

676  
Г.93

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

УДК 676.15.04

ГУБАРЕВ Александр Александрович

ПРОКЛЕЙКА БУМАГИ И КАРТОНА В НЕЙТРАЛЬНОЙ СРЕДЕ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕРНОКИСЛОГО АЛЮМИНИЯ

05.21.03 – Технология и оборудование химической переработки  
древесины; химия древесины

АВТОРЕФЕРАТ диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Минск 2000

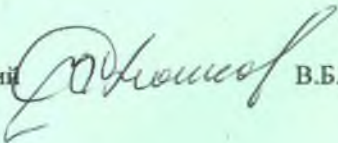
Работа выполнена в Белорусском государственном технологическом университете (БГТУ)

Научный руководитель	доктор технических наук, профессор <b>Горский Г.М.</b>
Научный консультант	кандидат химических наук, доцент <b>Ламоткин А.И.</b>
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор <b>Колесников В.Л.;</b>  кандидат технических наук <b>Осипов А.В.</b>
Оппонирующая организация	Борисовская бумажная фабрика Гознака Республики Беларусь

Защита состоится « 21 » декабря 2000 г. в 14 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.04 в Белорусском государственном технологическом университете, 220050, г. Минск, 13а, 227-73-50.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского государственного технологического университета.

Автореферат разослан 21» ноября 2000 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций  **В.Б. Снопков**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Одним из основных направлений развития современного производства бумаги и картона является переход от проклейки в кислой среде (рН 4,5 – 5,5) в область нейтральных и слабощелочных значений рН (6,5 и выше). Повышающийся интерес к технологии проклейки бумаги и картона в нейтральной среде обусловлен рядом технологических, экономических и экологических перспектив. Гидрофобизация бумаги и картона в нейтральной среде позволит снизить расходные нормы проклеивающего компонента и коагулянта, повысить белизну и долговечность бумаги и картона, снизить пенообразование в подсеточной части бумагоделательной машины, уменьшить коррозию основного и вспомогательного технологического оборудования, решить ряд вопросов, связанных с очисткой сточных вод, и повысить экономическую эффективность производства высококачественных видов продукции. Таким образом, разработка технологии проклейки бумаги и картона в нейтральной среде является актуальной задачей.

Эффективность процесса проклейки зависит от состава и свойства проклеивающего осадка, которые, в свою очередь, являются производными таких технологических факторов как вид проклеивающего компонента и коагулянта, а также их расходных режимов, рН массы отлива, композиционного состава бумажной массы. В литературе данные по составу и свойствам проклеивающего осадка на основе клеев из модифицированной канифоли, образующегося в нейтральной среде, отсутствуют. Между тем эти клеи начинают использоваться в целлюлозно-бумажной промышленности Республики Беларусь. Известно, что серноокислый алюминий является одним из компонентов, участвующих в процессе получения проклеивающего осадка. В этой связи представляет особый интерес изучение вопросов, связанных с образованием алюмосоляных комплексов в нейтральной среде с использованием клеев ТМ, ТМВС-2, ТМВС-2Н.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Диссертационная работа является частью комплексных исследований, проводимых в Белорусском государственном технологическом университете в соответствии с темами "Разработать и внедрить ресурсосберегающую технологию по экономии сырья и химикатов в производстве бумаги и картона" (№ гос. регистрации 19992650, 1999/2000 г.), "Разработать технологию производства бумажных фильтрующих материалов для автотракторной и пищевой промышленности на основе природных и синтетических полимеров" (№ гос. регистрации 19973221, 1997/1998 г.).

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы заключалась в установлении закономерностей процесса проклейки бумаги и картона модифицированными канифольными клеями в нейтральной среде в присутствии серноокислого алюминия.

201 ар

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Изучить особенности образования алюмосоляных комплексов и определить термодинамические характеристики возможных соединений, входящих в состав проклеивающего осадка.
2. Изучить влияние различных технологических факторов на показатели качества бумаги и картона при проклейке в нейтральной среде в присутствии серноокислого алюминия. Разработать математические модели и оптимизировать процесс проклейки бумаги и картона в нейтральной среде.
3. Провести промышленную апробацию процесса нейтральной проклейки бумаги в присутствии серноокислого алюминия.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является технологический процесс проклейки бумаги и картона с использованием канифольных клеев на основе модифицированной канифоли в присутствии серноокислого алюминия. Предмет исследований – состав проклеивающего осадка при нейтральной проклейке с использованием серноокислого алюминия и влияние технологических факторов этого процесса на свойства бумаги и картона.

Методология и методы проведенного исследования. В процессе экспериментальных исследований использовали методы: потенциометрического титрования, определение структуры и термодинамических характеристик возможных компонентов проклеивающего осадка с применением метода молекулярной механики ММ2, методы получения образцов бумаги и определения значений впитывающей способности, влагопрочности, разрывной длины и сопротивление излому полученных образцов по стандартным методикам.

Научная новизна и значимость полученных результатов. Изучен процесс взаимодействия между серноокислым алюминием и клеями на основе модифицированной канифоли. Рассчитаны термодинамические характеристики соединений, входящих в состав гидрофобизирующего осадка. Разработаны математические модели и оптимизирован процесс нейтральной проклейки бумаги и картона. Определен вклад различных технологических факторов на показатели качества бумаги и картона при проклейке бумаги модифицированными канифольными клеями в нейтральной среде с использованием серноокислого алюминия.

Практическая значимость полученных результатов. По результатам исследований определены оптимальные режимы проклейки различных видов бумаги и картона в нейтральной среде в присутствии серноокислого алюминия, представлены рекомендации по снижению удельных норм расхода коагулянта. На Борисовской бумажной фабрике «Гознака Республики Беларусь» и ОАО «Шкловская бумажная фабрика «Спартак» выпущены опытно-промышленные партии бумаги и картона при производстве обоевой, офисной бумаги и бумаги для конвертов, а также при производстве бумаги для гофрирования и картона

для промышленных нужд. Опытнo-промышленные партии бумаги и картона, проклеенные в нейтральной среде, соответствовали сертификатам качества.

Экономическая значимость полученных результатов. Эффект от экономии коагулянта при проведении гидрофобизации бумаги и картона в нейтральной среде на ОАО "Шкловская бумажная фабрика "Спартак", при выработке 230 тонн бумажно-картонной продукции, составил 5,7 т и на Борисовской фабрике «Гознака Республики Беларусь», при выработке 146 т бумаги, составил 2,4 т. Общий предполагаемый годовой экономический эффект от экономии проклеивающего реагента и коагулянта на данных предприятиях составит 12 561 тыс. руб (в ценах на 1.05.2000 г.). При этом экономия коагулянта составит 367,6 т по сравнению с традиционной технологией.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Результаты исследований по изучению закономерностей образования алюмосиликатных комплексов и определению термодинамических характеристик возможных соединений, входящих в состав проклеивающего осадка.

