

Министерство образования и науки Российской Федерации

Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова»

Кафедра целлюлозно-бумажного производства,
лесохимии и промышленной экологии

Н. Ф. Пестова, В. А. Дёмин

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, БУМАГИ И КАРТОНА

Учебное пособие

Утверждено учебно-методическим советом Сыктывкарского лесного института в качестве учебного пособия для студентов направления бакалавриата 240100 «Химическая технология» и специальности 240406 «Технология химической переработки древесины» всех форм обучения

Самостоятельное учебное электронное издание

СЫКТЫВКАР
СЛИ
2013

УДК 676.1
ББК 35.77
П28

Утверждено к изданию редакционно-издательским советом
Сыктывкарского лесного института

Ответственный редактор:
В. А. Дёмин, доктор химических наук, профессор

Пестова, Н. Ф.
П28 **ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ,
БУМАГИ И КАРТОНА** [Электронный ресурс] : учебное пособие : са-
мост. учеб. электрон. изд. / Н. Ф. Пестова, В. А. Дёмин ;
Сыкт. лесн. ин-т. – Электрон. дан. – Сыктывкар : СЛИ, 2013. –
Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>. – Загл. с экрана.

Учебное пособие посвящено изучению переработки целлюлозы, бумаги и картона. Рассмотрены теоретические разделы курса. Приведен список литературы для самоподготовки студентов.

Для студентов направления бакалавриата 240100 «Химическая технология» и специальности 240406 «Технология химической переработки древесины» всех форм обучения.

УДК 676.1
ББК 35.77

Темплан 2013 г. Изд. № 195.

Самостоятельное учебное электронное издание

Пестова Наталия Феликсовна, ст. преподаватель,
Дёмин Валерий Анатольевич, доктор химических наук, профессор

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, БУМАГИ И КАРТОНА

Электронный формат – pdf. Объем 6,2 уч.-изд. л.
Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова» (СЛИ),
167982, г. Сыктывкар, ул. Ленина, 39, institut@sfi.komi.com, www.sli.komi.com

Редакционно-издательский отдел СЛИ. Заказ № 372

© СЛИ, 2013
© Пестова Н. Ф., Дёмин В. А., 2013

Оглавление

Введение	4
1 Технология переработки и обработки целлюлозы	9
1.1 Облагораживание целлюлозы	9
1.1.1 Горячее облагораживание.....	11
1.1.2 Кислородно-щелочное облагораживание	13
1.1.3 Холодное облагораживание	15
1.2 Переработка целлюлозы в сложные и простые эфиры	19
1.2.1 Вискозная целлюлоза	19
1.2.2 Ацетилцеллюлоза $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OCOCH_3)_x]_n$	23
1.2.3 Нитрат целлюлозы $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(ONO_2)_x]_n$	27
1.2.4 Метилцеллюлоза $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OCH_3)_x]_n$	29
1.2.5 Карбоксиметилцеллюлоза $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OCH_2COOH)_x]_n$	29
2. Нанесению покрытий на бумагу	31
2.1 Гуммированная бумага и клеевые ленты	31
2.2 Копировальная бумага.....	32
2.3 Мелование бумаги и картона.....	35
2.3.2 Отделка мелованных видов бумаги и картона.....	42
2.4 Устройства для нанесения покрытий на бумагу	44
2.5 Сушка мелованной бумаги	55
2.6 Отделка мелованной бумаги.....	67
3 Резка, сортирование, упаковка	73
4 Производство пергамента	87
Библиографический список.....	96

Введение

Процессы обработки и переработки бумаги имеют большую историческую давность. Еще при ручном способе производства бумаги применяли обработку ее различными органическими маслами и смолами с целью придания прочностных и водоотталкивающих свойств. Известно, что уже в XVIII веке в Англии изготавливали доски путем прессования листов бумаги, пропитанных клеем. Давно известна переработка бумаги и картона на различные изделия: световые фонарики, игрушки, различные коробки для упаковки бытовых, парфюмерных и других изделий.

В настоящее время в мире выпускается свыше 800 видов бумаги и картона и они используются более чем в 60 000 областях наименований товаров потребления. В мировой практике продукция обработки и переработки бумаги и картона составляет по тоннажу более половины, а по ассортименту — более 80 % от общего объема производства продукции целлюлозно-бумажной промышленности. В некоторых промышленно развитых странах в областях переработки бумаги и картона занято более $\frac{2}{3}$ от всей численности работающих в целлюлозно-бумажной промышленности.

Бурное развитие компьютерной техники, цифропечатающих устройств, их чрезвычайно широкое и быстрое вхождение в ежедневный обиход современных граждан России, развитие полиграфии, рост таких важнейших отраслей, как химическая, авиационная, автомобильная, строительная и других сопровождается расширением области применения целлюлозно-бумажной продукции, увеличением спроса на все новые промышленно-технические виды бумаги и картона (например, электрохимические, термореактивные, электрофотополупроводниковые; картоны: акустические, электроизоляционные, шумопоглощающие, фильтровальные, пароводонепроницаемые, трансформаторные и многие другие).

