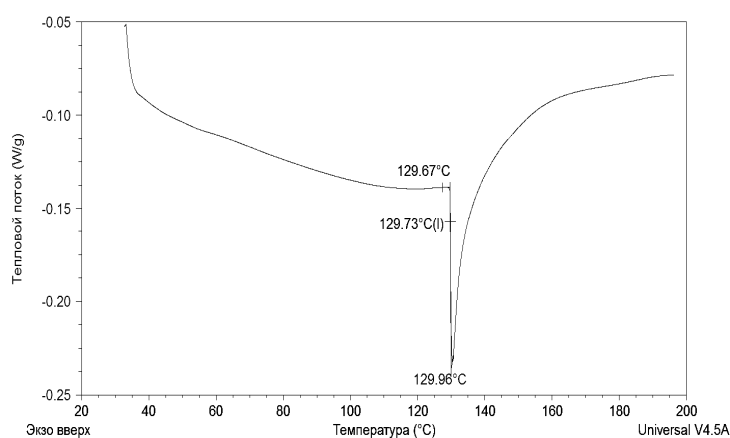
**Рисунок 4 – Влияние компонентов проклеивающего состава на степень адгезии лазерного тонера**

Устойчивость результата по степени адгезии лазерного тонера на бланке документа возрастает, если при печати персональных данных использовать оптимальные настройки. На качество печати влияет опция выбора типа используемой бумаги, что позволяет поднять степень адгезии до 90 % и выше. Таким образом, добавка любого активного полимера (рисунок 3) будет работать на повышение адгезии только тогда, когда будут созданы условия для её перехода в вязкотекучее состояние [3]. Инициатором такого перехода может служить соответствующий типу бумаги прогрев. Печать лазерным принтером в условиях недостаточного нагрева бумаги не позволяет специальным добавкам, усиливающим адгезию, проявить себя. Поверхность бумаги не расстекловывается, а тонер не расплавляется. Если бумаге и тонуру одновременно обеспечен полноценный прогрев до температуры перехода в вязкотекучее состояние, тонер закрепляется на поверхности с высоким результатом по адгезии. При этом создается общая для поверхности бумаги с активным полимером и носителем пигмента ла-

зерного тонера (рисунок 2) надмолекулярная структура, которая работает на усиление адгезии лазерного тонера [3].



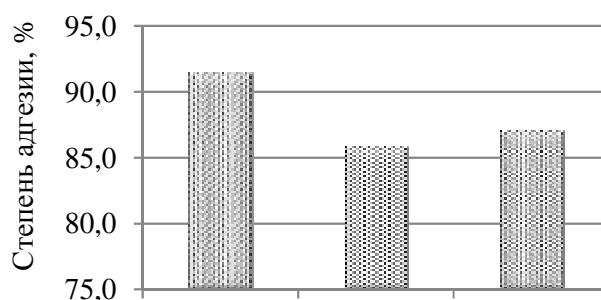
а



б

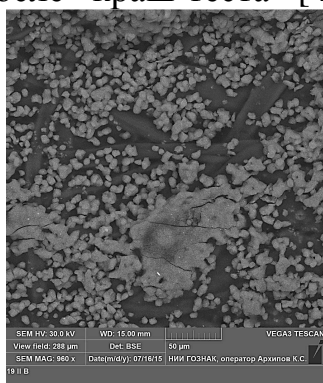
**Рисунок 5 – Температура перехода в вязкотекучее состояние полиуретановой дисперсии (а) и стирол-акриловой дисперсии (б)**

На рисунке 5 показана температура фазового перехода полиуретана отечественного производителя (далее ПУ) (рисунок 5а) и СА фирмы «BASF» (рисунок 5б) в вязкотекучее состояние. Полиуретан размягчается при более низкой температуре (рисунок 5а), чем стирол-акрилат. Анализ проведен с помощью методов ТГА (термогравиметрического анализа) и ДСК (дифференциальной сканирующей калориметрии) на приборах Q600 (ТГА) и Q20P (ДСК) производства TA Instruments. Использование эластичного по природе полиуретана вместо хрупкого стирол-акрилата вполне может быть обосновано его более низкой температурой стеклования. Проверить результат использования полиуретана удалось с помощью стандарта [4], своеобразного «краш-теста» на адгезию тонера (рисунок б).

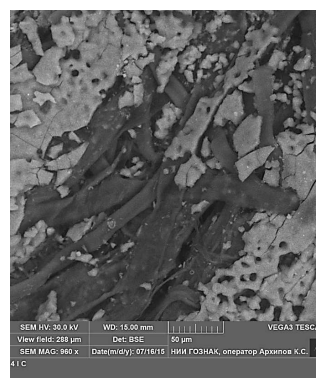


**Рисунок 6 – Степень адгезии лазерного тонера по «краш-тесту» в зависимости от вида полимера в пропиточном составе**

Сохранение плашки тонера после сминания по «краш-тесту» на поверхности бумаги зависит от эластичных свойств последней. На рисунке 7 показаны два варианта плашки лазерного тонера, отпечатанные на основе, обработанной полиуретаном и хрупким стирол-акрилатом. Изображения получены на растровом электронном микроскопе «TESCAN Vega 3 SBU», оснащённом пушкой с вольфрамовым термоэмиссионным катодом, размер видимой области (288 x 288 мкм). Исследованный участок образца – место сгиба плашки лазерного тонера после «краш-теста» [4].



**а**



**б**

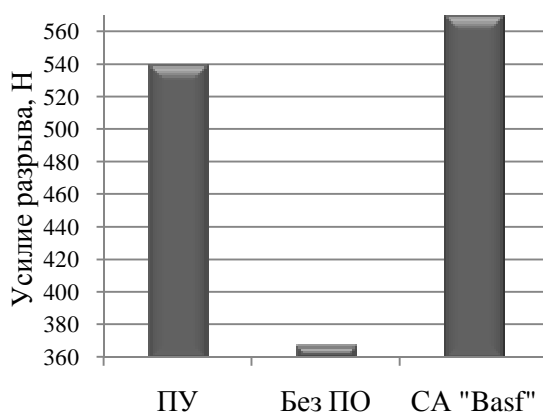
(а – на бумаге с полиуретаном; б – на бумаге со стирол-акрилатом)

**Рисунок 7 – Плашка тонера после «краш-теста» на бумаге, обработанной термопластичными полимерами с различной температурой стеклования**

Плашка тонера (рисунок 7а) сохранила определенную дискретность; отдельные частицы тонера которой удержались на поверхности бумаги даже по месту активной деформации (степень адгезии по «краш-тесту» - 98 %). Плашка (на рисунке 7б) состоит из хрупкого расплава тонера, который имеет больше механических дефектов (трещин и отделившихся частиц расплава тонера) и более низкий результат по степени адгезии. Но при этом когезионная прочность данной плашки выше (рисунок 8). Можно предположить, что более низкая

температура стеклования ПУ полимера привела к преимущественному взаимодействию отдельных частиц тонера с основой (рисунок 7а).

Частицы тонера на рисунке 7а не создали общую структуру – расплав; поэтому когезионная прочность тонера данной плашки оказалась ниже, что подтверждают результаты испытаний плашки на прочность в Z-направлении (рисунок 8). Разрушение происходит по материалу с более низкой когезионной прочностью. В данном случае плашка меньшей прочности оказалась на образце бумаги, обработанной дисперсией полиуретана (рисунок 8).



**Рисунок 8 – Когезионная прочность плашки лазерного тонера в Z-направлении на поверхности бумаги-основы, обработанной дисперсией стирол-акрилата и дисперсией полиуретана**

Использование дисперсии полиуретана, не смотря на выигрыш в жестком «краш-тесте», приводит к снижению когезионной прочности плашки лазерного тонера, что критично для долговечности персональных данных.

Таким образом, температура фазового перехода полимеров в вязкотекучее состояние оказывает влияние на степень адгезии и когезионную прочность плашки (оттиска) лазерного тонера на бумаге-основе для документов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Katja Sipi. Toner-paper interaction induced by the fixing process in electrophotographic printing / Взаимодействие тонера и бумаги, вызванное процессом закрепления в электрофотографической печати / Хельсинский технологический университет, 2002.

2 TCM 8500 Toner adhesion by tape peel and optical densitometry.

3 Аким Э.Л. Обработка бумаги (основы химии и технологии обработки и переработки бумаги и картона). – М.: Лесн. пром-сть, 1979. –232 с.

4 TCM 8507 Toner adhesion by crease test and image analysis.

О. А. Новосельская\*, ст. преп., канд. техн. наук;  
А. А. Пенкин, зам. декана, доцент, канд. техн. наук;  
Е. В. Дубоделова, ст. преп., канд. техн. наук;  
Т. В. Соловьева, проф., д-р техн. наук  
[\\*nochka@tut.by](mailto:nochka@tut.by) (БГТУ, г. Минск)

## **ОСОБЕННОСТИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЦВЕТА ПЕЧАТНЫМИ ВИДАМИ БУМАГИ**

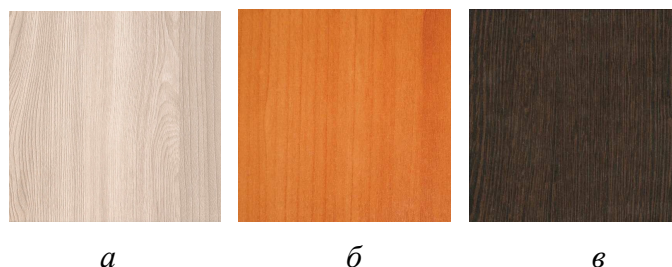
Бумага для печати характеризуется комплексом не только физико-механических, но и сорбционных, оптических, печатно-технических свойств [1]. Это предъявляет особые требования к качеству изготовления бумаги, свойствам поверхности, которые в свою очередь оказывают влияние на воспроизведение поверхностью бумаги информации, то есть результат печати.

В последние годы качеству подготовки бумаги для печати уделяют все больше внимания. Это связано с высокой конкуренцией на рынке потребления именно этого вида бумаги. Все большее значение отводится печатным свойствам бумаги. Ранее проведенные исследования [2–4] показали связь печатных свойств бумаги с технологическими параметрами ее изготовления, применяемым сырьем и материалами. Установлено, что качество печатного изображения зависит от вида исходного целлюлозного сырья, применяемого вида наполнителя и поверхностной проклейки. В то же время в исследованиях мало внимания уделялось изменению цветовых характеристик печатного изображения. Особенно это влияние заметно для декоративных видов бумаги, применяемых при изготовлении ламинированных древесностружечных плит (ДСП). Декоративная бумага, как правило, визуально имеет цвета, сильно отличающиеся от цветов, которые образуются после изготовления бумажно-смоляной пленки и ее припрессовки к ДСП. В результате сложно предсказать изменения цветовых характеристик и получить точную цветовую гамму на выходе из пресса.

Целью настоящего исследования является изучение цветовых характеристик декоративной бумаги, содержащей печатное изображение текстурной поверхности древесины, и определение взаимосвязи цвета бумаги-основы текстурной с цветами, получаемыми после ламинирования ДСП.

Оценка цветовых характеристик бумаги проведена на базе типографского оборудования – спектроденситометра Gretag Mactheta D19C. В качестве объекта исследования применялась бумага декоративная фирмы ООО «Schattdecor», используемая для изготовления ламинированных ДСП на ОАО «Речицадрев». Были выбраны три основ-

ных цвета: светло-бежевый – Ясень Асахи (рисунок 1 а), оранжевый – Вишня Оксфорд (рисунок 1 б), темно-коричневый – Венге Цаво (рисунок 1 в).



**Рисунок 1 – Текстуры поверхностей декоративной бумаги**

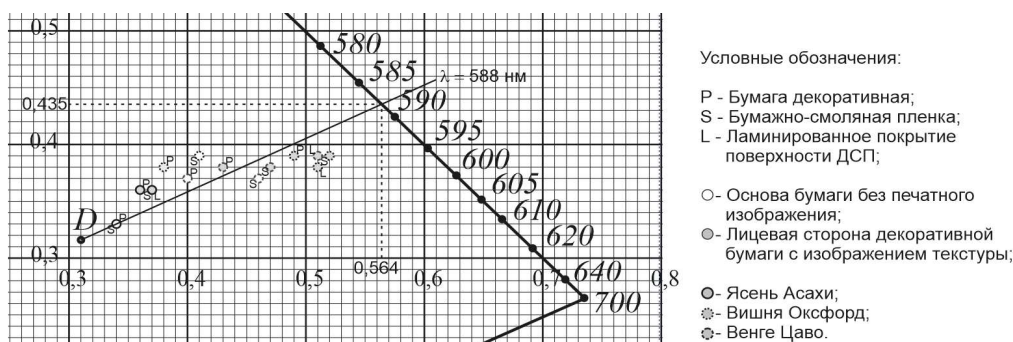
Результаты измерения оптической плотности бумаги декоративной, бумажно-смоляной пленки и ламинированного покрытия поверхности ДСП по средним значениям из пяти повторных измерений приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Оптическая плотность поверхности бумаги**

Тип бумаги	Оптическая плотность по краскам			
	голубая	пурпурная	желтая	черная
<i>Бумага декоративная цветов</i>				
– Ясень Асахи				
• сторона с рисунком текстуры	0,134	0,200	0,296	0,180
• сторона без рисунка	0,030	0,040	0,040	0,040
– Вишня Оксфорд				
• сторона с рисунком текстуры	0,170	0,554	0,996	0,410
• сторона без рисунка	0,025	0,125	0,300	0,075
– Венге Цаво				
• сторона с рисунком текстуры	1,276	1,514	1,776	1,434
• сторона без рисунка	0,340	0,525	0,705	0,455
<i>Бумажно-смоляная пленка цветов</i>				
– Ясень Асахи				
• сторона с рисунком текстуры	0,208	0,284	0,400	0,260
• сторона без рисунка	0,005	0,015	0,015	0,015
– Вишня Оксфорд				
• сторона с рисунком текстуры	0,274	0,738	1,266	0,552
• сторона без рисунка	0,120	0,285	0,560	0,205
– Венге Цаво				
• сторона с рисунком текстуры	1,578	1,924	2,274	1,790
• сторона без рисунка	0,730	1,050	1,360	0,905
<i>Ламинированное покрытие поверхности ДСП цветов</i>				
– Ясень Асахи				
• сторона с рисунком текстуры	0,250	0,348	0,444	0,318
– Вишня Оксфорд				
• сторона с рисунком текстуры	0,330	0,762	1,190	0,588
– Венге Цаво				
• сторона с рисунком текстуры	1,406	1,830	2,358	1,642

Данные таблицы 1 показывают, что в результате обработки поверхности декоративной бумаги ее цвет изменяется, что видно из значений красок. Причем, цветность оборотной стороны бумаги изменяется в зависимости от пигментности бумажной основы. Так для декоративной бумаги Ясень Асахи обработка смолой снижает значения оптической плотности пропорционально по всем краскам. Лицевая сторона с рисунком текстуры также пропорционально изменяют значения оптической плотности в направлении увеличения показателя. Для бумаги цветов Вишня Оксфорд и Венге Цаво заметно увеличение показателя оптической плотности при обработке смолой и затем некоторое его снижение после ламинирования.

Разрозненность данных требует дополнительной обработки результатов и определения характеристик цвета, таких как цветовой тон, насыщенность и светлота, которые однозначно характеризуются значениями доминирующей длины волны, показателем колориметрической чистоты и яркостью соответственно. Согласно методике, изложенной в [5], определение цветных характеристик проводится по диаграмме цветности. Для нахождения доминирующей длины волны необходимо провести линию, связывающую источник света, относительно которого произведено измерение цвета, и точку цвета в значениях координат цветности цветовой системы CIE XYZ (рисунок 2). Результат пересечения с диаграммой однозначно указывает на точное значение цветового тона.



**Рисунок 2 – Определение цветового тона по диаграмме цветности**

Зная координаты доминирующей длины волны и цвет можно определить показатель колориметрической чистоты цвета, который является безразмерной относительной величиной, выражающей насыщенность цветового тона. Чем ближе его значение к 1, тем более насыщенный цвет. Яркость оценивается исходя из значений координат цвета, умноженных на коэффициент перевода от энергетических к световым единицам, равный 680. Результаты обработки данных в MS Excel представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Характеристики цвета бумаги**

Тип бумаги	Характеристики цвета		
	цветовой тон $\lambda$ , нм	насыщен- ность $P$	яркость, $B$ , кд / м <sup>2</sup>
Бумага декоративная цветов:			
– Ясень Асахи			
• сторона с рисунком текстуры	желто-оранжевый 580	0,36	2490
• сторона без рисунка	оранжевый 588	0,13	3520
– Вишня Оксфорд			
• сторона с рисунком текстуры	оранжевый 590	0,75	1335
• сторона без рисунка	желто-оранжевый 579	0,49	3000
– Венге Цаво			
• сторона с рисунком текстуры	оранжевый 587	0,60	130
• сторона без рисунка	оранжевый 585	0,50	1250
Бумажно-смоляная пленка цветов:			
– Ясень Асахи			
• сторона с рисунком текстуры	оранжевый 582	0,35	2060
• сторона без рисунка	оранжевый 588	0,13	3730
– Вишня Оксфорд			
• сторона с рисунком текстуры	оранжевый 592	0,82	935
• сторона без рисунка	оранжевый 582	0,58	2150
– Венге Цаво			
• сторона с рисунком текстуры	оранжевый 590	0,66	55
• сторона без рисунка	оранжевый 592	0,59	405
Ламинированное покрытие поверхности ДСП цветов:			
– Ясень Асахи			
• сторона с рисунком текстуры	оранжевый 582	0,35	1800
– Вишня Оксфорд			
• сторона с рисунком текстуры	оранжевый 594	0,73	860
– Венге Цаво			
• сторона с рисунком текстуры	оранжевый 592	0,78	75



Анализ данных таблицы 2 показывает, что нанесение печатного изображения на поверхность приводит к изменению цветового тона, насыщенности и яркости воспринимаемых цветов. Для всех типов бумаги характерно общее снижение яркости изображения и увеличение его насыщенности за счет нанесения печатного рисунка. При пропитке бумаги-основы смолой и последующей ее припрессовки к ДСП для светлой бумаги происходит незначительно смещение цветового тона в область красных тонов, насыщенность при этом практически не изменяется, происходит уменьшение яркости. Для средних и темных тонов бумаги-основы цветовой тон также немного смещается в сторону красных тонов, однако насыщенность изменяется для среднего тона в сторону увеличения при изготовлении бумажно-смоляной пленки и уменьшения при последующем ее ламинировании. Яркость последовательно уменьшается. Для более темного тона насыщенность последовательно увеличивается, но при этом яркость изменяется в сторону увеличения при ламинировании бумажно-смоляной пленки на ДСП. Таким образом, можно сделать вывод о том, что наиболее значительные изменения в цветности ламинированной ДСП происходят за счет изменения яркости и насыщенности печатного изображения после его обработки смолой и припрессовки к ДСП.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Махотина, Л. Г. Современные тенденции в технологии бумаги для печати. / Л. Г. Махотина // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2008. – № 3. – С. 52-55.

2 Новосельская, О. А. Печатные свойства бумаги с применением различных видов катионного крахмала / О. А. Новосельская, А. А. Пенкин, Т. В. Соловьева // Збірник наукових праць «Технологія і техніка друкарства». – Київ, 2010. – Вип. 4(30). – С. 187–191.

3 Новосельская, О. А. Шкальный контроль и управление показателями качества печатного изображения / О. А. Новосельская, В. Л. Колесников, Т. В. Соловьева, И. В. Нагорнова, О. В. Трапезникова, Е. В. Трапезников // Динамика систем, механизмов и машин. – № 1. – Омск, 2016. – Том 1. – С. 353–360.

4 Penkin, A. Modified GCC fillers in Printing Paper Production / A. Penkin, S. Vetokhin, E. Dubodelova, T. Solovyova // Industrial Technology and Engineering. – Is. 3(20). – 2016 – 47-53 p.

5 Шашлов, А. Б. Основы светотехники: учеб. пособие / А. Б. Шашлов, Р. М. Уарова, А. В. Чуркин. – М.: МГУП, 2002. – 280 с.

УДК 676.164.2 : 676.032

М.А. Молодцова, асп. [m.molodcova@narfu.ru](mailto:m.molodcova@narfu.ru);  
Ю.В. Севастьянова, доц., канд. техн. наук;  
И.В. Сеземов, магистрант; В.И. Белоглазов, проф.  
(С(А)ФУ имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОПИТКИ И ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ СУЛЬФАТНОЙ ВАРКИ НА СВОЙСТВА ХВОЙНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ВЫСОКОГО ВЫХОДА**

Хвойная сульфатная целлюлоза высокого выхода является одним из основных видов полуфабрикатов, входящих в композиционный состав компонентов тарного картона.

При получении полуфабрикатов высокого выхода сульфатным способом определяющую роль для показателей механической прочности и деформационных характеристик наряду с основными факторами варки играют процессы предварительной пропитки щепы. Для изучения влияния процессов пропитки на свойства хвойной сульфатной ЦВВ в лабораториях Инновационно-технологического центра «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» Северного (Арктического) федерального университета провели серию экспериментов. Режимы получения полуфабриката были смоделированы в соответствии с производственными условиями одного из предприятий отрасли. Для варок использовались технологические образцы щепы и щелока.

С целью исследования зависимости прочностных и деформационных свойств хвойной ЦВВ от продолжительности процессов пропитки и основных факторов сульфатной варки, выхода и степени делигнификации полуфабриката были получены лабораторные образцы в широком диапазоне числа Каппа - от 55 до 125 единиц (таблица 1).

Установлено, что предварительная пропитка щепы варочным щелоком повышает скорость делигнификации полуфабриката, за счет более равномерного распределения варочного раствора по всему объему сырья, благодаря чему получается полуфабрикат с заданным значением числа Каппа, но при этом увеличивается выход ЦВВ с варки. Предварительная пропитка щепы позволяет снизить как температуру варки, так и расход АЩ.

Установлено, что увеличение расхода щелочи на варку закономерно приводит к снижению числа Каппа полуфабриката, при этом наличие стадии пропитки интенсифицирует процесс делигнификации.

Определено, что проведение предварительной пропитки позволяет увеличить выход хвойной сульфатной целлюлозы высокого выхода на 2...3 % при одном и том же значении числа Каппа.

Сваренную целлюлозную массу после варки подвергали горячему размолу (температура 80-90 °С) на лабораторной мельнице ЦРА в специализированных стаканах в течение 15 минут для разделения полупроваренной щепы на волокна. Промывку образцов сульфатной для отделения отработанного щелока и сортирования в целях отделения сучков, непровара и костры проводили в лабораторной сечеже. Дальнейший размол образцов полуфабрикатов для исследования показателей механической прочности проводился также в лабораторной мельнице ЦРА в стандартных стаканах при концентрации массы 6 %. Масса лабораторных образцов – 150 г/м<sup>2</sup>, при степени помола массы 20–22 °ШР.

Для оценки физико-механических показателей сульфатной хвойной ЦВВ были определены основные характеристики прочности – сопротивление продавливанию (П), разрывная длина (L), разрушающее усилие при сжатии кольца (RСТ) (таблица 2).

**Таблица 1 – Условия варки и показатели полуфабриката**

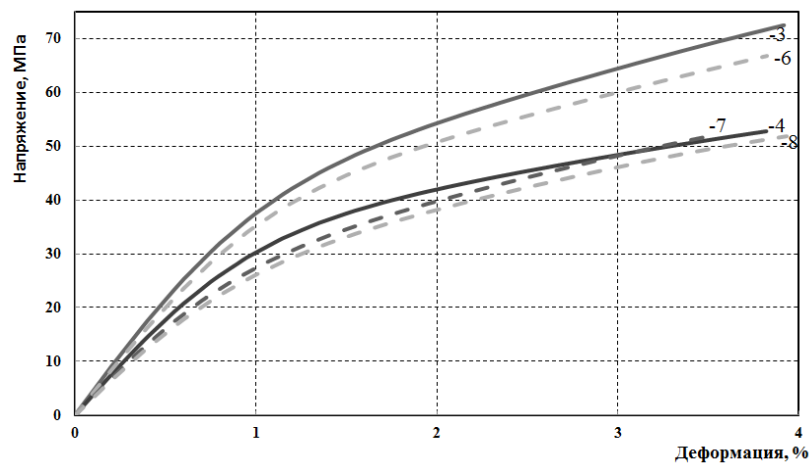
№ п/п	Условия варки				Показатели ЦВВ	
	режим варки	температура варки, С	продолжительность, мин	расход активной щелочи, %	выход, %	число Каппа
1	без предварительной пропитки щепы	158	100	14	57	126
2		158	100	17	54	109
3		158	128	18	50	79
4		165	135	18	44	55
5		165	135	15	53	80
6	с предварительной пропиткой щепы	158	128	18	50	73
7		158	135	15	59	106
8		158	135	16	51	105
9		165	135	14	58	99
10		165	135	17	50	80
11		165	135	16	50	62
12		165	135	18	51	58

Установлено, что с повышением числа Каппа сульфатной хвойной ЦВВ имеется тенденция снижения характеристик прочности, по причине, обусловленной повышением содержания остаточного лигнина, что делает поверхность волокна менее разработанной, а само волокно более хрупким, что приводит к снижению собственной прочности волокна и уменьшению межволоконных сил связи.

**Таблица 2 – Прочностные и деформационные показатели хвойной сульфатной ЦВВ**

№	Показатели образцов		Прочностные показатели				Деформационные показатели				
	Плотность отливки, г/см <sup>3</sup>	Средняя толщина отливки, мм	L, м	П, кПа	RCT, Н		St, кН/м	TEA, Дж/м <sup>2</sup>	σ, МПа	ε, %	E <sub>1</sub> , МПа
					Ширина образца						
					12,7 мм	15,2 мм					
1	0,716	205	5950	735	290	300	661	177,6	42,5	3,09	1370
2	0,719	167	7200	800	200	220	614	187,7	52,2	3,30	1580
3	0,802	184	8900	965	250	290	771	307,3	66,7	3,82	1750
4	0,782	189	6750	840	370	350	711	259,7	52,8	3,82	1580
5	0,768	181	7650	880	320	290	740	223,9	58,7	3,24	1810
6	0,802	184	8300	1000	390	250	771	307,3	66,7	3,82	1750
7	0,679	196	7700	765	290	220	671	229,7	52,0	3,53	1470
8	0,666	195	7400	800	310	250	641	211,5	49,5	3,43	1440
9	0,728	167	8000	950	280	220	673	182,7	58,2	2,99	1940
10	0,681	190	7700	700	270	260	702	196,0	52,6	3,13	1680
11	0,660	201	9100	860	280	220	567	184,9	32,8	3,30	1600
12	0,696	198	8600	770	280	220	633	172,9	34,2	2,93	1670

На рисунке 2, представлено влияние числа Каппа сульфатной хвойной ЦВВ, полученной по различным режимам на относительный вклад в усилие (σ, МПа) и удлинение (ε, %) при разрушении образцов. Согласно данным установлено, что наилучшими показателями деформативности обладают образцы хвойной ЦВВ полученные при низких температурах варки (158 °С) и высоком расходе АЩ (17...18 %) с числом Каппа в диапазоне 75...80 единиц.



\* – цифрами обозначен порядковый номер образца в таблице 1

**Рисунок 2 – Зависимости «напряжение – деформация» для оптимальных режимов получения сульфатной ЦВВ: – без пропитки, - - с пропиткой**

Основные выводы по исследованию:

Установлен оптимальный интервал числа Каппа для получения хвойной ЦВВ с повышенными показателями прочности находящийся в пределах 75...80 единиц.

При изучении влияние факторов варки на деформационные свойства хвойной ЦВВ, установлено, что максимальные значения данных характеристик выявлены для образцов, полученных по режи-

му варки с низкой температурой (158 °С) и высоким расходом АЩ (17–18%). Наличие стадии пропитки не оказывает значительного влияния на деформационные характеристики хвойной сульфатной целлюлозы высокого выхода.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Галеева Н.А. Производство полуцеллюлозы и целлюлозы высокого выхода. М., 1970. 320 с.

2 Увеличение выхода сульфатной целлюлозы высокого выхода с помощью новых методов размола // Бумажная промышленность. 1974. №3. С. 30–31.

3 Технология целлюлозы: В 3 т. Т. 2: Производство сульфатной целлюлозы / Ю.Н. Непенин. М., 1990. 600 с.

4 Лузина Л.И. Зависимость выхода сульфатной целлюлозы из сосны и ели от условий варки и полумассного размола // Бумажная промышленность. 1989. №4. С. 7.

5 Холмова М.А. Диссертация.

6 Холмова М.А., Комаров В.И., Миловидова Л.А., Гурьев А.В. Взаимосвязь числа Каппа и физико-механических свойств сульфатной ЦВВ // ЦБК. 2005. №10. С. 56–59.

7 Холмова М.А., Комаров В.И., Гурьев А.В., Миловидова Л.А. Влияние предварительной пропитки щепы на физико-механические и бумагообразующие свойства сульфатной хвойной небеленой ЦВВ // Наука – северному региону: Сб. науч. тр. Архангельск, 2006. Вып. 62. С. 169–172.

УДК 676.163.4 : 676.032

Ю.В. Севастьянова<sup>1</sup>, доц., канд. техн. наук [J.Sevastyanova@narfu.ru](mailto:J.Sevastyanova@narfu.ru)  
М.А. Молодцова<sup>1</sup>, асп.

К.А. Иванов<sup>2</sup>, рук-ль консалтингового направления, канд. техн. наук

К.О. Татарский<sup>2</sup>, инженер-аналитик консалтингового направления  
(<sup>1</sup> С(А)ФУ имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск; <sup>2</sup>ООО «Макорус»)

### **ПОЛУЧЕНИЕ Na-БИСУЛЬФИТНОЙ РАСТВОРИМОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ (DWP) ИЗ ХВОЙНЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ**

Сульфитный способ варки древесной целлюлозы и его модификации сыграл выдающуюся роль в развитии целлюлозно-бумажного производства в 20 веке, так как данный способ в то время оказался более дешевым, простым и удобным и позволил выпускать качественные полуфабрикаты различного назначения [1]. На сегодняшний день, данный метод позволяет получить широко применимый товарный

продукт с высокой добавленной стоимостью – целлюлозу для химической переработки.

Целлюлоза для химической переработки – это особый вид волокнистого полуфабриката, из которого должны быть удалены все нецеллюлозные примеси. За рубежом сохранился термин «растворимая целлюлоза» – dissolving wood pulp (DWP), поскольку химической переработкой получают производные целлюлозы, растворяющиеся в традиционных растворителях, что и используют для производства материалов и изделий на основе целлюлозы. Качество химической целлюлозы определяется её химической чистотой, реакционной способностью и степенью полимеризации [2–4].

Растворимая древесная целлюлоза (DWP) предназначенная для химической переработки, должна иметь высокое содержание альфа-целлюлозы и небольшое содержание примесей (гемицеллюлоз, лигнина; смол, золы). Вязкость растворов целлюлозы должна быть в определенных пределах. Кроме того, целлюлоза должна обладать высокими молекулярной однородностью и реакционной способностью.

На базе лабораторий Инновационно-технологического центра «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» САФУ имени М.В. Ломоносова ведутся разработки и исследования в области получения растворимой целлюлозы из хвойных пород древесины. Целью данной научно-исследовательской работы является отработка режимов и получение образцов натрий-бисульфитной растворимой целлюлозы из хвойных пород древесины.

Для этого были поставлены и реализованы следующие задачи научно-исследовательской работы:

- проведение анализа сырья (технологической щепы)
- подбор оптимальных режимов варки хвойной целлюлозы
- разработка схем отбеливания хвойной целлюлозы для полученных образцов растворимой целлюлозы высокого качества
- исследование свойств полученной растворимой целлюлозы.

Традиционно для получения целлюлозы натрий-бисульфитным способом используется 100 % еловая щепа (рис.1). Характеристики сырья регламентируются ГОСТ 15815-83 «Щепа технологическая. Технические условия». Характеристики хвойной щепы для проведения исследовательской работы представлены в табл. 1.

**Таблица 1 – Анализ хвойной щепы**

Порода	Содержание нормальной фракции, %	Массовая доля коры и гнили, %	Сред. базисная <sup>3</sup> плотность, кг/м
Ель	83,6	0,6	400

Процессы варки и отбелики хвойной целлюлозы были смоделированы и проведены в лабораторных условиях на установках производства шведской компании CRS Reactor Engineering AB. Автоклавная система CRS Autoclave Oven 2.0 (рис.1, а) – предназначена для выбора подходящей рецептуры варок по заданному профилю температур для различных видов целлюлозы. Многоцелевая система CRS Multipurpose Reactor 3.0 (рис.1, б) – используется для отработки режимов отбелики целлюлозы; характеристики реактора позволяют моделировать современные технологии отбелики при средней, высокой и низкой концентрации. Технологические циклы установки проводят в полностью автоматизированном режиме.

Для получения растворимой целлюлозы из хвойной древесины с заданными свойствами необходимо на этапе варки получить небеленый полуфабрикат с числом Каппа (содержанием остаточного лигнина) в диапазоне 10...25 единиц. Основными варьируемыми факторами процесса варки целлюлозы температура и продолжительность. На графике (рис. 2) представлены оптимальные режимы варки, полученные в ходе отработки режимов варки хвойной целлюлозы.



**а** **б**  
Рисунок 1 – Лабораторные установки

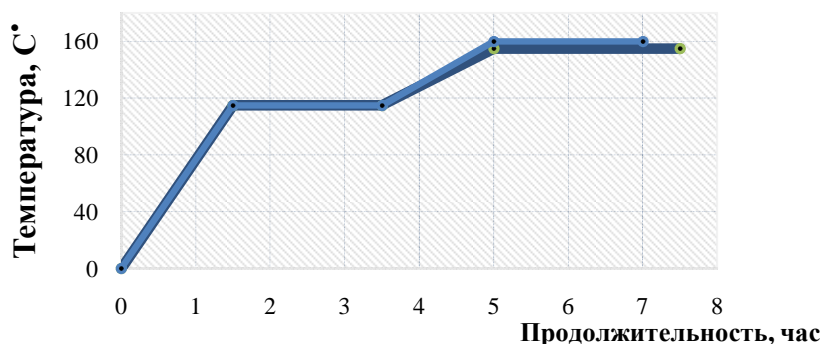


Рисунок 2 – Температурно-временной режим получения хвойной растворимой целлюлозы

Результаты эксперимента по режиму получения натрий-бисульфитной растворимой хвойной целлюлозы приведены в табл. 2. Основным отличием данных режимов является показатель числа Каппа целлюлозы, что является определяющим при отработке режимов отбелки.

**Таблица 2 – Условия и результаты варки хвойной целлюлозы (DWP)**

Состав варочного щелока		Результаты варки			
содержание основания % в ед. Na <sub>2</sub> O	содержание всего SO <sub>2</sub> (основания) %	количество непровара, %	выход целлюлозы, %	число Каппа	содержание остаточного SO <sub>2</sub> в отработанном щелоке, %
1,5	5,55	0,6	48	10	0,6
		0,8	52	15	0,4

Для отработки режима отбелки, по схеме КЦО(II)-ЭДТА-ЩП-ЩП (международная аббревиатура O<sub>2</sub>-Q-P-P), для получения целлюлозы DWP с заданными свойствами использовали образец с числом Каппа после варки 10 единиц, это позволяет достичь необходимых характеристик качества готовой продукции при заданных условиях схемы отбелки. Полученные результаты приведены в табл. 3.

**Таблица 3 – Показатели отбелки хвойной целлюлозы**

Показатель	Ед. изм.	Результат	Мировые аналоги
Выход целлюлозы (после отбелки)	%	35,5	30–34
Вязкость	мг/г	540	500–600
Белизна	%	91,0	90–95
Растворимость целлюлозы (R18)	%	96	94–96
Растворимость целлюлозы (R10)	%	94	88–92
Содержание экстрактивных веществ (экстрагент – хлористый метилен)	%	0,04	0,04–0,10
α – целлюлоза	%	95	90–93
Массовая доля минеральных примесей (зольность)	%	0,03	0,05–0,10

На основании полученных данных можно сделать вывод, что полученная хвойная растворимая бисульфитная целлюлоза соответствует мировым аналогам при условии внедрения на предприятии ТCF-технологии отбелки, что обеспечит высокий уровень основных технологических показателей (содержание α – целлюлозы, R18, R10, уровень белизны) и низкий уровень содержания экстрактивных веществ и минеральных примесей.



В ходе исследования установлено, что на свойства готовой продукции - хвойной DWP в принятых условиях, - значительное влияние оказывает качество древесного сырья, что обуславливает скорость процессов пропитки. Для достижения наилучших результатов бисульфитной варки необходимо, чтобы:

– добавка сопутствующих пород (например, сосна, пихта) к основному виду сырья (ель) не превышала 5 % (достигается жестким регламентированием на производстве)

– влажность древесного сырья составляла 40 % (достигается режимом выдерживания древесины на бирже)

– преобладающей фракцией в щепе на варку была фракция с сита 10 мм – не менее 80...85 % (остальные 15–20 % – сито 20 мм)

– длина щепы находилась в диапазоне от 20 до 25 мм (учитывается при настройке работы рубительной машины).

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Технология целлюлозы [Текст] : учеб. пособие : в 3 т. Т. 1. Производство сульфитной целлюлозы / Н.Н. Непенин. – Москва: Гослесбумиздат, 1956. - 748 с.

2 Основы химии целлюлозы и древесины: учебно-методическое пособие / Э.П. Терентьева, Н.К. Удовенко, Е.А. Павлова, Р.Г. Алиев; ГОУВПО СПбГТУ РП. – СПб., 2010 – 23 с.

3 Ф.Х. Хакимова, Т.Н. Ковтун – Бисульфитная делигнификация молодой древесины березы / Пермь, 2008 г.

4 Ф.Х. Хакимова – Отбелка бисульфитной целлюлозы из древесины спелой и молодой тонкомерной ели и березы / Пермь, 2006 г.

УДК 676.012 : 004.051

М.А. Зильберглейт, зав. лабораторией, д-р хим. наук [mazi@list.ru](mailto:mazi@list.ru);

В.И. Темрук, нач. лаборатории спец. материалов,

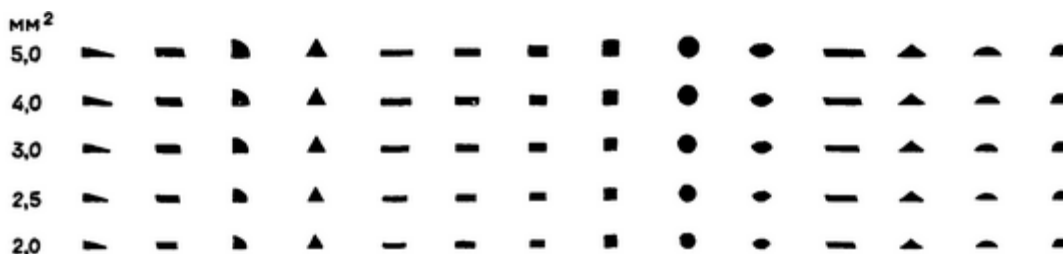
канд. техн. наук [utsiamruk@gmail.com](mailto:utsiamruk@gmail.com)

(ИОНХ НАН Беларуси, г. Минск)

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОРНОСТИ БУМАГИ И ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ОЦИФРОВКОЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ**

Среди показателей свойств бумаг и целлюлоз наиболее консервативным по отношению к возможности автоматизации процесса анализа является показатель сорности. Данный показатель регламентируется ГОСТом 13525.4—68 Бумага и картон. Метод определения сорности и ГОСТом 14363.3-84 Целлюлоза и древесная масса. Метод определения сорности.