2. Научное обоснование влияния основных факторов на технологические показатели производства и качества продукции при проклейке бумаги и картона канифольными клеями в нейтральной среде в присутствии сернистого алюминия. Результаты математической оптимизации процесса нейтральной проклейки бумаги. Практические рекомендации перевода процесса проклейки в область нейтральных значений рН бумажной массы.

3. Данные по промышленной апробации процесса нейтральной проклейки бумаги и картона в присутствии сернистого алюминия.

Личный вклад соискателя. Автор лично проводил планирование эксперимента, реализацию его в лабораторных и промышленных условиях, обработку и обсуждение полученных экспериментальных данных.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты работы докладывались на международной научно-практической конференции "Лес-97" (г. Минск, 1997), III международной научно-технической конференции "Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии" (г. Гродно, 1998 г.), международной научной конференции молодых ученых "Лес Наука Молодежь" (г. Гомель, 1999 г.) международной конференции "Инженерная защита окружающей среды" (г. Москва, 1999, 2000 г.).

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано 5 статей в научных журналах и 7 тезисов докладов, общим количеством 39 страниц.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, 5 глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Работа содержит 8 приложений на 92 страницах, иллюстрирована 95 рисунками на 40 страницах и 27 таблицами на 32 страницах. Список литературы содержит 146 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Первая глава** посвящена обзору литературных источников по проблеме проклейки бумаги и картона в нейтральной среде. Приведена классификация проклеивающих веществ, используемых в целлюлозно-бумажной промышленности. Представлены особенности гидролитических реакций соединений алюминия и приведен механизм образования, осаждения и фиксации проклеивающего осадка в структуре бумажного листа. Рассмотрены современные представления и приведены особенности проклейки бумаги и картона в нейтральной среде.

Необходимо отметить, что основная масса опубликованных работ освещает проблемы проклейки бумаги и картона в кислой среде с точки зрения влияния технологических параметров проведения процесса при использовании конкретного проклеивающего реагента. Кроме того, переход предприятий Республики Беларусь с традиционного способа проклейки (в кислой среде) в область нейтральных значений рН сдерживается отсутствием систематических исследований этого процесса, недостаточной изученностью закономерностей образования алюмосоляных комплексов, входящих в состав проклеивающего осадка и обеспечивающих гидрофобизацию бумаги, а так же методов проклейки бумаги новыми составами на основе модифицированной канифоли, производимыми в Республике Беларусь.

**Во второй главе** изложены методики проведения исследований и описаны объекты исследования. Приведена характеристика волокнистых полуфабрикатов и химикатов, анализ которых проводили в соответствии с ГОСТами.

Подготовку волокнистых полуфабрикатов и получение опытных образцов бумаги, а так же их анализ проводили в соответствии с методиками ТАРРІ. Отклонения результатов измерения составляли 5 % при доверительной вероятности 0,95. Полученные в процессе математической обработки модели объектов были проверены на адекватность по соответствующим статистическим критериям. На основе математических моделей была проведена оптимизация технологического процесса проклейки бумаги в нейтральной среде с использованием сернокислого алюминия.

Состав алюмосоляных комплексов изучали с использованием метода потенциометрического титрования. Для выяснения термодинамических характеристик алюмосоляных комплексов, входящих в состав проклеивающего осадка, использовали компьютерную оптимизацию предполагаемых структур, с применением метода молекулярной механики MM2, в основу которого положен алгоритм Флетчера-Ривса.

В главе изложены методики определения оптимального расхода клея и сернокислого алюминия при проклейке бумаги в нейтральной среде; определения расхода сернокислого алюминия и влияния рН среды при исследовании

физико-механических показателей качества бумаги; определения жесткости воды и температуры массы на проклейку бумаги в нейтральной среде; термообработки бумаги при проклейке в нейтральной среде в присутствии сернокислого алюминия.

В третьей главе приведены результаты по изучению процессов комплексобразования при проклейке бумаги в нейтральной среде с использованием сернокислого алюминия, их обсуждение и выводы.

В результате исследований были получены интегральные и дифференциальные кривые потенциометрического титрования клеев на канифольной основе со степенью нейтрализации 99,1; 90,2; 80,1; 69,6; 49,8 %, с использованием в качестве титранта серной кислоты и сернокислого алюминия (рис. 1).

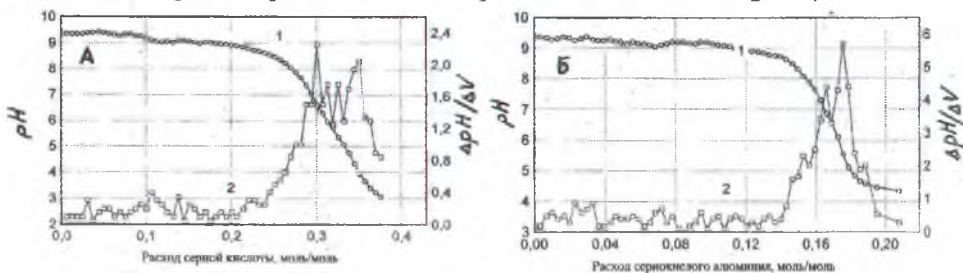


Рис. 1 Зависимость pH (1) и  $\Delta pH/\Delta V$  (2) от расхода серной кислоты (А) или сернокислого алюминия (Б) для клея со степенью нейтрализации 69,6 %

Необходимо отметить, что на начальной стадии потенциометрического титрования при введении титранта образовывался хлопьевидный осадок, который постепенно исчезал. Это, по-видимому, связано с перераспределением ионов натрия в системе, в результате чего, образующиеся в процессе взаимодействия смола (при использовании серной кислоты) или резинаты алюминия (при использовании сернокислого алюминия), стабилизировались в клеевой эмульсии. В данном случае сернокислый алюминий воздействует на систему и вызывает не образование недиссоциированных соединений, а сжатие двойного электрического слоя клеевых частиц. При увеличении содержания ионов алюминия в системе образовывался осадок, который не растворялся, что свидетельствует об образовании новых продуктов, вероятнее всего, различных форм резината алюминия. Процесс образования нерастворимых форм резината соответствовал резким изменениям pH системы и, как следствие, наличием пиков на дифференциальных кривых в соответствующем диапазоне расхода титранта. В ходе проведения исследований было отмечено, что система приходит в состояние равновесия довольно медленно. Это подтверждает предположение о взаимодействии полигидрокомплексов алюминия с активными центрами резината натрия с образованием резинатов алюминия различной структуры.