Для транспортировки пищевой и химической продукции, радиотехнических изделий и приборов, товаров народного потребления большое значение приобретает вопрос о массовом производстве картонных контейнеров, ящиков — заменителей деревянной тары, а также коробочного картона с мелованной поверхностью или покрытием полимерными материалами.

Механизация и автоматизация процессов упаковки, развитие систем самообслуживания в сфере торговли (резко расширившейся за последние 20 лет), повышение роли упаковочных материалов в сохранении свойств продуктов привели к созданию новых комбинированных упаковочных материалов на основе бумаги и полимерных покрытий. Все больший спрос наблюдается на высококачественные мелованную типографскую бумагу для офсетной печати.

Непрерывно растет потребность на товары массового спроса: обои, декоративные бумажно-слоистые пластики, санитарно-гигиенические виды бумаг и многое другое. В настоящее время цеха и отделы по обработке и переработке бумаги и картона организованы и действуют более чем на 85 пред-

приятнях, при этом на таких крупнейших, как Сыктывкарский ЛПК, Архангельский, Котласский, Астраханский, Херсонский, Каменский, Соломбальский, Камский ЦБК и др.

Строящиеся и реконструированные предприятия оснащаются современной высокопроизводительной техникой и обеспечиваются новейшей технологией обработки и переработки бумаги и картона, а также изготовления изделий из этих видов продукции.

Классификация процессов обработки и переработки бумаги и картона (единой нет), используемая в отрасли, состоит в следующем:

- *обработка* бумаги и картона осуществляется с целью придания им новых специальных свойств (паро-, водо-, жиронепроницаемое, светочувствительности, негорючести, бактерицидности, приклеиваемости и др.) путем пропитки, окраски, нанесения на поверхность полимеров, восковых расплавов, эмульсий, пленок, металлической фольги, гуммирования, крепирования, тиснения, армирования и других химических модификаций;

- *переработка* бумаги и картона осуществляется с целью превращения их в новое изделие с предварительной обработкой (производство пергамента, фибры, пластиков, битумированных мешков) или непосредственно (производство шпагата, бумажной пряжи, гильз, шпунелей, штампованных изделий, тетрадей, мешков, коробок, ящиков и др.).

Процессы обработки и переработки бумаги и картона осуществляются следующими способами (за исключением механического способа переработки): нанесением на поверхность или пропиткой химическими веществами в виде растворов, дисперсий, паст, расплавов с последующей термообработкой или охлаждением конечного продукта. В табл. 1 приведена примерная классификация методов и процессов обработки и переработки бумаги и картона.

В СССР все виды бумаги по принятой тогда классификации делили на 10 классов (ГОСТ 17586—80): 1 — для печати; 2 — декоративная; 3 — для письма, машинописи, черчения и рисования; 4 — электротехническая; 5 — упаковочная и оберточная; 6 — светочувствительная; 7 — для изготовления папирос и сигарет; 8 — впитывающая; 9 — промышленно-техническая разного назначения; 10 — бумага-основа.

В последнее десятилетие в мировом объеме производства бумаги и картона, превышающем 350 млн. т, доля так называемых графических видов бумаги, которые включают бумагу для печати газет, книг и журналов, бумагу для письма, рисования, офисной техники, составляет примерно 30 %. Их основное функциональное назначение — регистрировать, передавать и сохранять информацию. Внедрение электронных носителей информации вопреки прогнозам не привело к снижению потребительского спроса на эти виды бумаги. Во всем мире выпуск книг и журналов непрерывно увеличивается; например, за период 1991-1995 гг. он вырос примерно вдвое. В новом столетии продолжается рост производства печатных изданий, сохраняется устойчивый спрос на бумагу и в делопроизводстве. Кроме того, отмечается интенсивное расширение области применения полиграфической продукции, а соответст-

венно печатных видов бумаги. Формируются новые направления развития полиграфического производства, которые предъявляют свои специфические требования к применяемым материалам и в первую очередь к бумаге.

К новым отраслям полиграфического производства относится, в частности, интенсивно развивающаяся упаковочная полиграфия — нанесение печати на жесткую и мягкую упаковку пищевых продуктов, промышленных товаров и на атрибуты их оформления — этикетки, ярлыки и пр. Особенность требований, предъявляемых к бумаге и картону этого назначения, состоит в сочетании способности к восприятию печати и обеспечения весьма разнообразных функциональных свойств изделия — влаго-, жиронепроницаемости, влагопрочности, определенной воздухопроницаемости и пр.

В самостоятельное направление полиграфии превратилось рекламное производство, для которого также требуется специальный ассортимент бумаги и картона. Его отличительным признаком является сочетание печатных, декоративных и специальных потребительских свойств — влагопрочности, светостойкости, определенных декоративных свойств и др. В Западной Европе расход бумаги на изготовление рекламной продукции уже достиг 70 % от общего объема потребления печатных видов бумаги.