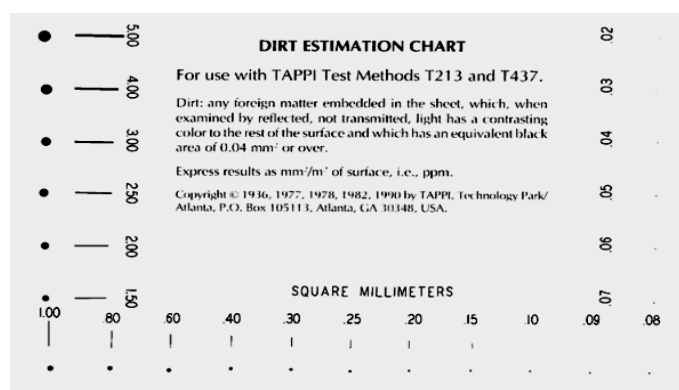
Методика определения основана на подсчете соринок, видимых невооруженным глазом на площади 1 м<sup>2</sup>. Диапазон изменения площади соринок колеблется от 0,06 мм<sup>2</sup> до 5 мм<sup>2</sup>. Определение осуществляется вручную. При этом используется специальный прозрачный шаблон, на который нанесены 14 типов черных фигур различной конфигурации (рис.1).



**Рисунок 1 – Фрагмент шаблона для определения сорности по ГОСТ 14363.3-84**

Очевидно, что для такого метода характерна достаточно высокая трудоемкость, что же касается точности, то чего стоит фраза в стандарте, что отклонение площади от номинального значения не должно превышать ±20%.

Методы определения сорности за рубежом достаточно близки к этому стандарту. Так стандарт TAPPI [213 om-89] в принципе ничем не отличается от приведенного выше (см. рис.2). В соответствии со стандартами EN ISO 5350-1 и EN ISO 5350-2 определяется общая площадь загрязнений на отливке стандартного размера, количество загрязнений рассчитывается в мм<sup>2</sup>/кг.

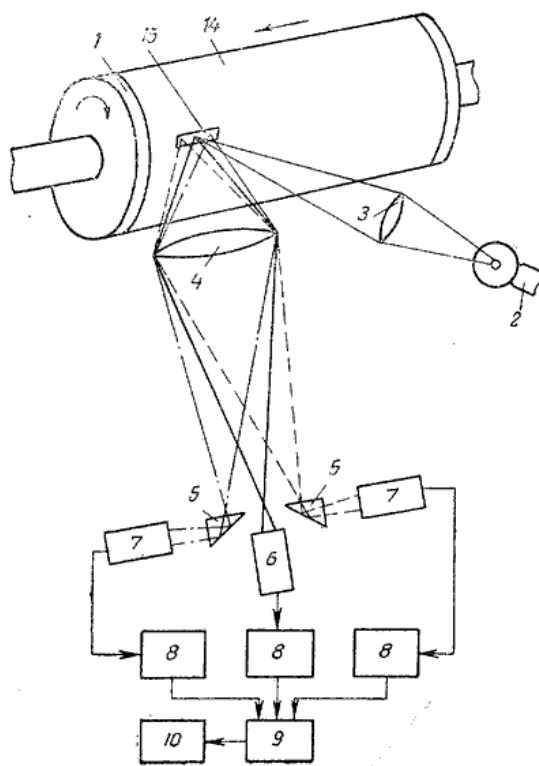


**Рисунок 2 – Фрагмент шаблона для определения сорности по стандарту TAPPI**

Кроме того существует метод определения сорности целлюлозы по Соммервиллю, который основан на определении массы сора (загрязнений), отделяемого на лабораторной целевой сортировке. Сорность целлюлозы определяют как отношение массы костры к массе

навески, взятой для сортирования. Эффективность сортирования рассчитывают как отношение сорности массы после сортирования к сорности несортированной массы. Этот способ используют при наладке схем сортирования. При определении сорности по этому методу навеску целлюлозы массой 25 г пропускают через щелевое сито, имеющее ширину щелей 0,15 мм и длину 45 мм. Количество щелей на сите 756 шт. Концентрация массы при сортировании 0,25 %, продолжительность анализа 20 мин.

В 70-80-ых годах сотрудниками УКРНИИБа были предприняты несколько попыток автоматизировать процесс подсчета сорнонок. Оборудование (см. рис. 3) состояло из источника света, который направлялся на бумагу, отражался и улавливался фотоприемником и затем сигнал поступал в дешифратор. Насколько нам известно, данный способ практической реализации не нашел.



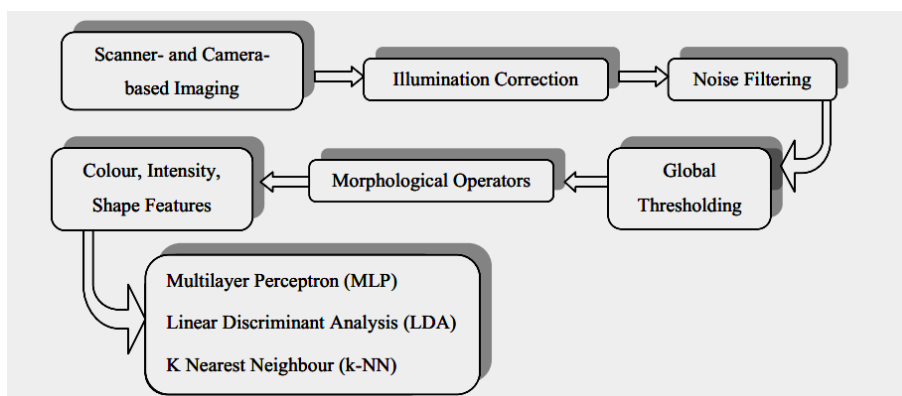
**Рисунок 3 – Схема определения сорности  
по А.с. СССР 261764 опубл. 13.01.1970**

В 2014 году Н.И. Хорошев и Н.Р. Мубаракзянов описали аппаратную и программную реализацию предлагаемой автоматизированной системы анализа сорности. При этом разработан обобщенный алгоритм процедуры определения сорности газетной бумаги. Формализован каждый из этапов данного алгоритма: вычисление плотности пикселей, выделение области образца бумаги для ее анализа, проце-

дура обрезки бумаги, процедура сортировки соринок по изменяемому параметру площади. Были проведены эксперименты с различными образцами бумаги, которые позволили установить, что при высоком качестве бумаги распознавание сорности происходит быстрее и точнее, чем при низком качестве образца (с изгибами, неровностью краев и другими возмущающими факторами), а также выявить перспективные направления для совершенствования процедуры распознавания образов.

За рубежом также существует различные методы оценки сорности бумаги, которые используют систему сканирования и распознавания. На рисунке 4 приведена соответствующая схема оценки сорности.

Схема включает в себя стадию сканирования или съемки поверхности, различные виды коррекции, задания порога, а также применение метода распознавания образов в виде нейронных сетей и линейного дискриминантного анализа.



**Рисунок 4 – Схема получения и обработки изображения для анализа сорности листовых материалов**

Вид одной из реализации метода приведен на рисунке 5 (фирма OpTestEquipmentInc, TappiMethodT563, PaptacStandardD.35.PandISO 53504 “MeasurementofVisibleDirtbyImageAnalysis”).

В настоящее время в сети Интернет существует ряд программ с открытым кодом или свободно распространяемые, которые предназначены для научной и инженерной обработки изображений, полученными различными способами - от геоспутников до электронных микроскопов. К ним следует отнести Hesperus, 3D RasterViewer, NEXSYS, ImageExpert™ Pro 3, ImageJ, Fiji, MicroVision, Endrov, OpenCV, VXL, OsiriX, MultiSpec. Все программы содержат большое количество общепринятых операций обработки изображений, имеет простой и интуитивно понятный пользовательский интерфейс, проводит визуализацию характеристик изображения.



**Рисунок 5 –Микросканер для определения сорности бумаги фирмы OpTestEquipmentInc**

Использование таких программ проводилось нами по стандартной для таких измерений методике. Вначале осуществлялась калибровка и проверка работы программы для стандартных изображений, для чего использовались шаблоны фигур, которые были приведены выше.

Затем проводилось сканирование изучаемых образцов на сканере с разрешением 300dpi. При необходимости образцы изображений подвергались бинаризации и инвертированию. Правда, особой разницы в полученных результатах нами не были выявлены.

Использование таких программ при исследовании сорности целлюлозы и бумаги показало, что коэффициент вариации метода не превышает 5 %. Часть программ позволяет проводить кластеризацию, сегментацию и классификацию изображений, однако такие процедуры не проводились, так как стандарт определения не требует классификации образцов по форме и другим характеристикам.

УДК 676.2 - 416

П. Е. Сулим, асп., магистр техн. наук [sulim@belstu.by](mailto:sulim@belstu.by);  
В. С. Юденков, доц., канд. техн. наук [yudenkov@belstu.by](mailto:yudenkov@belstu.by)  
(БГТУ, г. Минск)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БУМАГИ ДЛЯ ПЕЧАТИ НА РИЗОГРАФЕ**

Ризография – это оперативное тиражирование документа. Своим названием эта технология обязана японской фирме RISO, вышедшей на рынок с принципиально новым видом печатного оборудования под названием ризограф (рис. 1).



**Рисунок 1 – Внешний вид ризографа**

Ризография – способ трафаретной ротационной печати с использованием печатной формы, изготовленной прожиганием лазером микроотверстий в формном материале (мастер-пленке) для образования печатающих элементов.

Ризографию используют для оперативного изготовления копий документов в количестве от 100 до 1000 экземпляров.

Основные отличия печати на ризографе являются:

1) оперативность.

Это практически моментальный способ получения достаточно больших тиражей. Ризограф не требует времени на разогрев и готов к работе сразу после включения.

2) экономичность.

При увеличении тиража себестоимость копии снижается, приближаясь к стоимости бумаги. Чем выше тираж, тем больше выгода – затраты на получение 15–25 копий с одного оригинала на ризографе и на копировальном аппарате одинаковы. При тираже свыше 100 копий печать на ризографе дает преимущество в стоимости в 2–3 раза, а при тираже 500 и более копий – в 6–8 раз;

3) универсальность.

Для работы на ризографе используется бумага любых типов (кроме мелованной и глянцевой) плотностью от 46 до 210 г/м<sup>2</sup>. Ризограф работает с форматами от А6 до А3, получая их копии в масштабе 1 : 1, либо с использованием встроенного механизма плавного или ступенчатого масштабирования.

При работе с ризографом нужно учитывать особенности аппарата, «пробовать» бумагу.

Печать на ризографе можно производить на следующих видах бумаг: газетная, офисная, плотная бумага, цельнокрашенная бумага.

У каждой бумаги есть своё предназначение и оптимальное использование.

– газетная бумага – бумага плотностью от 45 г/м<sup>2</sup>.

Находится в самом начале ценовой линейки бумаг. Это неоспоримо положительное качество этого типа бумаги. Из отрицательных качеств, можно назвать следующие: тонкая, использование бланков напечатанных на такой бумаге не удобны в использовании, так как лист не имеет достаточной жесткости, требует большей осторожности при заполнении ручкой, легко рвется, просвечивается обратная сторона, имеет желтый цвет (малая белизна). При печати на ризографе больше всего брака уходит именно с этим типом бумаги. Используется для работ с низким бюджетом.

– тонкая офисная бумага 70 г/м<sup>2</sup>.

Более плотная бумага, чем газетная, есть марки бумаги с достаточно высокой белизной. Данный тип бумаги используется для объемных книг, брошюр там, где нужно вместить больше информации в меньший объем бумаги.

– офисная бумага 80 г/м<sup>2</sup>.

Самая оптимальная марка бумаги для печати бланков, объявлений, брошюр, опросников, каталогов, ком-предложений и любой другой печатной продукции, которая должна прослужить какое-то время, не придя в негодность. Лучший вариант для коммерческих работ.

– плотная бумага 160 г/м<sup>2</sup>.

Используется в тех случаях, когда лист должен прослужить долгое время продолжая выполнять свою функцию - носитель информации.

– цельнокрашенная бумага

Используется для печати объявлений, листовок, прайс-листов, коммерческих предложений. Имеется как обычная цветная 80 г/м<sup>2</sup> так и более плотная 160 г/м<sup>2</sup>.

*Области применения ризографии.*

Технология ризографии используется для создания печатной продукции, применяемой в самых разных областях человеческой деятельности:

1. Образование (учебники, методички, руководства, научные работы, материалы конференций);
2. Учреждения, организации (бланки, формуляры, циркулярные письма, конверты, расписания, инструкции);
3. Промышленность (технические паспорта, инструкции по использованию, сопроводительная документация, гарантийные талоны);
4. Финансовые структуры (бюллетени, котировочные листы, платежные ведомости, бланки для сберкасс, отчетные документы);

5. Общественные и политические организации (материалы для предвыборных кампаний, листовки, опросные листы, материалы для рассылки);

6. Правительство (указы, постановления, материалы заседаний, проекты законов, методические указы, документация);

7. Религия (проповеди, обращения к пастве, духовная литература, брошюры);

8. Типографии, копировальные центры (региональные газеты, малотиражки, книги, брошюры, буклеты, постеры, календари, рекламные материалы);

9. Медицина (медицинские карты, бланки рецептов, аннотации к лекарствам, описания курсов лечения) [1, 2].

Для печати на ризографе характерны следующие положительные аспекты в процессе копирования:

– экономия материальных средств. При росте числа копий стоимость каждой из них снижается в отличие от копировальной машины. Ризография не предусматривает использование конкретного типа бумаги, её физические параметры не важны (вплоть до газеты);

– высокие показатели скоростного режима, а, следовательно, и число отпечатанных экземпляров в минуту (до 130). Ризографы способны работать бесперебойно достаточно долгий срок;

– безопасность для окружающей среды и человека.

Материалы, на которых работает ризограф, экологически чисты. Никаких токсинов в воздух не выделяется.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Чуркин А.В. Ризография / А. В. Чуркин, А. Б. Шашлов, А. В. Стер-ликова. – М.: МГУП, 2002. – 140 с.

2 Киппхан, Г. Энциклопедия по печатным средствам информации.: пер.с нем / Г. Киппхан. – М.: МГУП.2003. – 1280 с.

УДК 676.274

Ю. А. Князева, инж.;

Л. Г. Махотина, проф., д-р техн. наук

[yuliya.knyazeva.07@inbox.ru](mailto:yuliya.knyazeva.07@inbox.ru), [lusi\\_makhotina@mail.ru](mailto:lusi_makhotina@mail.ru)

(ВШТЭ СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург)

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА МЕЛОВАННОГО КРАФТ-ЛАЙНЕРА НА ОСНОВЕ НЕБЕЛЕННЫХ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ**

В настоящее время в мире производится свыше 400 млн. т. бумаги и картона [1]. Наиболее массовыми видами являются бумага для



печати и тароупаковочные целлюлозно-композиционные материалы. Одним из наиболее востребованных материалов для производства упаковки является гофрокартон, который состоит из плоских слоев и гофрированного слоя – флютинга. В мире при производстве плоских слоев – лайнера, в основном, используют вторичное волокно. В России, в большей степени, используют первичное волокно: смесь небеленой сульфатной целлюлозы с полуцеллюлозой или механической древесной массой. Для придания оптических и печатных свойств верхний слой крафт-лайнера изготавливают из беленых видов целлюлозы. Иногда затем его мелуют. Однако такой лайнер значительно дороже, что в свою очередь приводит к удорожанию гофрокартона и гофротары. Одним из возможных способов, обеспечивающих получение материала для плоского слоя с высокими печатными и оптическими свойствами является нанесение меловального покрытия непосредственно на крафт-лайнера, изготовленный из небеленых волокнистых полуфабрикатов. В настоящее время такой материал и его технология отсутствуют. Замещение беленых полуфабрикатов небелеными волокнами позволит значительно снизить себестоимость готовой продукции вследствие уменьшения энергетических и экономических затрат, что является одной из актуальных задач для промышленности в настоящее время.

Для разработки композиции картона-основы использовали сульфатную хвойную целлюлозу и нейтральную сульфитную полуцеллюлозу (НСПЦ) – товарную продукцию филиала ОАО «Группа «Илим» в г. Коряжма.

Размол волокнистых полуфабрикатов является важнейшей стадией производства картона и оказывает влияние на формирование его капиллярно-пористой структуры. В процессе размола формируется структура волокна, размеры по длине и толщине, снижается шероховатость. Размол придает волокнам гибкость и пластичность, определенную степень гидратации, чтобы обеспечить связь волокон в бумажном листе, хорошее формование (просвет) и заданные свойства [2].

Размол волокнистых полуфабрикатов проводили отдельно на ролле Валлея, обеспечивающем наиболее близкие условия к производственным.

Исследование свойств отливок (рис. 1–3), изготовленных из массы, размолотой до различных градусов помола, показало, что оптимальной степенью помола является для целлюлозы 35 ° ШР, а для полуцеллюлозы 40 ° ШР. При этих градусах помола наблюдается минимальное значение шероховатости при достаточно высоких значени-

ях сопротивлению разрыву и постоянном значении воздухопроницаемости при незначительном снижении скорости обезвоживания (рис. 2).

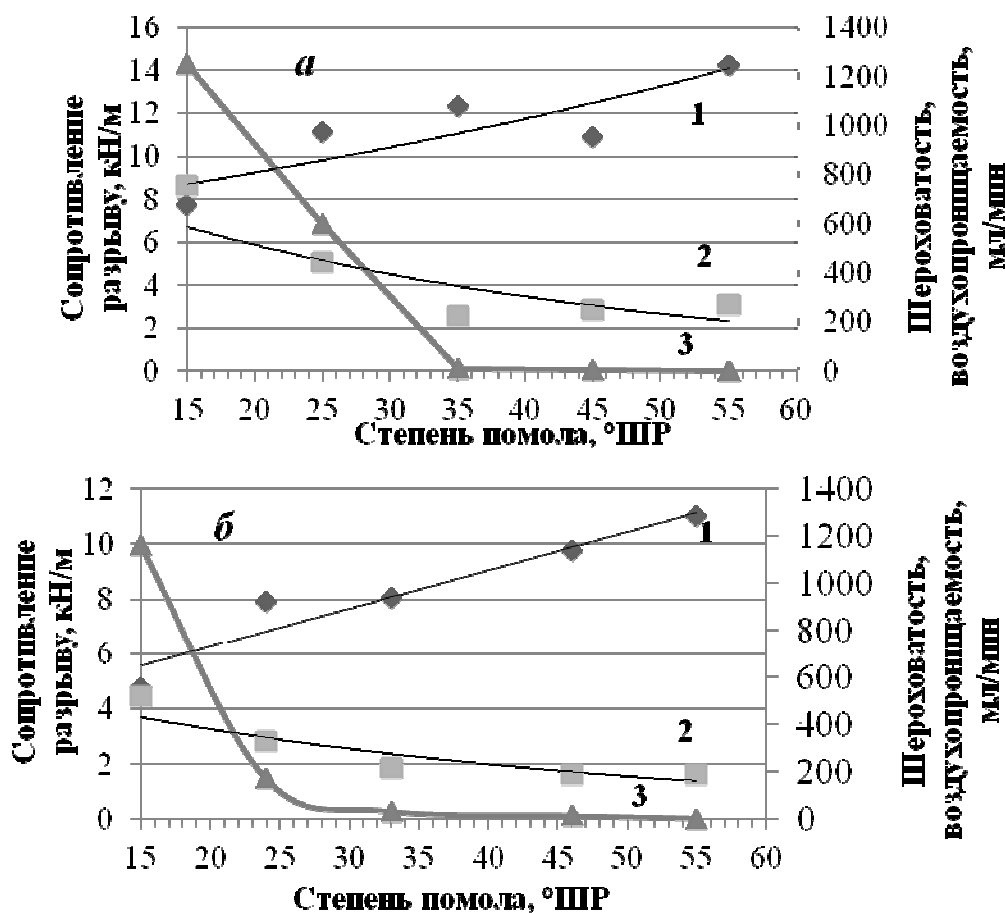


Рисунок 1 – Влияние процесса размола на физико-механические и печатных свойства сульфатной целлюлозы (а) и НСПЦ (б): 1 – сопротивление разрыву, кПа; 2 – шероховатость, мл/мин, 3 – воздухопроницаемость, мл/мин

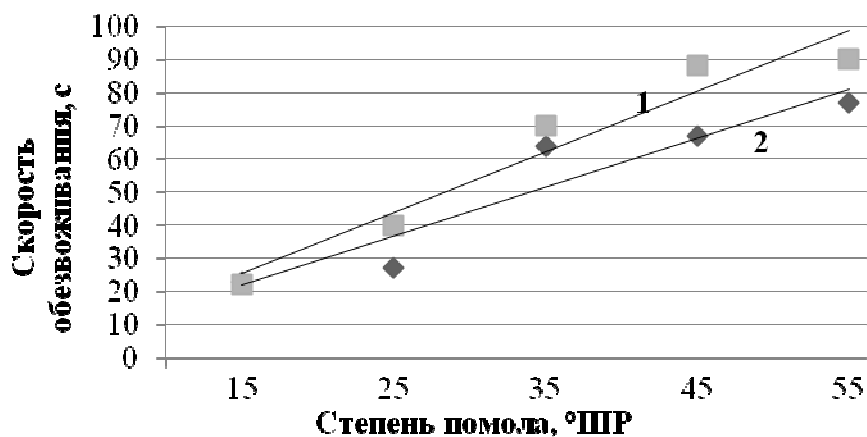


Рисунок 2 – Влияние процесса размола на скорость обезвоживания: 1 – целлюлозы, 2 – полуцеллюлозы

Для выбора композиции по волокну были изготовлены отливки с различным процентным соотношением Целлюлоза/НСПЦ. Исследование свойств бумажной массы (рис. 3) и отливок (рис. 4) показало, что увеличение доли НСПЦ в смеси приводит к снижению скорости обезвоживания и водоудерживающей способности, происходит падение сопротивления разрыву и практически полная потеря воздухопроницаемости. Однако при содержании НСПЦ до 60 % наблюдаются достаточно высокие значения сопротивлению разрыву (рис. 4). Поэтому для дальнейшей работы была выбрана композиция по волокну Целлюлоза/НСПЦ = 60/40 % при степени помола для целлюлозы – 35° ШР, НСПЦ 40° ШР.

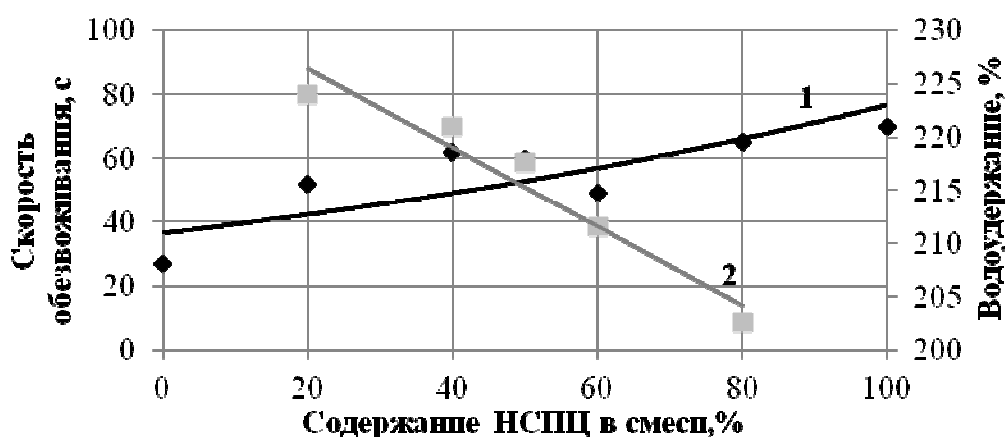


Рисунок 3 – Влияние соотношения Целлюлоза/НСПЦ на изменение показателей скорости обезвоживания и водоудерживающей способности: 1 – скорость обезвоживания; 2 – водоудерживающая способность

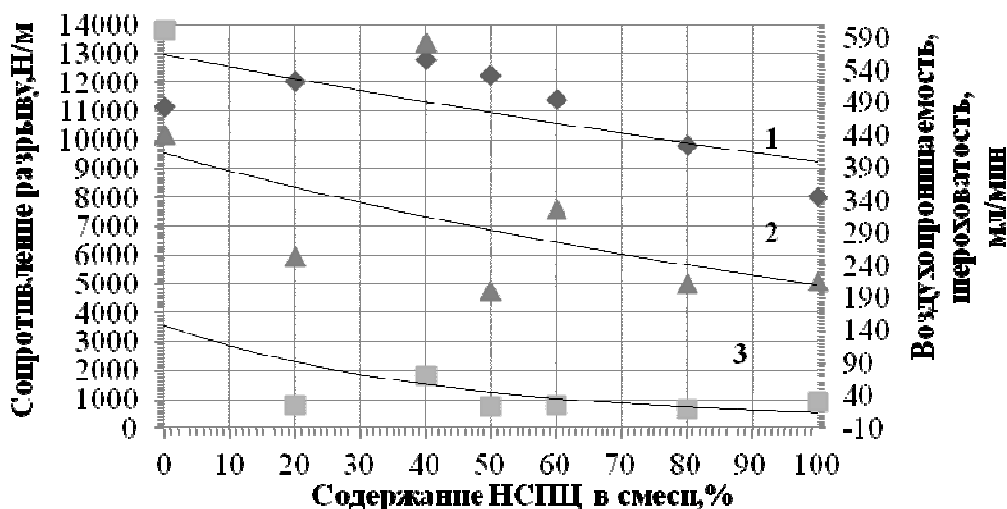


Рисунок 4 – Влияние соотношения Целлюлоза/НСПЦ на физико-механические и печатных свойства: 1 – сопротивление разрыву, кПа; 2 – шероховатость, мл/мин, 3 – воздухопроницаемость, мл/мин

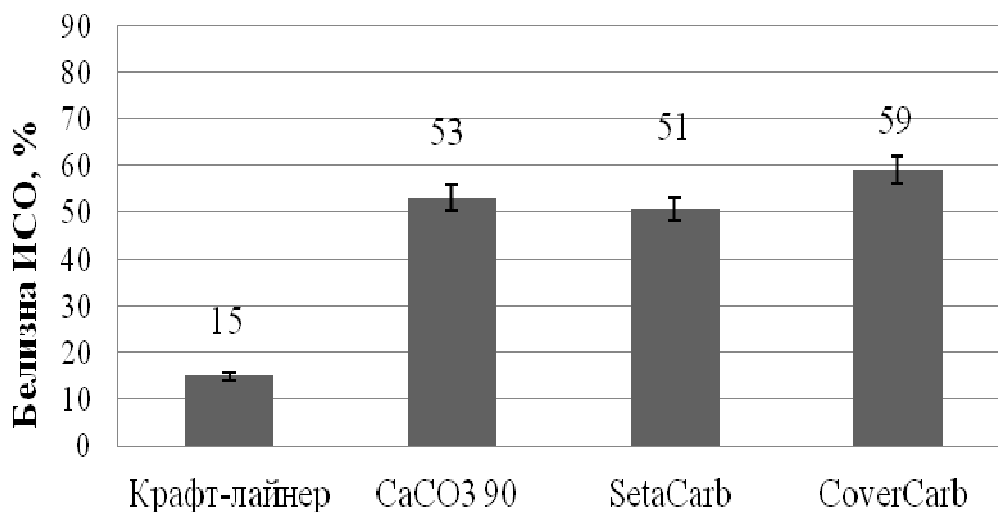
Для придания картону-основе заданной степени гидрофобности применяют внутримассную проклейку. В связи с этим в работе в качестве проклеивающего реагента использовали канифольную дисперсию, предназначенную для работы в псевдонейтральной среде.

По разработанной композиции были изготовлены отливки картона-основы, на которые было нанесено меловальное покрытие.

Для нанесения покрытий была использована лабораторная меловальная установка фирмы Sumet-Messtechnik, обладающая возможностью легкой замены узлов и возможностью выбора способов нанесения: пленочный пресс, шаберное лезвие.

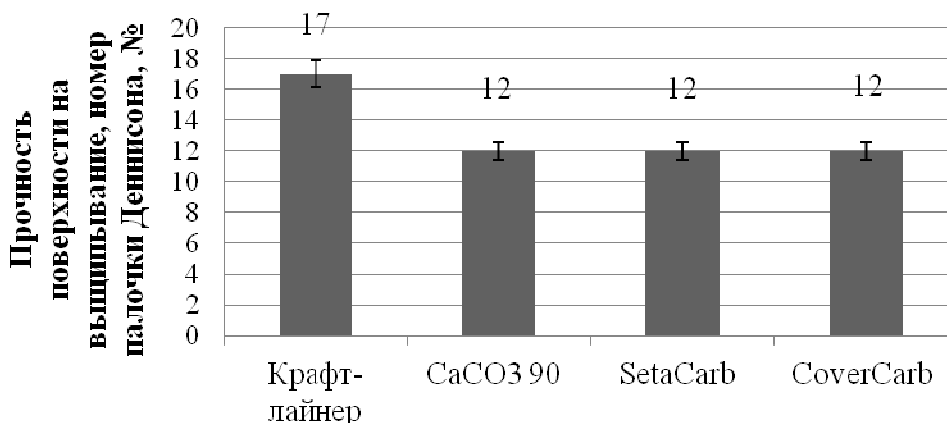
Для приготовления меловальной суспензии использовали различные виды карбоната кальция, предоставленные компанией ОМУА: Setacarb, имеющий 97 % частиц меньше 2 мкм и Covercarb, имеющий 94 % частиц меньше 2 мкм и более крутую кривую распределения, что свидетельствует об однородном распределении частиц по размерам. В качестве связующего использовали стирол-акрилатные дисперсии синтезированные на Российской фирме по совместно разработанной рецептуре.

Исследование влияния пигментов на оптические свойства картона-основы (крафт-лайнера) показало, что наибольшее значение белизны 59% обеспечивается при использовании CoverCarb (рис. 5).



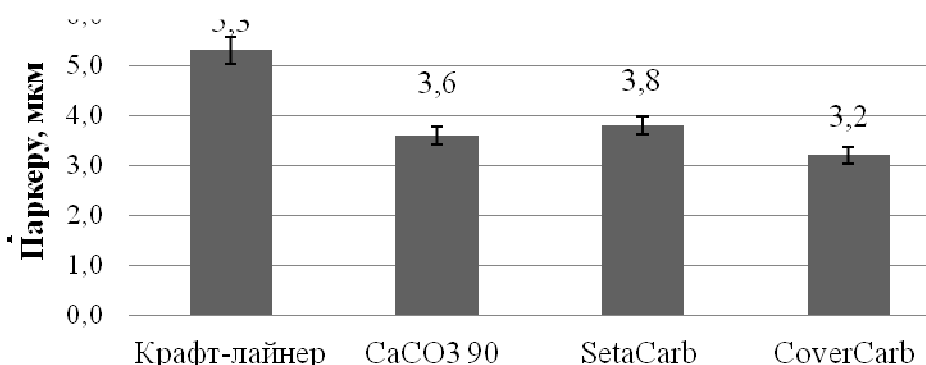
**Рисунок 5 – Влияние пигментов на оптические свойства мелованного крафт-лайнера**

Образцы имеют высокую прочность поверхности на выщипывание на уровне, который предъявляется к мелованным видам картона (рис. 6).



**Рисунок 6 – Влияние пигментов на прочностные свойства мелованного крафт-лайнера**

Также использование пигмента CoverCarb обеспечивает наименьшую шероховатость (рис. 7).



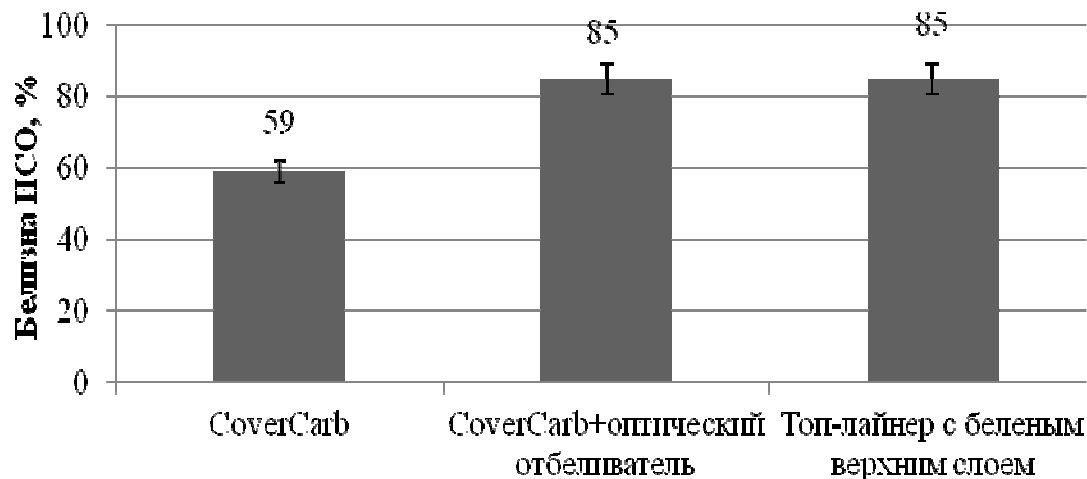
**Рисунок 7 – Влияние пигментов на печатные свойства мелованного крафт-лайнера**

Такой характер влияния CoverCarb на оптические и печатные свойства связан с тем, что он имеет однородное распределение частиц, по размерам. Это приводит к образованию плотного однородного покрытия, с высокой гладкостью и кроющей способностью.

Введение в меловальную композицию оптического отбеливателя привело к повышению белизны до 85% (Рис. 8). Такое значение белизны соответствует белизне топ-лайнера с верхним слоем из белой целлюлозы.

Таким образом, на основании проведенных экспериментов показана возможность применения меловальных составов на основе карбоната кальция торговой марки «CoverCarb», обеспечивающих высокую кроющую способность.

Весь эксперимент позволил разработать и создать мелованный крафт-лайнер на основе небеленых волокнистых полуфабрикатов, в производстве которого отсутствует стадия отбеливания целлюлозы.



**Рисунок 8 – Влияние оптического отбеливателя на белизну крафт-лайнера**

В 2014 году были приняты изменения в Федеральный закон «об охране окружающей среды», в котором указано, что с 1 января 2019 года предприятия целлюлозно-бумажной промышленности должны будут получать комплексное экологическое разрешение (КЭР), в котором будут отслеживать влияние предприятия на окружающую среду [3]. В связи с этим, была произведена оценка воздействия мелованного крафт-лайнера на основе небеленых волокнистых полуфабрикатов на окружающую среду.

Одним из методов, изучающих потенциальное воздействие продукции на окружающую среду является оценка жизненного цикла. Поскольку основное отрицательное воздействие на окружающую среду может оказать собственно получение картона, при анализе жизненного цикла рассматривали только воздействие стадий производства волокнистых полуфабрикатов и картона. Оценку воздействий мелованного крафт-лайнера из небеленых волокнистых полуфабрикатов проводили в соответствии с ГОСТ Р ИСО 14044-2007 [4].

Для анализа был проведен сбор данных, математическая обработка которых осуществлялась с использованием программы SimaPro v 8.0.2, специально разработанной для оценки жизненного цикла различных видов промышленной продукции.

В качестве образцов сравнения приведены данные по влиянию воздействия топ-лайнера – картона с верхним слоем из белой целлюлозы на окружающую среду.

Анализ полученных данных показал, что производство всех видов лайнера оказывает воздействие на окружающую среду.

**Таблица 1. Результаты расчетов показателей категорий воздействия для различных видов лайнера**

Виды лайнера	Характеристический коэффициент (на тонну готовой продукции)				
	потенциал закисления, кг-экв. SO <sub>2</sub>	потенциал эвтрофикации, кг-экв. PO <sub>4</sub>	потенциал глобального потепления, кг-экв. CO <sub>2</sub>	потенциал фотохимического образования озона, кг-экв. C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	потенциал истощения озона, кг-экв. ХФУ-11
Мелованный крафт-лайнер	28	9	2804	2	24×10 <sup>-5</sup>
Топ-лайнер с верхним слоем из белой целлюлозы	26	11	3167	2	21×10 <sup>-5</sup>

Наибольшее воздействие наблюдается на потенциал глобального потепления (потенциал создания парникового эффекта), который описывает выбросы в атмосферу газов, возникающих в производственном процессе и приводящих к повышению температуры атмосферы.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ежегодный обзор рынка лесных товаров: аналит. обзор, 2011-2012 / ЕЭК ООН(ФАО), Нью-Йорк и Женева, 2012. 240 с.
- 2 Фляте, Д.М. Технология бумаги / Д.М. Фляте. М.: Лесн. пром-сть, 1988. 440 с.
- 3 Федеральный закон от 21 июля 2014 г. N 219-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" (с изменениями и дополнениями).
- 4 ГОСТ Р ИСО 14044-2007. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Требования и рекомендации. М.: Стандартинформ, 2010. – 43 с.

УДК 661.183.2

К.А. Романенко<sup>1</sup>, асп. [kristinaromanenko@yandex.ru](mailto:kristinaromanenko@yandex.ru);  
Н.И. Богданович<sup>1</sup>, проф., д-р техн. наук;  
А.И. Смирнова<sup>1</sup>, студ.; В.Л. Флейшер<sup>2</sup>, доц., канд. техн. наук  
(<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова, Россия, г. Архангельск; <sup>2</sup>БГТУ, г. Минск)

## **НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ЛИГНИНОВ**

Определяющими факторами при синтезе активных углей (АУ) с использованием методов термохимической активации являются выбор и дозировка активирующего агента, а также температура процесса. В качестве активирующего агента предлагают использовать ортофосфорную кислоту, гидроксиды щелочных металлов, карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов, оксид кальция, хлориды [1,2].

Цель настоящей работы – изучение свойств углеродных адсорбентов, полученных пиролизом гидролизного лигнина с гидроксидом калия.

Задачи, которые решались для достижения цели:

– определялось влияние температур предпиролиза и пиролиза на формирование адсорбционных свойств и пористой структуры адсорбентов.

– определялось влияние расхода активирующего агента – гидроксида калия на формирование адсорбционных свойств и пористой структуры адсорбентов.

Для анализа влияния параметров синтеза активных углей из гидролизного лигнина использован один из методов математического моделирования, в частности, центральный композиционный ротатбельный униформ – план второго порядка для трех факторов [3]. Наиболее значимыми переменными факторами синтеза активных углей являются температура предпиролиза ( $T_{\text{ПП}}$ ), расход активирующего агента ( $D$ ) и температура термохимической активации ( $T_{\text{ХА}}$ ).

На первом этапе проводили предпиролиз гидролизного лигнина, в результате которого сформировалась первичная пористая структура угля-сырца. На следующем этапе провели пиролиз - активацию угля-сырца.

Адсорбционные свойства активных углей оценивали по адсорбции йода ( $I_2$ ) и метиленового голубого (МГ) из стандартных водных растворов [4].

Важными характеристиками адсорбентов, керамики, нанотрубок, а также других наноструктурированных пористых и высокодис-



персных материалов являются удельная поверхность ( $S_{уд.}$ ), размер и объём пор.

Удельная поверхность является одной из мер силы взаимодействия твердого тела с окружающей средой, будь то газ, жидкость или другое твердое тело. Поэтому определение удельной поверхности является одним из самых распространенных методов исследования показателей развитой пористой структуры наноматериалов.