Смоляные и жирные кислоты, входящие в состав канифоли, обладают различной химической активностью по отношению к щелочи, что обуславливает разный состав нейтрализованной части кислот в условии стехиометрического недостатка щелочи. Каждой кислоте или смеси кислот соответствует своя константа ионизации, что и обуславливает наличие нескольких пиков на дифференциальной кривой потенциометрического титрования при использовании в качестве титранта серной кислоты (рис. 1а). Зависимость расхода серной кислоты ( $Y$ , моль/моль клея) от степени нейтрализации канифоли ( $X$ , %) имеет линейный характер и описывается уравнением вида:  $Y = -0,031 + 0,006 \cdot X$  (для  $X$  от 50 до 100 %).

Результаты потенциометрического титрования канифольных клеев представлены в табл. 1, из которой видно, что диапазон значений рН, величина и интенсивность происходящих процессов зависят от вида титранта и от степени нейтрализации канифоли. При использовании сернокислого алюминия, с повышением степени нейтрализации канифоли, значение рН, соответствующее скачку кривой титрования, смещается в более кислую область.

Таблица 1.

Результаты потенциометрического титрования канифольных клеев

Наименование параметра	Степень нейтрализации канифоли, %					
	99,1	90,2	80,1	69,6	60,3	49,8
$H_2SO_4$						
Интервал расхода титранта, соответствующий резкому изменению рН системы, моль/моль	0,437-0,540	0,389-0,486	0,285-0,425	0,282-0,357	0,207-0,307	0,133-0,260
Расход титранта, (моль/моль) и значение рН, соответствующие первой точке эквивалентности	0,443 (7,55)	0,395 (8,10)	0,322 (8,31)	0,276 (7,85)	0,244 (6,86)	0,187 (7,17)
Расход титранта, (моль/моль) и значение рН, соответствующие второй точке эквивалентности	0,522 (4,40)	0,468 (4,50)	0,413 (4,04)	0,351 (3,95)	0,301 (4,00)	0,253 (3,94)
$Al_2(SO_4)_3$						
Интервал расхода титранта, соответствующий резкому изменению рН системы, моль/моль	0,205-0,259	0,178-0,255	0,153-0,224	0,140-0,195	0,113-0,163	0,092-0,134
Расход титранта, (моль/моль) и значение рН, соответствующие максимальному скачку кривой титрования	0,253 (5,14)	0,232 (5,43)	0,200 (5,35)	0,175 (5,54)	0,145 (5,62)	0,120 (5,89)

Наибольший практический интерес представляют смоляные кислоты и алумосмоляные комплексы, так как именно они непосредственно участвуют в процессах гидрофобизации бумаги и картона. Ион алюминия, как ион комплексобразователь, обладает координационным числом равным шести. Это значит, что он способен вводить во внутреннюю координационную сферу шесть молекул органического лиганда, в нашем случае молекул резината. Од-



нако данные потенциометрического титрования показали, что в процессе взаимодействия возможно образование только моно-, ди-, и трирезината алюминия. Это значит, что одна молекула резината занимает более одного координационного места. Известно, что для координационных соединений наиболее устойчивой является форма с образованием циклических соединений через атомы кислорода. Для иона алюминия структура представлена на рис. 2.

Расчетные данные по энергетическим характеристикам смоляной кислоты, однозамещенной (рис. 3), двузамещенной и трехзамещенной формы резината алюминия представлены в табл.2 .

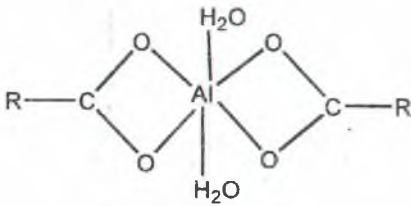


Рис.2 Структура циклического соединений иона алюминия

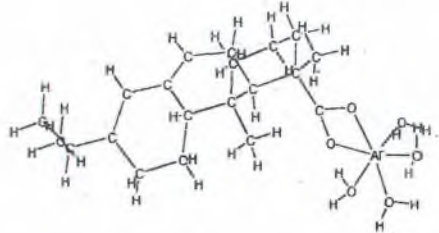


Рис.3. Оптимизированная структурная формула монорезината алюминия

Таблица 2

Термодинамические характеристики алюмосмоляных комплексов алюминия

Характеристика	Компонент			
	Смоляная кислота	Монорезинат алюминия	Дирезинат алюминия	Трирезинат алюминия
Энергия образования, кДж/моль	267,06	162,50	516,52	1086,62
Энергия линейного взаимодействия, кДж/моль	21,76	18,66	43,05	68,66
Энергия межуглового линейного взаимодействия, кДж/моль	127,65	33,43	256,86	684,46
Энергия межуглового пространственного взаимодействия, кДж/моль	15,52	8,79	28,83	73,97
Энергия сил Ван-дер-Ваальса, кДж/моль	99,75	99,70	185,27	257,86
Энергия электростатического взаимодействия, кДж/моль	1,88	0	1,13	0
Энергия механического искривления, кДж/моль	0,50	1,92	1,38	1,67

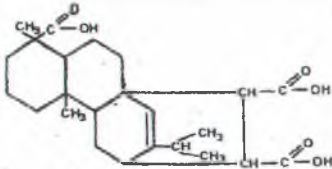
Более стабильными будут комплексы, характеризующиеся минимальной энергией образования. Необходимо отметить, что расчеты проведены для изолированных молекул. Учитывая процессы гидратации в водных растворах клеев за счет электростатического притяжения и деструктурирования воды, образующиеся алюмосмоляные комплексы должны быть более стабильны.

Расчетные данные и результаты потенциометрического титрования позволяют предположить, что на первой стадии, в зависимости от степени нейтрализации канифоли и расхода сернокислого алюминия, в системе образуется

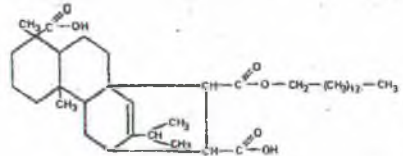
трирезинат алюминия. При последующем добавлении сернокислого алюминия трирезинат постепенно преобразуется в дирезинат и затем - в наиболее устойчивую монорезинатную форму.