К развивающимся направлениям полиграфии с применением бумажных носителей относятся также печатные процессы в производстве санитарно-гигиенических изделий (скатертей, салфеток, полотенец и пр.), стеновых материалов (обоев, плит), бумаги для производства мебели.

Достаточно специфической областью полиграфии является печать на *самокопировальной* и *самоклеющейся* бумаге, предназначенной для бланков, этикеток, идентификационных знаков и прочей продукции. Соотношение отдельных видов печатной продукции на мировом рынке, согласно оценкам фирмы «Heidelberg», представлено на рис. 1.

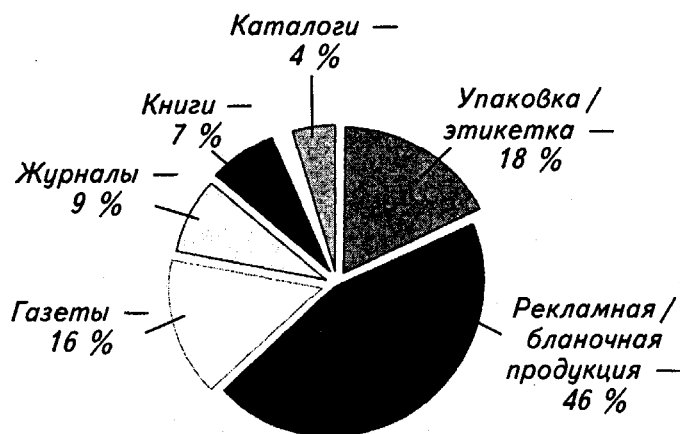


Рисунок 1 - Соотношение отдельных видов печатной продукции на мировом рынке

Полиграфическое производство начала XXI века не ограничивается выпуском газет, журналов, книг по традиционной технологии — с применением печатной формы. Опережающими темпами развиваются способы *пе-*

чати без использования печатной формы — электрофотография, струйная печать, магнитография, ионография, термография и др.

Печать без использования печатной формы стала важнейшей составляющей *цифровой печати* (digital printing), которая включает совокупность методов цифровой допечатной обработки изображения и технологии его воспроизведения на бумаге. Суть цифровой печати — совмещение компьютера с копирующей или с печатной машиной. Главное ее преимущество — сокращение продолжительности процесса изготовления печатной формы и включение его непосредственно в печатный процесс на машине. В качестве печатающего блока цифровых печатных машин используются офсетные печатные машины — по такому пути идут фирмы «Heidelberg» и «Indigo», электрографические машины, основанные на «лазерной» технологии фирм «Agfa», «Хегох», «Heikon», устройства струйной печати фирм «Hewlett-Packard», «Epson», «Canon», «Lexmark», а также устройства, основанные на других принципах бесконтактной печати. Цифровые технологии позволили изменить традиционный принцип полиграфии — «максимальная идентичность оттисков всего тиража» на принцип: «индивидуализация каждого оттиска». Эти технологии сделали возможным печатание с внесением переменной информации в каждый оттиск тиража, например внесение адреса и фамилии клиента в рассылаемой рекламе, почтовых отправлениях и т. д.

Данные о соотношении отдельных способов печати в производстве печатной продукции, представленной на мировом рынке в период с 1970 по 2002 г., и прогноз до 2014 г. представлены на рис. 2.

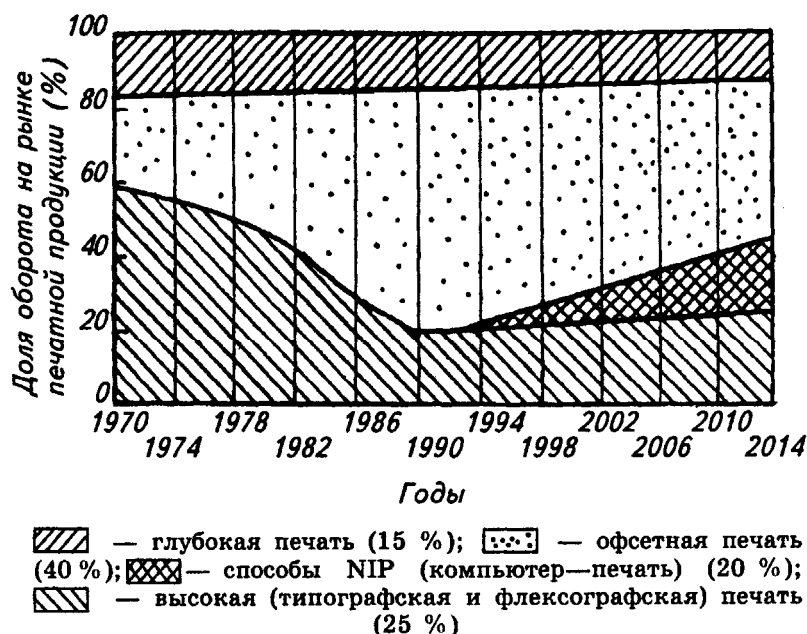


Рисунок 2 - Соотношение отдельных способов печати в производстве печатной продукции, представленной на мировом рынке в 1970-2000 гг., и прогноз до 2014 г.