Определение удельной поверхности основано на измерении количества газа-адсорбата, который адсорбируется на поверхности исследуемого адсорбента при различных относительных парциальных давлениях  $P/P_0$  при температуре кипения жидкого азота  $t = 77$  К.

Для практической реализации данной методики наиболее широко используются адсорбционные волюметрические (измерение объёма) анализаторы, основанные на методе низкотемпературной адсорбции азота.

В настоящей работе исследование пористой структуры полученных адсорбентов проводили на анализаторе удельной поверхности ASAP 2020 MP. В качестве газа - адсорбата использовали азот.

По полученным данным построены изотермы адсорбции, которые использованы для определения удельной поверхности и пористой структуры синтезированных углеродных адсорбентов. Расчет удельной поверхности ( $S_{уд.}$ , м<sup>2</sup>/г) проводили по уравнению полимолекулярной адсорбции БЭТ [8]:

$$S_{уд.} = \frac{1}{(a(P_0/P) - 1)} = \frac{1}{a_m C} + \frac{C-1}{a_m C} (P/P_0), \quad (1)$$

где  $P/P_0$  – относительное парциальное давление;  $a$  – величина адсорбции, моль/г;  $a_m$  – удельная емкость монослоя, нсм<sup>3</sup>/г;  $C$  – константа БЭТ, характеризующая взаимодействие адсорбент/адсорбат.

Существует много типов пористых систем. При этом как в различных образцах, так и в одном и том же образце пористого тела отдельные поры могут значительно различаться по форме и размеру. В таблице 1 представлены результаты исследования пористой структуры полученных экспериментальных образцов АУ.

Анализ пористой структуры АУ показал, что она представлена в основном микропорами. Средняя полуширина микропор изменяется в интервале от 1,11 нм до 1,16 нм. По классификации ИЮПАК этот интервал размера пор относится к области супермикропор. *Супермикропоры* представляют собой промежуточную область пористости тел между микропорами и мезопорами.

**Таблица 2 – Объем пор и удельная поверхность образцов  
активного угля из термохимически обработанного гидролизного лигнина  
в присутствии гидроксида калия**

Образец	Объем пор, см <sup>3</sup> /г			S <sub>уд.</sub> , м <sup>2</sup> /г по ВЕТ
	Микропор по Dubinin- Radushkevich	Мезопор по ВНДес, Broekhoff-deBoer	Суммарный объем пор по ВЕТ	
Л-1	0,28	0,03	0,31	553
Л-2	0,47	0,02	0,51	903
Л-3	0,32	0,04	0,37	612
Л-4	0,41	0,02	0,43	755
Л-5	0,29	0,02	0,32	563
Л-6	0,41	0,13	0,56	809
Л-7	0,37	0,04	0,42	717
Л-8	0,70	0,03	0,81	1446
Л-9	0,29	0,06	0,36	600
Л-10	0,57	0,03	0,62	1147
Л-11	0,44	0,03	0,49	885
Л-12	0,49	0,03	0,54	941
Л-13	0,35	0,03	0,38	731
Л-14	0,77	0,10	1,07	2024
Л-15	0,35	0,02	0,39	685
Л-16	0,39	0,04	0,44	775
Л-17	0,43	0,04	0,49	868
Л-18	0,42	0,03	0,47	816
Л-19	0,43	0,03	0,57	831
Л-20	0,55	0,03	0,60	795

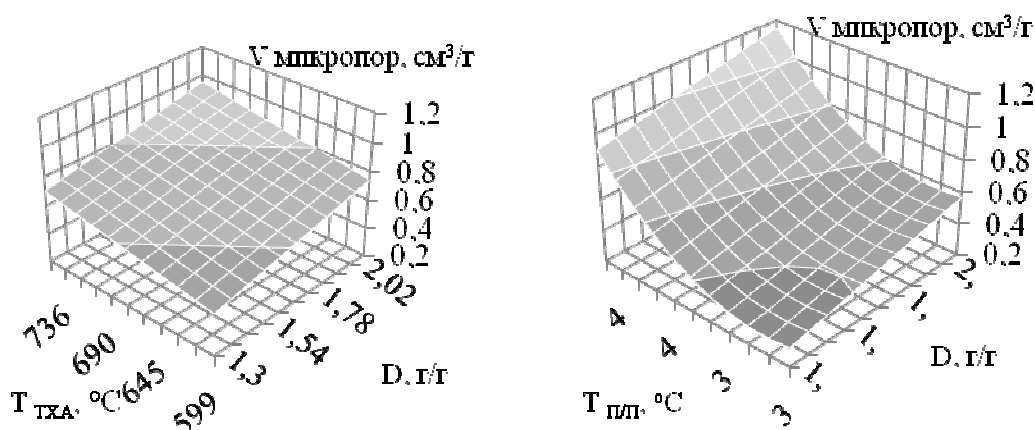
По полученным экспериментальным данным рассчитаны уравнения регрессии, использованные для построения графических зависимостей - поверхностей отклика (рис. 1-2), показывающих характер зависимости выходных параметров от технологических параметров получения АУ.

Как видно из результатов, представленных на графиках, увеличение дозировки КОН и температуры термохимической обработки гидролизного лигнина положительно сказывается на формировании микропор.

Наблюдается взаимное положительное влияние факторов на данный выходной параметр. При повышении температуры предпиролиза. Однако, повышение температуры активации целесообразно только при высоких дозировках гидроксида калия.

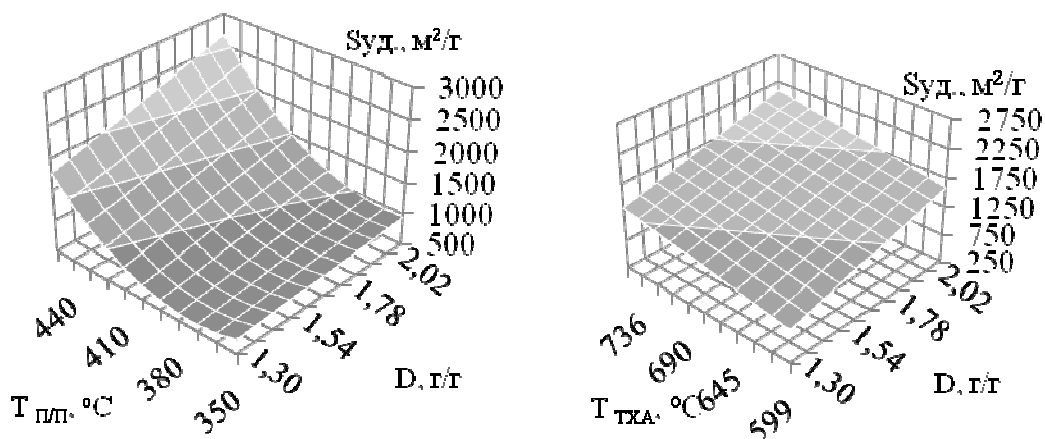
Известно, что активные угли с высоким объемом микропор характеризуются наиболее развитой удельной поверхностью. Микропоры имеют высокое соотношение удельной поверхности к объему и,

следовательно, вносят наибольший вклад в значение удельной поверхности активных углей.



**Рисунок 1 – Влияние температуры термохимической обработки гидролизного лигнина и расхода KOH на объем микропор АУ**

Размер микропор сопоставим с размером молекул и играет важную роль в селективности адсорбции, так как ограничивает диффузию и обеспечивает эффект молекулярного сита.



**Рисунок 2 – Влияние температуры термохимической обработки лигнина и расхода KOH на удельную поверхность активного угля**

Изучение удельной поверхности образцов АУ показало, что расход гидроксида калия, а также температура термохимической обработки гидролизного лигнина положительно влияют на формирование удельной поверхности синтезируемых активных углей (рис. 2).

При повышении температуры термохимической обработки гидролизного лигнина, а также увеличении расхода активирующего агента, улучшаются и адсорбционные, и структурные свойства АУ.

Повышение температуры термохимической активации до 750 °С и увеличение расхода гидроксида калия до 2,1 г/г при синтезе активных углей из гидролизного лигнина оказывает положительное влияние на формирование адсорбционных и структурных свойств АУ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Богданович Н.И., Калиничева О.А., Добеле Г.В.Предпиролиз древесного сырья в синтезе активных углей с NaOH// ИВУЗ Лесной журнал.2008. № 2. С.117–122.

2 Бубнова А.И., Романенко К.А., Богданович Н.И., Формирование адсорбционных и структурных свойств углеродных адсорбентов пиролизом древесных отходов в присутствии NaOH//В сб. Тенденции развития техники и технологий – 215: сборник статей Международной научно-технической конференции. НДМ. Тверь. 2015. С. 25–29.

3 Богданович Н.И., Кузнецова Л.Н., Третьяков С.И., Жабин В.И., Планирование эксперимента в примерах и расчетах. Архангельск. 2010. С. 46–60.

4 Белецкая М.Г., Богданович Н.И., Романенко К.А. Синтез активных углей из гидролизного лигнина с использованием гидроксидов Na и K// ЕСУ. 2014. №7. С. 19–21.

УДК 676.252.3 : 676.1

Маслова Н.А., магистрант [mna94@mail.ru](mailto:mna94@mail.ru);

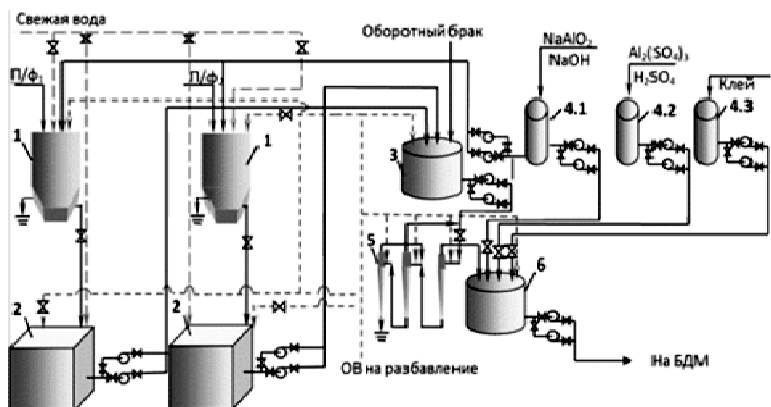
Сысоева Н.В., доц., канд. техн. наук  
(С(А)ФУ имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск)

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В ВОДЕ И ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПОЛУЧЕНИЯ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

На сегодняшний день одной из ключевых проблем российских производителей фильтровальных бумаг является отсутствие технологии получения высоко - качественной продукции. Так, одним из путей ее решения может быть создание новых производств высокотехнологичных материалов или разработка программы диверсификации существующих. К высокотехнологичным материалам относят бумагоподобные материалы фильтровального назначения системы «стеклянное волокно – минеральное связующее».

Цель работы заключается в определении удельных расходов волокнистого сырья, воды и ресурсов на производство фильтрованных материалов.

В ходе опытно-производственных работ, были получены данные не только удельных расходов, но и потерь.



1 – гидроразбиватель; 2 – приемный бассейн; 3 – композиционный бассейн; 4.1, 4.2, 4.3 – баки химикатов; 5 – вихревая очистка; 6 – машинный бассейн

**Рисунок 1 – Схема производства**

Отличительные особенности производства заключаются в очень низких концентрациях суспензии (0,3–1,0 %), в связи с этим, в большом потреблении воды на разбавление полуфабрикатов, в отсутствии размола, в отсутствии прессовой части, в большом потреблении пара на сушку. Характерность БДМ в том, что она работает при низких скоростях, имеет наклонный сеточный стол и малые габариты.

**Таблица 1 – Техничко-экономические показатели**

Показатель	Единицы измерения	Количество
Рабочая скорость БДМ	м/мин	15
Масса бумаги	г/м <sup>2</sup>	100
Обрезная ширина	м	0,60
Потребление свежей воды на запуске БДМ	кг/кг	519
Удельный расход волокна	кг/кг	1,14
Оборотный брак	кг/кг	0,04
Безвозвратные потери оборотной воды и волокна	л/кг	46,48
Удельный расход пара	кг/кг бумаги	3,34

По результатам исследовательской работы установили, что:

- для запуска БДМ, требуется большое водопотребление в связи с низкими концентрациями потоков;
- во избежание накопления не процессных элементов, требуется низкая степень закливания оборотной воды;
- из-за малых габаритов БДМ, образуется большое количество брака;
- для сохранения качества продукции, требуется низкая степень использования оборотного брака;
- на сушку необходим повышенный расход электроэнергии.

УДК 676.2 : 542.06

В. Л. Флейшер<sup>1</sup>, доц., канд. техн. наук [v\\_fleisher@list.ru](mailto:v_fleisher@list.ru);

М. В. Андрюхова<sup>1</sup>, асп. [m\\_and\\_arina@mail.ru](mailto:m_and_arina@mail.ru);

Н.И. Богданович<sup>2</sup>, проф., д-р техн. наук

(<sup>1</sup>БГТУ, г. Минск; <sup>2</sup>Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Россия, г. Архангельск)

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ В ТЕХНОЛОГИИ БУМАГИ И КАРТОНА**

Проблема придания бумаге и картону гидрофобных и прочностных свойств не теряет своей значимости ввиду того, что наблюдается постоянный рост объемов потребляемой макулатуры как исходного сырья в технологии бумаги и картона.

Для придания бумаге (картону) необходимой степени гидрофобности (водостойкости) применяют гидрофобизирующие проклеивающие вещества, которые, в свою очередь, несколько снижают механическую прочность сухой бумаги (картона). С целью повышения механической прочности бумаги (картона) в сухом и влажном состояниях используют связующие проклеивающие материалы (гидрофильные органические коллоиды), которые имеют сродство к целлюлозному волокну и поэтому связывают между собой волокна, повышая прочность бумаги (картона). Не обладая гидрофобными свойствами, они не могут заменить гидрофобизирующие вещества при проклейке бумаги (картона) с целью получения необходимой водостойкости.

На сегодняшний день основными веществами, используемыми в целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП) для придания необходимой степени гидрофобности, являются материалы на основе канифольных продуктов и синтетические проклеивающие материалы.

С целью увеличения сил связи между волокнами и компенсации снижения прочности бумаги при введении наполнителей и/или добавлении макулатуры, а также, когда необходимо увеличить прочность на разрыв и другие прочностные свойства бумаги, в том числе и влагопрочность, химическими средствами, а не механически с помощью процесса размола, применяют связующие вещества. При введении в массу они, как правило, улучшают проклейку бумаги канифольным клеем, делают ее более надежной и стабильной, не исчезающей при хранении. Одновременно, в случае катионного характера они могут повысить удержание мелкого волокна и других компонентов бумажной массы [1].

Процесс связеобразования в бумажном производстве во многом определяется применением различных натуральных и синтетических связующих. Обычно эффективно их совместное применение.

Одним из старейших и наиболее распространенных вспомогательных веществ, используемых в производстве бумаги и картона, является крахмал, причем как самостоятельно, так и в сочетаниях с натуральными и синтетическими полимерами (например, ПАА) и упрочняющими добавками [2].

Использование макулатуры в качестве волокнистого сырья приводит к необходимости увеличения расходов вспомогательных веществ (гидрофобизирующих и упрочняющих), что, в свою очередь, влияет на экономические показатели и технологичность процесса. Поэтому представляет научный и практический интерес получение полимера с бифункциональными свойствами, способного повысить прочностные и гидрофобные свойства бумажно-картонной продукции.

Как ранее уже указывалось, проклеивающие материалы на основе смоляных кислот и их производных широко используются с целью придания бумаге и картону гидрофобных свойств.

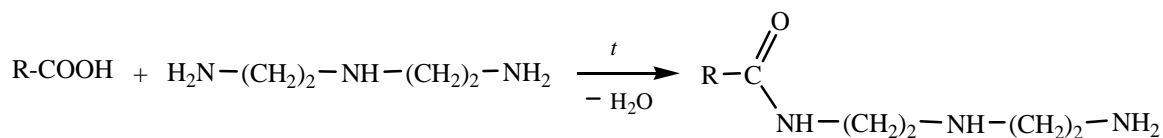
Таким образом, продукты модификации смоляных кислот аминами (амиды) могут способствовать удержанию гидрофобных остатков на волокне при проклейке в массе за счет образования водородных связей между гидроксильными группами целлюлозы и амидными группами амидов смоляных кислот.

На основании анализа литературы можно предположить, что полимеры, синтезированные путем взаимодействия дикарбоновой кислоты (фумаровой, адипиновой, янтарной, малеиновой, малоновой) с триэтилентетрамином (ТЭТА), диэтилентриамином (ДЭТА), за счет наличия в их структуре amino- и амидогрупп, способны образовывать водородные связи с гидроксильными группами целлюлозы и положительно влиять на влагопрочность и механические свойства бумаги.

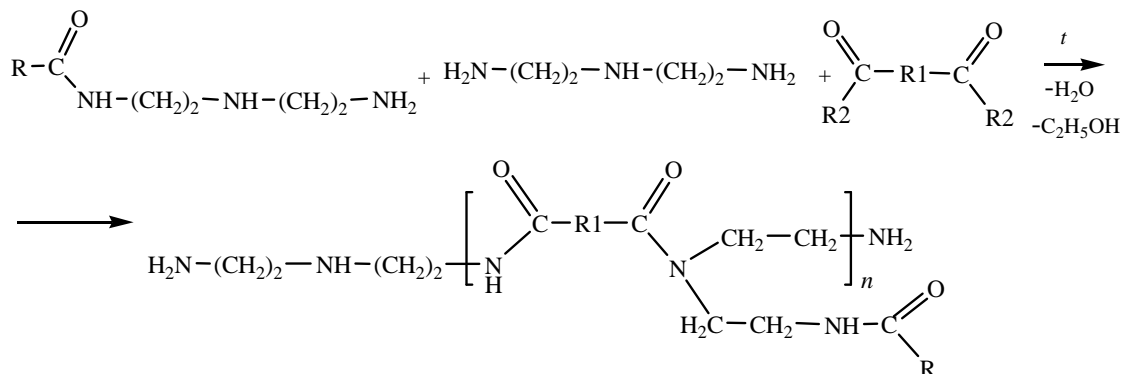
Ранее [3] нами было доказано упрочняющее действие на образцы бумаги азотсодержащих полимеров, синтезированных на основе живичной сосновой канифоли, диэтилентриамин и адипиновой (или фумаровой) кислоты.

Продолжая исследования в области синтеза азотсодержащих соединений и применения их в технологии бумаги и картона как упрочняющих и гидрофобизирующих веществ, нами были получены новые азотсодержащие полимеры на основе адипиновой, янтарной, малоновой и малеиновой кислот и диэтилентриамин (ДЭТА), модифицированных амидами смоляных кислот талловой канифоли.

## 1. Образование аминоамидов смоляных кислот с ДЭТА.



## 2. Образование полиаминоамидов смоляных кислот



где R – остаток смоляной кислоты; R1: 1. (CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>; 2. (CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>; 3. CH<sub>2</sub>; 4. CH = CH; R2 :1, 2. OH; 3, 4. OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>.

В качестве исходных компонентов использовали смесь смоляных кислот в виде талловой канифоли (ТК), ДЭТА (98%), адипиновую кислоту, янтарную кислоту, диэтиловые эфиры малоновой и малеиновой кислот.

Стадия 1. В трехгорлую колбу объемом 250 см<sup>3</sup>, снабженную перемешивающим устройством, термометром, ловушкой Дина – Старка и обратным холодильником, помещали навеску ТК, нагревали, и в расплавленную канифоль приливали 1/3 часть от необходимого для синтеза количества ДЭТА при мольном соотношении канифоль : ДЭТА, равном 0,1 : 1,2. Затем при постоянном перемешивании нагревали реакционную смесь до температуры 190°С и выдерживали 4ч.

Стадия 2. К полученным амидам смоляных кислот добавляли оставшееся количество ДЭТА (2/3 от рассчитанного количества), интенсивно перемешивали. Затем добавляли эквимолярное количество дикарбоновой кислоты или диэтилового эфира, обеспечивающее образование конечного продукта. Янтарную кислоту (или эфир) добавляли в предварительно охлажденную до 150–160°С реакционную массу постепенно, т. к. процесс сопровождается интенсивным выделением паров воды. После добавления всего количества кислоты (или эфира) реакционную массу нагревали до 170–190°С и выдерживали при этой температуре для достижения кислотного числа 20–30 мг КОН/г. Продолжительность стадии поликонденсации – 2,5–3,0 ч.



По данной методике был получен ряд полимеров, условия синтеза и свойства которых приведены в таблице 1. Синтезированные полимеры представляют собой растворимые в воде твёрдые вещества от светло-коричневого до тёмно-коричневого цвета.

Для определения наличия функциональных групп использовали ИК-спектроскопию (IN10 Nicolet (USA, ThermoScientific) с приставкой НПВО с кристаллом Ge; разрешение –  $8\text{ см}^{-1}$ , 64-кратное сканирование в диапазоне частот  $4000\text{--}675\text{ см}^{-1}$ ). Присутствующие в ИК-спектре полосы поглощения при длинах волн  $1637\text{--}1640$ ,  $1546\text{--}1551\text{ см}^{-1}$  соответствуют колебаниям группы C=O во вторичном амиде, а широкая полоса при  $3271\text{--}3273\text{ см}^{-1}$  свидетельствует о наличии вторичной аминогруппы в ДЭТА. В ИК-спектре образца полимера с использованием диэтилового эфира малеиновой кислоты отсутствуют полосы поглощения, характерные для ангидридной группы малеопимаровой кислоты, которая может образоваться в результате взаимодействия левопимаровой кислоты талловой канифоли и диэтилового эфира малеиновой кислоты по реакции Дильса–Альдера. Полосы поглощения при длинах волн  $1407,8$  и  $698,6\text{ см}^{-1}$  свидетельствуют о наличии *цис*-кратной связи в образце полимера.

**Таблица 1 – Условия получения и кислотное число азотсодержащих полимеров на основе аминомидов смоляных кислот**

Соотношение реагентов, моль			Вид дикарбоновой кислоты /эфира	Продолжительность реакции, ч		Температура реакции, °С		КЧ, мг КОН/г
полиамин (ДЭТА)	дикарбоновая кислота/эфир	смоляная кислота (ТК)		1 стадия	2 стадия	1 стадия	2 стадия	
1,2	1,2	0,1	адипиновая к-та	4,0	3,0	190	180	18,0
1,2	1,2	0,1	янтарная к-та	4,0	3,0	190	190	26,8
1,2	1,2	0,1	диэтиловый эфир малоновой к-ты	4,0	2,0	190	170	31,0
1,2	1,2	0,1	диэтиловый эфир малеиновой к-ты	4,0	2,5	190	170	44,0

Учитывая результаты исследований, представленные в [1], и структуру синтезированных полимеров, можно предположить их упрочняющее действие на бумагу и картон, что обусловлено образованием дополнительных водородных связей между гидроксильными группами макромолекул целлюлозы и амино- и амидогруппами полимера, и гидрофобизирующее действие за счёт наличия в структуре полимера остатков смоляных кислот. Все полученные новые полимеры находятся на испытании их гидрофобизирующей и упрочняющей способности.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Иванов, С. Н. Технология бумаги / С. Н. Иванов. – Изд. 2-е, переработ. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 696 с.

2 Хованский, В. В. Применение химических вспомогательных веществ в производстве бумаги и картона: уч. пособие / В. В. Хованский, В. К. Дубовый, П. М. Кейзер. – С-Пб, 2013. – 151 с.

3 Гордейко, С. А. Повышение прочности тароупаковочной бумаги с использованием азотсодержащих соединений / С. А. Гордейко [и др.]. // Труды БГТУ. 2013. №4: Химия, технология орган. в-в и биотехнология. – С. 165–168.

УДК 676.038.2:676.22: 676.23

А.А. Пенкин<sup>1</sup>, доц., канд. техн. наук [tov@belstu.by](mailto:tov@belstu.by);  
В.И. Темрук<sup>2</sup>, нач. лаборатории спец. материалов, канд. техн. наук;  
А.Н. Кашин<sup>3</sup>, зам. гл. инженера;

Т.В. Соловьева<sup>1</sup>, проф., д-р техн. наук

<sup>1</sup>БГТУ, г. Минск; <sup>2</sup>ГНУ «Институт общей и общей и неорганической химии НАН Беларуси, г. Минск; <sup>3</sup>УП «Бумажная фабрика» Гознака, г. Борисов)

### **ВТОРИЧНЫЕ ВОЛОКНИСТЫЕ ПОЛУФАБРИКАТЫ В ТЕХНОЛОГИИ ПИСЧЕ-ПЕЧАТНЫХ ВИДОВ БУМАГИ**

Вторичные волокнистые полуфабрикаты (макулатура) являются одним из наиболее массовых видов волокнистого сырья для производства различных марок бумаги и картона. Так, согласно данным Рёугу в 2014 г. [1] доля макулатуры составляла 56 % от мирового объема потребления всех волокнистых полуфабрикатов. При этом макулатура находит все более широкое применение не только в производстве разнообразных упаковочных видов бумаги и картона, газетной бумаги, но и в секторе более высококачественных графических видов бумаги, к которым относятся бумаги для письма и печати [2]. В производстве последних в мировой практике используют, как правило, сложные системы подготовки макулатурной массы, включающие операции по облагораживанию – удалению печатной краски или деинкинга и отбеливанию [2, 3].

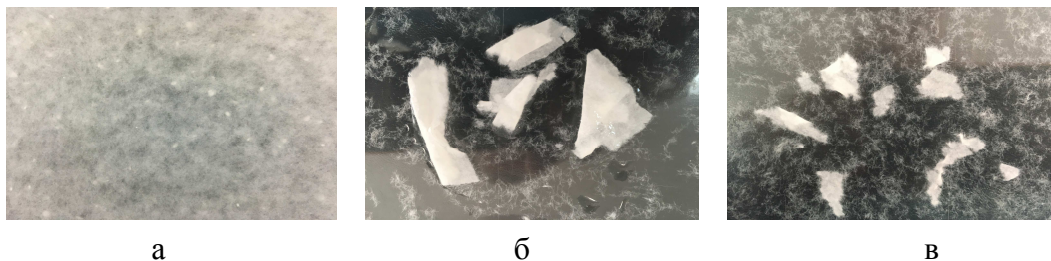
На предприятиях Республике Беларусь, выпускающих писчебумажные виды бумаги, в частности на УП «Бумажная фабрика» Гознака, ввиду сравнительно небольшой установленной мощности технологической линии по переработке макулатуры и мощности предприятия в целом, деинкинг и отбеливание макулатурной массы экономически нецелесообразны и не применяются. В данном случае практикуется использование высококачественной макулатуры группы А марок МС-1, МС-2, которые, однако, являются относительно дорого-

стоящим и импортируемым сырьем. В то же время на предприятии освоен выпуск нового вида бумажной продукции для Республики Беларусь – бумаги жиростойкой. Данный вид бумаги характеризуется высокими барьерными свойствами, достигаемыми специальной поверхностной обработкой, и изготавливается из 100 % беленой сульфатной беленой целлюлозы. Образующиеся на предприятии технологические отходы жиростойкой бумаги (далее – отходы ЖСБ), представляют интерес в качестве частичной замены дорогостоящей макулатуры марки МС-1А в технологии писче-печатных видов бумаги, что и являлось целью настоящей работы.

Экспериментальные исследования были проведены в два этапа: 1 этап – в лабораторных условиях, 2 этап – в промышленных условиях УП «Бумажная фабрика» Гознака. В лабораторных условиях исследовано поведение различных волокнистых полуфабрикатов в процессе их роспуска и размола, изготовлены и испытаны экспериментальные образцы бумаги. В промышленных условиях выпущена экспериментальная партия бумаги для потребительских товаров и проведены ее испытания на соответствие требованиям установленной нормативно-технической документации

Для исследования поведения вторичных волокнистых полуфабрикатов в процессе роспуска и размола использован лабораторный размалывающий комплект ЛКР-1, состоящий из гидроразбивателя ЛГ-3 и дисковой мельницы НДМ-3. С целью интенсификации роспуска отходов от производства бумаги с высокими барьерными свойствами использовали специальную смачивающую добавку – водный раствор ПАВ торговой марки «ТМ-Тексолан НМ».

На рисунке 1 представлены цифровые фотографии бумажной массы, полученные после промежуточного отбора проб из ванны гидроразбивателя по истечению 20 мин. роспуска вторичных волокнистых полуфабрикатов. При этом общая продолжительность роспуска макулатуры МС-1А составила 20 мин., продолжительность роспуска отходов ЖСБ ввиду их высоких барьерных свойств была увеличена до 40 мин.



а – из макулатуры МС-1А; б – из отходов ЖСБ; в – из отходов ЖСБ с добавкой ПАВ

**Рисунок 1 – Цифровые фотографии бумажной массы в процессе роспуска вторичных волокнистых полуфабрикатов**

Как видно из представленных на рисунке фотографий, отходы бумаги с высокими барьерными свойствами (рисунок 1 а) по сравнению с макулатурой марки МС-1А (рисунок 1 б) (традиционно применяемой в технологии писчих видов бумаги) значительно хуже подвергаются роспуску. Применение раствора ПАВ при роспуске, как видно из сравнения фотографий б и в, способствует более интенсивному разволокнению отходов бумаги с высокими барьерными свойствами и увеличению их степени помола.

Данные по изменению степени помола бумажной массы в процессе размолта вторичных волокнистых полуфабрикатов представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Изменение степени помола бумажной массы в процессе размолта вторичных волокнистых полуфабрикатов**

Продолжительность размолта, мин.	Степень помола бумажной массы (°ШР) из		
	макулатуры МС-1А	отходы ЖСБ	отходы ЖСБ + ПАВ
0 (после роспуска)	36	27	30
3	42	30	33
6	46	33	36
9	48	37	40
12	50	41	44

Из данных таблицы 2 видно, что применение ПАВ способствует повышению степени помола бумажной массы после роспуска с 27 до 30 °ШР. Требуемая степень помола бумажной массы (40°ШР) из отходов ЖСБ с добавкой ПАВ достигается за 9 мин. размолта, тогда как бумажной массе без использования ПАВ для получения близкой степени помола (41°ШР) требуется 12 мин. размолта. Таким образом, появляется возможность сокращения продолжительности размолта бумажной массы в дисковой мельнице (и, следовательно, энергозатрат на размол) приблизительно на 20–25 %.

В таблице 3 представлены свойства экспериментальных лабораторных образцов писчей и печатной бумаги различного композиционного состава, изготовленных без использования вспомогательных химических веществ. При этом композиционный состав образцов бумаги по волокнистым полуфабрикатам был следующим:

- контрольный №1 – 100 % макулатуры МС-1А;
- опытный №1 – 90 % макулатуры МС-1А + 10 % отходов ЖСБ;
- контрольный №2 – 70 % беленой сульфатной целлюлозы + 30 % макулатуры МС-1А;
- опытный №2 – 70 % беленой сульфатной целлюлозы + 20 % макулатуры МС-1А + 10 % отходов ЖСБ.

**Таблица 3 – Свойства экспериментальных лабораторных образцов  
писчей и печатной бумаги**

Наименование показателей	Композиционный состав образцов бумаги			
	кон- троль- ный №1	опытный №1	кон- троль- ный №2	опытный №2
<i>Структурно-механические свойства</i>				
Масса 1 м <sup>2</sup> , г	69–71	69–71	70–72	70–72
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,72	0,71	0,71	0,70
Разрывная длина, км	5,5	5,5	6,6	6,5
Индекс сопротивления разрыву, Н·м/г	54,4	54,2	64,7	63,9
Индекс поглощения энергии при разрыве, мДж/г	852	851	1005	1003
<i>Оптические свойства</i>				
Белизна, %				
– источник света А	85,6	85,2	84,3	83,8
– источник света D65	98,9	97,3	92,9	90,2
Непрозрачность, %	86,7	86,6	82,5	82,4
<i>Печатные свойства</i>				
Шероховатость по Бендтсену, мл/мин	–	–	341	342
Стойкость поверхности к выщипыванию, м/с	–	–	2,1	2,2
Максимальная оптическая плотность оттиска, Б	–	–	1,2	1,2

Как видно из таблицы 3, частичная замена (в количестве 10 %) традиционно используемой в композиционном составе писче-печатных видов бумаги макулатуры марки МС-1А на отходы бумаги с высокими барьерными свойствами не приводит к ухудшению не только структурно-механических, оптических, но и печатных свойств бумаги.

Положительные результаты лабораторных исследований позволили перейти к опытно-промышленным испытаниям в условиях УП «Бумажная фабрика» Гознака, где была выпущена экспериментальная партия бумаги с композиционным составом по волокну, состоящим из 90% макулатуры марки МС-1А и 10% отходов бумаги с высокими барьерными свойствами, объемом свыше 45 т. Проведенные испытания экспериментальных промышленных образцов бумаги подтвердили полное их соответствие требованиям ТУ ВУ 600017868.062, что свидетельствует о целесообразности частичной замены макулатуры марки МС-1А в технологии писче-печатных видов бумаги на отходы бумаги с высокими барьерными свойствами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Suhonen, T. Future outlook for the forest industry / T. Suhonen [et al.] // Swedish Association of Pulp and Paper Engineers (SPCI) 2016 Con-

vention [Electronic resource]. – Stockholm, 2016. Mode of access: [http://www.spci.se/shared/files/SPCI\\_forest\\_industry\\_future\\_scenarios\\_FINAL.pdf](http://www.spci.se/shared/files/SPCI_forest_industry_future_scenarios_FINAL.pdf). – Date of access: 03.03.2017.

2 Пузырев, С.С. Ресурсосберегающая технология переработки макулатуры. Часть 2/ С.С. Пузырев // Леспроминформ. – 2006. – №5(36). – С. 90–97

3 Handbook of Paper and Board / Herbert Holik. – Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH &Co. – 2013. – 992 p.

УДК 676.222 : 676.024.7

И.В. Николайчик, ассист., маг. техн. наук;

А.Д. Воробьев, магистрант;

Н.В. Жолнерович доц., канд. техн. наук;

Н.В. Черная проф., д-р техн. наук;

О.Г. Барашко доц., канд. техн. наук

[nzholnerovich@gmail.com](mailto:nzholnerovich@gmail.com) (БГТУ, г. Минск)

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ХИМИКАТОВ В ТЕХНОЛОГИИ ГАЗЕТНОЙ БУМАГИ**

Одним из способов повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции и снижения ее себестоимости является рациональное использование химикатов в технологическом процессе производства бумаги. Этому способствует обоснованная оптимизация содержания вспомогательных химикатов на стадии подготовки бумажной массы, основанная на использовании методов математического планирования.

Существующая технология получения газетной бумаги предусматривает использование в качестве волокнистого полуфабриката термомеханической древесной массы, отличающейся повышенным содержанием в ее композиции анионных загрязняющих веществ [1]. Присутствие анионных загрязнений обуславливает снижение эффективности действия применяемых химикатов и приводит к снижению удержания компонентов бумажной массы в процессе формования бумажного полотна. Одним из решений указанной проблемы является применение бинарной системы вспомогательных химических веществ, включающей: первый компонент бинарной системы – высокомолекулярный катионный полиакриламид РС9350, второй компонент бинарной системы – высококатионный низкомолекулярный синтетический органический полимер РС9290 (производитель Solenis (США)).

Организационной основой математического планирования эксперимента являлся план Коно, позволяющий при сравнительно не-

большом количестве опытов получить достоверную информацию о значениях показателей качества в исследуемой области факторного пространства для изучаемого объекта.

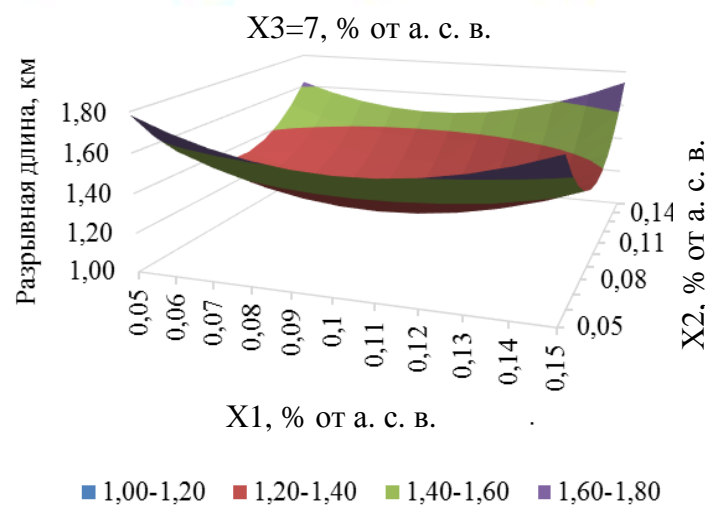
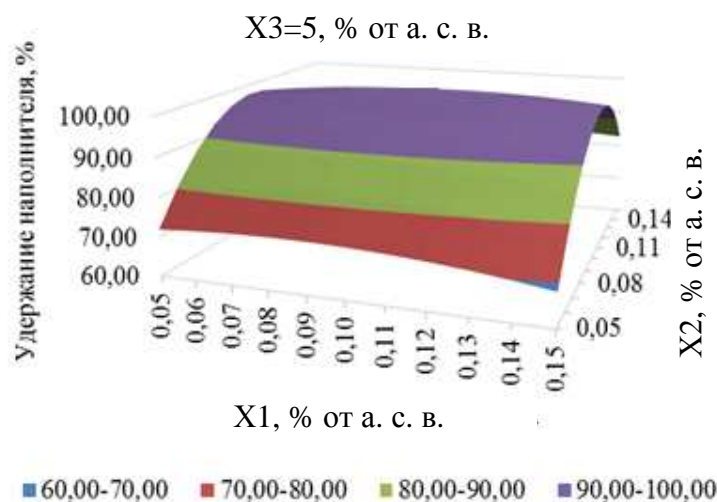
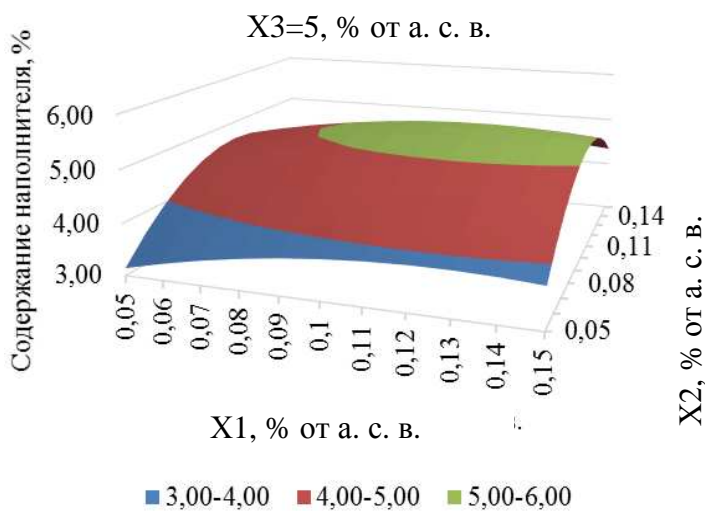
В качестве независимых управляющих переменных (факторов) были выбраны: содержание в композиции бумажной массы первого компонента бинарной системы РС9350 ( $X_1$ , % от а. с. в. – диапазон варьирования 0,05–0,15 % от а.с.в. (шаг 0,05)), содержание второго компонента бинарной системы РС9290 в композиции бумажной массы ( $X_2$ , % от а. с. в. – диапазон варьирования 0,05–0,15% от а.с.в. (шаг 0,05)) и содержание наполнителя ( $X_3$ , % от а. с. в. – диапазон варьирования 3–7% от а.с.в. (шаг 2)). Использование в композиции бумажной массы наполнителя способствует снижению себестоимости бумаги, улучшению ее печатных свойств, а также снижению смоляных затруднений при формовании бумажного полотна, однако существенно отражается на изменении физико-механических свойств газетной бумаги.