Потенциометрическое титрование клеев ТМ, ТМВС-2, ТМВС-2Н показало, что для клея ТМ пик дифференциальной кривой титрования соответствует расходу сернокислого алюминия 0,267 моль/моль при pH 5,35; для клея ТМВС-2 пик соответствует расходу коагулянта 0,273 моль/моль при pH 5,29; для клея ТМВС-2Н на дифференциальной кривой характерно наличие двух пиков при pH 6,25 (расход коагулянта 0,196 моль/моль) и pH 5,40 (расход коагулянта 0,217 моль/моль). Для клея ТМВС-2Н максимальный пик дифференциальной кривой титрования соответствует области нейтральных значений pH, в то время, как клея ТМ и ТМВС-2 характеризуются наличием максимального пика в кислой области pH. Кроме того, расход коагулянта для клея ТМВС-2Н значительно меньше, чем для клеев кислой проклейки. Таким образом, можно предположить, что проклейка бумаги с использованием клея ТМВС-2Н возможна в диапазоне нейтральных значений pH массы за счет снижения расхода коагулянта, вводимого в систему.

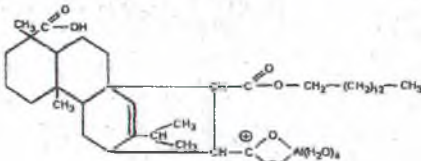
В зависимости от вида гидрофобизирующего реагента проклеивающий осадок клеев ТМ, ТМВС-2, ТМВС-2Н будет включать, кроме свободной смолы, моно-, ди-, трирезинатов алюминия, следующие соединения:



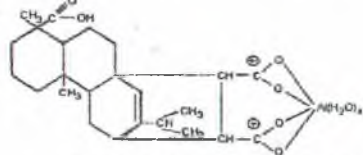
Малеопимаровая кислота



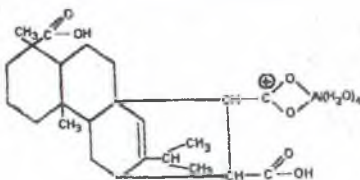
Моноэфир высших спиртов  
малеопимаровой кислоты



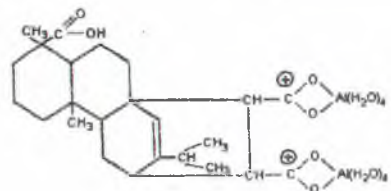
Малеоабиегат моноэфира высших  
спиртов гидроксиалюминия



Малеоабиегат гидроксиалюминия



Моногидроксиалюмомалеоабиегат



Дигидроксиалюмомалеоабиегат

Расчетные данные по термодинамическим характеристикам этих соединений представлены в табл. 3, из которой видно, что малеоабиеатат гидроксиалюминия и малеоабиеатат моноэфира высших спиртов гидроксиалюминия являются более стабильными соединениями, так как они обладают меньшей энергией образования по сравнению с другими замещенными формами.

Таблица 3

## Термодинамические характеристики компонентов проклеивающего осадка

Характеристика	Компонент					
	Малео- лима- ровая кислота	Моноэфир высших спиртов малеопи- маровой кислоты	Малеоабие- ат моно- эфира выс- ших спиртов гидроксиа- люминия	Малео- абиеатат гидро- ксиа- люми- ния	Моно- гидро- ксиа- люми- на- абие- атат	Дигид- рокси- люми- на- малео- абие- атат
Энергия образова- ния, кДж/моль	304,13	631,95	401,16	599,22	790,36	948,01
Энергия линейного взаимодействия, кДж/моль	26,65	30,12	31,17	1,92	35,27	51,31
Энергия межуглово- го линейного взаи- модействия, кДж/моль	100,46	98,91	106,48	214,85	115,35	367,52
Энергия межуглово- го пространствен- но-го взаимодействия, кДж/моль	269,32	291,58	284,05	293,42	306,69	494,84
Энергия сил Ван- Дер-Ваальса, кДж/моль	96,04	91,59	119,62	147,40	118,83	160,33
Энергия электроста- тического взаимо- действия, кДж/моль	- 4,02	- 4,60	- 3,01	- 4,31	- 4,06	- 8,28
Энергия механиче- ского искривления, кДж/моль	- 182,34	124,35	- 137,15	- 94,06	218,28	- 118,11

Таким образом, состав проклеивающего осадка зависит, в первую очередь, от вида проклеивающего реагента. При использовании клея марки ТМ вероятный состав проклеивающего осадка: свободная смола, моно- и дигидроксиалюминия, малеоабиеатат алюминия. При использовании клеев марок ТМВС-2 и ТМВС-2Н вероятный состав канифольной части проклеивающего осадка следующий: свободная смола, моно- и дигидроксиалюминия, малеоабиеатат моноэфира высших спиртов гидроксиалюминия. Соотношение данных компонентов будет зависеть от ряда факторов, основными из которых является расход коагулянта и величина рН массы. При снижении количества ионов алюминия в

системе возможно увеличение количества дирезината и образование трирезината алюминия.

В четвертой главе приведены результаты исследования влияния технологических факторов процесса проклейки в нейтральной среде на свойства бумаги. Определен оптимальный расход проклеивающего компонента и коагулянта при проклейке бумаги в нейтральной среде с использованием сульфатных и сульфитных беленых волокнистых полуфабрикатов из хвойных и лиственных пород древесины. Оптимизацией математических моделей установлены технологические режимы проведения процесса проклейки бумаги клеями ТМ, ТМВС-2, ТМВС-2Н.

Для каждого вида волокна, в зависимости от вида проклеивающего компонента, были получены результирующие уравнения, описывающие зависимость показателей качества бумаги – разрывной длины, влагонепрочности и впитываемости при одностороннем смачивании от факторов процесса проклейки – расход клея ( $X_1$ ), расход коагулянта ( $X_2$ ), степень помола волокна ( $X_3$ ). На основании расчета были получены полиномиальные уравнения второго порядка с парными взаимодействиями. Задача оптимизации технологического процесса проклейки бумаги и картона была сформулирована следующим образом: необходимо определить оптимальную стратегию ведения технологического процесса, чтобы получить бумагу, удовлетворяющую заданным показателям качества в определенной области факторного пространства за счет минимизации целевой функции энерготехнологических затрат. В расчетах использовали следующие ограничения:

- значение впитываемости при одностороннем смачивании,  $г/м^2 - 10 < Y_1 < 13$ ;
- расход клея,  $кг/т - 5 < X_1 < 20$ ;
- расход коагулянта,  $кг/т - 5 < X_2 < 35$ ;
- степень помола волокна,  $^{\circ}ШР - 25 < X_3 < 33$ ;

Данная система ограничений на зависимые переменные была выбрана исходя из анализа сертификатов качества клееных видов бумаги, производимых в Республике Беларусь. В качестве целевой функции ( $C$ ) была принята математическая зависимость (1) минимизации энерготехнологических затрат.

$$C = C_1 * X_1 / T + C_2 * X_2 + (X_3 - CP_0) * C_3 * Q \rightarrow \min, \quad 1$$

где  $C_1$ ,  $C_2$  – стоимость клея и коагулянта соответственно, руб/т;  $C_3$  – стоимость 1 кВт\*ч электроэнергии, руб;  $T$  – товарная концентрация клея;  $CP_0$  – степень помола волокнистого материала до размола,  $^{\circ}ШР$ ;  $Q$  – расход электроэнергии на 1  $^{\circ}ШР$  для дисковых мельниц, кВт\*ч.