В начале семидесятых годов прошлого столетия в нашей стране *высоким* способом печаталось 69 %, *глубоким* — 5 %, а офсетным — 25 % продукции. В настоящее время в России высокий способ практически вытеснен

офсетным, а глубокий используется преимущественно для печати этикеток, упаковки, обоев и стеновых или мебельных отделочных материалов.

Почти все виды бумаг подвергаются тем или иным процессам обработки и переработки (табл. 1). Наименьшей обработке подвергаются писчую, электроизоляционную и бумагу для папирос и сигарет.

Таблица 1 - Методы и процессы обработки и переработки бумаги и картона

Методы	Процессы	
	обработки	переработки
Механический	-	Резка на формат, вырезка деталей, сшивка, фальцовка
Физико-механический	Увлажнение, каландрирование, крепирование, гофрирование	Штамповка деталей, прессование, склейка
Физико-химический	Пропитка химическими веществами: нанесение на поверхность бумаги или картона полимерных веществ, пигментов, водорастворимых связующих и др.	В другой вид продукции в результате прогрева (сушки) при прессовании
Химический	-	В другой вид продукции в результате взаимодействия волокон с химическими реагентами

Преобладающее количество всех перерабатываемых видов бумаги и картона, подвергаемых обработке и переработке, составляет упаковочно-оберточный класс бумаги и тарный картон. Из общего количества упаковочно-оберточной бумаги около 80 % идет для изготовления мешков. Для их выработки используется бумага из небеленой сульфатной целлюлозы, склеенная с битумной прослойкой, с полиэтиленовым покрытием, парафинированная, влагопрочная, антилипкая и т. п.

Большое народнохозяйственное значение имеет увеличение выпуска и повышение качества различных видов бумаги и картона для машинной расфасовки и упаковки пищевых продуктов, металлических изделий, выпуска высококачественной типографской мелованной бумаги, специальных видов бумаги для оргтехники и др.

Процессы обработки и переработки бумаги и картона в большинстве случаев строго разграничиваются. Так, например, мелование бумаги есть процесс обработки бумаги-основы физико-химическим методом. Мешочная бумага при выработке из нее битумированных мешков проходит два процес-

са обработки: при нанесении битума на поверхность бумаги; переработке при вырезке формата; сшивке днища и продольной склейке.

Также два процесса проводятся при выработке бумажно-слоистого пластика: обработка бумаги физико-химическим методом при пропитке бумаги-основы фенолформальдегидной смолой и переработка физико-химическим методом при прессовании в горячем прессе.

1 Технология переработки и обработки целлюлозы

1.1 Облагораживание целлюлозы

При производстве целлюлозы для химической переработки и для выработки некоторых специальных видов бумаг и картонов на процесс отбеливания возлагается еще и важная задача получения беленых целлюлоз со строго нормированными физико-химическими свойствами, отвечающими требованиям потребителя. Например, при отбелике вискозной целлюлозы надо получить целлюлозу низкой зольности и смолистости, имеющую высокое содержание альфа-целлюлозы и т. п. Процесс получения такой особо чистой целлюлозы называется облагораживанием. Массовая доля альфа-целлюлозы служит мерой степени облагораживания.

Главная область применения облагороженной целлюлозы – химическая переработка. Из нее производят вискозные нити (вискозный шелк и штапель, волокно для обычного, прочного и сверхпрочного корда), ацетатные нити и пленки (ацетатный штапель и шелк, кино- и фотопленки), нитропроизводные и другие сложные и простые эфиры (пороха, лаки, клей и т.п.).

Облагороженная целлюлоза наряду с химической чистотой обладает высокой прочностью и применяется в бумажном производстве. Она придает бумаге пухлость и хорошую смачиваемость, уменьшает прозрачность. Из нее вырабатывается широкий ассортимент бумаг и картонов различного назначения: пергамент высокого качества, фильтровальная бумага с различной скоростью фильтрации, долговечная бумага, фотоподложка, чертежная и картографическая бумага высших сортов, бумага для художественной печати и т. п., а в сочетании с синтетическим латексом – стелечный материал и заменители кожи с различными механическими свойствами и эластичностью.

Требования к степени облагораживания зависят от назначения целлюлозы. Например, для выработки обычных вискозных шелковых и штапельных волокон достаточно массовая доля альфа-целлюлозы 92...93 %, а для производства высокопрочных вискозных кордных волокон и ацетатных нитей и пленок требуется облагораживание до 97...98 % альфа-целлюлозы.

В ходе процесса облагораживания решаются и другие технологические задачи: снижается содержание экстрактивных и зольных веществ, регулируется вязкость целлюлозы, достигается необходимая реакционная способность и однородность по степени полимеризации.