После реализации плана эксперимента в лабораторных условиях были получены уравнения регрессии второго порядка с парными взаимодействиями, на основании которых построены двумерные сечения поверхности отклика изменения содержания наполнителя в бумаге ( $Y_1$ , %); степень удержания наполнителя ( $Y_2$ , %) и разрывной длины образцов бумаги ( $Y_3$ , км) в зависимости от содержания в композиции бумажной массы компонентов бинарной системы удержания (рисунок).

Как видно (рис. а и б), при содержании наполнителя в композиции бумажной массы 5% от а. с. в. увеличение содержания второго компонента бинарной системы удержания приводит к экстремальному характеру изменения содержания наполнителя в бумаге и степени его удержания с характерным максимумом в области 0,08–0,12% от а. с. в.

Это свидетельствует об эффективности применения исследуемых компонентов в определенном диапазоне концентраций в волокнистой массе, содержащей наполнитель, и требует строгого соблюдения расходных норм химикатов при практической реализации разрабатываемого технологического режима в промышленных условиях.

Важным аспектом применения полимерных систем (бинарных систем удержания) является комплексная оценка влияния добавляемых химикатов не только на удержание наполнителя, но и на основные функциональные свойства бумаги. Одним из важных показателей качества газетной бумаги, существенно снижающимся при увеличении содержания наполнителя в бумаге, является разрывная длина. Определя-



**Рисунок – Двумерные сечения поверхности отклика изменения содержания наполнителя в бумаге (а), степени удержания наполнителя (б) и разрывной длины (в) образцов газетной бумаги**

ющим фактором в данном случае, при выборе оптимального сочетания расходов компонентов бинарной системы удержания, является компромиссное решение между достижением требуемого качества при максимальном содержании наполнителя в бумаге.

Анализ двумерных сечений поверхности отклика изменения разрывной длины образцов бумаги в зависимости от содержания наполнителя и компонентов бинарной системы в композиции бумажной массы свидетельствует об экстремальной зависимости показателя. При этом значение разрывной длины образцов бумаги уменьшается с увеличением содержания наполнителя в композиции бумажной массы (рис. в).

Для определения оптимальных значений исследуемых факторов были получены уравнения частных функций полезности и рассчитаны значения глобального критерия оптимизации  $W_i$  в каждой строке плана эксперимента. Результатом решения задачи оптимизации и достигаемые при этом значения



критериев оптимизации были следующими:  $X_1 = 0,05\%$  от а. с. в.;  $X_2 = 0,05\%$  от а. с. в.;  $X_3 = 3\%$  от а. с. в. Значение частных функций полезности составило:  $Y_2 = 71,9\%$ ;  $Y_3 = 2,38$  км. Значение глобального критерия оптимизации:  $W_i = 0,86$ .

Таким образом, с использованием математического планирования оптимизировано содержание в композиции газетной бумаги компонентов бинарной системы удержания в сочетании с наполнителем. Разработанный режим включает последовательное дозирование высокомолекулярного катионного полиакриламида РС9350, добавляемого в количестве 0,05% от а. с. в. и высококатионного низкомолекулярного органического полимера РС9290, добавляемого в количестве 0,05% от а. с. в. и обеспечивает повышение степени удержания наполнителя в структуре бумаги до 71,9% при сохранении разрывной длины бумаги 2,38 км.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Хованский В. В., Дубовый В. К., Кейзер П. М. Применение химических вспомогательных веществ в производстве бумаги и картона: учебное пособие. СПб. 2013, 70 с.

2. Исследование влияния химикатов для флокуляции бумажной массы на процесс формования бумаги для печати. Л. Г. Махотина [и др.] // Целлюлоза, бумага, картон, 2002. № 5–6. С. 40–45.

3. Оптимизация средств удержания на бумагоделательной машине бумажной фабрики Palm. Т. Вельт [и др.] // Целлюлоза, бумага, картон. 2004. № 5. С. 60–64.

УДК 661.183.2

К.А. Романенко<sup>1</sup>, асп. [kristinaromanencko@yandex.ru](mailto:kristinaromanencko@yandex.ru);

Н.И. Богданович<sup>1</sup>, проф., д-р техн. наук;

Н.С. Шелгунова<sup>1</sup>, магистрант;

И. Н. Третьяков<sup>1</sup>, студ.;

Н.В. Жолнерович<sup>2</sup>, доц., канд. техн. наук

(<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Россия, г. Архангельск; <sup>2</sup>БГТУ, г. Минск)

### **ТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ КОРЫ ДРЕВЕСИНЫ ХВОЙНЫХ ПОРОД С КОН**

Древесные отходы образуются на всех стадиях технологической цепи, начиная от лесозаготовок и заканчивая механической и химической переработкой древесины. К ним можно отнести вершинную часть деревьев, крупные сучья, ветви, кору, корневища сосны, ели, лиственницы, пихты и берёзы. Обычно лесосечные отходы сжигают или утилизируют без дополнительной выгоды.

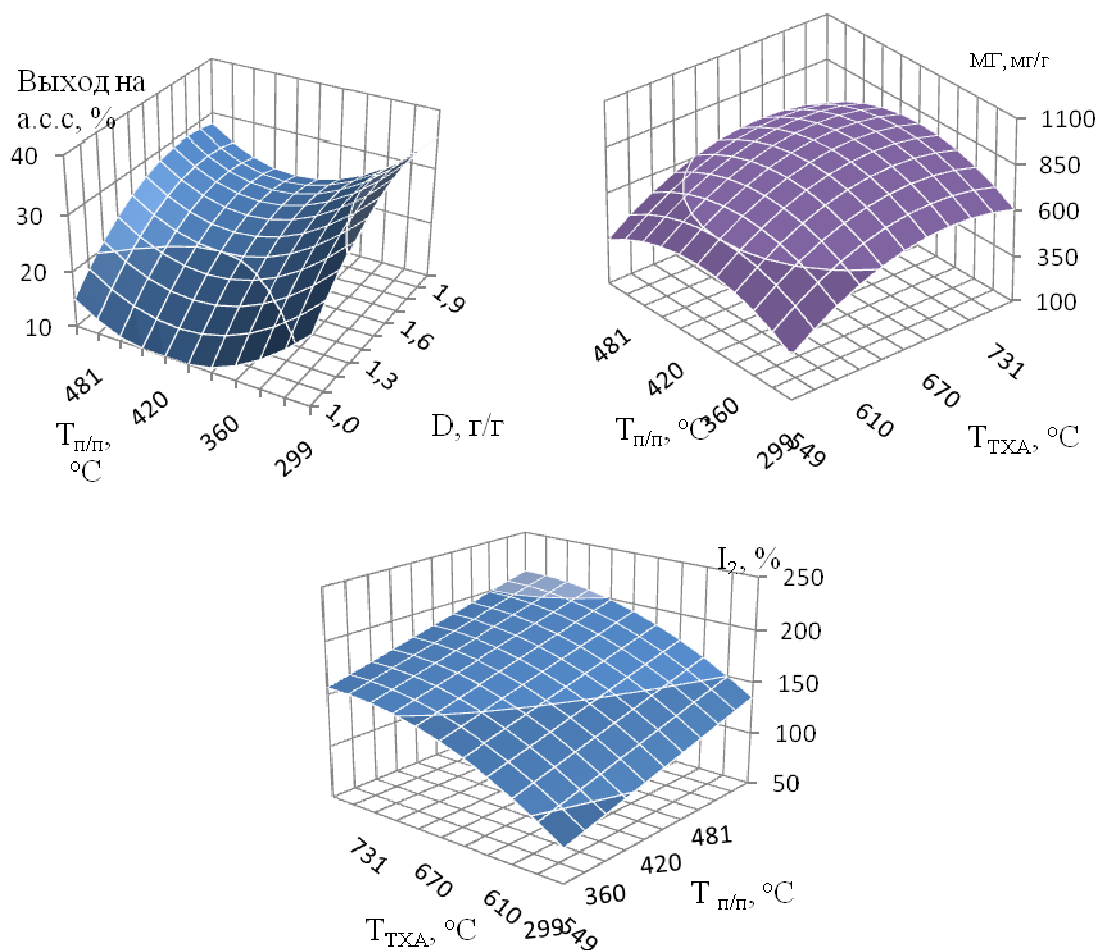
Пиролиз подобных отходов с целью получения углеродных адсорбентов рассматривается в настоящее время как один из наиболее перспективных способов их переработки. Однако большинство работ по пиролизу отходов выполнено за рубежом, и несколько снижено внимание к этой проблеме в нашей стране.

Углеродные адсорбенты, благодаря таким свойствам, как развитая активная поверхность, регулируемая пористость, хорошая электрическая проводимость, термическая и радиационная стойкость, находят широкое применение в различных областях народного хозяйства. Огромное количество активных углей необходимо для решения экологических проблем, связанных с подготовкой питьевой воды, очисткой сточных вод и газовых выбросов, рекуперацией органических растворителей. Расширяются области использования АУ в медицине и фармацевтике.

В данной работе показана возможность получения углеродных адсорбентов (УА) с развитой и однородной пористой структурой методом термохимической активации [1, 2].

Для анализа влияния режимных параметров синтеза активных углей (АУ) на формирование их пористой структуры был реализован запланированный эксперимент [3]. Переменными факторами процесса были: температура предварительной карбонизации ( $T_{ПЛ}$ ), дозировка активирующего агента ( $D$ ) и температура термохимической активации ( $TХА$ ). В качестве активирующего агента был использован гидроксид калия.

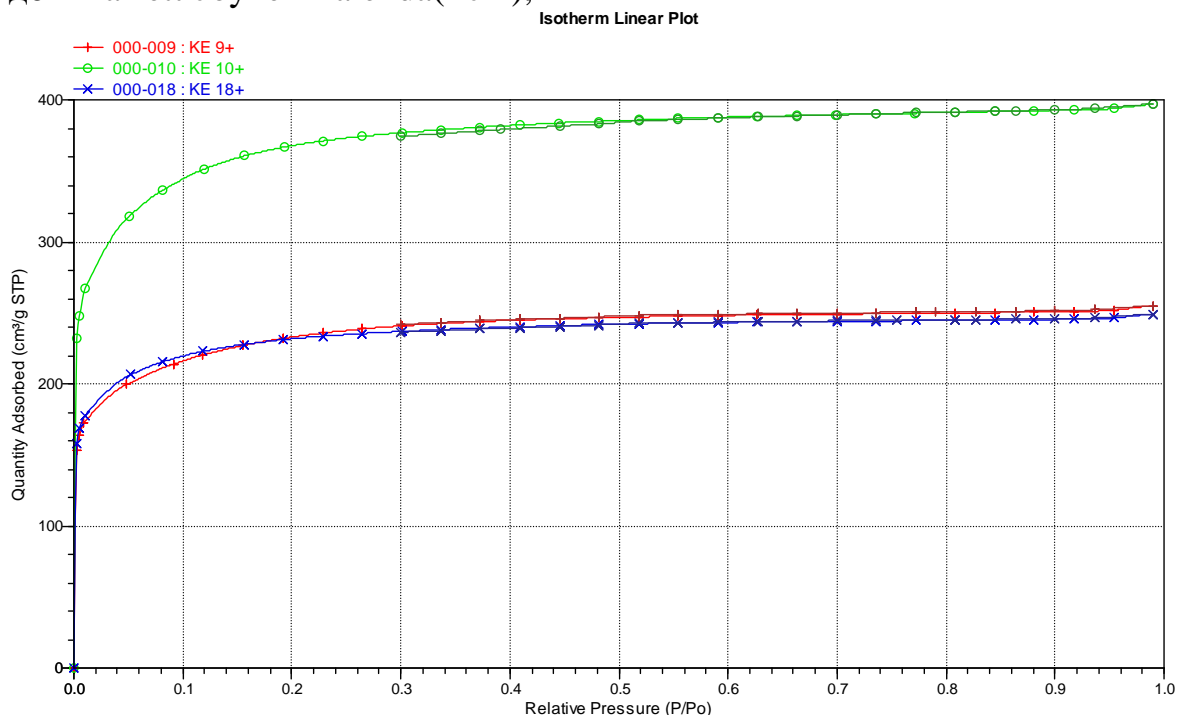
Полученные экспериментальные данные были использованы для построения поверхностей отклика, которые наглядно демонстрируют влияние режимных параметров на выход, удельную поверхность активных углей, адсорбционную способность по йоду и метиленовому голубому (рисунок 1). Исходя из графиков видно, что наилучший выход АУ наблюдается при повышенной температуре предпиролиза. Повышение температуры пиролиза и увеличение дозировки щелочи также оказывают положительное влияние на данный параметр. Дозировка гидроксида калия не оказывает влияния на адсорбционные свойства по МГ. Повышение температуры предпиролиза и температуры ТХА увеличивает адсорбционные свойства АУ. На формирование адсорбционных свойств по йоду, положительное влияние оказывают температура предпиролиза и температура пиролиза. Увеличение дозировки КОН оказывает положительное влияние на данный параметр.



**Рисунок 1 – Влияние режимных параметров на выход, удельную поверхность, адсорбционную способность по йоду и МГ**

Исследования пористой структуры полученных активных углей проводили на приборе ASAP 2020 MP методом низкотемпературной адсорбции азота при 77 К и относительном давлении  $P/P_0$  от 0 до 1. Для иллюстрации на рисунке 2 приведены некоторые изотермы адсорбции – десорбции азота, полученные для образцов АУ в различных условиях ТХА. С помощью автоматизированной системы был проведен анализ объема микро- и мезопор, их распределения по размерам и определена удельная площадь поверхности. Полученные изотермы относятся к I типу изотерм по IUPAC, характерной для микропористых твердых тел. Анализируя рисунок, можно сказать, что пористая структура представлена в основном микропорами. Мезопоры присутствуют в небольшом количестве. Изотермы адсорбции-десорбции азота использовались для расчета параметров пористой структуры следующими методами: удельная поверхность образцов рассчитывалась по известному методу БЭТ в интервале относительных давлений 0,05-

0,35; по десорбционной ветви изотермы изотермы определяли объемы мезопор (с размером 1,6-50 нм) и их распределение по размерам методом Barrett-Joyner-Halenda (ВЖН),

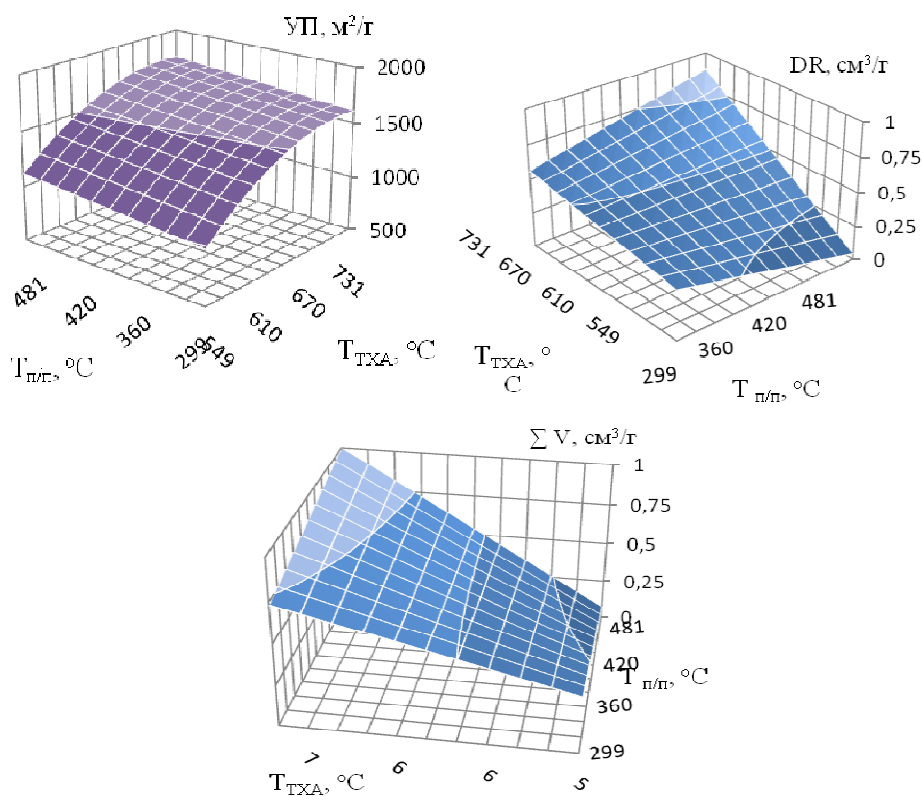


**Рисунок 2 –Изотермы низкотемпературной адсорбции азота**

Объемы и распределение микропор по размерам в исследованных образцах оценивались методами Horvath-Kawazoe (Х-К), Дубинина – Астахова (Д-А). Объем микропор по всем расчетным методам оказался аналогичен.

Для установки взаимосвязи между значениями удельной поверхности (УП), общего объема пор ( $\Sigma V$ ), объема микропор АУ с условиями их синтеза были построены экспериментальные зависимости (рисунок 3).

Исходя из полученных данных выявлено, что оптимальные условия для формирования микропор являются повышенная температура предпирилиза (450-500°C) и повышенные значения температуры ТХА (750°C). При этом увеличение дозировки щелочи оказывает незначительное положительное влияние, а значит, ее можно зафиксировать на уровне 100% к а.с.с. без ущерба для параметров пористой структуры.



**Рисунок 3 – Влияние режимных параметров на формирование пористой структуры АУ**

Таким образом, методом планированного эксперимента были получены активные угли с достаточно высокими показателями адсорбции по йоду и осветляющей способности по МГ, с высоким значением пористости и удельной площадью поверхности пор, что доказывает их возможное применение в различных промышленных производствах, в решении проблем экологии и здоровья человека.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Beletskaya M.G., Bogdanovich N.I. The Formation of Adsorption Properties of Nanoporous Materials by Thermochemical Activation. Russian Journal of Bioorganic Chemistry, 2014, Vol. 40, No. 7, pp. 717–721.

2 Саврасова Ю.А., Богданович Н.И., Макаревич Н.А., Белецкая М.Г. Углеродные адсорбенты на основе лигноцеллюлозных материалов. ИВУЗ Лесной журнал. – 2012.– №1. – Архангельск: С(А)ФУ, 2012, с. 107-112.

3 Богданович Н.И., Кузнецова Л.Н., Третьяков С.И., Жабин В.И. Планирование эксперимента в примерах и расчетах: учеб. пособие. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет, 2010. – 126 с.

И.В. Николайчик, ассист., маг. техн. наук;  
Н.В. Жолнерович доц., канд. техн. наук;  
Н.В. Черная проф., д-р техн. наук  
[nzholnerovich@gmail.com](mailto:nzholnerovich@gmail.com) (БГТУ, г. Минск)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ БУМАГИ ИЗ ВТОРИЧНОГО ВОЛОКНА**

Применение карбамидоформальдегидных олигомеров в технологии макулатурных видов бумаги обусловлено низкими бумагообразующими свойствами вторичного волокна и наличием значительного количества мелочи. Однако, несмотря на присутствие им высокие связующие свойства, значимым сдерживающим фактором, ограничивающим их применение в бумажной промышленности, является высокое содержание свободного формальдегида и невысокая растворимость в воде. Кроме того, малая гибкость и наличие значительного количества водородных связей в макромолекулах отвержденных олигомеров, обуславливающих хрупкость и пониженную их эластичность, являются основными недостатками этого класса аминоальдегидных синтетических материалов [1–3].

Снижению отрицательных свойств карбамидоформальдегидных олигомеров способствует их химическая модификация, открывающая возможность практического применения таких продуктов в качестве синтетических материалов для повышения физико-механических свойств бумажных материалов в производстве бумаги из вторичного волокна.

Анализ известных способов модификации карбамидоформальдегидных олигомеров [4, 5], основанных на использовании преимущественно низкомолекулярных соединений, свидетельствует, что проблема снижения токсичности, повышения растворимости с одновременным увеличением физико-механических свойств олигомеров, остается до настоящего времени нерешенной. В этой связи важной задачей является выбор модифицирующей добавки, обусловленный ее химической природой и способностью вступать в реакцию химического взаимодействия с функциональными группами карбамидоформальдегидных олигомеров, обеспечивая снижение токсичности получаемых продуктов. Кроме того, следует учитывать способность добавки растворяться в воде и доступность в ее ценовом отношении. Одной из таких добавок может являться  $\epsilon$ -капролактан, в водной среде гидролизующийся с образованием  $\epsilon$ -аминокапроновой кислоты.

Образующаяся в результате гидролиза карбоксильная группа будет способствовать повышению растворимости модифицированных продуктов на основе карбаминоформальдегидных олигомеров, увеличению их сродства к целлюлозным волокнам и повышению эффективности взаимодействия с компонентами водно-волокнистой суспензии.

Модифицированные карбаминоформальдегидные олигомеры получали на основе карбаминоформальдегидного концентрата (ТУ 2181-032-00203803-2003), представляющего собой водный раствор формальдегида и карбамида, содержащий  $60,0 \pm 0,5\%$  формальдегида и  $25,0 \pm 0,5\%$  карбамида. Синтез олигомеров осуществлялся при постоянном мольном соотношении «карбамид : формальдегид» 1 : 2. Исследуемые олигомеры представляют собой термореактивные продукты, отличающиеся количественным соотношением «карбамид :  $\epsilon$ -капролактан», которое варьировалось от 1 : 0,16 до 1 : 0,5. Модификация осуществлялась на заключительной стадии синтеза после завершения процесса доконденсации смолы. Для этого в реакционную смесь вносили водный раствор  $\epsilon$ -капролактама, наличие реакционно-способной аминной группы которого позволяет вступать в реакцию с гидроксиметильными группами олигомеров и способствует образованию более прочных связей обеспечивающих снижение содержания свободного формальдегида в полученных продуктах.

Объектом сравнения являлся образец олигомеров, полученный без добавления модификатора. Состав и физико-химические свойства исследуемых образцов карбаминоформальдегидных олигомеров представлены в таблице.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности снижения содержания свободного формальдегида более чем в три раза по сравнению с немодифицированным образцом при количественном соотношении «карбамид :  $\epsilon$ -капролактан» равном 1 : 0,5. Наблюдается также повышение растворимости в воде полученных продуктов с увеличением содержания модифицирующей добавки в составе олигомеров.

Для идентификации функциональных групп модифицированных  $\epsilon$ -капролактамом карбаминоформальдегидных олигомеров использовали метод ИК-спектроскопии с Фурье преобразованием (Thermo Nicolet, США) в области  $700\text{--}3600\text{ см}^{-1}$ .

Обнаруженные на ИК-спектрах исследуемых образцов олигомеров характерные полосы поглощения при  $3337\text{ см}^{-1}$  (немодифицированный образец) и  $3346\text{ см}^{-1}$  (модифицированный образец при количественном соотношении «карбамид :  $\epsilon$ -капролактан» равном 1 : 0,5) соответствуют валентным колебаниям связанной водородной связью

гидроксильной группы. Уширение полос поглощения валентных колебаний в модифицированных образцах может быть связано с изменением характера межмолекулярных связей.

**Таблица – Состав и физико-химические свойства исследуемых образцов карбаминоформальдегидных олигомеров**

Наименование показателя	Значение параметра для исследуемых образцов карбаминоформальдегидных олигомеров					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
Мольное соотношение «карбамид : формальдегид»	1 : 2					
Количественное соотношение «карбамид : ε-капролактam»	1 : 0,5	1 : 0,33	1 : 0,25	1 : 0,20	1 : 0,16	1 : 0
Коэффициент рефракции	1,4455	1,4430	1,4380	1,4475	1,4500	1,4530
Концентрация водородных ионов, рН, ед.	8,1	7,8	8,0	8,0	7,5	7,8
Вязкость условная по ВЗ-246 (сопло 4 мм) при 20±5°С, с	21	20	20	25	34	34
Массовая доля свободного формальдегида, %	0,43	0,54	0,67	0,78	0,85	1,30
Предельная смешиваемость с водой при (20±1) °С в соотношении по объему	1 : 500	1 : 100	1 : 100	1 : 50	1 : 30	1 : 30

Полосы поглощения при 2959 см<sup>-1</sup> и 2851 см<sup>-1</sup> (для модифицированного образца при количественном соотношении «карбамид : ε-капролактam» равном 1 : 0,5) соответствуют валентным колебаниям метиленовых групп –СН<sub>2</sub>–. Увеличение интенсивности полос в модифицированных образцах свидетельствует о появлении в молекуле новых метиленовых связей, соответствующих ассиметричным валентным колебаниям, обусловленным взаимодействием олигомеров с ε-аминокапроновой кислотой.

Присущие карбаминоформальдегидным смолам полосы в области карбонильного поглощения соответствующие амидам обнаружены при 1655 см<sup>-1</sup>, 1552 см<sup>-1</sup> (немодифицированный образец) и 1655 см<sup>-1</sup>, 1560 см<sup>-1</sup> (модифицированный образец).

Кроме этого, наблюдается появление на ИК-спектре модифицированного олигомера полос поглощения при 1362 см<sup>-1</sup>, 1336 см<sup>-1</sup> и 1198 см<sup>-1</sup>, что связано с изменением характера С–N связи в СН<sub>2</sub>–N [6]. Вероятно это связано с присоединением ε-аминокапроновой кислоты по реакционному центру азота к метилольной группе молекулы КФО на стадии модификации олигомера.



О взаимодействии  $\epsilon$ -аминокапроновой кислоты с карбамидоформальдегидными олигомерами свидетельствует также снижение равновесной степени набухания пленки модифицированной карбамидоформальдегидной смолы, отвержденной при температуре 135 °С [8]. Это объясняется повышением густоты пространственной сетки отвержденного полимера вследствие образования дополнительных связей функциональных карбоксильных и аминных групп гидролизованной молекулы  $\epsilon$ -аминокапроновой кислоты.

По результатам термогравиметрического анализа с использованием термоаналитической системы TGA/DSC-1 HT/319 METTLER TOLEDO Instruments установлено повышение термостабильности полученных модифицированных продуктов на основе карбамидоформальдегидных олигомеров [9]. Подтверждением этому является также увеличение значения энергии активации термоокислительной деструкции в 2 раза, что указывает на повышение густоты пространственной сетки отвержденной смолы за счет появления дополнительных функциональных групп в молекуле олигомера.

Сравнительный анализ полученных результатов позволяет прогнозировать возможность образования дополнительных поперечных связей между молекулами модифицированных олигомеров в процессе реакции поликонденсации на стадии сушки бумаги, что в свою очередь будет способствовать повышению ее физико-механических свойств.

Таким образом, модификация карбамидоформальдегидных олигомеров лактамом  $\epsilon$ -аминокапроновой кислоты позволяет получить продукты с пониженным содержанием свободного формальдегида и высокой водорастворимостью. Показано, что равновесная степень набухания модифицированных карбамидоформальдегидных олигомеров при количественном соотношении «карбамид :  $\epsilon$ -капролактam» равном 1 : 0,5 ниже на 35%, а энергия активации термоокислительной деструкции возрастает с увеличением содержания модифицирующей добавки в композиции олигомеров. Это свидетельствует об образовании дополнительных поперечных связей при отверждении смолы и позволяет прогнозировать увеличение физико-механических свойств бумаги, полученной с использованием модифицированных продуктов на основе карбамидоформальдегидных олигомеров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Технология связующих и полимерных материалов / В. И. Азаров, В. Е. Цветков – М.: Лесн. пром-ть, 1985. – 216 с.
2. Крылатов, Ю.А. Проклейка бумаги / Ю.А. Крылатов, И.Н. Ковернинский – М.: Лесн. пром-ть, 1987. – 288 с.

3. Ковернинский, И. Н. Влияние растворения в воде на свойства карбамидных олигомеров // *Химия древесины*, 1990. – С. 91–96.
4. Перминова, Д. А. Модификация карбамидоформальдегидных олигомеров производными глиоксаля для снижения токсичности древесных плит на их основе / Д. А. Перминова, С. Л. Князева, А. С. Князев // *Сб. науч. тр.*, Томск, 2013. – С. 416–418.
5. Дроздова, В. С. Модификация карбамидоформальдегидных олигомеров для древесно-полимерных материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. С. Дроздова. – М., 2010.
7. ИК-спектры основных классов органических соединений: справочные материалы / Б. Н. Тарасов – М., 2012. – 55 с.
8. Маркина, А.Я. Химия и физика полимеров: Лабораторный практикум по одноименному курсу для студентов спец. 25.06. / А.Я. Маркина, Н.Р. Прокопчук, Е.И. Щербина – Мн., 1993. – 29 с.
9. Введение в теорию термического анализа / О. Г. Пилоян – М.: Наука, 1984. – 254 с.

UDC 676.017.57 : 67.05

Ullrich Casten<sup>1</sup> engineer, Dipl.-Ing.  
E. Maronchuk<sup>2</sup> director  
N. Zholnerovich<sup>3</sup> PhD

(<sup>1</sup>Emtec Electronic GmbH, Leipzig, Germany;  
<sup>2</sup>ООО «Сигма Микрон» Saint-Petersburg, Russia; <sup>3</sup>BSTU, Minsk, Belarus)

**COMPLEMENTARY MEASUREMENT  
OF THE ZETA POTENTIAL OF FIBERS  
AND THE PARTICLE CHARGE IN PULP  
SUSPENSIONS WITH THE HELP OF THE AFG TOUCH! TWINS**

**1. General background**

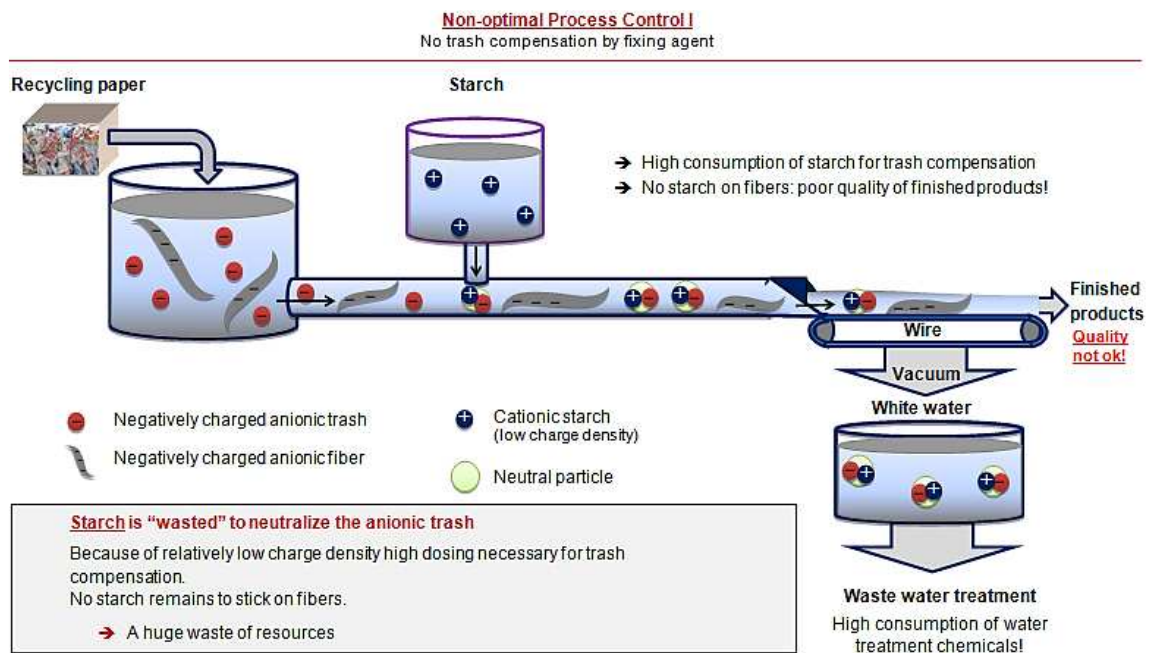
In the paper making process there are fibers, fillers, fines and trash particles (mainly when using recycling paper), suspended in the pulp. Most colloidal or filler particles and fiber surfaces are covered with a negative or positive charge cloud on the surface. Negative and positive charged particles attract each other. Particles with the same charge repel each other. The charge of pulp fibers is anionic (-), also the charge of trash particles is usually anionic (-). Functional chemicals, which are used to determine the quality of the finished product, and process chemicals are mainly cationic (+) charged. Cationic chemicals attract to anionic charged fibers. The

knowledge of the charge of the chemicals, the anionic trash and the fibers enables a correct and effective dosage of charged chemical additives.

By measurement of these charges, the *CAS touch!* Charge Analyzing System and the *FPA touch!* Fiber Zeta Potential Analyzer enable the optimization of the dosage of chemicals in the wet-end of the paper manufacturing process. With help of these devices, the optimal adsorption of cationic starch, wet strength resin, and many other chemical aids on the fibers can be easily determined with original samples on-site.

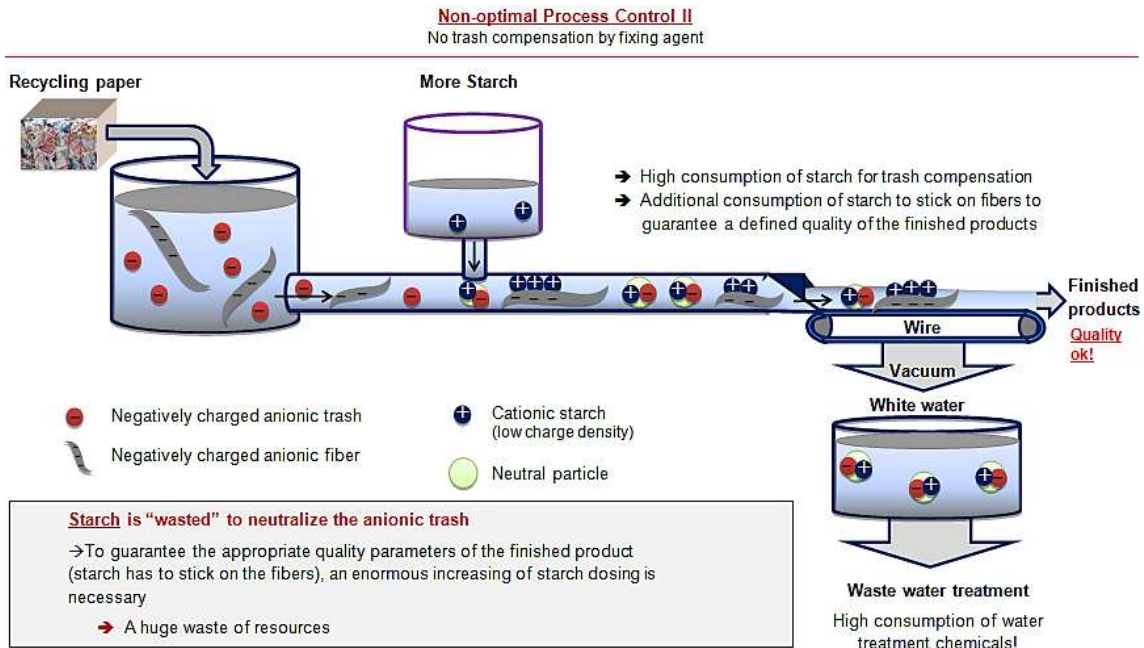
## 2. Problem I due to anionic trash particles in the pulp suspension

If some cationic chemicals are added in the wet-end process, its reaction is dependent on the status of the trash particles and the previous process steps: The cationic chemicals can stick on the anionic trash particles and/or it can stick on the anionic fibers. If it would stick on the anionic trash, it would neutralize it. The neutralized trash particles would pass through the wire together with the white water and are thus rejected in the waste water. This would additionally result in a higher consumption of flocculation agents for the waste water treatment (see figure 1).



**Figure 1: Non-optimal process control I**

In order to get the necessary amount of chemicals on the fibers to guarantee a desired quality of the finished products, this would result in additional dosing demand of the paper chemicals (see figure 2).



**Figure 2: Non-optimal process control II**

**Solution by use of the CAS touch! Charge Analyzing System** The main target of CAS measurements is to get information about the amount of anionic trash in the pulp suspension, to determine the optimal dosing of trash catcher/ fixing agent for its neutralization(see figure 3).

The procedure is as follows:

*Step 1: Determining the cationic demand with CAS touch!*



In the pulp preparation the first step has to be to get information about the amount and charge of the anionic trash. The CAS is used to determine the cationic demand (how much Poly-DADMAC is necessary to neutralize the charge in the CAS measuring cell).

*Step 2: Neutralizing the anionic trash for optimal process control and cost saving*

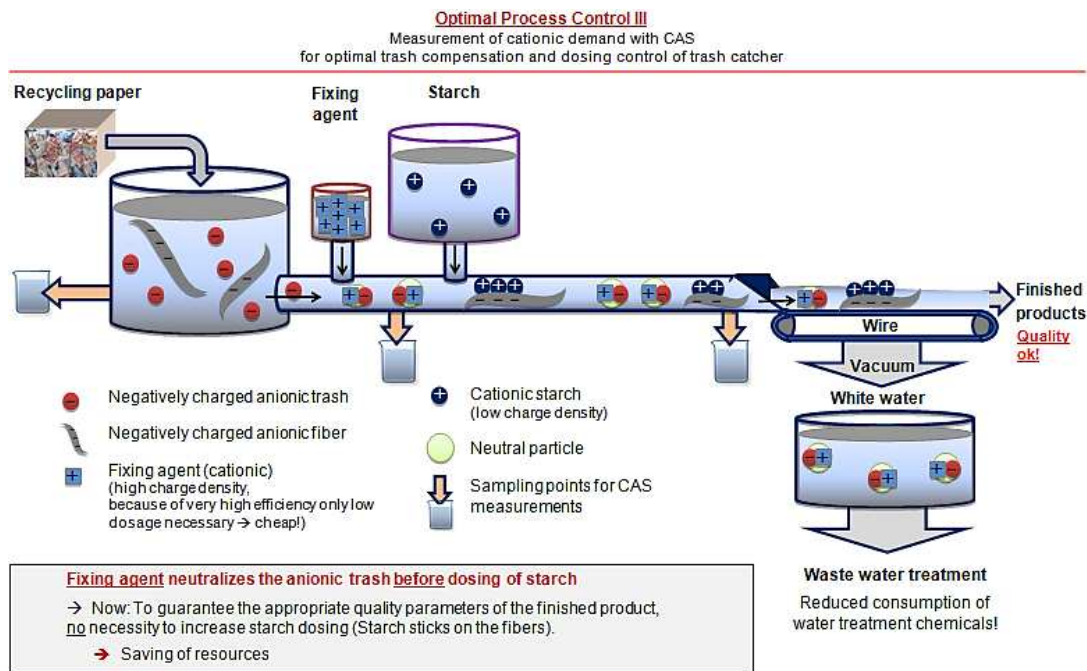
For that purpose, anionic trash catcher (ATC) is quite common. ATC has a high affinity to anionic trash particles. It can stick on it and neutralize it. By knowing the cationic demand, the user in the paper mill can calculate the dosing of the trash catcher to neutralize the anionic trash for an optimal process control and cost saving. The costs for trash neutralization with ATC are much lower than for neutralization with paper chemicals like starch, because the charge density of ATC is very high, compared to process chemicals like starch: the price of ATC is

in the same range like the price of starch, but because of the much lower consumption of ATC a huge amount of material can be saved.