Задача оптимизации решалась методом случайного локального поиска. Полученные оптимальные значения параметров технологического режима представлены в табл. 4.

Таблица

## Результаты оптимизации математических моделей

Вид клея	Технологические факторы			Показатели качества			С, руб.
	X1, кг/т	X2, кг/т	X3, °ШР	У1, г/м <sup>2</sup>	У2, %	У3, км.	
Сульфатная беленая целлюлоза из хвойных пород древесины							
ТМ	18,2	31,2	33	13,0	7,6	8,0	18357
ТМВС-2	17,7	29,2	33	13,0	7,5	7,9	21122
ТМВС-2Н	12,2	14,8	33	13,0	7,7	8,0	17295
Сульфатная беленая целлюлоза из лиственных пород древесины							
ТМ	11,0	23,4	33	13,0	7,2	5,0	13549
ТМВС-2	10,4	25,8	33	13,0	7,3	5,1	13971
ТМВС-2Н	10,1	10,6	25	13,0	7,6	4,0	12766
Сульфитная беленая целлюлоза из хвойных пород древесины							
ТМ	18,7	30,4	33	13,0	6,8	6,6	18681
ТМВС-2	18,9	31,7	33	13,0	6,9	6,6	20227
ТМВС-2Н	12,7	16,6	33	13,0	7,2	6,6	16470
Сульфитная беленая целлюлоза из лиственных пород древесины							
ТМ	17,7	29,1	33	13,0	7,1	3,1	18696
ТМВС-2	16,1	29,5	33	13,0	7,1	3,2	18777
ТМВС-2Н	12,5	14,5	33	13,0	7,3	3,6	16730

В результате оптимизации установлено, что, при прочих равных условиях, оптимальные расходные нормы проклеивающего компонента и коагулянт определяются видом целлюлозного волокна, его степенью помола, видом проклеивающего реагента и соотношением клей:коагулянт. При использовании клея ТМВС-2Н расход проклеивающего реагента снижается, в среднем, в 1,2 раза, коагулянта в 2 раза, по сравнению с клеями ТМ и ТМВС-2.

Полученные математические модели были использованы для оценки стратегии ведения технологического процесса при производстве клееных видов бумаги – офисной бумаги и бумаги для конвертов (табл.5). Данные виды бумаги отличаются композиционным составом по волокну и, соответственно, требованиями к качеству, что было использовано при установлении соответствующих ограничений.

Результаты оптимизации математических моделей при производстве бумаги для конвертов и офисной бумаги

Вид клея	Технологические факторы			Показатели качества			С, руб.
	X1, кг/т	X2, кг/т	X3, °ЩР	У1, т/м <sup>2</sup>	У2, %	У3, км.	
Офисная бумага							
ТМ	17,1	29,7	33	13,0	7,3	5,2	18785
ТМВС-2	16,9	29,6	33	13,0	7,2	5,0	19920
ТМВС-2Н	12,4	14,5	33	13,0	7,5	5,4	17022
Бумага для конвертов							
ТМ	17,5	29,7	33	13,0	7,2	5,3	19032
ТМВС-2	16,8	29,9	33	13,0	7,2	5,4	19869
ТМВС-2Н	12,8	15,1	33	13,0	7,3	5,7	17444

В процессе оптимизации установлено, что при проклейке бумаги клеем ТМВС-2Н в нейтральной среде с применением сернокислого алюминия, затраты, связанные с расходом проклеивающего реагента и коагулянта, а так же размолом волокнистых полуфабрикатов, на 10-15 % ниже, чем при использовании клеев ТМ и ТМВС-2.

Изучено влияние рН массы и расхода сернокислого алюминия на физико-механические показатели качества бумаги. Установлено, что, с увеличением расхода сернокислого алюминия от 20 до 40 кг/т и рН массы более 6,0, повышаются показатели разрывной длины и влагопрочности, снижается впитывающая способность при одностороннем смачивании. Максимальный эффект гидрофобности бумажного полотна достигается в диапазоне значений рН массы (6,3-6,8).

Определено влияние жесткости воды и температуры массы на гидрофобные показатели качества бумаги. Выявлено, что при проклейке бумаги в нейтральной среде клеевой канифольной композицией ТМВС-2Н жесткость воды до 3 мг\*экв/л не оказывает существенного влияния на протекание процессов электролитной коагуляции. При более высоком показателе жесткости воды увеличение расхода сернокислого алюминия способствует уменьшению отрицательного влияния солей временной жесткости на впитываемость при одностороннем смачивании бумаги.

Изучено влияние термообработки бумаги на физико-механические показатели качества. Установлено, что, при повышении температуры термообработки до 150 °С, показатель разрывной длины увеличивается на 10%. При термообработке выше 130 °С впитываемость бумаги снижается в 2,8 раза, влагопрочность повышается в 2 раза, по сравнению с бумагой без термообработки.

В результате проведения исследований по изучению влияния технологических факторов процесса проклейки разработаны практические рекомендации проведения проклейки бумаги и картона в нейтральной среде в присутствии сернокислого алюминия.

В пятой главе указаны особенности производства бумаги и картона в нейтральной среде. Приведена и описана принципиальная технологическая схема проведения процесса проклейки в нейтральной среде с использованием сернокислого алюминия. Представлено технико-экономическое обоснование перевода процесса проклейки бумаги и картона в область нейтральных значений рН бумажной массы с использованием сернокислого алюминия.

Промышленная апробация разработанной принципиальной технологической схемы и режимов нейтральной проклейки бумажной массы была проведена на Борисовской бумажной фабрике "Гознака Республики Беларусь" и ОАО "Шкловская бумажная фабрика "Спартак". Общий объем продукции, выпущенной на этих предприятиях, составил 376 тонн.