Пригодность облагороженной древесной целлюлозы для химической переработки главным образом характеризуется реакционной способностью. Чем выше реакционная способность целлюлозы, тем легче и быстрее протекают реакции и тем однороднее получаются продукты реакции.

На реакционную способность оказывает влияние степень очистки целлюлозы от спутников. Нецеллюлозные примеси, в том числе гемицеллюлозы (особенно пентозаны), затрудняют диффузию реагентов внутрь волокна и вызывают помутнение растворов, не исчезающее при фильтрации и обуславливающее неоднородность и ухудшение механических свойств получаемых продуктов химической переработки.

На реакционную способность целлюлозы влияет также морфологическая структура волокна и в особенности степень разрушения первичного слоя клеточной стенки, а также наружного слоя вторичной стенки. Полное удаление наружной оболочки облегчает доступ реагентов внутрь волокна. Сохранение или неполное удаление этой оболочки (первичного слоя клеточной стенки) снижает реакционную способность и приводит в производстве вискозного волокна к ухудшению фильтруемости вискозного раствора. Такие же затруднения возникают и в производстве других эфиров целлюлозы.

Степень поврежденности морфологической структуры волокон целлюлозы может служить критерием для оценки способности вискозной целлюлозы к ксантогенированию: чем больше число повреждений, тем выше реакционная способность целлюлозы. Установить наличие или отсутствие первичного слоя и других повреждений можно визуально при достаточном увеличении волокон, окрашенных подходящим красителем (рутением красным, малахитовым зеленым, метиленовым синим).

Наибольшие повреждения первичной стенки волокна происходят в процессе варки целлюлозы. Чем глубже и однороднее провар, тем выше степень повреждения волокна. Горячее щелочное облагораживание и в особенности гипохлоритная отбелка увеличивают степень повреждения морфологической структуры волокна.

Для достижения целей облагораживания необходимо комбинированное воздействие на целлюлозу кислой и щелочной среды. В кислой среде гидролизуются и удаляются легкогидролизуемые полисахариды, а щелочная обработка удаляет ту часть гемицеллюлоз, которая устойчива к гидролизу, но растворима в щелочах (глюкоманнан, глюкуроноксиан).

Хорошим сырьем для облагораживания является еловая сульфитная целлюлоза. Сульфитная варка проводится в кислой среде, а щелочную обработку (облагораживание) для достижения требуемого содержания альфа-целлюлозы осуществляют в отбельном цехе.

Сульфатная варка хвойной древесины с предварительным гидролизом, которая является комбинацией кислой и щелочной ступеней, позволяет без облагораживания получить целлюлозу с массовой долей альфа-целлюлозы 94...95 %, пригодную для химической переработки на многие виды продукции. Для достижения более высокого содержания альфа-целлюлозы в схемы

отбелки включаются ступени облагораживания.

Лиственная целлюлоза, как сульфитная, так и сульфатная, менее пригодна для облагораживания и выработки растворимых (то есть предназначенных для химической переработки) сортов целлюлозы из-за неоднородности морфологического строения и высокого содержания пентозанов, устойчивых к действию кислот и щелочей.

В практике целлюлозных заводов нашли применение три разновидности щелочного облагораживания: горячее, холодное и кислородно-щелочное облагораживание.

1.1.1 Горячее облагораживание

Горячее облагораживание проводят раствором гидроксида натрия при температуре 90...130 °С и концентрации щелочи 0,5...2 %. Его используют главным образом для облагораживания сульфитной целлюлозы. Эффективность горячего облагораживания сульфатной целлюлозы очень мала, так как условия обработки при этом значительно мягче, чем при сульфатной варке.

Важную роль при облагораживании играет набухание целлюлозы, необходимое как для глубокого проникновения щелочи вглубь клеточной стенки волокон, так и для растворения и удаления продуктов реакций. Так как набухание является экзотермическим процессом, высокая температура увеличивает его скорость, но снижает эффективность. Щелочной раствор действует на поверхность и аморфные области целлюлозы. Удаление устойчивых гемицеллюлоз, залегающих в более плотно упакованных мицеллах, при горячем облагораживании трудно осуществимо даже в жестких условиях и сопровождается большими потерями целлюлозы. Предельно достижимая массовая доля альфа-целлюлозы составляет 96...96,5 %, однако на практике обычно ограничиваются величиной 93...94 %.

Реакции деградации гемицеллюлоз и клетчатки при горячем облагораживании протекают по тому же механизму, что и при щелочной варке (том 1, раздел 3.1.3), но с меньшей интенсивностью. Основное направление реакций – отщепление концевых звеньев по схеме цепного *reeling*-процесса. Легче других полисахаридов разрушается и удаляется глюкоманнан. Наиболее устойчив к действию щелочи ксилан, вследствие чего остаточное содержание пентозанов в целлюлозе при горячем облагораживании не удается снизить до показателя менее 2,5...3 %.