*Step 3: Measurement of the ATC efficiency with CAS*

After the neutralization of the anionic trash it is recommended to measure the cationic demand again to check the efficiency of the ATC. The perfect level would be a cationic demand of 0.00ml or at least close to 0.00ml, measured with the CAS. But in a real process it is almost impossible to reach the perfect level. A simple rule is: the neutralization was successful if after the dosage of ATC the cationic demand is lower than 10 % of the previous cationic demand.

Also for the optimization and control of the subsequent dosing points of chemicals the CAS can be used: Under the presumption of optimized trash neutralization the charge demand before and after dosing of chemicals should be similar; because when the chemicals have an optimal reaction in an optimal charge environment, all of them stick on the fibers. The charge demand does almost no change in this case. Another rule of great generality is: the cationic demand should be decreasing from the beginning of the wet-end area up to the last measuring point.



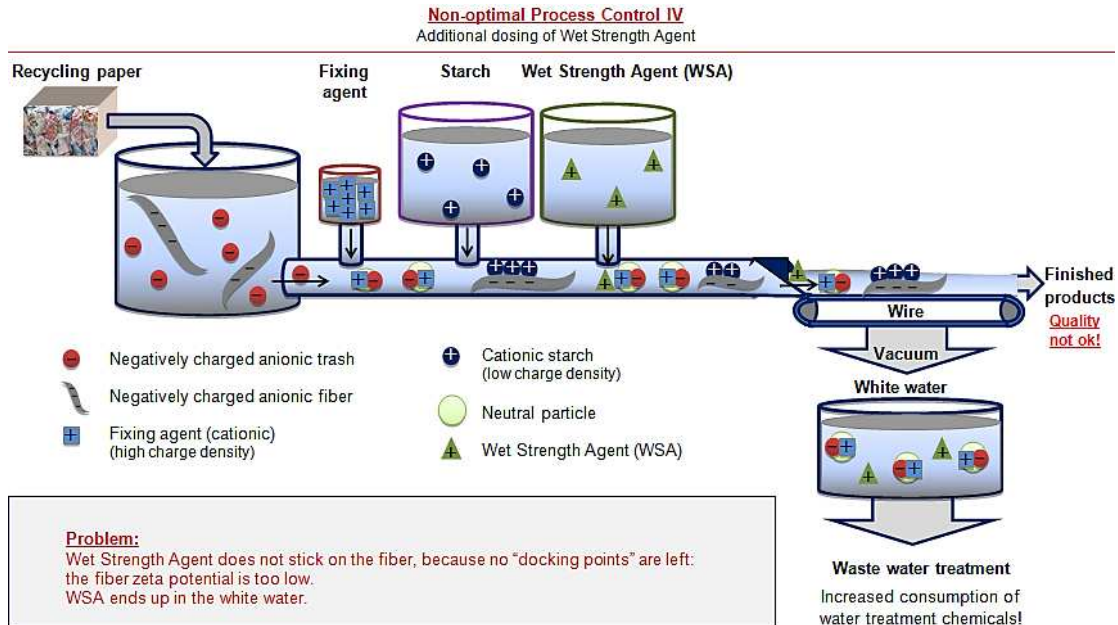
**Figure 3: Non-optimal process control III**

**3. Problem II due to non-optimal Zeta Potential of the fibers**

To guarantee optimal quality properties of the finished products (sizing degree, low dusting, strength, stiffness) the dosed chemicals have to stick on the fibers. This reaction is provided mainly by the opposite charge

of the chemicals and the fibers. All chemicals, which do not stick on fibers, can pass through the wire and be released together with the white water.

If the trash would be neutralized, but the zeta potential of the fibers would not be optimal, the process and finally the finished products cannot be optimal, because the chemicals will not react with the fibers (see figure 4).

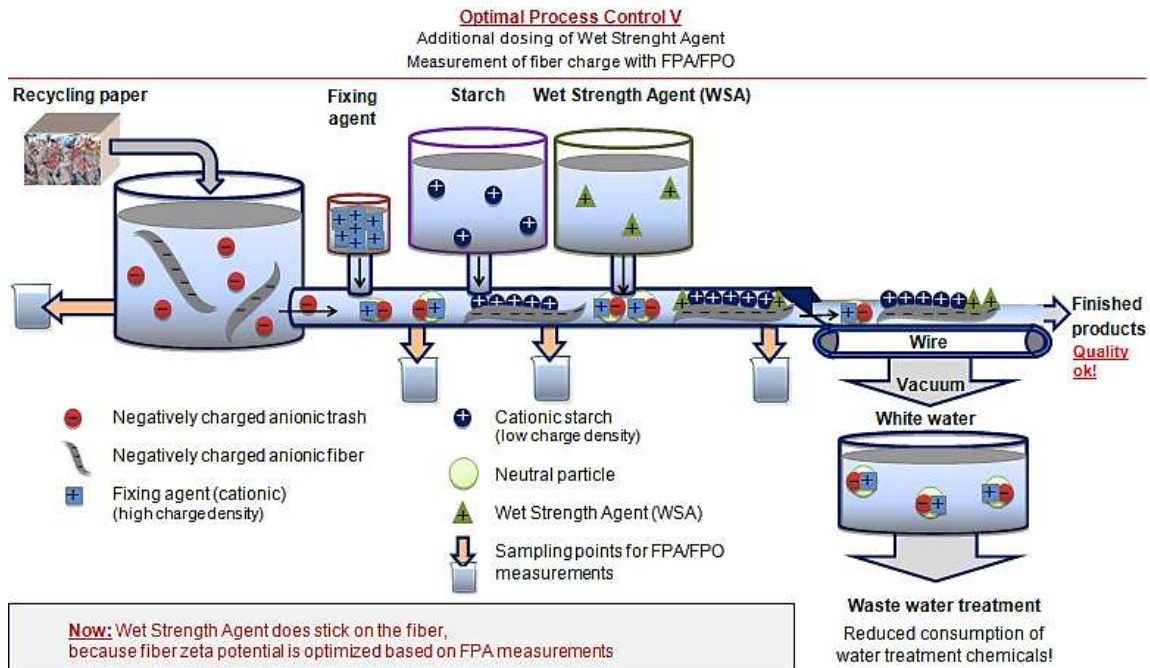


**Figure 4: Non-optimal process control IV**

### Solution by use of the *FPA touch!* Fiber Potential Analyzer



To measure this behavior, the *FPA touch!* is absolutely indispensable. The "Zeta Potential" is the surface charge of fibers. The fibers need a specific value of this Zeta Potential to have enough "space" for the adsorption of the necessary amount of chemicals. The main target of FPA measurements is to get information about the Zeta Potential of fibers for the determination of the optimal reaction of chemicals with the fibers. By knowing and optimizing the Zeta Potential, the targeted quality can be reached (see figure 5).



**Figure 5: Non-optimal process control V**

#### 4. Conclusion

To achieve the targeted quality of the finished products, the dosed chemicals in the wet end should lead to an interaction with the fibers. In particular, they should stick on the fibers because of electro-chemical forces. **The FPA touch! is necessary to determine the ability of the fibers to react with the chemicals.** As the cationic chemicals can also stick on the anionic trash particles, **the CAS touch! is necessary to determine the optimal dosing of fixing agents and to determine the efficiency of chemicals in the wet-end process.** For an optimal process control, it is absolutely necessary to determine the complete charge environment in the wet-end system, which means measuring with both, the *CAS touch!* and *FPA touch!*. Without the devices, it is impossible to optimize the consumption of chemicals. In this case the guarantee of desired properties of the finished products is only possible by overdosing.

УДК 676.017.282 : 62-791

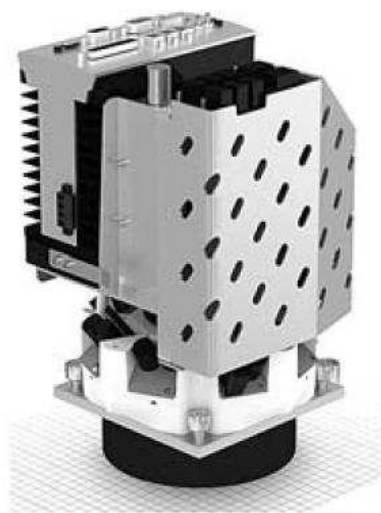
О.Г. Барашко, доц., канд. техн. наук [ogb\\_m@mail.ru](mailto:ogb_m@mail.ru);

Н.В. Жолнерович, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА БУМАЖНОГО ПОЛОТНА

Контроль и анализ в динамике производственных данных, связанных с информацией о свойствах бумаги, обеспечивают более раннее обнаружение событий и, соответственно, более оперативное принятие решений.

**Датчик ориентации углов волокон Precision FotoFiber** (компания Honeywell) [1]. Для многих сортов бумаги и картона ориентация волокон является определяющим показателем. В основном ориентация закладывается на стадии формования и незначительно видоизменяется при последующих операциях технологического цикла изготовления бумаги. Из-за того, что волокна при увлажнении по-разному увеличиваются в размерах в направлении вдоль и поперек волокна, ориентация волокон оказывается именно тем параметром, который позволяет обеспечить стабильность параметров у однослойных сортов бумаги, а также избежать дефектов скручивания при изготовлении многослойных сортов бумаги и картона.



Рисунок

Модуль FotoFiber состоит из видеокамеры и системы освещения, расположенных на одной и той же стороне по отношению к бумажному полотну. Принцип действия модуля заключается в том, что сверху на измеряемое полотно бумаги или картона с помощью систе-



мы освещения (кольцевой источник) направляется мощный световой импульс.

Измерение угла ориентации волокон, осуществляется с использованием камеры, которая делает снимки с поверхности движущегося бумажного или картонного полотна. Тем самым фиксируется изображение, возникающее на данной поверхности.

Система управления изображениями, находится внутри и координирует работу камеры и системы освещения с целью получения изображений максимально высокого качества с учетом изменяющейся рабочей скорости машины и условий освещенности поверхности.

Затем каждое изображение анализируется с помощью специального алгоритма, который рассчитывает распределение углов ориентации волокон, на основе измеренного среднего угла ориентации волокон и анизотропии поверхности. При этом определяются отношение параметров ориентации в продольном и поперечном направлениях (MD/CD) и отношение максимального и минимального значений (Max/Min). Эти функции выполняются в регистрирующем блоке, после чего полученные значения передаются на системный сервер для вывода на дисплей, построения профилей и трендов.

Основные технические характеристики датчика ориентации углов волокон Precision FotoFiber:

Диапазон угла ориентации волокон, град	+90...-90
Анизотропия	0...1
Отношение ориентации волокон MD/CD	0,5...2
Отношение Max/Min	1...2
Площадь измеряемого «пятна», мм	10 x 10
Частота измерения, Гц	10
Скорость машины, м/мин	0...2000

Скорость современных бумагоделательных машин достигает 2000 м/мин. Исходя из этих данных, за секунду бумажное полотно продвигается вперед на 33 м. Поскольку ширина волокон может составлять всего лишь 20 мк, для того, чтобы получить изображение необходимого фрагмента, продолжительность экспозиции должна составлять доли микросекунды (обычная выдержка от 0,2 до 0,8 с). Для получения изображения поверхности надлежащего качества необходимо, чтобы изделие отражало достаточное количество света. Современные камеры, обладающие высокой светочувствительностью, облегчают задачу лишь частично. Для того чтобы получить качественное изображение при максимальной скорости продвижения полотна и используется специальная технология фотографической регистрации ориентации волокон – система Precision FotoFiber.

В настоящее время датчик FotoFiber установлен на линии по производству многослойного картона для складных коробок. Именно для многослойного картона измерение ориентации волокон на поверхности изделия в режиме реального времени зарекомендовало себя как особенно удачное решение.

Измерения в режиме реального времени обеспечивают немедленное поступление информации об изменениях в технологическом процессе, позволяя более своевременно вносить корректировки на стадии пуска машины или при смене сорта производимой продукции. Кроме того, такая технология практически исключает необходимость в трудоемком разделении слоев для проведения анализа направления растяжения и усадки в лабораторных условиях.

Данный датчик применим для массовой продукции: газетной и высокосортной бумаги, тарного и коробочного картона, поскольку позволяет минимизировать потребность в проверке продукции вручную. Подобный автоматизированный подход помогает производителям бумаги и картона снизить себестоимость и улучшить качество продукции: уменьшить ее отбраковку, снизить разброс в профилях ориентации волокон, приводящий к ряду дефектов при производстве бумаги и картона, таких как перекося папки, застревание бумаги в устройствах подачи, несовпадение цветов в цветной печати, скручивание в многослойном картоне и снижение прочности гофрокартона.

**Датчик влажности бумаги Gauge IG710e (FG710e)** предназначен для анализа в режиме «реального времени» влаги и массы нанесенного материала для бумаги, картона, упаковочных материалов [2].

Датчик использует принцип бесконтактного измерения в ближней инфракрасной области. Оптическая система обеспечивает независимость результатов анализа от меняющихся внешних факторов окружающей среды – относительной влажности, температуры, искусственного освещения и пыли.

Конфигурация датчика настраивается заранее на заводе производителя в соответствии с требованиями пользователя, чтобы избежать дополнительных настроек в процессе монтажа и ввода в эксплуатацию. После установки пользователю необходимо только провести корректировку встроенных калибровок с помощью специализированного программного обеспечения GaugeToolsXL.

Датчик располагают над конвейерной лентой в ключевой точке производства, например, на конечной стадии производства бумаги или для контроля массы нанесенного слоя клея на поверхность.

В зависимости от условий окружающей среды и требований производства класс защиты корпуса прибора может быть IP65 и IP67.

Корпус изготавливают из композитного материала (IP65) и нержавеющей стали (IP65/IP67).



Датчик может использоваться в сочетании с одной или несколькими периферийными устройствами для облегчения отображения данных, создания локальных сетей. Датчики и вторичные устройства могут объединяться в сеть. Наличие аналоговых и цифровых выходов позволяет выбрать наиболее удобный для пользователя способ подключения. Возможно подключение по следующим протоколам: Ethernet IP, Modbus TCP, Profinet, DeviceNet, Profibus.

Полученные данные могут использоваться для управления технологическими процессами производства бумаги, контроля качества и сигнализации о выходе ключевых параметров за допустимые нормы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 HONEYWELL объявляет о выпуске комплексного корпоративного программного решения для предприятий перерабатывающей промышленности [режим доступа: <http://neftegaz.ru/news/view/102757-HONEYWELL-obyavlyayet-o-vypuske-kompleksnogo-korporativnogo-programmnogo-resheniya-dlya-predpriyatij-pererabatyvayushey-promyshlennosti>]

2 Gauge 710e — промышленный датчик для упаковочных материалов и защитных покрытий [режим доступа: <http://wenk-group.com/ru/suppliers/ndc/gauge-710e-промышленный-датчик-для-упаковочн/>]

**ЛОКАЛЬНАЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ МОДИФИКАЦИЯ  
ФЛЕКСОГРАФСКИХ ФОТОПОЛИМЕРНЫХ ПЕЧАТНЫХ ФОРМ**

В настоящее время флексографская печать является доминирующим способом печати на упаковочных материалах различной природы и назначения. Существенным фактором ее развития стало использование эластичных фотополимерных печатных форм. Однако постоянное расширение ассортимента печатной продукции предъявляет все новые требования к процессам их изготовления и эксплуатации, поскольку получение качественной печатной продукции обеспечивается высокими техническими параметрами печатных форм. В связи с этим возникла актуальная задача разработки нового способа по улучшению их эксплуатационных характеристик, так как все известные способы не устраняют имеющиеся недостатки. Среди них многофакторность основных процессов изготовления фотополимерных печатных форм и наличие так называемого растискивания – увеличения площади печатного элемента на оттиске относительно его площади, предусмотренной оригиналом.

Известно [1], что повышению печатно-эксплуатационных свойств рельефной растровой структуры печатной формы сопутствуют химико-физические методы модификации. Одним из вариантов интенсификации процессов сшивания полимерных материалов является физическое воздействие энергией ультразвуковых колебаний. Данный процесс основан на изменении структуры и свойств полимера и может выполняться на стадии обработки готовых печатных форм.

На основе использования ультразвуковой модификации разработан способ изготовления флексографских фотополимерных печатных форм [2]. Он включает общепринятые этапы [3], после чего проводится стадия ультразвуковой обработки. Особенностью способа является то, что ультразвуковое воздействие осуществляется локально, т. е. отдельно по зонам, на которые разбивается поверхность фотополимерного материала и которые требуют повышения прочностных параметров фотополимерного материала. Определение данных зон осуществляется исходя из анализа цифровых файлов каждой цветоделенной растрованной печатной формы, причем величина зоны выбирается таким образом, чтобы растровые структуры, находящиеся в ней, были близки по относительной площади растровой точки.

Процесс локальной избирательной ультразвуковой обработки флексографских печатных форм осуществляется на специально разра-

ботанной ультразвуковой установке [4], состоящей из двухполуволновой ультразвуковой колебательной системы на основе составного пьезоэлектрического преобразователя, генератора и механизма регулируемого нагружения, обеспечивающего плоскопараллельное перемещение рабочей поверхности инструмента и самовыставление ее по поверхности облучаемой печатной формы. Данная установка может быть использована для различных по твердости флексографских фотополимерных печатных форм. При этом, для получения повышенных эксплуатационных свойств печатных форм рекомендуемыми являются следующие технологические параметры: максимальная амплитуда колебаний 6–8 мкм, резонансная частота 20–22 кГц, интенсивность колебаний 1–2 Вт/см<sup>2</sup>, усилие прижатия рабочего инструмента 0,1–0,2 Н.

Для определения влияния ультразвукового воздействия на эксплуатационные характеристики флексографских форм проведены экспериментальные исследования модифицированных водовымывных флексографских печатных форм марки Toyobo Cosmolight QS толщиной 1,14 мм и твердостью 77 ед. по Шору А. Данный тип форм наиболее распространен при печати на гибкой упаковке и этикетке на белорусских типографиях. Износостойкость формного материала оценивалась по сопротивлению истирания при скольжении (ГОСТ 426-77), а плотность поперечного сшивания – методом равновесного набухания по стандартной методике. Полученные на основе статистического анализа результаты испытаний формных образцов позволили показать упрочнение структуры исходного полимерного материала печатных форм в 1,2–1,5 раза, а также установить эффективную продолжительность ультразвуковой обработки, которая составила для водовымывных флексографских форм Toyobo Cosmolight QS 7–9 мин.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Моисеенко, С. В. Пути модификации и повышения стабильности свойств фотополимерных печатных форм (ФПФ) / С. В. Моисеенко // КИИПТ УАП. – 2004. – № 52. – С. 145–148.
- 2 Способ изготовления цифровой фотополимерной флексографской печатной формы: пат. ВУ 19448 / С. А. Барташевич, С. К. Грудо, С. В. Медведев. – Оpubл. 30.08.2015.
- 3 Надирова, Е. Б. Цифровые технологии в формных процессах глубокой и флексографской печати / Е. Б. Надирова. – М.: Издат-во МГУП, 2006. – 72 с.
- 4 Устройство для ультразвуковой финишной обработки рабочих поверхностей флексографских печатных форм по зонам: полез. модель ВУ 10857 / С. А. Барташевич, С. К. Грудо, И. А. Лисицкий, С. А. Бутько. – Оpubл. 30.12.2015.

## МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫЙ ПРИВОД ЛИСТОРЕЗАЛЬНОЙ МАШИНЫ

Листорезальная ротационная машина 2ЛР2 – 120 предназначена для поперечной резки рулонной бумаги или картона на листы заданного формата с укладкой их в стопу. Состоит машина из двух частей: рулонной зарядки, в которую устанавливаются два рулона с возможностью их одновременной размотки, и основной части, включающей механизм резания барабанного типа, мерный механизм и приемно-выводное устройство. Ленточный материал в зону резания подается механизмом мерного цилиндра при натяжении с постоянной скоростью. Требуемое натяжение полотна обеспечивается регулируемым колодочным тормозом. Изменение длины отрезаемых листов производится изменением скорости вращения барабана с ножом за счет установки на приводном валу сменного зубчатого колеса с числом зубьев, соответствующим длине отрезаемого листа в сантиметрах.

Целью работы является повышение эффективности листорезальной машины за счет оснащения ее механизмов резального барабана и мерного цилиндра индивидуальными электроприводами с микропроцессорной системой управления. Ожидаемый экономический эффект обусловлен сокращением времени переналадки машины на требуемый формат отрезаемых листов; упрощением обслуживания и повышением точности реза за счет упрощения кинематической схемы.

В соответствии с техническими характеристиками, листорезальная машина должна обеспечить резку бумажной ленты на листы длиной 52–140 см с производительностью 20–180 рез/мин. При этом отклонения длины отрезаемых листов не должны превышать  $\pm 2$  мм. Поскольку требуется выкладка листов бумаги в ровную стопу, максимальная линейная скорость подачи рулонного материала не должна превышать 2,0 м/с.

В [1] приводится расчет статических нагрузок на валах мерного цилиндра и барабанного механизма резания, а также выбор электроприводов по мощности. Валы приводов данных исполнительных механизмов должны вращаться со строго заданным отношением скоростей, поддерживаемым с высокой точностью (для достижения допустимого отклонения длины отрезаемых листов  $\pm 2$  мм точность поддержания отношения скоростей должна достигать  $\pm 0,2\%$ ).

Для удовлетворения всем приведенным требованиям требуется разработка системы управления, обеспечивающей согласованную работу двух электроприводов с поддержанием требуемого отношения их

скоростей. В зависимости от требуемых длины отрезаемых листов и производительности машины должны автоматически определяться скорости соответствующих приводов. Для этого была разработана программа, учитывающая ограничения на максимальную скорость движения ленты с генерированием соответствующих запретов. Реализацию задания скоростей электроприводов предлагается осуществить на панели оператора Power Panel 100 фирмы V&R. Такая панель является одновременно центральным контроллером, устройством ввода данных (производительность, длина листа, интенсивность разгона рулона) и устройством визуализации и управления технологическим процессом. Панель с электроприводами соединяется по сети Ethernet.

Для повышения точности работы машины систему электропривода предлагается дополнить датчиком скорости ленты. Дополнительная обратная связь позволит компенсировать неконтролируемые проскальзывания бумаги на лентоведущих роликах и мерном цилиндре. В качестве такого датчика, например, предлагается использовать оптический датчик метки. Определяемое значение фактической скорости бумажной ленты используется в качестве сигнала задания для привода механизма резания.

Проверка работоспособности многодвигательного привода проводилась путем имитационного моделирования в программе Simulink пакета Matlab. Настройка регуляторов также проводилась при помощи данной модели. Так, в частности, при заданных длине листа 60 см и производительности машины 120 рез/мин определены требуемые скорость движения ленты (1,2 м/с), скорость ротора электропривода мерного цилиндра ( $89 \text{ с}^{-1}$ ) и отношение скоростей приводов механизма ножа и мерного цилиндра (1,055). При моделировании работы системы электропривода с указанными параметрами отклонение длины отрезаемых листов от заданного значения составляет  $\pm 0,1$  мм при паспортном значении  $\pm 2$  мм. Разработанная система многодвигательного привода листорезальной машины, обеспечивает требуемую величину соотношения скоростей исполнительных механизмов, не связанных механическими передачами. В результате точность резания превышает исходные паспортные значения, и значительно сокращается время настройки машины на требуемую длину отрезаемых листов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Анкуда, Д.А. Система управления «Электронный редуктор» для двухдвигательного электропривода листорезальной машины 2ЛР2–120. // Труды БГТУ. — 2014. — № 9: Издат. дело и полиграфия / БГТУ. — Минск, 2014. — С. 26—30.

УДК 676.273 : 676.017

В.В. Гораздова, асп.; Е.В. Дернова, доц. канд. техн. наук  
[v.gorazdova@narfu.ru](mailto:v.gorazdova@narfu.ru); [e.dernova@narfu.ru](mailto:e.dernova@narfu.ru) (Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия)

## **АНАЛИЗ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОП-ЛАЙНЕРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ПОКРОВНОГО СЛОЯ**

Среди тароупаковочных картонов выделяют две основные группы:

- материалы для изготовления потребительской тары (коробок, пачек и других видов упаковки) – коробочный картон;
- материалы для производства гофрированного картона – картон для плоских слоев (*linerboard* – картон-лайнер) и бумага для гофрирования (*corrugating medium* или *fluting* – флютинг) [1-3].

Картон-лайнер состоит из двух или более слоев и подразделяется на отдельные виды в зависимости от используемых при его производстве полуфабрикатов и внешнего вида покровного (наружного) слоя. Выделяют картон-лайнер естественного «коричневого» цвета (*brown*) с использованием в композиции только первичных полуфабрикатов – сульфатной небеленой целлюлозы и полуцеллюлозы (*kraftliner*) либо с использованием вторичного макулатурного сырья (*recycled* или *testliner*). Причем в последнем случае применяют преимущественно макулатуру из отработанной картонной тары, имеющую собственное условное обозначение *OCC* (*old corrugated containers*).

Также производят картон-лайнер с белым покровным слоем (*white top liner*) и небольшое количество мелованного лайнера (*coated white top liner*). В качестве полуфабрикатов для покровного слоя применяются беленая хвойная или лиственная целлюлоза либо их смесь [4, 5].

Задача формирования композиций по волокну, обеспечивающих оптимальное сочетание жесткости, прочности и внешнего вида тарного картона, в настоящее время остается актуальной, поскольку предприятия зачастую ограничены в выборе полуфабрикатов, их качестве и в затратах на производство готовой продукции.

В данной работе проведено исследование влияния композиции покровного слоя макулатурного картона-лайнера с белым покровным слоем на его физико-механические характеристики.

Для моделирования образцов картона использовали следующие полуфабрикаты:

- макулатуру марки МС-5Б (М);
- беленую химико-термомеханическую массу (БХТММ);



– сульфатную беленую лиственную целлюлозу из смеси древесины осины и березы (ЛЦБ);

– эвкалиптовую беленую целлюлозу (ЭЦБ).

На предварительном этапе эксперимента в качестве фактора, воздействующего на свойства волокон полуфабрикатов, использовали размол в лабораторной мельнице Йокро при концентрации 6 % в диапазоне изменения степени помола от исходной до 60 °ШР.

После изготовления образцы полуфабрикатов массой 1 м<sup>2</sup> 125 г подвергали кондиционированию в стандартных условиях и последующим физико-механическим испытаниям с определением таких показателей как: толщина ( $\delta$ ), разрывная длина ( $L$ ), удельное сопротивление разрыву ( $P_{y\delta}$ ), сопротивление сжатию на коротком расстоянии ( $SCT$ ), сопротивление плоскостному сжатию ( $СМТ$ ), разрушающее усилие при сжатии кольца ( $RCT$ ), сопротивление продавливанию ( $И$ ), белизна ( $B$ ).

На рисунке 1 представлены основные результаты физико-механических испытаний.

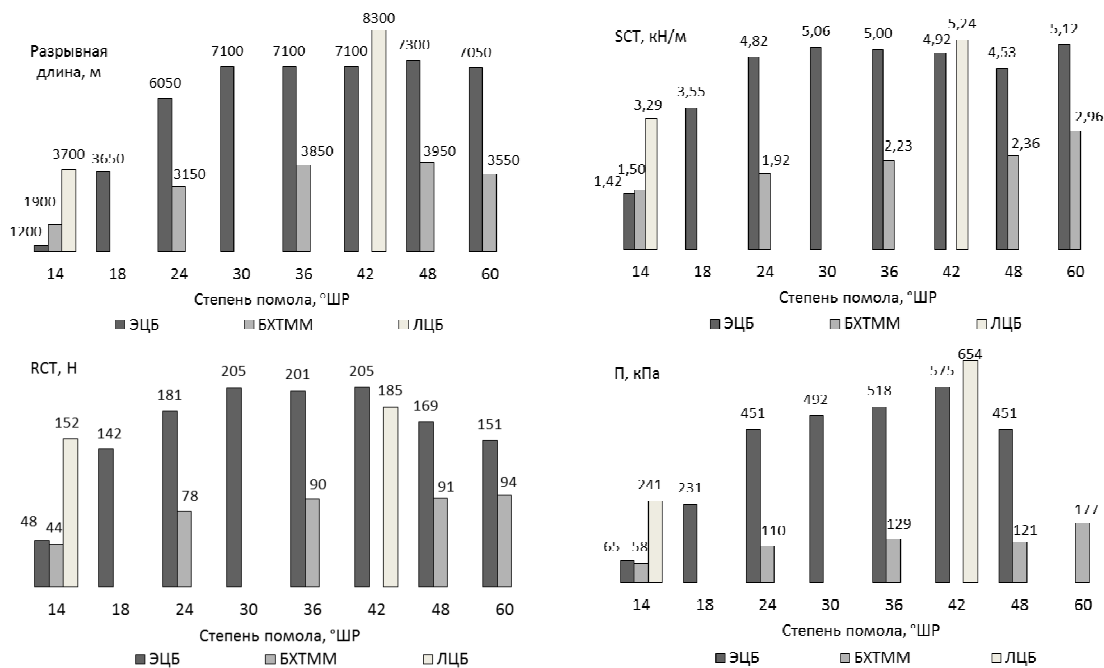
На основании предварительного эксперимента были выбраны оптимальные значения степени помола полуфабрикатов: макулатуры – 30°ШР, БХТММ – 40°ШР, лиственной белой целлюлозы – 40°ШР и эвкалиптовой белой целлюлозы – 30 °ШР. При указанных значениях разработки волокон в достаточной степени раскрывается бумагообразующий потенциал исследуемых полуфабрикатов. Дальнейшее повышение степени помола массы хотя и вызывает некоторое повышение отдельных характеристик лабораторных образцов, однако и требует увеличения производственных затрат.

Выбранная оптимальная степень помола полуфабрикатов была использована для дальнейшего моделирования двухслойных образцов картона при соотношении основного и покровного слоев 70:30.

При этом рассматривали 4 варианта композиции покровного слоя по волокну:

1. Макулатура марки МС-5Б 100 % (контрольный вариант);
2. БХТММ 100 %;
3. БХТММ : ЛЦБ = (75 : 25) %;
4. БХТММ : ЭЦБ = (75 : 25) %.

Композиция основного слоя во всех партиях образцов состояла из 100 % макулатуры марки МС-5Б.



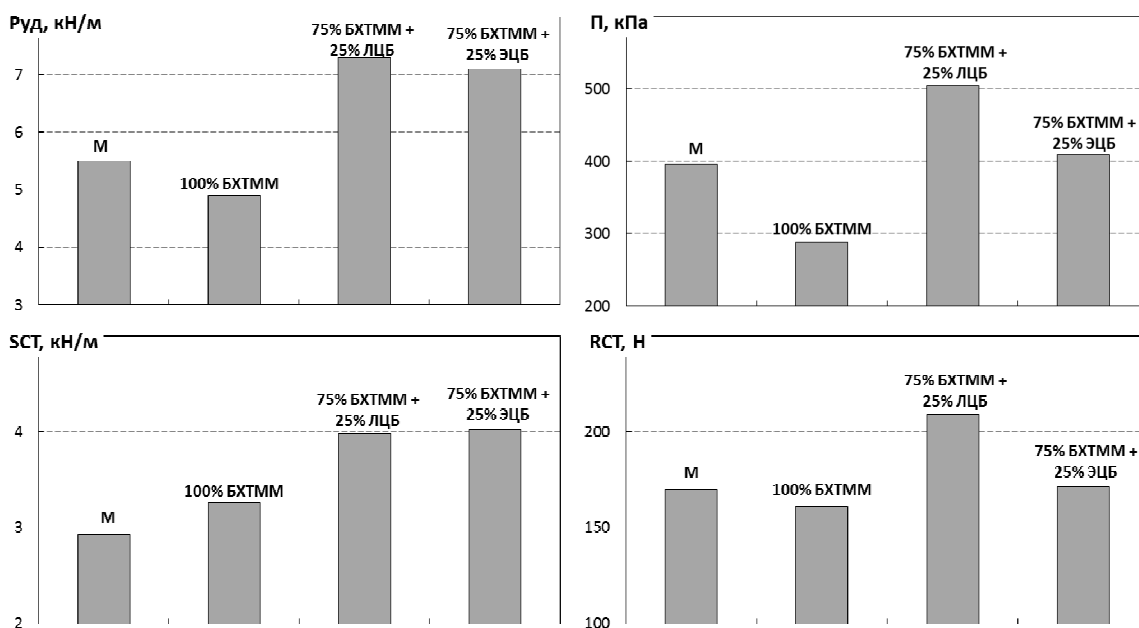
**Рисунок 1 – Физико-механические характеристики беленых полуфабрикатов в зависимости от их степени помола**

Результаты эксперимента представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

**Таблица 1 – Физико-механические характеристики лабораторных образцов двухслойного картона-лайнера**

Композиция покровного слоя	$\delta$ , мкм	$P_{уд}$ , кН/м	SCT, кН/м	RCT, Н	П, кПа	Б, %
Макулатура	200	5,5	2,93	170	400	-
100% БХТММ	207	4,9	3,27	160	290	58
75% БХТММ + 25% ЛЦБ	183	7,3	3,98	210	500	47
75% БХТММ + 25% ЭЦБ	186	7,1	4,03	170	410	59

Экспериментальные данные свидетельствуют, что добавка в композицию двухслойного макулатурного картона-лайнера первичных полуфабрикатов закономерно обеспечивает прирост значений отдельных физико-механических показателей. Исключение составляет вариант, в котором композиция покровного слоя изготавливалась из 100 % белой ХТММ – полуфабриката, полученного путем механического разделения древесины на волокна, и, следовательно, имеющего наименьшую длину и максимальную грубость волокон. В частности, уровень прочностных характеристик образцов (сопротивления продавливанию и разрыву) по сравнению с контрольным вариантом снизился на 27 и 11 % соответственно.



**Рисунок 2 – Физико-механические характеристики лабораторных образцов двухслойного картона-лайнера**

Комплекс физико-механических характеристик образцов картона-лайнера, содержащего в композиции покровного слоя смесь БХТММ и белой лиственной целлюлозы, показал наивысшие значения исследуемых характеристик прочности и сопротивления сжатию. Так, замена лишь 25 % БХТММ в композиции покровного слоя на беленую лиственную целлюлозу нормального выхода приводит к повышению сопротивления продавливанию на 27 %, удельного сопротивления разрыву – на 33 %, *SCT* – на 36 % и *RCT* – на 23 %.

При замене лиственной белой целлюлозы на эвкалиптовую (в тех же пропорциях с БХТММ в массе покровного слоя) отмечено снижение сопротивления продавливанию (*П*) и сжатию кольца (*RCT*) на 19 и 18 % соответственно.

Вместе с тем, уровень значений таких показателей, как удельное сопротивление разрыву и сопротивление сжатию по методу *SCT* сопоставим для двух обсуждаемых образцов.

Кроме того, применение в композиции картона белой эвкалиптовой целлюлозы приводит к повышению еще одного важного потребительского свойства для топ-лайнера - белизны покровного слоя, которая в данном случае возросла на 12 %.

Таким образом, продемонстрирована возможность направленного варьирования композиции макулатурного картона с белым покровным слоем с целью прогнозирования и достижения заданных потребительских свойств.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Комаров В.И., Лигутина Т.Ф. Лабораторная оценка физико-механических свойств сульфатной небеленой целлюлозы // Изв. вузов. Лесн. журн. – 1985. – №6. – С. 85 – 90.
- 2 Пузырев С.С., Виролайнен Э.В., Поляков Ю.А., А.М. Кряжев. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. I. Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 3. Производство полуфабрикатов. – СПб.: Политехника, 2004. – 316 с.
- 3 Дулькин Д.А, Спиридонов В.А., Комаров В.И., Блинова Л.А. Свойства целлюлозных волокон и их влияние на физико-механические характеристики бумаги и картона; под ред. Комарова В.И. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет, 2011. – 176 с.
- 4 Бабаевский П.Г., Кулик С.Г. Трещиностойкость отвержденных полимерных композиций. – М.: Химия, 1991. – 336 с.
- 5 Пейдж Д. Теоретические исследования механизма сопротивления разрыву бумаги при растяжении // Таррi. – 1969. – № 4. – С. 674–681.

УДК 676.017.2

А.Н. Романова, асп. [anastasiaromanov@gmail.com](mailto:anastasiaromanov@gmail.com);

Я.В. Казаков, доц., д-р техн. наук

[j.kazakov@narfu.ru](mailto:j.kazakov@narfu.ru) (С(А)ФУ имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск)

### **ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМОВАНИЯ АНИЗОТРОПНЫХ ОБРАЗЦОВ НА ДЕФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ БУМАГИ**

Бумага обладает сложной композицией структурных элементов, которая включает волокна различной природы, размеров, формы и обработки, а также вспомогательные вещества. Структуре бумаги присуща анизотропия распределения, ориентации и взаимодействия структурных элементов в объеме листа, главным образом растительных волокон, связанная с особенностями технологии. Взаимодействия структурных компонентов определяют наличие связей, возникающих между ними в процессе изготовления бумажного листа, что во многом обуславливает механические и другие свойства бумаги.

Анизотропия структуры бумаги формируется при отливе бумажного полотна, и напрямую связана с морфологическими особенностями строения элементов структуры, а также технологическим факторами процесса, техническими характеристиками используемого оборудования и пр [1]. Направленное регулирование анизотропии бумаги за счет варьирования параметров отлива открывает путь к оптимизации деформационных и прочностных свойств бумаги.

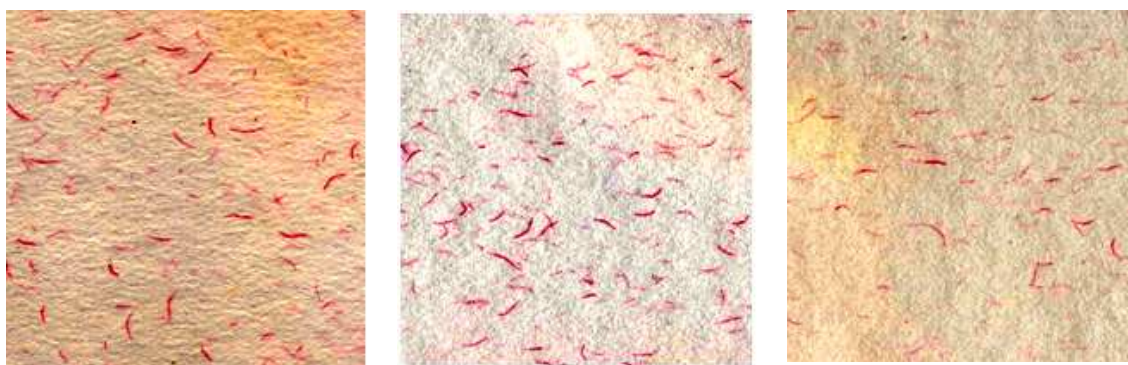
В проведенном эксперименте по влиянию параметров отлива на свойства бумаги, изготовление образцов производилось в ИТЦ «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» САФУ (г.Архангельск) на лабораторном комплексе (TechPap, Франция), который включает динамический листоотливной аппарат (ДЛОА), пресс с регулируемой нагрузкой и устройство контактной сушки с регулируемой температурой [1]. Комплекс дает возможность моделировать, изготавливать и исследовать волокнистые структуры с регулируемой степенью анизотропии и позволяет максимально приблизить свойства получаемых образцов бумаги и картона к продукции БДМ и КДМ при скорости движения формующей сетки ДЛОА от 700 до 1300 м/мин.