Сравнительный анализ гидрофобизации бумаги и картона в нейтральной среде, по сравнению с проклейкой в кислой среде, на бумажной фабрике "Гознака Республики Беларусь" показал, что переход от традиционного способа проклейки бумаги и картона позволяет сократить затраты на гидрофобизацию бумаги за счет снижения удельных норм расхода проклеивающего компонента и коагулянта. Причем, по видам продукции удалось добиться следующей экономии коагулянта: при производстве офисной бумаги марки "О1" – 16,2 кг/т; при производстве бумаги для конвертов (73-75 г/м<sup>2</sup>) – 14,2 кг/т; при производстве бумаги для конвертов (90 г/м<sup>2</sup>) – 11,1 кг/т; при производстве бумаги для обоев (120 г/м<sup>2</sup>) – 15,0 кг/т.

Промышленные испытания на ОАО "Шкловская бумажная фабрика "Спартак" позволили осуществить процесс гидрофобизации бумаги и картона в диапазоне значений рН массы при отливе 6,8-7,0. В процессе проведения выработки получено 50 тонн бумаги для гофрирования и 180 тонн картона для промышленных нужд. Экономия сернокислого алюминия составила 5,45 тонн по сравнению с традиционной технологией. Средняя экономия коагулянта для изготовления одной тонны продукции составила около 23 кг.

Годовые технико-экономические показатели перевода процесса гидрофобизации бумаги на бумажной фабрике "Гознака Республики Беларусь" и ОАО "Шкловская бумажная фабрика "Спартак" рассчитаны на основании данных по выпуску продукции за 1999 г. на данных предприятиях и представлены в табл. 6.

Годовые технико-экономические показатели процесса проклейки бумаги и картона в нейтральной среде с использованием серноокислого алюминия  
( в ценах на 1.05.2000 г.)

Вид продукции	Годовой объем выпуска, т.	Расходные нормы химикатов по товарному продукту, кг/т.		Годовая экономия химикатов по товарному продукту, т		Прибыль от экономии химикатов, тыс. руб.		Всего, тыс. руб.	
		Клей	Коагулянт	Клей	Коагулянт	Клей	Коагулянт		
<b>Борисовская фабрика "Гознак Республики Беларусь"</b>									
Обойная бумага	5620	23,4	13,0	-5,6	89,9	-3070	4450	1380	
Офисная бумага и бумага для конвертов	3604	13,5*	7,4*	14,4	57,7	7870	2856	10726	
<b>Итого:</b>	<b>9224</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>8,8</b>	<b>147,6</b>	<b>4800</b>	<b>7306</b>	<b>12106</b>	
<b>ОАО "Шкловская бумажная фабрика "Спартак"</b>									
Бумага для гофрирования, картон для промышленных нужд	10000	15,3*	28,0*	-20,0	220,0	-10930	11385	455	
<b>Всего:</b>	<b>19224</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-11,2</b>	<b>367,6</b>	<b>-6130</b>	<b>18691</b>	<b>12561</b>	

Примечание: \* -средний расход клея и коагулянта для данных видов продукции.

Из табл. 5 видно, что процесс проклейки бумаги и картона в нейтральной среде с использованием серноокислого алюминия на бумажной фабрики "Гознак Республики Беларусь" и ОАО "Шкловская бумажная фабрика "Спартак" позволит получить общую годовую прибыль от экономии химикатов в размере 12561 тыс. руб (12106 и 455 тыс. руб. соответственно для каждого предприятия). Причем, годовая экономия серноокислого алюминия составит 367,6 тонн. Таким образом, перевод проклейки бумаги и картона из кислой области в нейтральную на целлюлозно-бумажных предприятиях Республики Беларусь экономически выгоден и целесообразен.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлены закономерности образования алюмосоляных комплексов проклеивающего осадка образующиеся в результате взаимодействия между серноокислым алюминием и клеями на основе модифицированной канифоли. Установлено, что взаимодействие сопровождается рядом скачков на кривых потенциометрического титрования, что свидетельствует о многоступенчатости процесса образования проклеивающего осадка. Отмечено, что диапазон значений pH, величина и интенсивность происходящих процессов зависят от вида титранта и от степени нейтрализации канифоли. С повышением степени ней-



трализации канифоли значение рН, соответствующее максимальному скачку кривой титрования, смещается в более кислую область [1, 7].

2. Исследован состав проклеивающего осадка при использовании канифольных клеев, рассчитаны термодинамические характеристики алюмосмоляных комплексов, входящих в состав проклеивающего осадка. Расчет термодинамических характеристик возможных форм алюминия и малеопимаровой кислоты, а также ее производных показал, что, наряду со свободной кислотой, моно- и дирезинатом алюминия (как наиболее термодинамически стабильными алюмосмоляными комплексами), в состав проклеивающего осадка, в зависимости от вида клея, могут входить малеобабиетат гидроксиалюминия или малеобабиетат моноэфира высших спиртов гидроксиалюминия [2, 3].

3. С применением метода математического планирования эксперимента получены адекватные математические модели, позволяющие оценить зависимость показателей качества – впитываемости при одностороннем смачивании, влагопрочности и разрывной длины от технологических факторов процесса проклейки – расхода проклеивающего компонента и коагулянта, вида и степени помола волокна. В зависимости от вида клея, увеличение его расхода в исследуемом интервале значений сопровождается повышением гидрофобности бумаги при соотношении "клей:коагулянт" – 1: 1,5-1,8 - для ТМ; 1: 1,5-2,0 - для ТМВС-2; 1:1-1,3 - для ТМВС-2Н. Установлено, что, с увеличением расхода сернокислого алюминия от 20 до 40 кг/т и увеличении рН массы более 6, повышаются показатели разрывной длины и влагопрочности, снижается впитывающая способность при одностороннем смачивании. Определен предпочтительный диапазон значений рН массы (6,3-7,0) в котором достигается максимальный эффект гидрофобности бумажного полотна [4].

4. Развита представления о влиянии солей временной жесткости воды и температуры массы на гидрофобные показатели качества бумаги при проклейке бумаги в нейтральной среде в присутствии сернокислого алюминия. Установлено, что жесткость воды до 3 мг\*экв/л не оказывает существенного влияния на протекание процессов электролитной коагуляции. При более высоком показателе жесткости воды увеличение расхода сернокислого алюминия способствует уменьшению отрицательного влияния солей временной жесткости [5].

5. Установлено избирательное влияние термообработки на физико-механические показатели качества бумаги при проклейке в нейтральной среде. Показано, что при повышении температуры термообработки до 150 °С показатель разрывной длины увеличивается на 10%, впитываемость при одностороннем смачивании снижается примерно в 2,8 раза, а влагопрочность повышается в 2 раза [2].