При повышении на каждый 1 % содержания альфа-целлюлозы в диапазоне от 83...86 % (необлагороженная сульфитная целлюлоза) до 93 % потери технической целлюлозы составляют около 3 %. Следовательно, общие потери целлюлозы в этом случае могут достигать 20...30 %. При более высокой степени облагораживания величина потерь возрастает до 5 % на каждый 1 % повышения содержания альфа-целлюлозы.

Переходящие в раствор фрагменты подвергаются дальнейшей деграда-

ции вплоть до образования щавелевой кислоты, оксикислот и формальдегида. Количество щелочи, необходимое для нейтрализации образующихся кислот, составляет около 25 % NaOH от массы растворившихся органических веществ.

К числу факторов, в наибольшей степени влияющих на процесс облагораживания, относятся: концентрация щелочи в растворе; температура и продолжительность обработки; концентрация волокнистой массы.

Начальная концентрация щелочи должна поддерживаться в диапазоне 0,5...1 %. Повышение концентрации сверх 1 % неэффективно.

С повышением температуры эффективность облагораживания существенно возрастает. При температуре 95...98 °C может быть достигнута степень облагораживания до 94 % альфа-целлюлозы. В этом случае процесс осуществляется при атмосферном давлении, что значительно упрощает его конструктивное оформление. При необходимости в более высокой степени облагораживания температуру поднимают до 120...130 °C и проводят обработку при повышенном давлении. Так как лимитирующими стадиями горячего облагораживания являются массообменные процессы (набухание, диффузия), протекающие с низкими энергиями активациями, температурный коэффициент невелик и суммарная скорость процесса облагораживания слабо зависит от температуры. Продолжительность обработки обычно составляет 2...3 ч.

Концентрацию волокнистой суспензии целесообразно поддерживать на возможно более высоком уровне с целью экономии щелочи и тепловой энергии и уменьшения объема оборудования. Обычно приходится ограничиваться величиной 10...12 %, так как при большей концентрации затрудняется равномерное смешение целлюлозы с раствором щелочи и ухудшаются условия диффузии продуктов реакции из волокон в жидкую среду.

Условия горячего облагораживания благоприятны для удаления смолы. Содержание смолы в небеленой сульфитной целлюлозе составляет 1...2 %. В облагороженной целлюлозе содержание смолы жестко нормируется. Эффективными способами снижения смолистости целлюлозы являются выдерживание древесины на бирже перед варкой и удаление мелкого волокна в очистном цехе. Часть оставшейся в целлюлозе смолы растворяется в горячей щелочи, образуя коллоидную суспензию. При охлаждении раствора и снижении pH до 7...8 коллоидные частицы могут коагулировать, при этом укрупненные частицы смолы вновь осаждаются на волокна, а также на поверхности оборудования (сеток, отжимных валов). Обессмоливающий эффект щелочной обработки усиливается добавлением небольшого количества окислителей (пероксида водорода, гипохлорита натрия, диоксида хлора), а также поверхностно-активных веществ (ПАВ), стабилизирующих образовавшуюся смоляную суспензию – тринатрийфосфата, ОП-7, ОП-10 и других. Эффективным и относительно недорогим ПАВ является ОП-7, добавление которого на ступени горячего облагораживания в количестве 5 кг на 1 т целлюлозы позволяет снизить содержание смолы в целлюлозе на 80...85 %.

1.1.2 Кислородно-щелочное облагораживание

Кислородно-щелочное облагораживание является разновидностью горячего облагораживания сульфитной целлюлозы, по технологии почти аналогичное ступени КЩО.

Процесс состоит из двух стадий. На первой стадии целлюлозную массу обрабатывают щелочью концентрацией 0,7...1,0 %, затем без промежуточной промывки вводят кислород и продолжают обработку..

В процессе кислородно-щелочного облагораживания сульфитной целлюлозы практически полностью удаляется лигнин. Белизна хвойной целлюлозы повышается до 78...83 %, лиственной (березовой) – до 90...91 %. Массовая доля α -целлюлозы возрастает до 93...94 % при одновременном снижении вязкости (которая определяется условиями процесса). Почти полностью делигнифицируется костра и эффективно окисляются смолистые вещества.

Существенное влияние оказывает продолжительность действия щелочи до контакта с кислородом. В этот период происходит облагораживание и частичная делигнификация целлюлозы без окислительной деструкции. Увеличение продолжительности предварительной стадии позволяет снизить концентрацию щелочи в период обработки кислородом.

В качестве оптимальных условий кислородно-щелочного облагораживания рекомендуются следующие параметры: концентрация NaOH в растворе 0,75...1 % при расходе щелочи 7,5...10 % от массы целлюлозы; концентрация волокнистой массы 10...12 %; давление кислорода 0,5...0,6 МПа; температура 95...110 °С; продолжительность обработки целлюлозы щелочью до контакта с кислородом 40...50 мин; продолжительность щелочения с кислородом 1,5...2,5 ч. Расход кислорода на окисление находится в диапазоне от 1,3 до 2 % от массы небеленой целлюлозы, в зависимости от содержания в ней лигнина, давления кислорода и температуры. При кислородно-щелочном облагораживании мягкой сульфитной целлюлозы из еловой и осиновой древесины достигается содержание альфа-целлюлозы в облагороженной целлюлозе 93...94 %.