При работе на листоотливном аппарате могут быть изменены ряд параметров формования, среди которых регулирование скорости сетки и нагнетания волокнистой массы, выбор форсунки с различным диаметром напускного отверстия. Регулирование этих параметров с учетом композиции по волокну позволяет получить лабораторные образцы с различной анизотропией структуры. Параметры отлива, использованные для изготовления лабораторных образцов из сульфатной хвойной и лиственной блененной целлюлозы со степенью помола 30°ШР с высокой, средней и низкой анизотропией приведены в таблице 1. Получены отливки массой 90 г/м<sup>2</sup> и размерами 245×900 мм.

**Таблица 1 – Параметры отлива при изготовлении опытных образцов на динамическом листоотливном аппарате**

Фактор	Регулируемый параметр	Величина параметра для режима		
		1	2	3
Скорость сетки	Окружная скорость формующей сетки ДЛОА, $v$ , м/мин	800	950	1200
Скорость струи (давление струи)	Обороты насоса, подающего массу на сетку, $p$ , об/мин	1400	1200	600
Диаметр форсунки	Типоразмер форсунки, $d$	2504	2510	2504
Анизотропия	Анизотропия	min	med	max

Визуально степень анизотропии можно оценить по степени ориентации окрашенных волокон, введенных в композицию бумаги при отливе. Изображения полученных анизотропных образцов, изготовленных из хвойной целлюлозы, приведены на рис.1. Последующий визуальный анализ окрашенных волокон позволяет количественно оценить степень ориентации и геометрические параметры волокон в структуре бумаги [2].



*a*

*б*

*в*

**Рисунок 1 – Сканированные изображения анизотропных отливок из хвойной целлюлозы с частично окрашенными волокнами, полученные по режимам: *a* – «min»; *б* – «med»; *в* – «max»**

Степень анизотропии жесткости при растяжении измерена посредством ультразвукового тестера L&W TSO SE 150. Были определены характеристики:  $TSI_{MD}$  – индекс жесткости при растяжении в машинном направлении;  $TSI_{CD}$  – индекс жесткости при растяжении в поперечном машинному направлении;  $TSI_{MD/CD}$  – соотношение индексов жесткости в машинном и поперечном направлении, таблица 2.

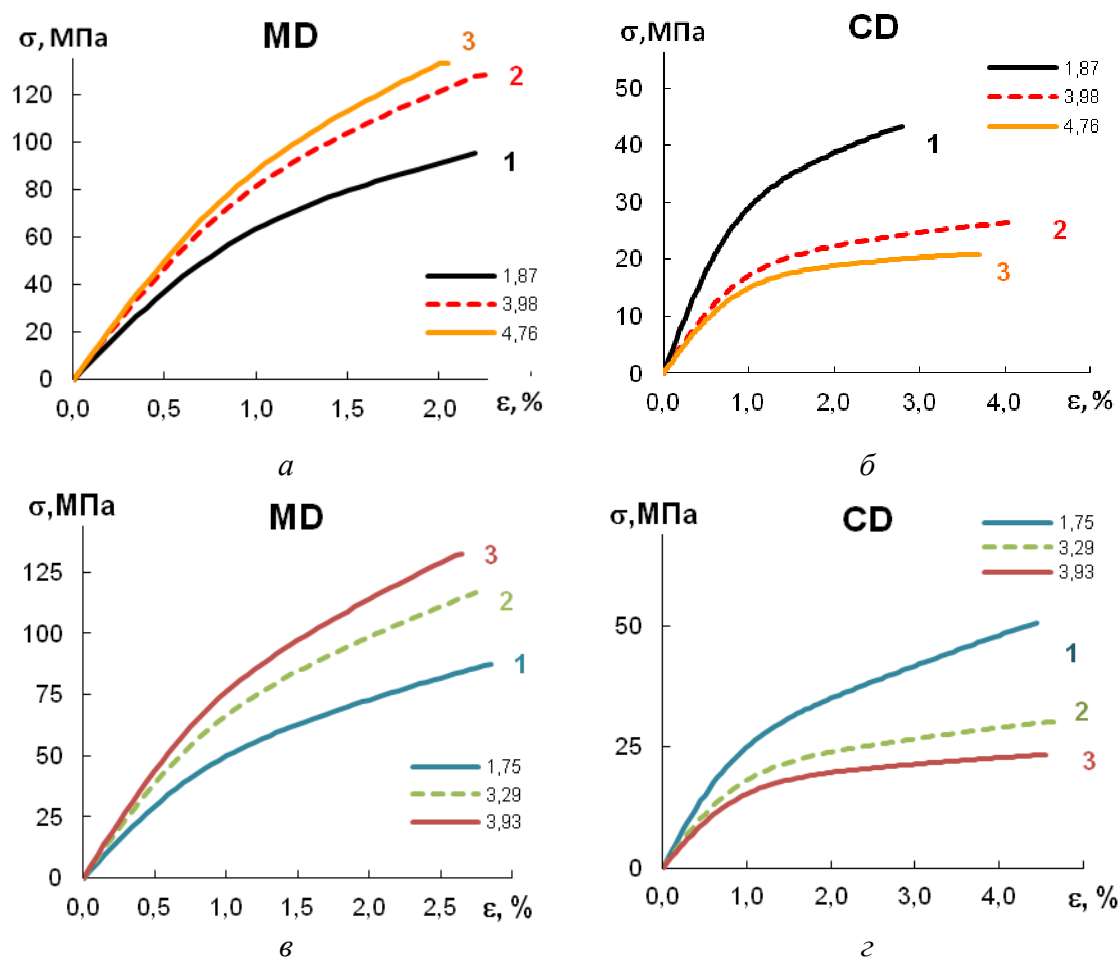
**Таблица 2 – Сравнение характеристик полученных лабораторных отливок с минимальной, средней и максимальной анизотропией**

Характеристика	Лиственная целлюлоза			Хвойная целлюлоза		
	1 (min)	2 (med)	3 (max)	1 (min)	2 (med)	3 (max)
Характеристики анизотропии жесткости при растяжении $TSI$ , кН·м/г						
$TSI_{MD}$	15,1	20,1	21,4	13,6	18,4	19,73
$TSI_{CD}$	8,1	5,0	4,5	7,8	5,6	5,0
$TSI_{MD/CD}$	<b>1,87</b>	<b>3,98</b>	<b>4,76</b>	<b>1,75</b>	<b>3,29</b>	<b>3,93</b>
Физические характеристики						
Масса 1 м <sup>2</sup> , г	84,9	89,7	87,1	82,4	89,6	89,8
Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	0,80	0,75	0,77	0,74	0,72	0,74
Индекс формования $I_{\phi}$ ,	38,8	33,7	32,7	50,2	42,3	46
Степень ориентации волокна, $\lambda$	0,516	0,610	0,715	0,511	0,601	0,636

Результаты однозначно подтверждают различную степень анизотропии по жесткости при растяжении лабораторных образцов, которая составляет для лиственной целлюлозы от 1,87 до 4,76, для хвойной от 1,75 до 3,93. При увеличении степени анизотропии, неоднородность структуры отливок, оцениваемой по индексу формования, снижается, что связано с повышением степени ориентации волокна  $\lambda$ , измеренной по методике [2].

Оценка деформационных свойств при растяжении с получением и математической обработкой зависимости «напряжение-деформация» ( $\sigma$ – $\epsilon$ ), проводилась на лабораторном испытательном комплексе, включающем разрывную машину «ТЕСТ СИСТЕМА 101» и ПЭВМ по методике [3] с применением программного обеспечения [4].

На рис. 2 представлены кривые «напряжение-деформация» для лабораторных образцов бумаги с различной степенью анизотропии.



**Рисунок 2 – Кривые «напряжение-деформация» для образцов из сульфатной беленой лиственной (а,б) и хвойной (в,г) целлюлозы с различной степенью анизотропии по TSI: а, в – машинное направление, MD; б, г – поперечное машинному направлению, CD; 1 – режим «min»; 2 – «med»; 3 – «max»**

При увеличении степени анизотропии, кривые  $\sigma$ – $\epsilon$  для образцов в машинном направлении идут выше (повышается прочность), с большей крутизной (повышается жесткость), но при этом уменьшается их длина (снижается растяжимость). В поперечном направлении наоборот, при увеличении степени анизотропии, кривые идут ниже, и

длина их больше. Таким образом, наглядно демонстрируется изменение характера деформирования бумаги при растяжении, что отражается на величинах деформационных и прочностных характеристик. Обнаружено, что при одинаковых параметрах отлива, степень анизотропии образцов из лиственной целлюлозы выше, чем из хвойной, что связано с размерами волокон и их способностью к ориентации в движущейся водной суспензии.

При увеличении степени анизотропии  $TSI_{MD/CD}$ , в машинном направлении наблюдается рост деформационных и прочностных характеристик образцов, а в поперечном направлении происходит снижение деформационных и прочностных показателей.

При этом анизотропия прочности при растяжении (2,22...6,27 для лиственной и 1,73...5,82 для хвойной целлюлозы) существенно выше, чем по жесткости  $TSI$ , определяемой ультразвуковым методом. Поэтому при оптимизации режима отлива нужно учитывать одновременное и разнонаправленное изменение свойств бумаги в машинном и поперечном направлении.

Таким образом, использование динамического листоотливного аппарата позволяет установить зависимость условий формования анизотропной структуры на степень анизотропии по упругим и разрушающим характеристикам бумаги и количественно оценить влияние степени анизотропии на величины деформационных и прочностных свойств лабораторных образцов.

*Работа выполнена в инновационно-технологическом центре  
«Современные технологии переработки биоресурсов Севера»  
(Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова)  
при финансовой поддержке Минобрнауки России»*

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Казаков Я.В. Структура и свойства лабораторных анизотропных образцов целлюлозно-бумажных материалов. / Целлюлоза. Бумага. Картон. 2013. №6. С. 56–60.
- 2 Романова А.Н., Казаков Я.В. Измерение степени ориентации волокна в анизотропной структуре бумаги / В сб. «Актуальные проблемы метрологического обеспечения научно-практической деятельности» Матер. Всерос. научн.-техн. конфер. молодых ученых, аспирантов и студентов (21–23 ноября 2016 г.) // Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. Архангельск: САФУ, 2016. С. 219–227.
- 3 Комаров В.И., Казаков Я.В. Анализ механического поведения целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей нагрузки / Лесной вестник МГУЛ. 2000. №3 (12). С. 52–62.



4 Свид. № 2001610526. Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Программное обеспечение лабораторного испытательного комплекса для оценки деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов (КОМПЛЕКС). / 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.

5 Казаков Я.В., Романова А.Н., Чухчин Д.Г. Влияние анизотропии ориентации волокна на деформационные свойства бумаги / В сб. «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов»: материалы III Международ. науч.-техн. конф. (Архангельск, 9–11 сентября 2015 г.) // Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. Архангельск: САФУ, 2015. С. 298–303.

УДК 676.2.004.12

А.С. Смолин, проф., д-р техн. наук  
[smolin@gturp.spb.ru](mailto:smolin@gturp.spb.ru) (СПбГУПТиД, г. Санкт-Петербург)

### **ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ КАРТОНА-ЛАЙНЕРА**

Специалистам, работающим в области тароупаковочных материалов на основе растительных волокон, хорошо известно, что прочность и жесткость материалов – это различные понятия. Прочность материала определяется напряжением, необходимым для того, чтобы этот материал разрушить. При оценке качества целлюлозно-бумажных материалов наиболее значимым является испытание на растяжение.

При этом допускается определение прочности по трем связанным между собой, различным характеристикам: разрушающему усилию  $P$ , в ньютонах (Н), разрывной длины  $L$  в метрах (м), пределу прочности при растяжении  $\sigma$ , в мегапаскалях (МПа). Показатели  $L$  и  $\sigma$  являются расчетными, зависящими от массы  $1\text{ м}^2$  и площади поперечного сечения образца бумаги или картона. Для потребителя продукции важнее разрушающее усилие  $P$ , характеризующее прочность конкретного вида бумаги или картона. Для картона-лайнера в стандартах и технических условиях чаще всего используется показатель сопротивления продавливанию  $P$ , в килопаскалях (кПа). Абсолютное сопротивление продавливанию также характеризует прочность конкретного вида продукции и, в зависимости от различных технологических факторов, изменяется симбатно с разрушающим усилием. Кроме того, сопротивление продавливанию в большей степени, чем нагрузка при растяжении, соответствует реальным воздействиям на картон-лайнер в процессе эксплуатации.

Жесткость определяет реологические свойства материала, относящиеся к линейно-упругим деформациям. Жесткость картона-лайнера относится к его деформационным характеристикам наряду с разрушающим усилием при сжатии кольца RCT, (Н) и сопротивлением сжатия короткого участка образца SCT (кН/м). [1]

Наиболее значимой характеристикой картона-лайнера, обеспечивающей во многом каркасность и штабелируемость гофроящика, является жесткость при изгибе. Гофрокартон и ящики из него при внешних нагрузках испытывают главным образом деформацию изгиба боковых стенок ящика, проявляющегося в виде вертикальных и горизонтальных линий излома, изгиба стенок, деформации углов между вертикальными стенками. Чем выше жесткость при изгибе, тем выше каркасность ящика и способность сопротивляться вышеуказанным деформациям [2].

Жесткость при изгибе определяется произведением модуля упругости материала  $E$  и момента инерции  $I$ . В случае прямоугольного сечения, как у картона

$$I = \frac{b\delta^3}{12}, \quad (1)$$

где  $b$  – ширина образца,  $\delta$  - толщина образца.

Модуль упругости  $E$  определяется из кривой зависимости «напряжение-деформация» ( $\sigma$ - $\varepsilon$ ), получаемой путем обработки диаграммы «нагрузка-удлинение» ( $P - \Delta l$ ) при статистических испытаниях на растяжение [1]. Единица измерения  $E$  – мегапаскаль (МПа). Жесткость при изгибе

$$EI = E \cdot \frac{b\delta^3}{12}, \text{ (МН}\cdot\text{см}^2) \quad (2)$$

Практически чаще всего  $EI$  определяется на приборе ЖБИ – 1 и модуль упругости находится из формулы (3)

$$E = \frac{EI \cdot 12}{b\delta^3}, \text{ (МПа)} \quad (3)$$

Для производства картона-лайнера на основе первичных волокнистых полуфабрикатов (крафт-лайнера) используется, как правило сосновая небеленая сульфатная целлюлоза высокого выхода (54–56%) с содержанием лигнина 10–12%. Степень делигнификации такой целлюлозы 52–55 ед. Каппа, и подобный полуфабрикат определяется как жесткая целлюлоза. Ранее степень делигнификации оценивалась напрямую в единицах жесткости ( $^0$  Бьеркмана). Очевидно, следует предполагать, что совпадение терминов (жесткость целлюлозы – жест-

кость волокон – жесткость картона – жесткость гофроящика) не может быть случайным и характеризует определенные свойства материала.

Волокна, состоящие из целлюлозы с высоким содержанием лигнина, безусловно, будут более жесткими, менее гибкими и пластичными, чем волокна из целлюлозы нормального выхода. Лигнин является трехмерным сетчатым термопластичным полимером. Пластификация лигнина – переход из застеклованного в высокоэластическое состояние – происходит при температуре свыше 130<sup>0</sup>С (во влажных образцах – от 80 до 130<sup>0</sup>С) [3]. Это означает, что в лигнофицированных волокнах (сульфатная целлюлоза высокого выхода, нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза) лигнин в процессе производства картона находится в застеклованном состоянии, что и определяет жесткость таких волокон и значительно снижает их способность к межволоконному связеобразованию.

**Таблица 1 – Влияние степени делигнификации сульфатной небеленой хвойной целлюлозы на ее свойства [1]**

Степень делигнификации, ед. Каппа	39,1	48,0	51,8	58,0
Нулевая разрывная длина $L_0$ , м	1150	1260	3260	2640
Сопротивление продавливанию, $\Pi$ , кПа	156	236	341	238
Модуль упругости, $E$ , МПа	2540	3310	5000	4150
Жесткость при изгибе, $EI$ , мН·см <sup>2</sup>	96	109	144	124

Представленные в таблице 1 образцы в соответствии со степенью делигнификации являются жесткой сульфатной небеленой целлюлозой и целлюлозой высокого выхода ЦВВ (выход образцов 50–56%). Определялись показатели неразмолотых образцов.

Нулевая разрывная длина  $L_0$  является косвенной характеристикой прочности волокон. Чем мягче условия варки и, соответственно, выше число Каппа, менее разрушены волокна целлюлозы, что и показано в таблице 1. Снижение  $L_0$  для образца с числом Каппа 58 связано с необходимостью полумассного размола для ЦВВ.

Модуль упругости  $E$  и сопротивление продавливанию  $\Pi$  отражают прочность материала, которая зависит от прочности волокон и межволоконных связей. В отсутствии размола межволоконные связи

слаборазвиты, поэтому показатели Е и П определяются прочностью волокон. Жесткость при изгибе EI связана с величиной модуля упругости E [1].

Таким образом, исходя из роли лигнина в формировании прочности и жесткости лигнофицированных волокон и данных таблицы 1, следует считать установленным, что жесткость целлюлозы (химический показатель), жесткость и прочность волокон (физико-химическая характеристика) во многом определяют свойства образцов бумаги и картона (физико-механические показатели).

В таблице 2 представлено изменение основных показателей для образца ЦВВ (число Каппа 57) в зависимости от степени помола.

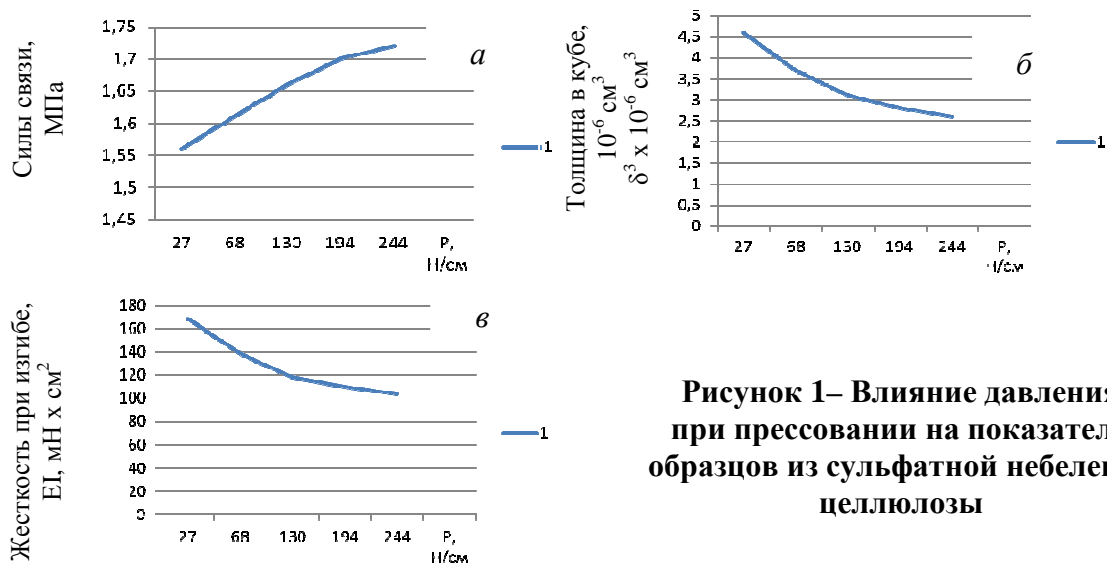
Увеличенное значение нулевой разрывной длины по сравнению с таблицей 1 связано с использованием стандартных, а не специальных зажимов. Из данных таблицы 2 хорошо прослеживается влияние на модуль упругости и сопротивление продавливанию сил связи (в отличие от таблицы 1), а также влияние пухлости (т.е. толщины) на жесткость при изгибе.

**Таблица 2 – Влияние процесса размола ЦВВ на прочностные и деформационные (жесткостные) показатели [1]**

Степень помола ° ШР	13	17	20	25	30
Нулевая разрывная длина, $L_0, м$	7150	10290	11090	9800	9950
Пухлость V, $см^3/г$	2,58	1,54	1,43	1,45	1,31
Силы связей $F_{св}, МПа$	0,154	0,994	1,203	1,351	1,653
Сопротивление продавливанию П, кПа	26	351	412	396	475
Модуль упругости E, МПа	1320	5600	7910	6150	9830
Жесткость, EI, $мН·см^2$	96	104	83	76	77

Так, жесткость при изгибе неразмолотой целлюлозы при низком модуле упругости достаточно велика за счет толщины образца (см. формулы (1), (2)). Данные таблицы 2 также показывают, что оптимальным для прочности является степень помола 25–30°ШР, для жесткости – 17–20°ШР. Как правило, выбирают среднее, но это отличная иллюстрация различия в понятиях прочности и жесткости картона-лайнера.

Влияние линейного давления в прессовой части КДМ на прочность и жесткость образцов из сульфатной небеленой целлюлозы представлено на рис. 1.



**Рисунок 1– Влияние давления при прессовании на показатели образцов из сульфатной небеленой целлюлозы**

Показано, что незначительно увеличиваются силы связи (лигнин мешает) и значительно снижается жесткость, главным образом из-за снижения толщины [4]. При этом хорошо известно, что прочность (сопротивление продавливанию) закономерно возрастает с увеличением интенсивности прессования. Практикам-бумажникам хорошо известно, что если есть запас по сопротивлению продавливанию, то для увеличения сопротивления плоскостному сжатию (для флютинга) и росту сжатия по кольцу и на коротком расстоянии следует немного разгрузить мокрые пресса.

В настоящее время в секторе гофро материалов российской ЦБП объемы производства крафт-лайнера и тест-лайнера практически одинаковы. При этом они достаточно различны композиционно. Крафт-лайнер, в зависимости от предприятия, содержит 60-100 % жесткой сульфатной целлюлозы и 0-40% нейтрально-сульфитной лиственной полуцеллюлозы. Тест-лайнер содержит в основном 100% ящичной макулатуры, в редких случаях до 20% свежего волокна сульфатной небеленой хвойной целлюлозы либо химико-термомеханической массы. Ящичная макулатура МС-5Б имеет сложный состав, однако в основе непременно волокна сульфатной хвойной небеленой целлюлозы и полуцеллюлозы, нейтрально-сульфитной лиственной либо бисульфитной хвойной, так как в состав ящичной макулатуры помимо картона-лайнера входит флютинг, имеющий свои композиционные особенности. В связи с этим в макулатуре МС-5Б больше полуфабрикатов высокого выхода (полуцеллюлозы), чем в композиции крафт-лайнера. По-

этому в тест-лайнере волокна более лигнофицированные, однако, следует учитывать явление цикличности вторичных волокон.

В процессе нескольких циклов переработки волокна деструктируются, меняется их гидратация, пластичность, способность к межволоконному связеобразованию. Таким образом, существует необходимость оценки формирования показателей прочности и жесткости для тест-лайнера на основе вторичного волокна.

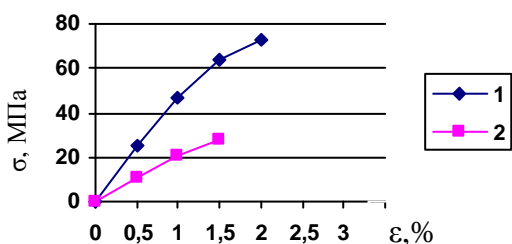


Рисунок 2 – Кривые зависимости « $\sigma$ -  $\epsilon$ »  
1- СФА хв. н/ б;  
2 - макулатура МС-5

На рис. 2 представлены кривые зависимости «напряжение-деформация» для образцов крафт-лайнера и тест-лайнера. Налицо существенное различие по модулю упругости в пользу крафт-лайнера [5].

На рис. 3 (а, б) показано влияние цикличности использования вторичного волокна на основе сульфатной хвойной небеленой целлюлозы на фундаментальные показатели – прочность волокон, выраженную через  $L_0$  и силы связи, что характеризует существенные различия в формировании показателей материалов из свежего и вторичного волокна [6].

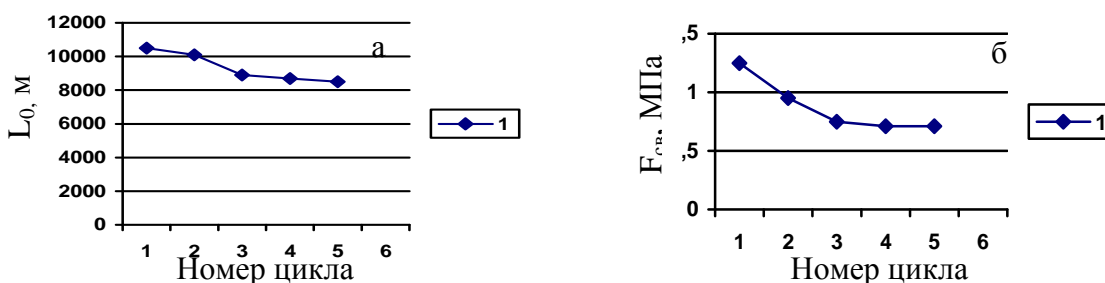
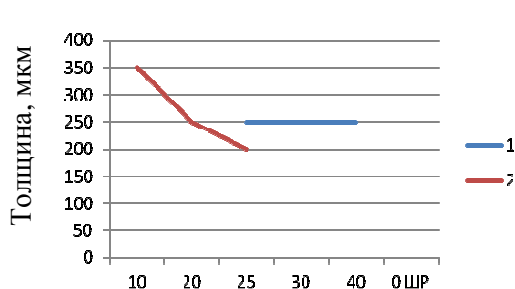


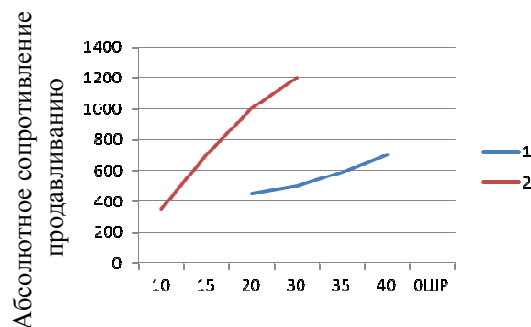
Рисунок 3 – Влияние количества циклов повторной переработки на нулевую разрывную длину ( $L_0$ , м) (а) и силы связи ( $F_{св}$ , МПа) между волокнами (б)

На рис. 4–6 представлены изменения показателей прочности и жесткости в зависимости от степени помола для макулатуры МС-5Б и сульфатной хвойной небеленой целлюлозы. Анализ кривых показывает существенное различие в формировании показателей – гораздо более высокий уровень прочности сульфатной небеленой целлюлозы по сравнению с макулатурой МС-5Б что естественно, и практически противоположное развитие жесткости при изгибе от степени помола, а такие вполне сравнимые цифровые значения этого показателя. Иными способами, жесткие макулатурные волокна обеспечивают жесткость

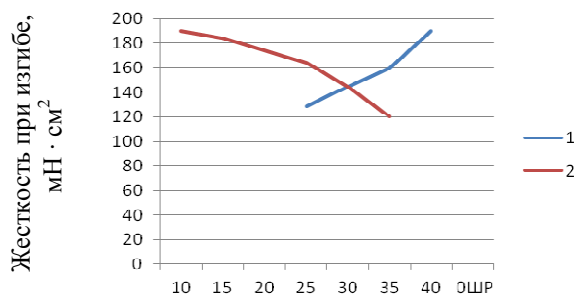
картона, но значительно уступают целлюлозным волокнам по прочности волокон и межволоконному связеобразованию.



**Рисунок 4 – Влияние степени помола на толщину: 1 –сульфатная хвойная небеленая целлюлоза; 2 – макулатура МС-5Б**



**Рисунок 5 – Влияние степени помола на абсолютное сопротивление продавливанию: 1 –сульфатная хвойная небеленая целлюлоза; 2 – макулатура МС-5Б**



**Рисунок 6 – Влияние степени помола на жесткость при изгибе: 1 –сульфатная хвойная небеленая целлюлоза; 2 – макулатура МС-5Б**

### Заключение

Исходя из вышеизложенного, представляется возможность сформулировать следующие выводы.

1. Прослеживается достаточно тесная связь между жесткостью целлюлозы, жесткостью волокон, жесткостью картона-лайнера и жесткостью гофрокартона и гофротары, во многом определяемая наличием лигнина в материалах.

2. Установлены существенные различия в формировании показателей прочности и деформативности (жесткости) картона-лайнера и разноплановость изменения этих показателей в зависимости от основных технологических процессов.

3. Сравнительный анализ показателей крафт-лайнера и тест-лайнера подтверждает значительное преимущество крафт-лайнера по

прочности и близкие значения жесткости крафт-лайнера и тест-лайнера.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Комаров В.И. Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов /В.И. Комаров – Архангельск: АГТУ, 2002. – 440 с.

2 Исаев Б.П. Прогнозирование жесткости гофрощиков при эксплуатации / Б.П. Исаев. // Packaging. 2009. – №3 (22). – С. 37–41.

3 Азаров В.И. Химия древесины и синтетических полимеров /В.И. Азаров, А.В. Буров, А.В. Оболенская – Санкт-Петербург: «Лань», 2010. – 627с.

4 Комаров В.И. Механика деформирования целлюлозных та-роупаковочных материалов В.И. Комаров, А.В. Гурьев, В.П. Елькин – Архангельск: АГТУ, 2002. – 170 с.

5 Комаров В.И. Формирование свойств тест-лайнера в процес-се производства / В.И. Комаров, М.Н. Яблочкин, Д.А. Дулькин, И.Н. Ковернинский – Архангельск: АГТУ, 2005. – 161 с.

6 Кулешов А.В. Изменение основных характеристик целлю-лозных волокон, при их циклическом использовании/А.В. Кулешов, А.С. Смолин, В.И. Комаров, Я.В. Казаков // Целлюлоза, бумага, кар-тон. 2008. – №3 – С. 48–50.

УДК 676.1.054.1

Д.В. Иванов<sup>1</sup> [ivanov.dv.sib@mail.ru](mailto:ivanov.dv.sib@mail.ru);

Н.А. Петрушева<sup>2</sup>, доц., канд. техн. наук [petrusheva-n@mail.ru](mailto:petrusheva-n@mail.ru);

Ю.Д. Алашкевич<sup>3</sup>, член-корр. РАО, проф., д-р техн. наук

(<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия  
ГПС МЧС России, г. Железногорск; <sup>2</sup>филиал СибГАУ в г. Лесосибирске;

<sup>3</sup>СибГАУ, г. Красноярск, Россия)

### **ВЛИЯНИЕ РИСУНКА ГАРНИТУРЫ НА СВОЙСТВА ВОЛОКНИСТОЙ МАССЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ С ПОНИЖЕННОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТЬЮ**

Теоретические и экспериментальные исследования по вопросам снижения пожарной опасности древесных плит, ведутся в нашей стране и за рубежом уже на протяжении шестидесяти лет [1 - 4]. За это время были разработаны и предложены различные способы снижения пожарной опасности древесноволокнистых плит[1, 3, 4], наи-более эффективным из которых является направленный на равномер-



ное распределение антипирена в объеме материала. Однако простое введение эффективных антипиренов в технологию изготовления древесноволокнистых плит с пониженной пожарной опасностью мокрым способом не позволяет получить плиты с физико-механическими показателями на уровне требований стандарта [1, 4]. Преодолеть данный недостаток можно включением антипирена в механизм образования плиты. Для этого необходимо получить древесноволокнистую массу, характеризующуюся хорошо фибриллированными волокнами, свойства которой будут способствовать взаимодействию её частиц с антипиреном. Задача распределения антипиренов в древесноволокнистой композиции на стадии формирования ковра в производстве древесноволокнистых плит со сниженной пожарной опасностью мокрым способом является актуальной для разработки рациональной технологии их изготовления.

В работе А.В. Антонова [4] был предложен способ снижения пожарной опасности древесноволокнистых плит мокрого способа производства за счет введения в композицию вспученного вермикулита. Было определено влияние размерных характеристик частиц минерала на качество готовой продукции, по результатам рекомендовано использование вспученного вермикулита с размерами частиц 0,01-0,4 мм. Однако в работе [4] отмечалось, что неравномерно распределенные в массе плиты частицы минерала не могут обеспечить защиту волокон от воздействия пламени.

Известно, что основными показателями, характеризующими качество древесноволокнистого полуфабриката, являются: степень помола массы, фракционный показатель качества степени помола массы, отношение длины волокна к диаметру, объем волокна, удельная поверхность. Каждый из этих показателей зависит от конструктивных и технологических параметров (рисунка) ножевой размалывающей гарнитуры, применяемой для получения древесноволокнистой массы.

Многообразие имеющихся рисунков гарнитуры, особенности их использования в разных отраслях при размоле различных волокнистых материалов потребовали классификации её по различным признакам:

- по пропускной способности гарнитура может быть выполнена с закрытым и открытым периферийным выходом;
- по распределению ножей на рабочей поверхности гарнитура может быть выполнена с равномерным распределением и с распределением по составляющим её секторам;

– по размалывающей способности гарнитура может способствовать преимущественно фибриллированию волокон, либо укорочению, либо оказывать то и другое действие;

– по признаку расположения пересекающихся режущих кромок ножей ротора и статора, относительно центра их дисков, рисунки сопряжения делятся на четыре типа исполнений: двухстороннее, радиальное, одностороннее и комбинированное.

Гарнитура с закрытым периферийным выходом используется при размоле массы невысокой концентрации. Рисунки рабочей поверхности данного типа отличаются наличием в межножевых канавках перегородок, расположенных на диске для увеличения времени нахождения массы в зоне размола.

Гарнитура с открытым периферийным выходом предназначена преимущественно для размола волокнистых полуфабрикатов на стадии предварительного размола, например, щепы, полуцеллюлозы, иногда целлюлозы высокого выхода и волокнистых суспензий с высокой концентрацией (15...40%).

При равномерном распределении ножей на рабочей поверхности гарнитуры возможны два варианта её исполнения:

– ширина межножевых канавок постоянна по всей их длине, а ширина смежных с ними ножей равномерно увеличивается от входа в рабочую междисковую полость до выхода из неё так, что контур ножей приобретает форму наклонного кольцевого сектора;

– ширина ножей постоянна по всей их длине, а ширина смежных с ними межножевых канавок равномерно увеличивается от входа в рабочую междисковую полость до выхода из неё, причём контур межножевых канавок приобретает форму наклонного кольцевого сектора.

При секторном распределении геометрия рисунка распределения может быть разнообразной. Для наиболее широко используемого в целлюлозно-бумажной промышленности и производстве древесноволокнистых плит исполнения рисунка рабочих поверхностей секторной гарнитуры дисковой мельницы характерно максимально плотное распределение ножей на размалывающей поверхности единичного сектора гарнитуры. В таких гарнитурах все режущие и не режущие кромки ножей параллельны между собой, т.е. ширина ячеек и толщина ножей постоянны вдоль радиуса. Указанные особенности построения рисунка секторной гарнитуры позволяют увеличить количество ножей, секундную режущую длину и размалывающую способность гарнитуры. Расчёты показывают, что при секторном распределении

режущая длина на 10–15% больше, чем при равномерном распределении.

Традиционно в производстве древесноволокнистых плит мокрым способом для размола древесноволокнистой массы применяется шестисекторная гарнитура с прямолинейными ножами, наличием перегородок в межножевых канавках и закрытого периферийного выхода. Основным фактором, влияющим на качество помола в ножевых размалывающих машинах, является характер распределения усилия как на кромках ножевой гарнитуры, так и на поверхностях сопряжения при скрещивании ножей ротора с ножами статора. Характер распределения этих усилий зависит в первую очередь от расположения ножей ротора и статора относительно друг друга. Для обеспечения основных ударных воздействий при контакте ножей необходимо создать условия, при которых угол скрещивания пересекающихся ножей при набегании рабочих поверхностей ротора на рабочие поверхности статора приближался к нулю.

В последнее время наибольший интерес вызывает ножевая гарнитура с криволинейными ножами. Особенностью гарнитуры с криволинейными ножами является снижение интенсивности касательных напряжений на волокна в процессе размола, что позволяет вести размол при сохранении средней длины, т. е. без накопления мелкой фракции.

На основании аналитического обзора литературы по теме и результатах патентного поиска для размола древесноволокнистой массы в производстве древесноволокнистых плит мокрым способом с пониженной пожарной опасностью предлагаем шестисегментную гарнитуру с закрытым перефирийным выходом, криволинейными ножами и перегородками в межножевых канавках. При размоле волокна собираются слоями на передней кромке ножа размольной гарнитуры, образуя нависающий слой, где они подвергаются действию сил резанья, трения и сжатия. В результате происходит их сплющивание и закручивание, а на поверхности волокна образуется тонкая, способная к связеобразованию волокнистая структура (фибриллирование). Удержание массы в зоне размола осуществляется за счет межножевых перегородок. Это позволяет увеличить производительность размалывающего оборудования, увеличить срок эксплуатации гарнитуры, сократить энергозатраты на размол, улучшить качественные показатели размалываемых древесноволокнистых полуфабрикатов, что обеспечивает улучшение качества готового продукта.

Известно, что основными параметрами, определяющим тип ножевой размалывающей гарнитуры, являются секундная режущая дли-

на ( $L_s$ , м/с) и циклическая элементарная длина ( $L_{\omega.эл}$ , м). Секундная режущая длина показывает общую длину пересечений ножей статора ножами ротора за одну секунду и косвенно характеризует количество одновременно обрабатываемых волокон, т. е. производительность мельницы. Циклическая элементарная длина характеризует среднюю длину, «отрезаемую» парой ножей за один оборот ротора относительно статора, и будет «циклично» повторяться при каждом последующем обороте диска ротора относительно статора. Согласно рекомендациям [5] у гарнитур с фибриллирующим эффектом параметр циклической элементарной длины может колебаться в диапазоне от 1,7 м и более; величина секундной режущей длины должна находиться в диапазоне 4200–9800 м/с

Теоретические расчеты и моделирование взаимного расположения роторного и статорного диска с закрепленными на них гарнитурами с предлагаемым рисунком в системе КОМПАС-3D позволили классифицировать предлагаемую гарнитуру как фибриллирующую - показатель секундной режущей длины  $L_s = 9500$  м/с и циклической элементарной длины  $L_{\omega.эл} = 8,9$  м.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Леонович А.А. Снижение пожарной опасности древесных материалов, изделий и строительных конструкций. СПб., 2002. 59 с.
- 2 Rayham E.A. Fibre building board, fire and future // Fire Prot. Rev., 1975. vol. 38. № 411. P. 67-74.
- 3 Шапиро А.Д. Способы придания древесноволокнистым плитам огнезащитных свойств. М., 1962. 56 с.
- 4 Антонов А.В. Производство древесноволокнистых плит с пониженной пожарной опасностью: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2013. 128 с.
- 5 Набиева, А.А. Оценка влияния и совершенствование основных технологических параметров ножевых размалывающих машин: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2004. 177с.

Безумова А. В., магистрант;  
 Коптелова Е. Н., доц., канд. техн. наук;  
 Кутакова Н. А., проф., канд. техн. наук [n.kutakova@narfu.ru](mailto:n.kutakova@narfu.ru);  
 Третьяков С. И., проф., канд. техн. наук  
 (С(А)ФУ имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск)

## ПОЛУЧЕНИЕ БЕТУЛИНА И СУБЕРИНА ИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ КОРЫ АРХАНГЕЛЬСКОГО ЦБК

Химическая переработка березовой коры основана на высоком содержании в ней экстрактивных веществ (ЭВ) – до 50 % от а. с. б., что представляет большой интерес для получения новых продуктов и БАВ [1]. Одним из основных компонентов ЭВ бересты является три-терпеновый спирт бетулин. Бетулин находит широкое применение в производстве лекарственных препаратов и в пищевой промышленности. В бересте также содержится суберин (до 30-40 % от а. с. б.) – сложный полиэфир, который имеет большое значение для химической промышленности из-за уникального состава входящих в него кислот: длинноцепные жирные кислоты, гидроксикислоты, а также фенольные соединения [2].