6. В результате проведенных исследований сформулированы рекомендации по замене традиционной технологии проклейки бумаги и картона в кислой среде на проклейку в нейтральной среде. Промышленная апробация показала, что максимальный эффект гидрофобности бумажного полотна в промышленных условиях достигается в диапазоне значений рН массы (6,3-7,2). Данный диапазон значений рН массы может быть рекомендован в качестве оптималь-

ного при гидрофобизации бумаги и картона в присутствии серноокислого алюминия. Расход коагулянта, серноокислого алюминия, в зависимости от вида вырабатываемой продукции, снижен в 1,3-3,0 раза, по сравнению с традиционным технологическим подходом. Эффект от экономии коагулянта, при проведении гидрофобизации бумаги и картона в нейтральной среде с использованием серноокислого алюминия, на ОАО "Шкловская бумажная фабрика "Спартак" составил 220 т и на Борисовской фабрике «Гознак Республики Беларусь» составит 147,6 т. Общий предполагаемый годовой экономический эффект от экономии коагулянта на данных предприятиях составит 12 561 тыс. руб (в ценах на 1.05.2000 г.) [6, 8-12].

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ СОИСКАТЕЛЯ

1. Губарев А.А., Копылович М.Н., Горский Г.М., Баев А.К. Влияние pH и концентрации ионов алюминия на различные виды канифольного клея // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия III: Химия и химическая технология. – Минск, 1998. – Вып.6. – С. 90-98.
2. Губарев А.А. Особенности проклейки бумаги и картона в нейтральной среде // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия III: Химия и химическая технология. – Минск, 2000. – Вып.8. – С. 192-200.
3. Губарев А.А., Горский Г.М. Расчет термодинамических характеристик компонентов проклеивающего осадка / Материалы Междунар. научн. конф.: Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической промышленности и производстве строительных материалов. – Минск, 2000. – С. 329-331.
4. Губарев А.А., Горский Г.М. Влияние pH массы и расхода серноокислого алюминия на физико-механические свойства бумаги // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия III: Химия и химическая технология. – Минск, 1999. – Вып.7. – С. 52-57.
5. Губарев А.А., Горский Г.М. Влияние жесткости воды и температуры массы на показатели качества бумаги при проклейке в нейтральной среде / Материалы Междунар. научн. конф.: Лес Наука Молодежь.–Гомель, 1999.–Т.2.–С. 120-122.
6. Губарев А.А., Горский Г.М. Основные проблемы проклейки бумаги в нейтральной среде / Тезисы докладов Межд. научн. практ. конф.:Лес 97. – Минск, 1997. – С. 35.
7. Губарев А.А., Копылович М.Н., Горский Г.М., Баев А.К. Влияние pH и концентрации ионов алюминия на клея, полученные из живичной канифоли с высокой степенью омыления / Тезисы докладов III конференции: Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии. – Гродно, 1998. – С. 279-280.
8. Губарев А.А., Горский Г.М. Создание программ расчета материального баланса воды и волокна для производства синтетических видов бумаги / Материалы конф.: Разработка импортозамещающих технологий и материалов в химико-лесном комплексе. – Минск, 1997. – С. 252-253.
9. Горский Г.М., Бондаренко Ж.В., Губарев А.А. Разработка технологии производства бумажных фильтрующих материалов на основе природных и синте-

тических волокон / Тезисы докладов Международной научн.техн. конф.:Лес – экология и ресурсы. – Минск, 1998. – С. 285-287.

10. Бондаренко Ж.В., Губарев А.А., Горский Г.М. Эффективные фильтрующие материалы для очистки жидкостей и газов / Тезисы докладов Международной научн.тех.конф.:Инженерная защита окружающей среды. – М., 1999. – С. 20-21.

11. Губарев А.А., Горский Г.М. Гидрофобизация бумаги и картона в нейтральной среде / Тезисы докл. IV междунар. симпозиума молодых ученых, аспирантов и студентов: Техника и технология экологически чистых производств. – М., 2000. – С. 32-33.

12. Губарев А.А., Ламоткин А.И., Черная Н.В., Горский Г.М. Повышение экологичности бумажной фабрики «Гознака Республики Беларусь» при производстве бумаги в нейтральной среде / Тезисы докл. междунар. конф.: Инженерная защита окружающей среды. – М., 1999. – С. 20-21.

A handwritten signature in dark ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines, positioned in the lower right quadrant of the page.

ГУБАРЕВ Александр Александрович

## ПРОКЛЕЙКА БУМАГИ И КАРТОНА В НЕЙТРАЛЬНОЙ СРЕДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕРНОКИСЛОГО АЛЮМИНИЯ

СЕРНОКИСЛЫЙ АЛЮМИНИЙ, КАНИФОЛЬНЫЙ КЛЕЙ, ПРОКЛЕИВАЮЩИЙ ОСАДОК, НЕЙТРАЛЬНАЯ ПРОКЛЕЙКА, ТЕРМООБРАБОТКА, ВЛАГОПРОЧНОСТЬ, ВПИТЫВАЕМОСТЬ

Объектом исследования является технологический процесс проклейки бумаги и картона с использованием клеев на основе модифицированной канифоли с использованием сернокислого алюминия. Предмет исследований – изменение состава проклеивающего осадка при нейтральной проклейке в присутствии сернокислого алюминия и влияние технологических факторов этого процесса на свойства бумаги.

Цель диссертационной работы заключалась в установлении закономерностей процесса проклейки бумаги и картона канифольными клеями в нейтральной среде в присутствии сернокислого алюминия.

В работе изучен процесс взаимодействия между канифольными клеями, сернокислым алюминием и серной кислотой. Показано, что диапазон значений pH, величина и интенсивность происходящих процессов зависят от вида титранта и от степени нейтрализации канифоли. Исследован состав проклеивающего осадка при использовании клеев на основе модифицированной канифоли, рассчитаны термодинамические характеристики алюмосоляных комплексов, входящих в состав проклеивающего осадка.

Получены адекватные математические модели, описывающие зависимость показателей качества – впитываемости при одностороннем смачивании, влагопрочности и разрывной длины от технологических факторов процесса проклейки – расхода проклеивающего компонента и коагулянта в зависимости от вида и степени помола волокна. Определен предпочтительный диапазон значений pH массы в котором достигается максимальный эффект гидрофобности бумажного полотна.

Развиты представления о влиянии солей временной жесткости на гидрофобные показатели качества бумаги, изготовленной на основе сульфитной хвойной целлюлозы при проклейке бумаги в нейтральной среде в присутствии сернокислого алюминия.