В производстве сульфитной вискозной целлюлозы ступень кислородно-щелочного облагораживания заменяет ступени хлорирования, горячего облагораживания и одну ступень отбелки.

Выход облагороженной целлюлозы при кислородно-щелочном облагораживании несколько выше по сравнению с обычным горячим облагораживанием до сопоставимого содержания альфа-целлюлозы, и соответственно меньше химические потери целлюлозы. Объясняется это тем, что кислород успевает окислить концевые редуцирующие группы полисахаридов в карбоксильные группы еще до того, как они будут вовлечены во внутримолекулярные перегруппировки, ведущие к их отщеплению (по реакции peeling). В то же время при кислородно-щелочном облагораживании происходит относительно большее падение вязкости и средней степени полимеризации целлюлозы, чем при горячем облагораживании, за счет большего развития реакций

щелочного гидролиза и статистической деструкции.

В процессе кислородно-щелочного облагораживания эффективно снижается содержания смолы и золы, что для вязкой целлюлозы имеет большое значение.

Конструктивное оформление ступени горячего облагораживания аналогично другим ступеням отбельного цеха. При температуре облагораживания ниже $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ в качестве реакторов можно использовать любые из отбельных башен без поглотительных колонок. Если температура обработки выше, то процесс ведут в герметизированных реакторах, рассчитанных на температуру до $145\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давление $0,5\text{ МПа}$. В последнем случае для непрерывной загрузки волокнистой массы в башню используются питатели роторного или винтового типов.

Роторные питатели обслуживают реакторы, работающие под давлением $0,25\text{...}0,35\text{ МПа}$ при концентрации волокнистой массы $10\text{...}16\%$. Они устроены так же, как роторные питатели низкого давления для установок непрерывной варки.

Винтовой питатель устроен и действует так же, как питатель варочной установки типа Пандия. Благодаря спрессовыванию в сужающемся перфорированном корпусе волокнистая масса при прохождении питателя обезвоживается до концентрации $25\text{...}30\%$ и проталкивается в камеру-диффузор. Туда же подается раствор реагентов и пар. Винтовые питатели более пригодны для обслуживания ступени кислородно-щелочного облагораживания.

В схемы отбели горячее облагораживание включают обычно после делигнифицирующих ступеней перед добелкой. Типичная схема отбели хвойной сульфитной целлюлозы для вязкого производства состоит из восьми ступеней:



(ГО – горячее облагораживание). Хлорирование в две ступени с промежуточным щелочением удаляет не только основное количество лигнина, но и некоторое количество гемицеллюлоз. В ступени горячего облагораживания добавляют ПАВ с целью удаления смолы: тринатрийфосфат в количестве $10\text{...}12\text{ кг}$ на 1 т целлюлозы, ОП-7 в количестве $6\text{...}7\text{ кг/т}$ и другие. Для удаления оставшегося лигнина из сульфитной целлюлозы достаточна обработка гипохлоритом натрия. В данной схеме гипохлоритные ступени выполняют еще одну важную функцию – регулирование степени полимеризации (вязкости) целлюлозы. Чтобы более тонко управлять этим процессом, обработку гипохлоритом проводят в две ступени. В первой ступени отбелку ведут при средней или повышенной концентрации массы, во второй – при низкой или средней концентрации, что обеспечивает очень равномерное распределение гипохлорита. Для достижения высокой белизны (до $89\text{...}90\%$) с сохранением требуемой степени полимеризации необходима заключительная добелка диоксидом хлора, а для снижения зольности и стабилизации белизны – кислотка, которая в этом случае является самостоятельной ступенью обработки целлюлозы.

Выработка низкозольной целлюлозы возможна только при использовании умягченной или обессоленной воды как для промывки целлюлозы после всех ступеней отбели, так и для разбавления массы после кислотки на всех последующих этапах обработки. В табл. 1.1 приведены условия отбели по схеме (1) и примерные химические потери волокна.

Схемы отбели (1) (и аналогичные ей) до настоящего времени используются предприятиями, однако не отвечают принципам чередования стадий обработки по характеру реакционной частицы и кислотности среды (условиям катализа). В большей степени этим принципам соответствует схема отбели

КЩО–Д–Щ–Д–Г–К,

в которой кислородно-щелочное облагораживание *КЩО* заменяет ступени делигнификации (хлором и гипохлоритом) и горячего облагораживания. Ступень обработки гипохлоритом перед кислоткой не повышает белизну и включена только для точного регулирования степени полимеризации целлюлозы.