Большинство исследований по извлечению ЭВ проводятся с корой ручной сборки, в то время как березовая кора – отход фанерной и целлюлозно-бумажной отраслей промышленности. Основной метод утилизации отходов коры – сжигание – нерационален. Несмотря на значительное количество исследований, промышленное производство бетулина и суберина не реализовано, приводятся лишь принципиаль-

ные схемы или дается описание стадий процесса.

На территории г. Архангельска имеется фанерный завод и целлюлозно-бумажный комбинат, использующие окорку сырья. Поэтому в данной работе мы использовали техническую кору – отход окорки древесины Архангельского ЦБК.

Измельчение коры проводили на роторной ножевой мельнице РМ 120 режущего действия. Фракционный состав коры определяли ситовым анализом, использовали сита 5, 3, 1 мм. Основная (рабочая) фрак-

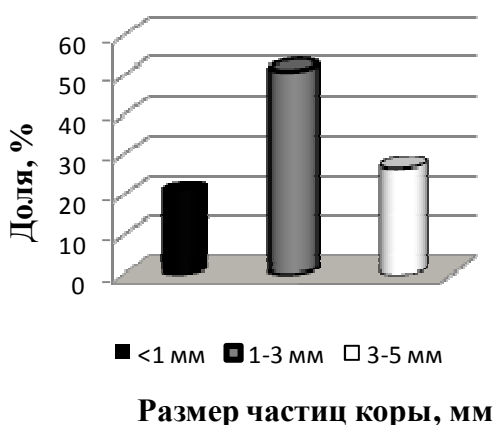


Рисунок 1 – Фракционный состав технической коры Архангельского ЦБК

ция 1–3 мм составила 51,2 % от массы коры (рис. 1).

В данной работе использовался способ последовательного извлечения бетулина и суберина из коры. Для извлечения использовали частицы коры размером 1-3 и 3-5 мм, они в основном представляют собой бересту. Частицы менее 1 мм для экстракции не использовались, т. к. они содержат преимущественно луб и практически не содержат бетулина.

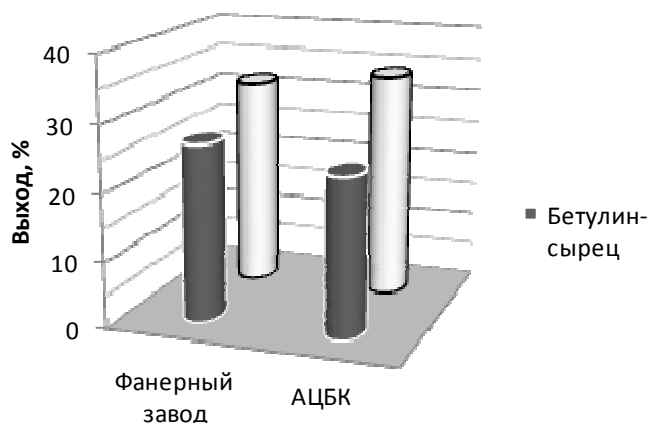
На первой стадии для извлечения бетулина-сырца выбран метод экстракции в СВЧ-поле, описанный в работе [3], параметры режима также приняты по результатам данной работы. Для второй стадии – получение солей субериновых кислот – проэкстрагированную бересту (шрот) после высушивания при комнатной температуре подвергали щелочному гидролизу. Гидролиз в СВЧ-поле проводили водным раствором КОН при непрерывном перемешивании и концентрации щелочи 5 %, расход энергии составил 0,03 кВт·ч (200 Вт), продолжительность гидролиза 20 мин. Параметры режима выбраны по результатам предварительно проведенного планированного эксперимента. Выход продуктов показан в табл. 1.

**Таблица 1 – Химические продукты из технической коры, полученные при ее последовательной обработке в условиях СВЧ-поля**

Продукты и компоненты	Выход, % от а. с. б. из фракций	
	1-3 мм	3-5 мм
Бетулин-сырец*	23,3	23,6
	24,0	23,8
Суберин	35,0	33,8
Целлолигин (остаток)	35,0	37,0

\* экстракция проводилась в двух повторностях

По полученным результатам видно, что выход как бетулина, так и суберина при использовании обеих фракций бересты примерно одинаков, следовательно, в производстве можно использовать объединенную фракцию от 1 до 5 мм. Выходы бетулина и суберина из технической коры АЦБК



**Рисунок 2 – Диаграмма сравнения выхода основных компонентов бересты**

незначительно отличаются от выходов этих продуктов из натуральной коры ручной заготовки и коры-отхода фанерного производства (рис. 2).

В полученных образцах бетулина-сырца методом ВЭЖХ определили количественное содержание основных компонентов. Для проведения анализа навеску образца 0,001 г растворяли в 1 мл метанола, полученный раствор с концентрацией 1 мг/л использовали для анализа. Анализ выполнялся в 4-х повторностях в соответствии с разработанной в ЦКП «Арктика» методикой [4]. Результаты исследований образцов методом ВЭЖХ иллюстрирует таблица 2.

**Таблица 2 – Содержание тритерпеноидов, % от а. с. в. раствора**

Компонент/ фракция	1–3 мм					3–5 мм				
	1	2	3	4	Сред- нее	1	2	3	4	Сред- нее
Бетулиновая кислота	3,47	3,52	3,46	3,51	3,49	3,40	3,27	3,28	3,25	3,30
<b>Бетулин</b>	<b>69,74</b>	<b>71,20</b>	<b>69,62</b>	<b>70,76</b>	<b>70,33</b>	<b>73,91</b>	<b>71,46</b>	<b>71,74</b>	<b>71,49</b>	<b>72,15</b>
Эритродиол	1,15	1,16	1,13	1,15	1,15	1,21	1,16	1,15	1,14	1,17
Лупеол	5,87	5,96	5,84	5,88	5,89	6,77	6,57	6,76	6,77	6,71
<b>ВСЕГО</b>	80,86					83,33				

Как видно из таблицы содержание основного компонента, бетулина, на 1,8 % выше в образцах, полученных из фракции бересты 3-5 мм. Также содержание остальных компонентов-тритерпеноидов в растворе бетулина-сырца из крупной фракции коры повышено по сравнению с мелкой фракцией. Этот факт объясняется частичным присутствием луба во фракции коры 1-3 мм, за счет чего происходит извлечение других компонентов. Присутствие весьма ценных спутников (лупеола и бетулиновой кислоты) в значительных количествах в бетулине-сырце повышает значимость продукта как биологически активного вещества.

Следовательно, на основании полученных результатов, можно сделать вывод, что техническая кора АЦБК пригодна для химической переработки с целью получения бетулина и суберина.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Кислицын А.Н. Экстрактивные вещества бересты: выделение, состав, свойства, применение // Химия древесины. – 1994. – №3. – С. 3–28.

2 Фенгел Д, Вегенер Г. Древесина (химия, ультраструктура, реакции) // Под ред. д-ра техн. наук проф. А. А. Леоновича. – М.: Лесная пром-сть, 1988. – 512 с.

3 Коптелова Е.Н., Кутакова Н.А., Третьяков С.И. Извлечение экстрактивных веществ и бетулина из бересты при воздействии СВЧ-поля // Химия растительного сырья. – 2013. – №4. – С. 159–164.

4 Бетулин: получение, применение, контроль качества: монография/ С.И. Третьяков, Е.Н. Коптелова, Н.А. Кутакова и др.; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: САФУ, 2015. – 180 с.

УДК 676.273

Е.В. Дубовой<sup>1</sup>, асп.;

И.Н. Ковернинский<sup>2</sup>, проф., д-р техн. наук

[kovern@list.ru](mailto:kovern@list.ru) (<sup>1</sup>СПбПУ им. Петра Великого; <sup>2</sup>НП НПК «Бумага и картон»)

### **ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ БУМАГИ ИЗ СТЕКЛЯННОГО ВОЛОКНА**

Сочетание высокой термо-, хемо-, био-, водо- и радиационной стойкости материалов из минерального волокна с хорошей капиллярностью, адсорбционной емкостью, тепло-, шумоизоляции и легкостью механической обработки для придания необходимой эффективной конструктивной формы, относит их к уникальным материалам, предопределивших широкое использование в отраслях оборонной, авиакосмической, радиоэлектронной, атомной, металлургической, машиностроительной, энергетической, химической, строительной, транспортной, биотехнологической, фармацевтической, а также в сельском хозяйстве [1, 2].

Конструктивные формы многих рабочих элементов машин, приборов и устройств – это пластины, листы, панели и др. подобные материалы. Поэтому, одним из перспективных методов их производства, является бумагоделательная технология. Она активно исследуется и развивается ведущими зарубежными странами, опираясь на серьезную государственную поддержку. Результаты развития ощутимы в России – это импорт широчайшего ассортимента минерального волокна и изделий. Тем, не менее, это направления развивается и, особенно в плане максимального использования научной базы и технологий производства бумаги из целлюлозного волокна. Систематические исследования организованы по созданию инновационных технологий минеральных волокон, минеральноволокнистых материалов и их применения.

Данная работа решает актуальную научно-техническую задачу: получение бумаги из стеклянного волокна, обладающей высокоэффективной капиллярностью, адсорбционной емкостью, требуемой ме-



ханической прочностью и легкостью механической обработки для придания необходимой конструктивной формы.

Этапами решения задачи стали:

1. Исследование свойств стеклянного волокна различных марок для выбора композиции бумаги.
2. Исследование влияния композиции по волокну на механические свойства стекловолокнистой бумаги.
3. Исследование влияния вида и количества связующего на деформационно-прочностные свойства стекловолокнистой бумаги.
4. Исследование влияния массы  $1 \text{ м}^2$  бумаги на потребительские свойства
5. Анализ процессов бумагоделательной технологии для обоснования применения в технологии стекловолокнистой бумаги
6. Составление и описание принципиальной технологической схемы производства стекловолокнистой бумаги

В результате выполнения 4-х этапов лабораторных исследований, были получены образцы бумаги из стеклянного волокна. Анализ процессов технологии бумаги из целлюлозного волокна, примененных в лаборатории, показал возможность производства стекловолокнистой бумаги с заданными свойствами. Поэтому для промышленного изготовления бумаги из стекловолокна была составлена и обоснована, ниже описываемая технология. Это типовая бумагоделательная технология с особенностями подготовки стеклянного волокна и формования бумаги на бумагоделательной машине.

В массоподготовительном отделе осуществляется прием и подготовка волокнистых полуфабрикатов перед подачей их на БДМ. Для обеспечения бесперебойной работы цеха и создания необходимого запаса волокнистых полуфабрикатов (обычно 1...3 суточного объема потребления) осуществляется хранение сырья в воздушно-сухом виде, в мешках или тюках. Складские помещения должны располагаться отдельно или в пристройке к основному зданию. Хранение запасов сухих волокнистых полуфабрикатов в одном помещении с основным технологическим оборудованием недопустимо, во избежание образования пыли, которая способна оседать на технических устройствах и «одежде» БДМ.

При поступлении в цех волокнистые полуфабрикаты, проходя через весовой дозатор, поступают в гидроразбиватели на роспуск. Для достижения заданной концентрации массы в гидроразбиватель подается обратная или свежая вода. Концентрация суспензии в гидроразбивателях не должна превышать 1 %. Частота вращения (1000...1700 об./мин) и продолжительность процесса настраивается отдельно для

каждого вида волокнистого полуфабриката, таким образом, чтобы длина волокон, на выходе, не превышала 20 мм. Минеральные волокна диспергируются в кислой среде  $pH=3-5$ , для этого в гидроразбиватель можно предусмотреть подачу сернокислого алюминия.

Технологическая схема на этой стадии производства формируется в один или несколько отдельных потоков, т.к. разные по маркам волокнистые полуфабрикаты распускаются отдельно. Такая организация облегчает регулирование процесса и позволяет задавать требуемые свойства производимых композитов.

После роспуска волокнистая суспензия насосами перекачивается в гомогенизатор, представляющий собой массный бассейн с перемешивающим устройством. Частота вращения перемешивающего устройства должна находиться в пределах 50...250 об/мин. (стадия гомогенизации может отсутствовать, для этого предусматривают обвязку бассейнов технологическими трубопроводами)

В случае использования двух и более волокнистых полуфабрикатов осуществляется создание композиции бумажной массы по волокну. Для этого в композиционный бассейн через расходомеры, насосами подают суспензию каждого волокнистого полуфабриката в строго заданном соотношении. Концентрация массы в композиционном бассейне 1 %, он также снабжен перемешивающим устройством. Сюда же подается и обратный брак из бассейна. Для регулирования концентрации массы предусматривается подача воды на всасывающий патрубок массного насоса установленного на выходе из композиционного бассейна.

В композиционном бассейне осуществляется проклейка в массе. С узла подготовки химикатов, связующее дозируется в заданном количестве. Расход связующего определяется требованиями качества к готовой продукции и легко регулируется, для этого на трубопровод устанавливается задвижка с расходомером. Концентрация связующего, при использовании раствора сернокислого алюминия должна поддерживаться около 100...120 г/л, расход 20...40 %. Параметры работы перемешивающего устройства в композиционном бассейне (частота вращения) настраиваются так, чтобы обеспечить рафинирование массы, т.е. выравнивание разных волокон по длине, их перемешивание с химическими добавками.

Из композиционного бассейна бумажная масса подается на смесительный насос на разбавление. Для этого она смешивается с обратной водой во всасывающем патрубке, концентрация массы после смесительного насоса должна составлять 0,01...0,03 %. Также во всасывающий патрубок смесительного насоса подается щелочь для регу-

лирования рН и комплексообразования ранее дозированного и равномерно распределенного в массе связующего. Разбавленная масса из смесительного насоса подается на узлоловитель (УЗ) для удаления крупных флоккул, количество отходов не превышает 5 %. Отходы с узлоловителя поступают в бассейн оборотного брака. Узлоловитель представляет собой центробежную вертикальную сортировку. Концентрация в узлоловителе равна концентрации массы после смесительного насоса.

Узлоловитель – последняя стадия массоподготовки перед подачей на БДМ.

БДМ можно условно разделить на три основных секции: отлив и формование полотна на сеточном столе; прессование и сушка. Скорость работы БДМ не более 300 м/мин. Ширина БДМ определяет обрезную ширину полотна на накате, подбирается на стадии проектирования, это нерегулируемый параметр.

БДМ начинается с напускного устройства (напорного ящика, НЯ). Напорный ящик предназначен для обеспечения равномерного напуска массы на сеточный стол БДМ. Для этого НЯ снабжается потокораспределителем, состоящим из множества трубок небольшого диаметра, предназначенных для выравнивания давления струй по всей ширине БДМ. С целью достижения равномерности потока. НЯ снабжается системой локального разбавления. Концентрация массы в НЯ около 0,01 %. Масса метра квадратного вырабатываемой бумаги регулируется высотой открытия выпускной цели в НЯ и скоростью движения сетки на сеточном столе. Регулирование осуществляется механизмом подъема верхней губы. Формование полотна происходит на наклонном двухсеточном столе. Масса из НЯ поступает в зазор между сетками, где под действием вакуума происходит удаление воды. Вакуум создается в обезвоживающих элементах расположенных под сетками. Величина вакуума растет по мере продвижения полотна от начала к концу сеточного стола от 12 до 45...50 кПа. Сухость полотна на сеточном столе постепенно возрастает до 16...18 %. Сеточный стол БДМ заканчивается отсасывающим гауч-валом. Величина вакуума составляет около 65...70 кПа. Сухость полотна после гауч-вала 20...24 %.

Вода, удаляемая на сеточном столе, собирается в сборник оборотной воды и используется по замкнутому циклу водопользования для разбавления массы в массоподготовительном отделе. Избыток оборотной воды проходит локальную очистку на ловушке волокна. Осветленная на ловушке волокна вода (концентрация не более 0,0005 %, зависит от конструкции ловушки) может использоваться для про-

мывки одежды БДМ. Уловленное волокно направляется в бассейн оборотного брака.

Под гауч-валом установлена гауч-мешалка (гидроразбиватель низкой концентрации) куда поступают отрезаемые на сеточном столе неровные кромки полона и оборотный брак в случае обрывов. Концентрация массы в гауч-мешалке около 0,3 %. Частота оборотов перемешивающего устройства 250...400 об/мин.

Полотно с сухостью 20...24 % после сеточного стола поступает в прессовую часть (в зависимости от конструкции машины прессы могут стоять отдельно или быть встроенными, т.е находиться под одним сукном с сеточной частью).

Для безобрывной работы БДМ передача полотна в прессовую часть осуществляется с помощью вакуум пересасывающего устройства, соединенного с первым прессом под одно сукно.

В прессовой части осуществляется механический отжим избытков воды из полотна, сухость при этом возрастает до 35...45 %. В зависимости от конструкции прессов давление между валами составляет 40...90 кН/м для обычных отсасывающих прессов, и 180...350 кН/м для прессов с расширенной зоной прессования. Прессы снабжены сетками или сукнами, которые улучшают водоотведение из полотна и препятствуют его раздавливанию.

Окончательная сушка полотна осуществляется в сушильной части БДМ за счет контакта полотна с горячей поверхностью сушильных цилиндров, обогреваемых изнутри паром. Температурный режим сушки определяется исходя из композиции по волокну и химикатам. Сухость полотна после сушки составляет 93...95 %.

Высушенное полотно охлаждается, увлажняется для снятия статического напряжения, наматывается на рулоны заданного размера, упаковывается и отправляется на склад.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Анохин В.А., Макаровец Н.А., Свиридов Е.Б. и др. Капиллярно-пористые материалы для охладителей воздуха косвенно-испарительного типа. Методы получения, структура и свойства. Новый высокоэффективный материал / В.А. Анохин, // Интеграл. – 2009. – №2 (46). – С. 14-16.

2 Е. Б. Свиридов, Н. В. Сысоева, В. К. Дубовый, А. И. Безлаковский. Природный потенциал охлаждения. Энергосберегающая экологически безопасная технология охлаждения воздуха широкомасштабного применения/ Е. Б. Свиридов и др. – 2-е изд., доп. – СПб., 2015. – 256 с.

УДК 676.2-416

Ю.А. Гисматулина, асп.; В.В. Будаева, канд. хим. наук;  
М.С. Василишин, канд. техн. наук; В.Н. Золотухин, канд. техн. наук;  
Н.В. Бычин; Г.В. Сакович, академик РАН, проф., д-р техн. наук  
[julja.gismatulina@rambler.ru](mailto:julja.gismatulina@rambler.ru); [ipcet@mail.ru](mailto:ipcet@mail.ru)

(Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения  
Российской академии наук, г. Бийск, Россия)

## **БУМАГА ИЗ МИСКАНТУСА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НИТРАТОВ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ**

Природные полимеры – целлюлоза и её эфиры являются важными материалами для производства товаров народного потребления. По-прежнему наиболее широко применяемые эфиры целлюлозы – это азотнокислые эфиры – нитраты целлюлозы (НЦ) [1, 2]. Поиски альтернативного целлюлозного сырья ведутся с момента синтеза НЦ и все большее внимание исследователи уделяют быстрорастущим видам растений, в том числе мискантусу [3]. Ранее, авторами данного материала [4] были проведены исследования по получению целлюлозы из мискантуса и ее нитрованию. Однако, в ходе исследований нитрования авторы испытывали ряд трудностей, связанных с необходимостью разволокнения целлюлозы из мискантуса. В связи с природными особенностями данного вида сырья (неоднородностью и тонкостью волокон) целлюлоза в процессе сушки образует плотные комки, которые в процессе нитрования с трудом пропитываются нитросмесью. Подготовка к нитрованию такой целлюлозы перетиранием через сито является очень трудоемкой процедурой. Для успешного решения данной проблемы необходимо создать технологию получения новой формы целлюлозы, обеспечивающей эффективную этерификацию.

Целью данной работы являлось получение новой формы целлюлозы из мискантуса (в виде бумаги) и синтез из нее НЦ с высокой растворимостью в спирто-эфирной смеси.

В качестве объекта исследования был выбран мискантус урожая 2015 года с возрастом плантации 5 лет, выращенный на экспериментальной площадке ИПХЭТ СО РАН. Химический состав мискантуса, определенный по стандартным методикам анализа сырья, представлен в таблице 1. Высокое содержание целлюлозы по Кюршнеру – 53,60 % обуславливает целесообразность его переработки в целлюлозу. Более подробная информация по химическому составу мискантуса представлена в работе [3].

**Таблица 1 – Химический состав мискантуса**

Массовая доля компонента	ЖВФ	Зола	Лигнин	Пентозаны	Целлюлоза по Кюршнеру
Значение, %	4,70	3,57	20,13	18,57	53,60
Примечание: ЖВФ – жировосковая фракция					

Целлюлоза была получена азотнокислым способом, заключающемся в последовательной обработке сырья разбавленными растворами азотной кислоты и гидроксида натрия. Выход целлюлозы составил 32,6 % в пересчете на абсолютно сухое сырье. В таблице 2 представлены показатели качества целлюлозы, определенные по стандартным методикам анализа целлюлозы.

**Таблица 2 – Показатели качества целлюлозы из мискантуса**

Массовая доля компонента	Зола	Лигнин	Пентозаны	$\alpha$ -целлюлоза	СП
Значение, %	0,22	0,80	1,12	91,6	1000
Примечание: СП – степень полимеризации					

Высокое качество целлюлозы из мискантуса обусловлено массовой долей  $\alpha$ -целлюлозы на уровне 92 %, зольностью 0,22 %, низким суммарным содержанием лигнина и пентозанов – 1,92 %, что соответствует в основном свойствам сульфатной целлюлозы (древесной) в форме ЦА и РБ, используемой в производстве НЦ [2]. Степень полимеризации целлюлозы из мискантуса – 1000 свидетельствует о возможности получения НЦ с большим диапазоном вязкости.

Часть полученной целлюлозы была подготовлена к нитрованию по ранее отработанной технологии, включающей длительную, трудоемкую стадию перетирания материала через сито с размером ячеек 1 мм. Другая часть была доработана путем диспергирования водной суспензии в роторно-пульсационном аппарате (РПА) и высушена в форме бумаги для исследования влияния степени диспергирования на эффективность этерификации. При диспергировании суспензии целлюлозы частота вращения ротора РПА составляла 2500 об/мин, величина радиального зазора между рабочими органами диспергатора (ротор и статор РПА) – 0,1 мм.

Для сравнения внешнего вида образцов целлюлозы, подготовленных к нитрованию двумя разными способами, на рисунке 1 представлены фотографии исходной целлюлозы и данных образцов.

Из рисунка видно, что исходная целлюлоза представляет собой плотные фрагменты переплетенных волокон. Перетертая целлюлоза,

имеет мягкую рыхлую структуру. Целлюлоза, после диспергирования в РПА и последующей сушки, представляет собой тонкие полупрозрачные листы бумаги.



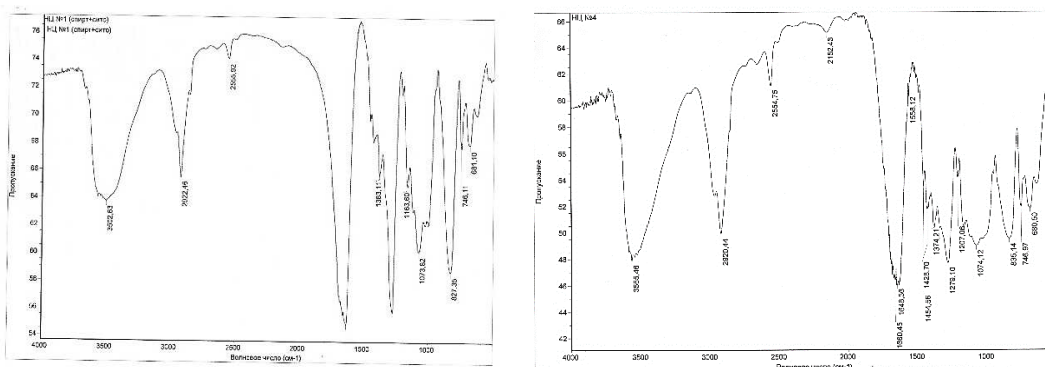
**Рисунок 1 – Фотографии исходной целлюлозы (а), подготовленной к нитрованию: перетиранием через сито (б) и диспергированием в РПА, с последующим высушиванием в форме бумаги (в)**

Нитрование образцов проводили промышленной серно-азотной смесью в условиях получения растворимых в спирто-эфирной смеси НЦ [4]. Данный способ запатентован (пат. РФ № 2556940) и позволяет получить НЦ из других видов недревесного растительного сырья. Далее образцы НЦ были исследованы методами, принятыми в отрасли [2]. Выход НЦ рассчитывали в пересчете от массы воздушно-сухой целлюлозы. В таблице 3 представлены характеристики и выход НЦ.

**Таблица 3 – Характеристики и выход НЦ**

Наименование образца	Массовая доля азота, %	Вязкость 2 % раствора в ацетоне, сП	Растворимость в спирто-эфирной смеси, %	Выход, %
№ 1 (сито)	11,84	24,8	96,0	157
№ 2 (бумага)	11,98	17,9	97,5	148

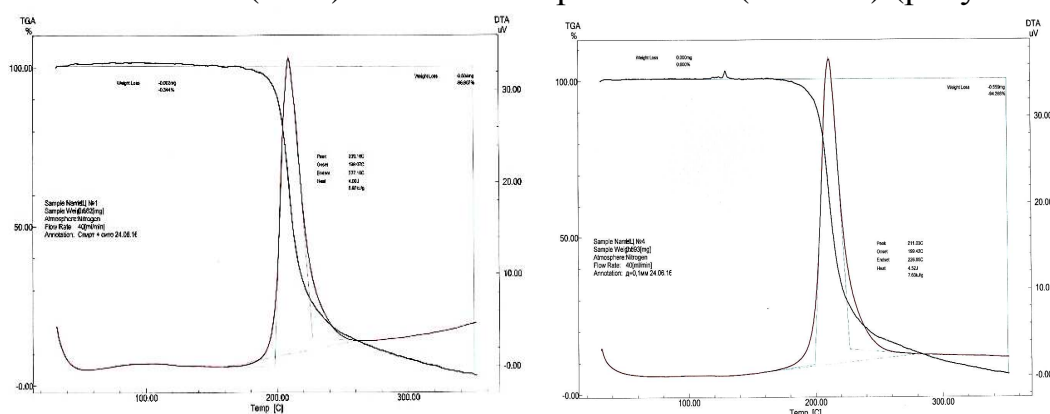
Образец НЦ № 1, полученный по ранее отработанной технологии, представляет собой мелкое волокно и характеризуется следующими показателями: массовая доля азота – 11,84 %, растворимость в спирто-эфирной смеси – 96 %, вязкость в 2 %-ном растворе ацетона составила 25 сП. Образец целлюлозы, полученный в виде бумаги, обладал хорошей смачиваемостью и высокой реакционной способностью, о чем свидетельствует рост массовой доли азота в НЦ и растворимости НЦ в спирто-эфирной смеси: с 11,84 % до 11,98 % и с 96,0 % до 97,5 %, соответственно. Дополнительно образцы НЦ были исследованы методом ИК-спектроскопии на спектрометре «Инфралюм-801» (Россия) (рисунок 2).



**Рисунок 2 – ИК-спектры образцов НЦ № 1 и № 2 (слева направо)**

Методом ИК-спектроскопии показано наличие основных характеристических частот в синтезированных образцах НЦ: 1630-1646, 1274-1279, 827-835, 746-747 и 680-681  $\text{см}^{-1}$ , соответствующих колебаниям нитрогрупп [1]. Отсутствует характеристическая частота продуктов разложения НЦ на 2300  $\text{см}^{-1}$ .

Кроме того, образцы НЦ были исследованы термогравиметрическим анализом (ТГА) на анализаторе DTG-60 (Япония) (рисунок 3).



**Рисунок 3 – ТГА образцов НЦ № 1 и № 2 (слева направо)**

Оба образца НЦ характеризуются высокими температурами разложения – 209-211 °С. Температура начала интенсивного разложения составляет 198-199 °С, что свидетельствует о высокой чистоте полученных продуктов в обоих случаях.

Таким образом, установлено, что диспергированием водной суспензии целлюлозы из мискантуса в РПА с последующим высушиванием в форме бумаги можно повысить эффективность этерификации и получить образцы НЦ с более высокой растворимостью в спирто-эфирной смеси. Введение стадии диспергирования в технологию получения НЦ из мискантуса позволяет не только улучшить качество НЦ, но и реализовать наработку укрупненных образцов для оценки НЦ из мискантуса в качестве компонентов в ряде продуктов. Следует



отметить, что так называемая азотнокисло-натронная делигнификация была ранее успешно применена для выделения целлюлозы из недревесных видов сырья (рапса, сои, озимой ржи) [5], но именно для мискантуса впервые исследована в ИПХЭТ СО РАН.

Поскольку по своим характеристикам образцы НЦ из целлюлозы мискантуса сопоставимы с коллоксилином «Н», лакомастичными и нитропленочными коллоксилинами, они могут быть использованы для получения сложных композиций продуктов в гражданских и оборонных целях.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта № П.2. Комплексной программы СО РАН «Интеграция и развитие».

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. – Ч.П.-СПб.: НПО «Профессионал». – 2006. – 1142 с.

2 Жегров Е.Ф., Милехин Ю.М, Берковская Е.В. Химия и технология баллистических порохов, твердых ракетных и специальных топлив. Химия: монография. – М.: РИЦ МГУП им. И. Федорова, 2011. – Т. 1. – С. 178–180.

3 Gismatulina Yu.A., Budaeva V.V., Veprev S.G., Sakovich G.V., Shumny V.K. Cellulose from Various Parts of Soranovskii Miscanthus // Russian Journal of Genetics: Applied Research. – 2015. – Vol. 5, No. 1. – P. 60–68.

4 Gismatulina Yu.A., Budaeva V.V., Sakovich G.V. Nitric acid preparation of cellulose from miscanthus as a nitrocellulose precursor // Russian Chemical Bulletin. – 2015. – Vol. 64, No. 12. – pp. 2949–2953.

5 Торгашов В.И., Герт Е.В., Зубец Ф.Н., Капуцкий Ф.Н. Сравнительное исследование условий выделения, морфологии и свойств целлюлозы из стеблей злаковых и масличных культур // Химия растительного сырья. – 2009. – № 4. – С. 45–54.

УДК 661.183.3

М.А. Архилин, асп.; В.В. Самсонова, студ.;  
Е.А. Стафеева, магистрант;

Н.И. Богданович, проф., д-р техн. наук

[lesochim@narfu.ru](mailto:lesochim@narfu.ru) (С(А)ФУ имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск)

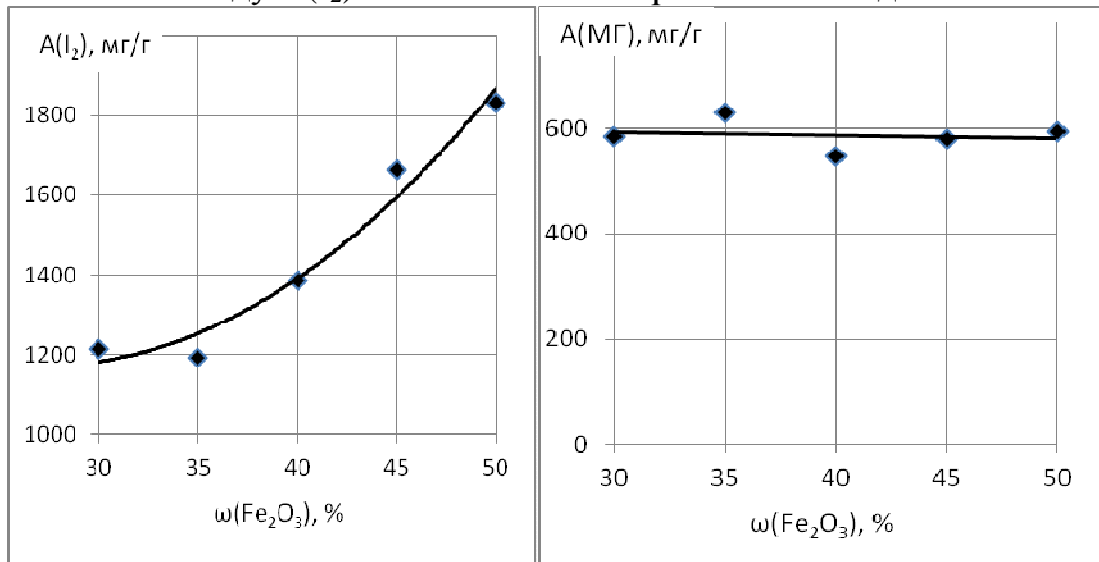
#### **СИНТЕЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ АДСОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ЛИГНИНОВ**

В России наблюдается большое количество отходов производства, в их число входят технические лигнины. Они не находят широ-

кого применения в промышленности [1]. Таким образом, важно найти эффективные способы утилизации лигнинов с получением ценных товарных продуктов. Одними из таких продуктов могут являться адсорбенты [2,3]. В данной работе предлагается получение ферромагнитных адсорбентов. Такие сорбенты обладают важным качеством – магнитной восприимчивостью, за счёт чего могут быть легко отделены от очищаемой фазы методами магнитной сепарации.

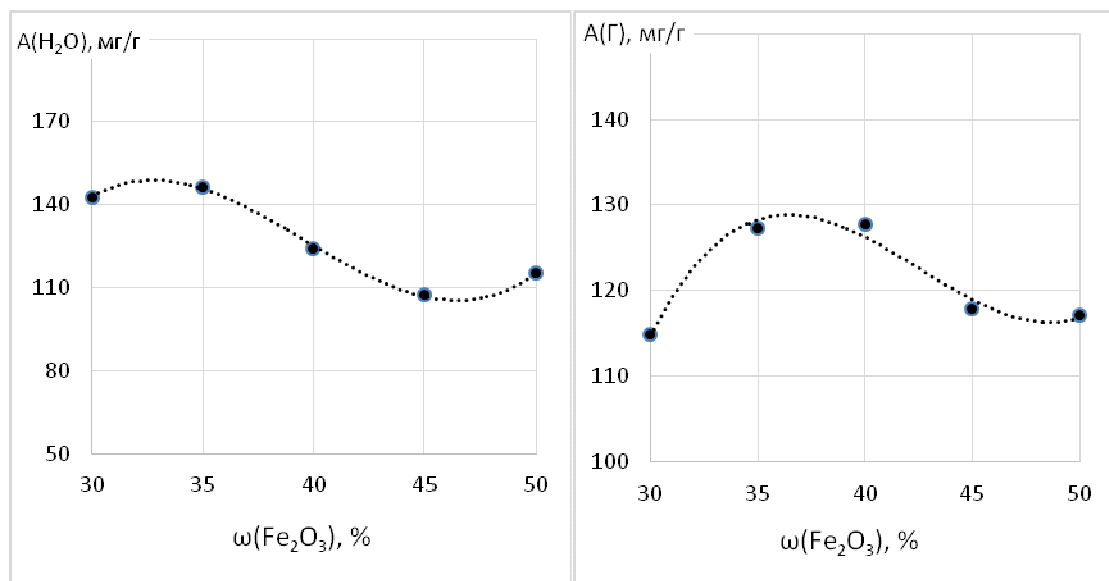
Нами была получена серия ферромагнитных адсорбентов на основе гидролизного лигнина, отличающихся содержанием  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в исходной смеси. Сорбенты отличаются высоким выходом (45-51 %) за счёт высокого содержания нелетучих компонентов. Методика синтеза таких адсорбентов является ноу-хау авторов и не может быть раскрыта в данной работе.

Синтезированные образцы анализировали по адсорбционным и магнитным свойствам. Результаты исследований адсорбционной активности по метиленовому голубому (МГ) и иоду представлены на рис. 1. Из рисунка видно, что дозировка  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  влияет на адсорбцию иода положительно, а на адсорбцию МГ практически не влияет. При этом значения адсорбционных активностей по МГ стабильно высокие и колеблются около значения  $A(\text{МГ}) = 600$  мг/г. Адсорбционная активность по иоду  $A(\text{I}_2)$  изменяется в интервале от 1200 до 1800 мг/г.



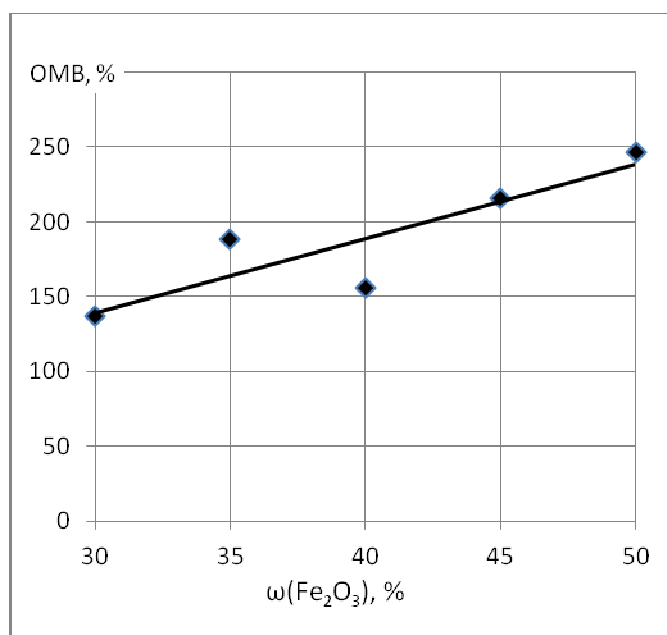
**Рисунок 1 – Влияние дозировки  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  на адсорбцию по МГ и иоду**

Зависимость адсорбционной активности по водяному пару имеет максимум в районе 35 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , а также минимум в области 45 % (рис. 2). Зависимость адсорбции паров гексана также проходит через максимум и минимум (при 37 и 48 % соответственно).



**Рисунок 2 – Влияние дозировки  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  на адсорбцию по воде и гексану**

Кроме адсорбционных свойств была измерена относительная магнитная восприимчивость (ОМВ) в процентах от таковой для магнетита (рис. 3). Как видно из графика, ОМВ плавно нарастает с увеличением дозировки оксида железа (III). Причём значения ОМВ довольно высокие – от 150 до 250 %. Это означает, что данный сорбент можно будет эффективно удалять от очищаемой фазы методами магнитной сепарации.



**Рисунок 3 – Влияние дозировки  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  на ОМВ**

Можно сделать вывод о том, что полученные адсорбенты обладают высокими адсорбционными свойствами (адсорбция иода дости-

гает 1800 мг/г, адсорбция МГ – 600 мг/г). Наряду с этим наблюдается высокая магнитная восприимчивость, которая в 2,5 раза превосходит ОМВ магнетита. При этом повышение дозировки Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> приводит к одновременному повышению адсорбции иода и ОМВ, что положительно сказывается на свойствах адсорбента.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Богданов, А.В. Комплексная переработка отходов производств целлюлозно-бумажной промышленности [Текст] / А.В. Богданов, Г.Д. Русецкая, А.П. Миронов, М.А. Иванова // Иркутск: Изд-во ИрГТУ. – 2000. – 227 с.