Исследовано влияние термообработки на физико-механические показатели качества бумаги при проклейке в нейтральной среде.

Проведена промышленная апробация разработанной принципиальной технологической схемы и режимов нейтральной проклейки бумаги и картона. Отмечена практическая целесообразность перевода процесса проклейки бумаги и картона в область нейтральных значений pH.

ГУБАРАЎ Аляксандр Аляксандравіч

ПРАКЛЕЙКА ПАПЕРЫ І КАРДОНУ Ў НЕЙТРАЛЬНЫМ АСЯРОДДЗІ З  
ВЫКАРЫСТАННЕМ СЕРНАКІСЛАГА АЛЮМІНІЮ

СЕРНАКІСЛЫ АЛЮМІНІЙ, КАНІФОЛЬНЫ КЛЕЙ, ПРАКЛЕЙВАЮЧЫ  
АСАДАК, НЕЙТРАЛЬНАЯ ПРАКЛЕЙКА, ТЭРМААПРАЦОЎКА,  
ВІЛЬГАЦЕТРЫВАЛАСЦЬ, УЦЯГВАЮЧАЯ ЗДОЛЬНАСЦЬ

Аб'ектам даследавання з'яўляецца тэхналагічны працэс праклейкі паперы і кардону з ужываннем мадыфікаваных каніфольных клеяў у прысутнасці сернакіслага алюмінія. Прадмет даследаванняў – змяненне саставу праклейваючага асадку пры нейтральнай праклейцы ў прысутнасці сернакіслага алюмінія і ўплыў тэхналагічных фактараў гэтага працэсу на ўласцівасці паперы.

Мэта дысертацыйнай працы заключалася ў даследаванні працэса праклейкі паперы і кардону мадыфікаванымі каніфольнымі клеямі ў нейтральным асяроддзі ў прысутнасці сернакіслага алюмінія.

У працы разгледжан працэс узаемадзеяння паміж каніфольнымі клеямі, сернакіслым алюмініем і сернай кіслотой. Паказана, што дыяпазон значэнняў рН, велічыня і інтэнсіўнасць адбываючыхся працэсаў залежаць ад віду тытранта і ад ступені амылення каніфолі. Даследаван састаў праклейваючага асадку пры выкарыстанні каніфольных клеяў, разлічаны тэрмадынамічныя характарыстыкі алюмасмалёных комплексаў, якія ўваходзяць у састаў праклейваючага асадку.

Атрыманы адэкватныя матэматычныя мадэлі, якія апісваюць залежнасць паказчыкаў якасці – уцягваючай здольнасці пры аднабаковым змочванні, вільгацетрываласці і разрыўной даўжыні ад тэхналагічных фактараў працэса праклейкі – расходу праклейваючага кампаненту і каагулянту ў залежнасці ад віда і ступені памолу валакна. Вызначан найлепшы дыяпазон значэнняў рН масы, у якім дасягаецца максімальны эффект гідрафобнасці папяровага палатна.

Вывучан уплыў сапей часовай цвёрдасці на гідрафобныя паказчыкі якасці паперы, вырабленай на аснове сульфітнай хвойнай цэлюлозы пры праклейцы паперы ў нейтральным асяроддзі ў прысутнасці сернакіслага алюмінія.

Даследаван уплыў тэрмаапрацоўкі на фізіка-механічныя паказчыкі якасці паперы пры праклейцы ў нейтральным асяроддзі.

Праведзена прамысловая апрацацыя распрацаванай прынцыповай тэхналагічнай схемы і рэжымаў нейтральнай праклейкі папяровай масы з выкарыстаннем сернакіслага алюмінія. Адзначана практычная мэтазгоднасць пераводу працэса праклейкі паперы і кардону ў вобласць нейтральных значэнняў рН.

GUBAREV Aleksandr Aleksandrovich

**SIZING OF A PAPER AND CARDBOARD IN A NEUTRAL MEDIUM  
WITH USE OF ALUM EARTH**

**ALUM EARTH, ROSINY GLUE, SETTLINGS OF GLUEING, NEUTRAL  
SIZING, HEAT TREATMENT, WET STRENGTH, SATURATION CAPACITY**

The objects of investigation is the technological process sizing of a paper and cardboard with use rosiny glue at the presents of alum sulfate. The subject of investigation – modification of composition glueing a settling at neutral sizing at the present of alum earth and influence of technology factors of this process on properties of paper.

The aim of dissertation work was consisted of process sizing of the paper and cardboard rosiny glues in a neutral medium at the presence of alum sulfate is study.

In operation the process of interplay between rosiny glues, aluminium sulphate and sulfuric acid is learnt. That a gamut of values pH, magnitude and intensity of happening processes depend on an aspect titrant and from an extent of saponification of rosin is rotined. The composition glueing a settling is investigated at use rosiny glues, the thermodynamic performances alumrosins of complexes included in composition glue a settling are counted.

The adequate mathematical models circumscribing association of yardsticks of optimization - of saturation capacity at one-sided wetting, wet strengts and explosive length from technology factors of process sizing - rate of flux glueing a component both coagulant are obtained depending on an aspect and extent grinded of a fibers. The preferential gamut of values pH of a mass in which one is defined the maximal effect of hydrophoby of an impregnated-paper cloth is achieved.

Influencing salts of temporal hardness on hydrophobic indexs of quality of a paper manufactured on a basis sulfite to coniferous cellulose is learnt at sizing of a paper in a neutral medium at the presence of alum sulfate.

Influencing heat treatment on physic-mechanical indexs of quality of a paper is studied at sizing in a neutral medium.

The industrial approbation of the designed key technological schema and conditions neutral sizing of an impregnated-paper mass with use of alum sulfate is held. The practical expediency of recalculation of process sizing of a paper and cardboard in field of neutral values pH is marked.

Губарев Александр Александрович

---

**ПРОКЛЕЙКА БУМАГИ И КАРТОНА В НЕЙТРАЛЬНОЙ СРЕДЕ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕРНОКИСЛОГО АЛЮМИНИЯ**

Подписано в печать 09.11.2000. Формат 60 x 84 1/16. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,4. Усл. кр.-отг. 1,4. Уч.-изд. л. 1,2.

Тираж 80 экз. Заказ № 452.

Белорусский государственный технологический университет.

Лицензия ЛВ № 276 от 15.04.98. 220050, Минск, Свердлова, 13а.

Отпечатано на ротапринтере Белорусского государственного  
технологического университета. 220050, Минск, Свердлова, 13а.