2 Белецкая, М. Г. Методы термохимической активации в синтезе активных углей из технических лигнинов [Текст] / М.Г. Белецкая, Н.И. Богданович, Л.Н. Кузнецова, Ю.А. Саврасова // ИВУЗ. "Лесной журнал" – № 6. – 2011. – С. 144–148.

3 Архилин, М.А. Адсорбционные и магнитные свойства магнитовосприимчивых адсорбентов, полученных на основе гидролизного лигнина [Текст] / М.А. Архилин, Н.И. Богданович // ИВУЗ. "Лесной журнал" – № 2. – 2016. – С. 131–140.

УДК 544.723.2 : 544.723.22

А.А. Шутова, магистрант; Е.А. Лагунова, ассист.;  
Н.И. Богданович, проф., д-р техн. наук [n.bogdanovich@narfu.ru](mailto:n.bogdanovich@narfu.ru);  
С.И. Третьяков, проф., канд. техн. наук;  
Н.А. Макаревич, проф., канд. хим. наук  
(Северный (Арктический) федеральный университет  
им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия)

#### **ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ АДСОРБЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ АКТИВНЫМ УГЛЕМ**

Эйнштейн в свое время говорил о том, что человек – часть целого, называемого нами Вселенной. Взаимосвязь человека и природы всегда волновала великие умы. Особенно в наши дни, когда одно из основных мест занимает проблема сохранения всего живого на нашей планете. Сегодня многим уже становится ясно, что сохранить здоровую окружающую среду не менее важно, чем питаться или реализовывать духовные потребности. Все большее значение имеет разработки в области высококлассных углеродных адсорбентов.

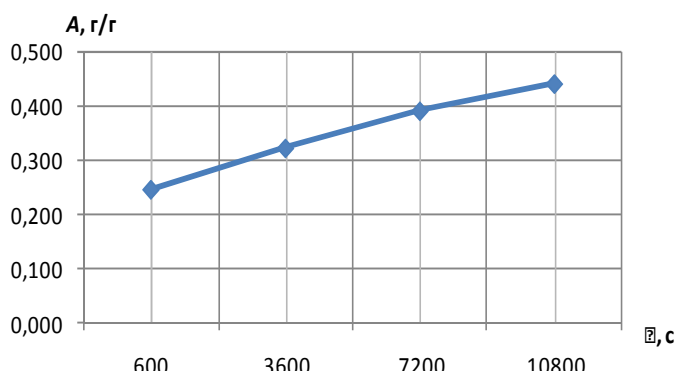
Исследование кинетики адсорбции позволяет определить продолжительность процесса, а, следовательно, размеры адсорберов и их производительность [1].

Активный уголь был получен путем термохимической активации. И имел следующие основные характеристики [2]:

- объем микропор по уравнению *Horvath-Kawazoe* 0,49 см<sup>3</sup>/г;
- объем микропор по *Dubinín–Radushkevich* 0,43 см<sup>3</sup>/г;
- суммарный объем пор по ВЕТ ( $V_{\Sigma\text{пор}}$ ) равен 81 см<sup>3</sup>/г;
- удельная поверхность мезо- и макропор по уравнению T-plot 415 м<sup>2</sup>/г;
- удельная поверхность по Langmuir 1997 м<sup>2</sup>/г;
- удельная поверхность по ВЕТ 1086 м<sup>2</sup>/г.

Анализ проводили при температуре 20°C и 40°C. В качестве газа использовали – пентан, гексан, гептан и декан. Навеску каждого образца примерно по 0,1 г активного угля взвешивали с точностью до 0,0003. Помещали в корзинку, предварительно взвешенную, и оставляли в колбе, наполненную растворителем. Колба находится в изотермических условиях. Взвешивание корзинки производили через 2, 4, 4 мин, в последующем каждый час в течение 3–4 часов и через 24 часа. В условиях эксперимента парциальное давление паров адсорбтива практически равно давлению насыщенного пара скорость массопереноса определяется массопереносом в порах адсорбента.

На рис. 1 представлена зависимость адсорбции  $A$  от продолжительности процесса, при 20°C.



**Рисунок 1 – Зависимость адсорбции пентана от продолжительности обработки активным углем**

При описании внутридиффузионной кинетики физической адсорбции можно применить модель квазигомогенного пористого тела. Уравнения, описывающие кинетику адсорбции гомогенными пористыми телами, описаны в [4].

Решения этих уравнений для постоянных коэффициентов диффузии хорошо изучены [5] и для гранул адсорбента правильной геометрической формы получены аналитические решения.

Считая процесс адсорбции внутридиффузионным и принимая форму частиц угля, близкой к шарообразной, кинетику процесса можно описать с достаточной точностью известным уравнением:

$$E = B \cdot \exp(-\pi^2 \cdot D \cdot \tau / R^2), \quad (1)$$

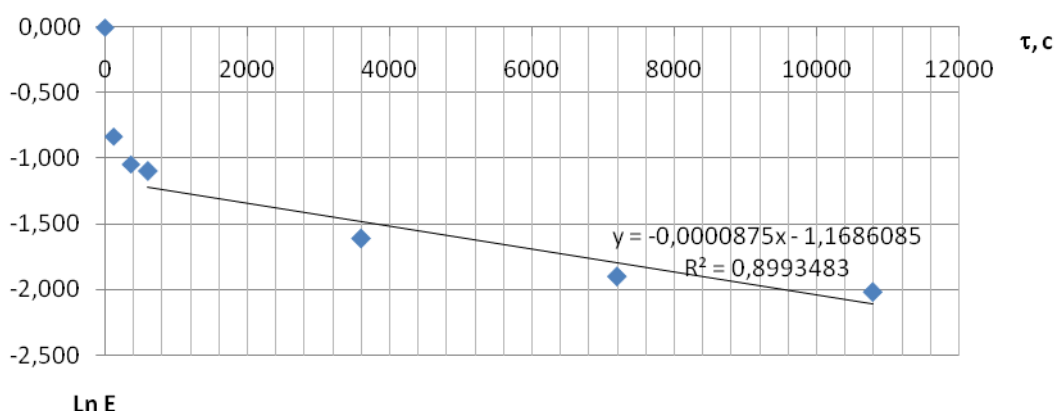
где  $E$  – степень «недонасыщения», равная  $1 - A/A^*$ ,  $A^*$  – равновесная адсорбция;  $B$  – коэффициент, определяемый экспериментальным путем;  $D$  – приведенный коэффициент внутренней диффузии,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\tau$  – продолжительность адсорбции, с;  $R$  – приведенный радиус частиц угля, м.

Логарифмируя уравнение (1), получим прямолинейную зависимость

$$\ln E = \ln B - \pi^2 \cdot D \cdot \tau / R^2 \quad (2)$$

По опытным и расчетным данным строили график зависимости  $\ln E$  от  $\tau$ , приведенный на рис. 2. Из графика видно, что зависимость близка к прямой, следовательно, процесс адсорбции протекает по регулярному режиму, характерному для внутридиффузионной кинетики. Коэффициент аппроксимации составляет 0,8993.

По тангенсу угла наклона аппроксимирующей линии рассчитан коэффициент внутренней диффузии  $D$ , равный  $2,22 \cdot 10^{-12} \text{м}^2/\text{с}$ . По величине коэффициента диффузии рассчитывается по уравнению (1) степень «недонасыщения» и по ней адсорбция в данный момент времени. На рис. 1 линией показана расчетная зависимость адсорбции от продолжительности процесса, которая соответствует экспериментальным данным, отмеченным маркерами.



**Рисунок 2 – Зависимость  $\ln E = f(\tau)$  при адсорбции пентана активным углем (выделение регулярного режима адсорбции)**

Аналогично проводим эксперимент с гексаном, гептаном и деканом при 20°C и 40°C.

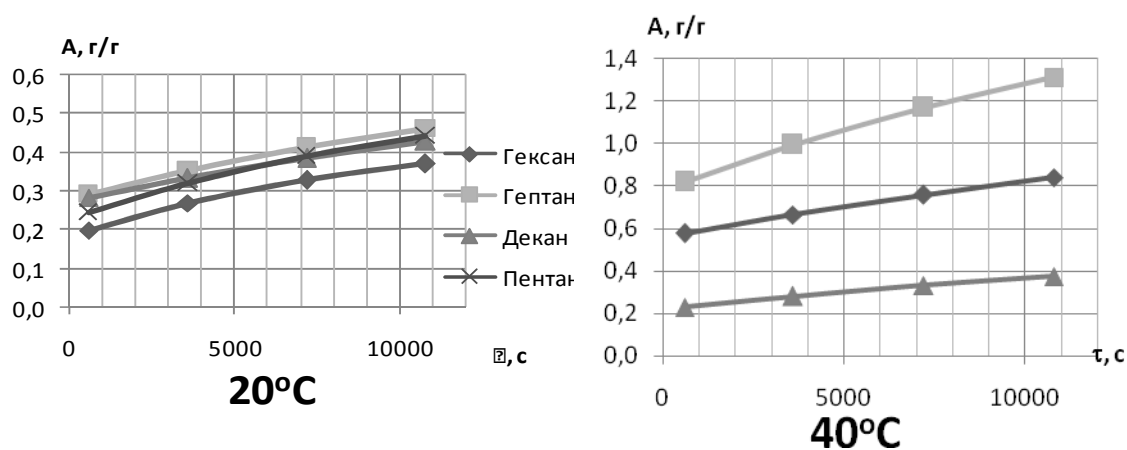
Расчетные коэффициенты внутренней диффузии  $D$  для всех растворителей и при двух температурах, в таблице 1.

**Таблица 1 – Расчетные коэффициенты внутренней диффузии  $D$**

Углеводород	Коэффициент внутренней диффузии $D$ , $10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$	
	20°C	40°C
Пентан	2,22	–
Гексан	2,56	0,93
Гептан	1,30	1,36
Декан	1,06	1,50

На рисунке 3 представлены экспериментальные (маркеры) и расчетные (линии) графики зависимости кинетики адсорбции для исследованных углеводородов: гептана, гексана, декана, пентана.

Расчетные значения адсорбции практически совпадают с экспериментальными данными при температурах 20°C и 40°C.



**Рисунок 3 – Зависимость адсорбции от продолжительности обработки активным углем**

Вывод: Предложена методика исследования и расчета кинетики адсорбции углеводородов активным углем в статических условиях. Показано, что при достижении определенного времени кинетика процесса адсорбции с достаточной точностью характеризуется регулярным режимом, что в значительной степени упрощает расчет процесса адсорбции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Богданович Н.И. Пиролиз технических лигнинов / Н.И. Богданович // ИВУЗ «Лесной журнал», 1998, № 2, с. 120-132.

2 Анализ пористой структуры активных углей термохимической активации с КОН еловых опилок / Шутова А.А., Романенко К.А. //Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых – 2016: сборник материалов конференций / сост.Н.В. Баталова; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Электронные текстовые данные. – Архангельск: ИД САФУ, 2016. – С.542–546.

3 Богданович Н.И. Углеродные адсорбенты на основе лигноцеллюлозных материалов / Н.И. Богданович, Ю.А. Саврасова, Н.А. Макаревич, М.Г. Белецкая // ИВУЗ «Лесной журнал», 2012, №1, С. 107–112.

4 Цивадзе А.Ю., Русанов А.И., Фомкин А.А., Волощук А.М., Товбин Ю.К., Толмачев А.М., Авраменко В.А. Физическая химия адсорбционных явлений. – М.: Издательская группа «Граница». 2011. – 304 с.

5 Дубинин М.М. Адсорбция и пористость. М.: ВАХЗ, 1972. 126 с.

УДК 630\*866

А. И. Бадогоина, асп.; С. И. Третьяков, проф., канд. техн. наук; Н. А. Кутакова, проф., канд. техн. наук; Кунавин А.А., магистрант [n.kutakova@narfu.ru](mailto:n.kutakova@narfu.ru) (С(А)ФУ имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск)

### **ЭКСТРАКЦИЯ ЛУБА БЕРЕЗОВОЙ КОРЫ В СВЧ-ПОЛЕ**

Луб березовой коры, составляющий основную часть березовой коры (около 80%) содержит водорастворимые вещества, наиболее ценными из которых являются таниды – полифенольные соединения, обладающие дубящими свойствами [1].

В работе [2] подробно описаны продукты переработки коры. Например, полифенольные продукты из луба являются нетоксичными и биоразлагаемыми веществами, которые могут применяться для различных целей (как антиоксидантные реагенты, в качестве адгезионных и связующих материалов, красок для текстиля, пищевых добавок и медицинских препаратов) [3].

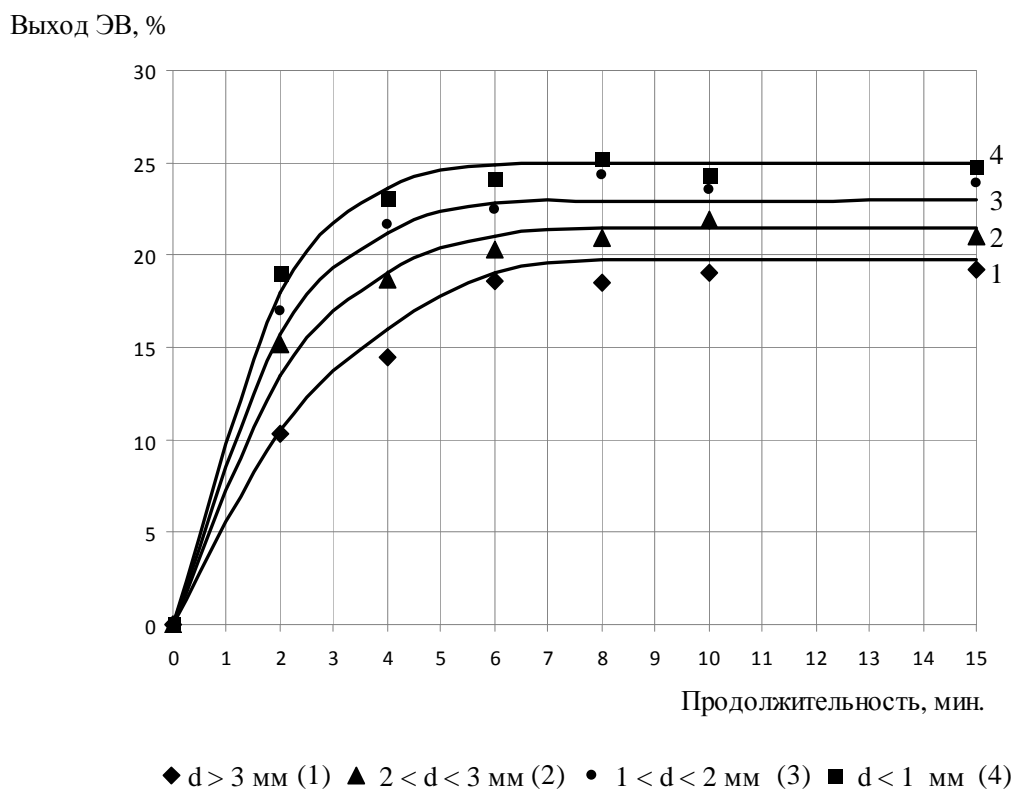
В работе [4] изучен процесс получения дубильного экстракта водно-спиртово-щелочной экстракцией луба березовой коры с использованием NaOH. Установлено, что наибольшее влияние на выход экстрактивных веществ (ЭВ) оказывает концентрация гидроксида натрия. Повышение концентрации NaOH от 0,5 до 1,5 % увеличивает выход ЭВ с 21 до 40 % масс. от а. с. луба.

Нами изучен процесс СВЧ-экстракции луба березовой коры с различной степенью измельчения в среде спиртового раствора КОН. Экстракцию проводили при оптимальных условиях для достижения



максимального выхода ЭВ: концентрация этилового спирта – 10 %; расход КОН – 17 %; ЖМ – 17 [5]. ЭВ из различных фракций луба коры березы хорошо извлекаются водно-спиртовыми растворами КОН. Из фракции луба менее 1 мм в условиях СВЧ-экстрагирования водно-спиртовым раствором КОН в течение 8 мин достигается выход ЭВ на уровне 25 %. СВЧ-экстракция позволяет интенсифицировать процесс выделения ценных компонентов из растительных материалов. Результаты исследования зависимости выхода ЭВ от продолжительности экстракции для различных фракций луба представлены на рисунке 1.

Выход ЭВ возрастает при увеличении продолжительности экстракции: для мелкой фракции – до 6 мин, для самой крупной – до 8 мин. Далее значение данного показателя остается постоянным. Наибольший выход (25 %) наблюдается из самой мелкой фракции, наименьший (20 %) – из более крупной фракции луба коры березы.



**Рисунок 1 – Зависимость выхода ЭВ от продолжительности экстракции для различных фракций луба**

Проведены исследования кинетики процесса СВЧ-экстракции при оптимальных условиях и для сравнения – экстракции методом настаивания. Использовали измельченный луб (фракция менее 1 мм). Экстракцию методом настаивания проводили при температуре 90 °С

в течение 120 мин. Вначале пробы отбирали через каждые 2 мин, затем – через 5 мин, в конце опыта – через 30 мин. Отбор проб при СВЧ-экстракции проводили через 2 мин с добавлением спиртового раствора взамен отобранного [5].

На рисунке 2 показаны зависимости выхода ЭВ от продолжительности экстрагирования для двух вариантов (СВЧ-экстракция и метод настаивания). Скорость процесса при воздействии СВЧ-поля возрастает в 1,5-2,0 раза, выход ЭВ увеличивается с 20 до 34 %. При СВЧ-экстракции в течение 15 мин достигается выход ЭВ, соответствующий их содержанию в лубе березовой коры, то есть происходит полное извлечение.

Выход ЭВ, %



Рисунок 2 – Кинетика спиртово-щелочной экстракции луба

В настоящее время нами продолжают исследования по изучению закономерностей СВЧ-экстракции луба березовой коры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1.Черняева Г. Н., Долгодворова С.Я., Бондаренко С.М. Экстрактивные вещества березы / Институт леса и древесины СО РАН. – Красноярск, 1986. – 125 с.

2 Бетулин: получение, применение, контроль качества: монография/ С.И. Третьяков, Е.Н. Коптелова, Н.А. Кутакова и др.; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: САФУ, 2015. – 180 с.: ил.

3. Bruce A., Palfreyman John W. Forest Products Biotechnology. – Taylos & France, 1998. – 243 p.

4. Оптимизация процесса получения дубильного экстракта из луба березовой коры / Т.В. Рязанова, Б.Н. Кузнецов, С.А. Кузнецова и др. // Химия растительного сырья. 2004. №3. С. 29 – 33.

5. Выделение экстрактивных веществ из луба коры березы при воздействии СВЧ-поля/ А.И. Захарова, С.И. Третьяков, Н.А. Кутакова, Е.Н. Коптелова// Лесной журнал. 2015. № 4. С. 148 – 155.

УДК 676.1.054.1

В.А. Якимов<sup>1</sup>, нач. отдела;

Ю.Д. Алашкевич<sup>2</sup>, член-корреспондент РАО, проф., д-р техн. наук  
[2546754@list.ru](mailto:2546754@list.ru) (<sup>1</sup>СПСА ГПС МЧС России, <sup>2</sup>СибГАУ, г. Красноярск)

### **ЭНЕРГОЗАТРАТЫ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ СУХИМ СПОСОБОМ С ПОНИЖЕННОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТЬЮ**

С целью решения задачи получения древесноволокнистых плит с пониженной пожарной опасностью сухим способом производства, в работе автором произведен анализ процесса подготовки древесноволокнистых полуфабрикатов и огнезащитных компонентов в размольных агрегатах. Дана оценка влиянию технологических и конструктивных параметров размалывающих машин на качественные показатели огнезащитных пресс-масс.

На основании результатов теоретических исследований предложена огнезащитная композиция древесно-вермикулитового состава для получения ДВП сухим способом с пониженной пожарной опасностью.

Операция получения древесноволокнистой огнезащищенной композиции является наиболее энергоемкой в общем технологическом процессе производства древесноволокнистых плит специального назначения и составляет в среднем не менее 50 % всех затрат электроэнергии, потребной для производства готовой продукции [1,4,5]. В связи с этим, вопрос энергопотребления в производстве ДВП сухим способом с пониженной пожарной опасностью экономически является достаточно важным в связи с предложением новых режимов размола существующей размольной установки и предлагаемой для подготовки вермикулита, которые обеспечивали бы необходимое качество размола

при минимальных энергозатратах. Это требует научно обоснованного подхода к оценке механизма размола в размалывающих машинах [3].

Расход электроэнергии определяли по величине нагрузки на главный электродвигатель размольной машины. Как отмечалось ранее, при проведении многофакторного эксперимента параллельно с исследованиями зависимости качественных показателей древесноволокнистой массы и готовых О-ДВП<sub>сух</sub> от конструктивных и технологических параметров размольной установки, проводились исследования влияния варьируемых параметров размалывающей установки на энергозатраты.

При каждом изменении значений одного из параметров проводилось фиксирование значения нагрузки на главный двигатель при помощи амперметра, а затем рассчитывался удельный расход электроэнергии, затрачиваемой на операцию размола по формуле:

$$E = (N \cdot t) / m, \quad (1)$$

где, N – расходуемая мощность, Вт; t – время, с; m – масса, кг.

В качестве входных факторов варьировались и оценивались: показатель износа сегментов в процессе их эксплуатации, величина зазора между размалывающими сегментами, частота вращения питающего шнека рафинера. Уровни, шаги и интервалы варьирования входных факторов представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования исследуемых факторов для реализации третьего этапа трехфакторного эксперимента**

Фактор	Обозначение		Интервал варьирования фактора	Уровень варьирования фактора		
	натуральное	нормализованное		-1	0	+1
Износ сегментов (отношение ширины ячейки ножа к его высоте)	L/h	X <sub>1</sub>	1,07	1,15	2,22	3,29
Зазор между размалывающими дисками, мм	z	X <sub>2</sub>	0,15	0,25	0,40	0,55
Частота вращения выносного шнека, мин <sup>-1</sup>	n	X <sub>3</sub>	10	20	30	40

Выходным фактором эксперимента в данном случае являлись значения затрат удельного расхода электроэнергии рафинера в процессе подготовки древесноволокнистых компонентов.

Для математического описания данного эксперимента с тремя варьируемыми факторами принималась модель второго порядка, общий вид которой приведен следующей формулой:

$$Y = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + B_3 \cdot X_3 + B_{11} \cdot (X_1)^2 + B_{22} \cdot (X_2)^2 + B_{33} \cdot (X_3)^2 + B_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + B_{13} \cdot X_1 \cdot X_3 + B_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (2)$$

При реализации многофакторного эксперимента, спланированного по В-плану второго порядка, удельный расход электроэнергии представлен статистическо-математическим уравнением:

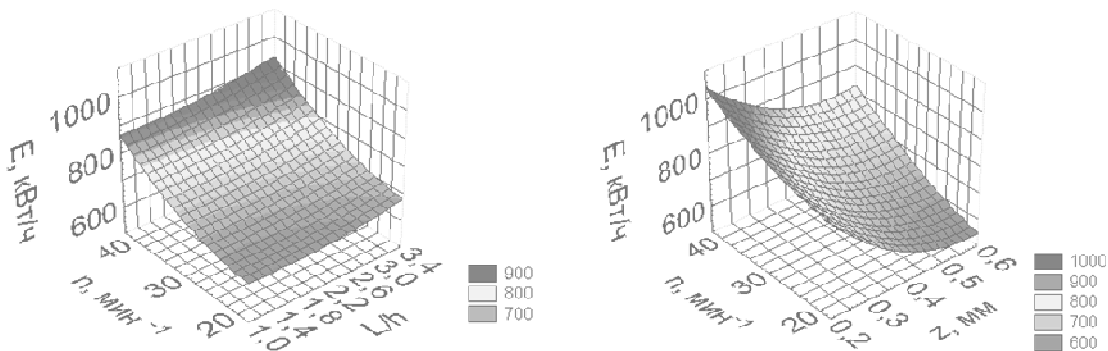
$$E = 845,4 + 11,61 \cdot L/h - 2542,3 \cdot z - 9,7 \cdot n + 1,81 \cdot L/h^2 + 2022,15 \cdot z^2 + 0,19 \cdot n^2 - 27,6 \cdot L/h \cdot z + 0,43 \cdot L/h \cdot n + 8,9 \cdot z \cdot n \quad (3)$$

Полученная математическая модель по результатам статистической проверки с помощью критерия Фишера является адекватной, поэтому может быть использована для описания, оценки и прогнозирования удельного расхода электроэнергии при изменении значений технологических и конструктивных параметров рафинера.

Анализируя уравнения, можно отметить, что степень помола волокна, качественные характеристики огнезащищенных плит и затраты электроэнергии на размол зависят от одних и тех же факторов и коррелированы между собой.

По полученной модели с натуральными обозначениями факторов построены графические зависимости удельного расхода электроэнергии, затрачиваемой на размол, от степени износа размалывающих сегментов, зазора между ними и частоты вращения выносного шнека. Графические зависимости, построенные по моделям, представлены на рисунке 1. Данные графические зависимости дают наглядное представление о влиянии исследуемых факторов на удельный расход электроэнергии. Исследуя и анализируя их, можно определить, при каких значениях параметров размольной машины расходуется меньшее количество электроэнергии при заданных значениях качественных показателей готовых плит.

На рисунке 1 представлена графическая зависимость, отражающая взаимное влияние частоты вращения выносного шнека и степени износа размалывающих сегментов при фиксировании зазора между дисками на среднем уровне, то есть  $z=0,4$  мм. Результаты исследований показали, что при уменьшении зазора между размалывающими дисками удельный расход электроэнергии повышается. Чем выше степень износа размалывающих сегментов, тем выше, при том же значении зазора между ними, расход электроэнергии.



**Рисунок 1 – Зависимость удельного расхода электроэнергии от технологических и конструктивных параметров рафинера**

При минимальном износе сегментов  $L/h=1,15$ , при увеличении частоты вращения шнека от 20 до 40  $\text{мин}^{-1}$ , удельный расход электроэнергии изменялся в пределах 680-870 кВт·ч, а при максимальном износе сегментов  $L/h=3,29$ , при том же диапазоне изменения частоты вращения выносного шнека, величина удельного расхода электроэнергии повышается от 730 до 980 кВт·ч.

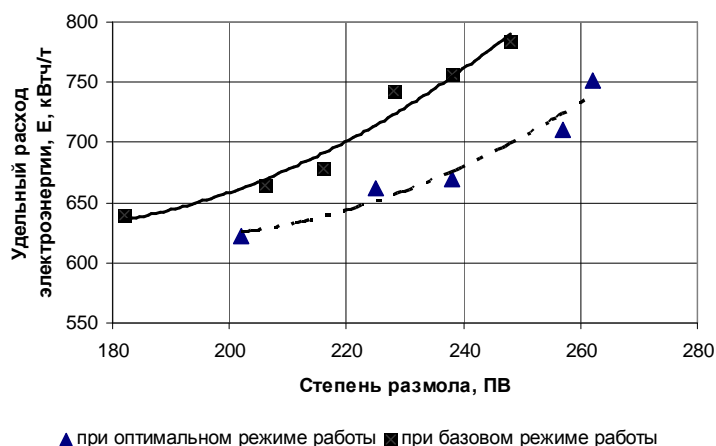
Повышение частоты вращения выносного шнека также приводит к увеличению удельного расхода электроэнергии. При минимальном износе сегментов  $L/h=1,15$ , при увеличении частоты вращения выносного шнека от 20 до 40  $\text{мин}^{-1}$ , удельный расход электроэнергии изменялся в пределах 680-870 кВт·ч/т, а при максимальном износе сегментов  $L/h=3,29$ , при том же диапазоне изменения частоты вращения шнека, величина удельного расхода электроэнергии повышается от 730 до 980 кВт·ч/т.

Из графиков видно, что при фиксировании величины степени износа на среднем уровне ( $L/h=2,22$ ), уменьшении зазора между размалывающими дисками и увеличении частоты вращения выносного шнека, удельный расход электроэнергии увеличивается. Скорость вращения нижнего шнека оказывает на расход электроэнергии большее влияние, чем зазор. Так, для  $z=0,55$  мм при  $n=20,0$   $\text{мин}^{-1}$  расход электроэнергии составит 585 кВт·ч, а для  $z=0,55$  мм, но уже при  $n=40,0$  об/мин –  $E=850$  кВт·ч; для  $z=0,25$  мм и при  $n=20,0$   $\text{мин}^{-1}$  –  $E=800$  кВт·ч, а для  $z=0,25$  мм, но уже при  $n=40,0$   $\text{мин}^{-1}$  –  $E=980$  кВт·ч.

Исследования показали, что на удельный расход энергии при приготовлении древесноволокнистой массы оказывают существенное влияние технологические и конструктивные параметры пропарочной камеры и размольной установки, исходное состояние и качество древесного сырья, его породный состав, давление и температура процесса, конструкция и материал ножевой гарнитуры и т.д. Установлено, что увеличение содержания доли лиственных пород в сырье приводит

к снижению нагрузки на главный электродвигатель. Нагрузка возрастает с увеличением продолжительности работы размольных дисков, при этом снижается производительность размольных машин, ухудшается качество получаемого волокна [2].

Результаты исследований расчетных значений зависимостей удельного расхода электроэнергии на рафинере от изменения значений степени помола массы по сравнению с существующими на производстве представлены в виде графических зависимостей на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Зависимость удельного расхода электроэнергии от величины степени помола на рафинере**

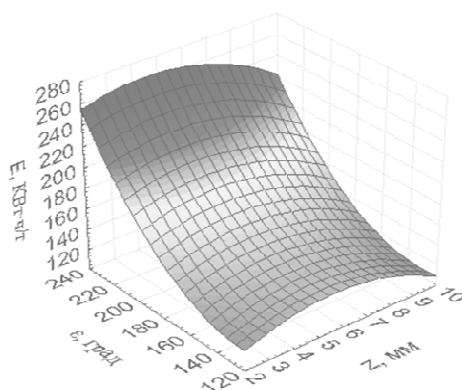
Как показывают результаты исследований, конструктивные и технологические параметры размольной установки оказывают существенное влияние на качество получаемого древесного волокна и физико-механические показатели готовых огнезащищенных плитв сухом способе производства ДВП. В то же время, стремление улучшить показатели древесноволокнистой плиты может привести к повышенному расходу электроэнергии, что увеличит, в конечном итоге, себестоимость готовой плиты.

Удельный расход электроэнергии расходуемый на подготовку вермикулитового компонента представлен статистическо-математическим уравнением:

$$E = 325,5 + 17,8 \cdot z - 3,12 \cdot \varepsilon - 1,84 \cdot z^2 - 0,31 \cdot \varepsilon^2 + 0,12z \cdot \varepsilon, \quad (4)$$

где  $z$  – зазор между ножами ротора и статора,  $\varepsilon$  – угол встречи ножа статора с сырьем – вермикулитом, подаваемым на измельчение

На рисунке 3 представлена графическая зависимость, отражающая влияние технологических факторов размольной установки МР-5: зазора между ножами ротора и статора ( $z$ ) и угла встречи кромки ножа с минералом ( $\varepsilon$ ) на удельный расход электроэнергии затрачиваемый на подготовку вермикулита.



**Рисунок 3 – Зависимость удельного расхода электроэнергии от величины степени помола на рафинере**

Обобщая полученные результаты, необходимо отметить, что получать древесноволокнистый полуфабрикат с заданными характеристиками и свойствами с целью формирования необходимых морфологических свойств огнезащищенной пресс-массы можно только в том случае, когда известны значения технологических параметров рафинера, которые надо установить. При этом физико-механические показатели плиты будут наилучшими при возможно-минимальных затратах электроэнергии на размол.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Карасев, Е.И. Развитие производства древесных плит [Текст]: учеб. пособие для студентов спец. 260200,260300 / Е.И. Карасев. – 2-е изд. – М.: МГУЛ, 2002. – 127 с.

2 Чистова, Н.Г. Переработка древесных отходов в технологическом процессе получения древесноволокнистых плит: дисс. .... докт. техн. наук/ Н.Г. Чистова. – Красноярск, 2010. – 415 с.

3 Чистова, Н.Г. Размол древесноволокнистой массы на промышленных установках при производстве ДВП [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03: защищена 20.12.2000 / Н.Г. Чистова. – Красноярск, 2000. – 170 с.

4 Влияние технологических и конструктивных параметров размола на свойства трудновоспламеняемых древесноволокнистых плит [Текст] / А.В. Антонов, Н.А. Петрушева, А.П. Чижов, Ю.Д. Алашкевич // Химия растительного сырья. – 2012. – №4. – С. 215–219.

5 Матыгулина, В.Н. Влияние конструктивных параметров размольной установки на качество древесного волокна и прочностные показатели MDF [Текст] / В.Н. Матыгулина, Н.Г. Чистова, Ю.Д. Алашкевич // Химия растительного сырья. – 2007. – № 2. – С. 107 – 111.



## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Колесников В.Л.</i> Оптимизация производства бумаги и картона на основе накопленной информации .....	5
<i>Алашкевич Ю.Д., Марченко Р.А.</i> Особенности конструктивных элементов рабочих органов при безножевой обработке волокнистых растительных полуфабрикатов .....	16
<i>Богданович Н.И., Лагунова Е.А., Кузнецова Л.Н., Цаплина С.А., Черная Н.В.</i> Пиролиз технических лигносульфонатов с получением активированных углей .....	22
<i>Войтов И.В.</i> Концептуальное развитие теории и технологии бумаги и картона .....	26
<i>Черная Н.В., Дубоделова Е.В., Деревяго И.П.</i> Состояние современного рынка бумажной и картонной продукции .....	33
<i>Jansen Andre, Maronchuk E., Zholnerovich N.</i> Increasing the efficiency of using sizing agents with the help of an ACT 2500 automated Cobb tester for dynamic evaluation of absorbency .....	39
<i>Новиков А.О., Дубоделова Е.В., Новосельская О.А., Гордейко С.А., Соловьева Т.В.</i> Бумага для печати, содержащая хлопковую целлюлозу .....	46
<i>Иконникова М.А., Королёва Т.А., Севастьянова Ю.В., Иванов К.А.</i> Использование недревесного растительного сырья для производства печатных видов бумаг .....	50
<i>Куркова Е.В., Мартыанова О.С., Архипов К.С.</i> Персонализация документов лазерным принтером .....	55
<i>Новосельская О. А., Пенкин А. А., Дубоделова Е. В., Соловьева Т. В.</i> Особенности воспроизведения цвета печатными видами бумаги .....	61
<i>Молодцова М.А., Севастьянова Ю.В., Сеземов И.В., Белоглазов В.И.</i> Исследование влияния процессов пропитки и основных факторов сульфатной варки на свойства хвойной целлюлозы высокого выхода .....	66
<i>Севастьянова Ю.В., Молодцова М.А., Иванов К.А., Татарский К.О.</i> Получение Na-бисульфитной растворимой целлюлозы (DWP) из хвойных пород древесины .....	69
<i>Зильберглейт М.А., Темрук В.И.</i> Определение сорности бумаги и целлюлозы оцифровкой изображения .....	73

<i>Сулим П.Е., Юденков В.С.</i> Использование бумаги для печати на ризографе .....	77
<i>Князева Ю.А., Махотина Л.Г.</i> Особенности производства мелованного крафт-лайнера на основе небеленых волокнистых полуфабрикатов.....	80
<i>Романенко К.А., Богданович Н.И., Смирнова А.И., Флейшер В.Л.</i> Наноструктурированные углеродные материалы на основе технических лигнинов .....	88
<i>Маслова Н.А., Сысоева Н.В.</i> Определение потребности в воде и волокнистых полуфабрикатов технологической линии получения фильтровальных материалов специального назначения .....	92
<i>Флейшер В. Л., Андрюхова М. В., Богданович Н.И.</i> Перспективы использования бифункциональных полимеров в технологии бумаги и картона.....	94
<i>Пенкин А.А., Темрук В.И., Кашин А.Н., Соловьева Т.В.</i> Вторичные волокнистые полуфабрикаты в технологии писче-печатных видов бумаги.....	98
<i>Николайчик И.В., Воробьев А.Д., Жолнерович Н.В., Черная Н.В., Барашко О.Г.</i> Оптимизация применения вспомогательных химикатов в технологии газетной бумаги.....	102
<i>Романенко К.А., Богданович Н.И., Шелгунова Н.С., Третьяков И. Н., Жолнерович Н.В.</i> Термохимическая активация коры древесины хвойных пород с КОН.....	105
<i>Николайчик И.В., Жолнерович Н.В., Черная Н.В.</i> Исследование состава и свойств модифицированных карбамидоформальдегидных олигомеров, применяемых в производстве бумаги из вторичного волокна.....	110
<i>Casten U., Maronchuk E., Zholnerovich N.</i> Complementary measurement of the zeta potential of fibers and the particle charge in pulp suspensions with the help of the AFG touch! twins .....	114
<i>Барашко О.Г., Жолнерович Н.В.</i> Автоматизированные методы контроля качества бумажного полотна .....	120
<i>Грудо С. К.</i> Локальная ультразвуковая модификация флексографских фотополимерных печатных форм .....	124
<i>Анкуда Д. А.</i> Многодвигательный привод листорезальной машины.....	126

<i>Гораздова В.В., Дернова Е.В.</i> Анализ физико-механических характеристик топ-лайнера в зависимости от компонентного состава покровного слоя .....	128
<i>Романова А.Н., Казаков Я.В.</i> Влияние условий формования анизотропных образцов на деформационное поведение бумаги...	132
<i>Смолин А.С.</i> Прочность и жесткость картона-лайнера .....	137
<i>Иванов Д.В., Петрушева Н.А., Алашкевич Ю.Д.</i> Влияние рисунка гарнитуры на свойства волокнистой массы в производстве древесноволокнистых плит с пониженной пожарной опасностью .....	144
<i>Безумова А.В., Коптелова Е.Н., Кутакова Н.А., Третьяков С.И.</i> Получение бетулина и суберина из технической коры архангельского ЦБК .....	149
<i>Дубовой Е.В., Ковернинский И.Н.</i> Этапы разработки технологии бумаги из стеклянного волокна .....	152
<i>Гисматулина Ю.А., Будаева В.В., Василишин М.С., Золотухин В.Н., Бычин Н.В., Сакович Г.В.</i> Бумага из мискантуса для получения нитратов целлюлозы .....	157
<i>Архилин М.А., Самсонова В.В., Стафеева Е.А., Богданович Н.И.</i> Синтез ферромагнитных адсорбентов на основе технических лигнинов .....	161
<i>Шутова А.А., Лагунова Е.А., Богданович Н.И., Третьяков С.И., Макаревич Н.А.</i> Исследование кинетики адсорбции углеводов активным углем .....	164
<i>Бадогина А. И., Третьяков С. И., Кутакова Н. А., Кунавин А.А.</i> Экстракция луба березовой коры в СВЧ-поле .....	168
<i>Якимов В.А., Алашкевич Ю.Д.</i> Энергозатраты в процессе производства древесноволокнистых плит сухим способом с пониженной пожарной опасностью .....	171

Научное издание

**МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«НОВЕЙШИЕ ДОСТИЖЕНИЯ  
В ОБЛАСТИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ  
ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ:  
ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, ХИМИЯ»**

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

В авторской редакции

Ответственный за выпуск *Е.О. Черник*  
Компьютерная верстка *Е.О. Черник, А.А. Левитская*

Подписано в печать 30.03.2017. Формат 60×84 1/16.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 18,77. Уч.-изд. л. 19,38.  
Тираж 60 экз. Заказ 81.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
УО «Белорусский государственный технологический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/227 от 20.03.2014.  
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.