Таблица 1.1 – Параметры отбели и облагораживания хвойной сульфитной целлюлозы по схеме *X(1)–Щ–X(2)–ГО–Г(1)–Г(2)–Д–К*

Ступени отбели	Реагент	Расход реагента, % от волокна	Концентрация массы, %	Температура, °C	рН раствора	Продолжительность, мин	Потери от целлюлозы
<i>X(1)</i>	Cl ₂	2,5	3,5	20	2,5	45	
<i>Щ</i>	NaOH	1,0	7,0	20	11...12	60	
<i>X(2)</i>	Cl ₂	1,0	3,5	20	2,5	60	
<i>ГО</i>	NaOH	10,0	10,0	120	12...13	180	
<i>Г(1)</i>	NaClO	1,0	12,0	35	10...11	180	
<i>Г(2)</i>	NaClO	0,5	7,0	35	10...11	240	
<i>Д</i>	ClO ₂	0,5	14,0	60	6,5	240	
<i>К</i>	SO ₂	1,0	3,0	20	4,0	45	

Производство облагороженной целлюлозы для химической переработки из древесины лиственных пород осуществляется в некоторых зарубежных странах. В частности, в Японии к концу минувшего века почти все количество растворимой целлюлозы вырабатывалось из лиственной древесины. При этом применяются те же схемы отбели и облагораживания, что и при производстве хвойной целлюлозы, но с несколько меньшими расходами реагентов.

1.1.3 Холодное облагораживание

При низких температурах обработки происходит значительное набуха-

ние целлюлозы в растворах щелочи, сопровождающееся растворением гемицеллюлоз и низкомолекулярных фракций клетчатки.

Наибольший эффект облагораживания, близкий к 100 %-ному содержанию альфа-целлюлозы, достигается на холоду при концентрации гидроксида натрия в растворе 17...18 %. Нерастворившаяся щелочная целлюлоза представляет собой аддитивное химическое соединение с гидроксидом натрия примерного молекулярного состава звена $(C_6H_{10}O_5)_2 \cdot NaOH$ или $C_6H_{10}O_5 \cdot NaOH$. Отмывка щелочи водой сопровождается гидролизом этих соединений и целлюлоза регенерируется в виде гидратцеллюлозы, имеющей структурную модификацию II, тогда как исходная целлюлоза имела структуру I. Превращение целлюлозы I в целлюлозу II начинается при концентрации щелочи 5...6 %, а при концентрации 12 % и выше происходит полный переход структуры I в структуру II. Полнота превращения (надежно регистрируемая физическими методами, такими, как ИК и ^{13}C ЯМР спектроскопия) может использоваться для качественной характеристики холодно-облагороженной целлюлозы: чем больше массовая доля целлюлозы II, тем выше способность к набуханию, ниже плотность отливок или папки, хуже реакционная способность.

В производстве применяют растворы щелочи концентрацией ниже 12 %, поэтому надмолекулярная структура целлюлозы изменяется мало, а щелочь проникает в основном в межмицеллярные области клеточных стенок. Процесс набухания целлюлозы под действием холодной щелочи можно разделить на два периода – гидратацию и осмотическое набухание. Гидратация происходит с выделением тепла и почти не изменяет размеров волокна. Осмотическое набухание не сопровождается выделением тепла и представляет собой внедрение больших количеств воды в межкристаллитные промежутки, вызывающее увеличение размеров волокон в поперечном направлении. Максимальное объемное набухание технической целлюлозы происходит в растворе щелочи с концентрацией NaOH около 11 %.

Низкомолекулярная и неориентированная часть клетчатки и все гемицеллюлозы набухают в крепком растворе щелочи на холоду неограниченно и сперва превращаются в гель, а затем переходят в раствор в виде целых или разорванных макромолекул. Сколько-нибудь заметной щелочной деструкции растворяющихся углеводов при этом не происходит, содержание карбонильных и карбоксильных групп в целлюлозе изменяется мало.

К основным факторам холодного облагораживания относятся: концентрация щелочи; температура; концентрация волокнистой суспензии; продолжительность обработки.

Концентрацию щелочи выбирают в диапазоне от 6 до 12 % в зависимости от требуемой степени облагораживания. В большинстве случаев она составляет 8...10 %. С увеличением концентрации NaOH повышается содержание альфа-целлюлозы, но одновременно растут потери целлюлозы. При низкой концентрации щелочи эффект облагораживания значительно снижается.

Оптимальной температурой считается 10...15 °С. Повышение температуры приводит к ухудшению набухания целлюлозы. Это, в свою очередь, требует увеличения концентрации щелочи для достижения необходимой степени облагораживания, что нецелесообразно по экономическим соображениям. Нижний предел температуры обусловлен чрезмерно сильным набуханием, превращающим целлюлозу в гелеобразную массу, что очень сильно затрудняет последующую отмывку целлюлозы от щелочи.

Концентрацию волокнистой массы обычно рекомендуется поддерживать не выше 8...10 %, так как при высокой концентрации затрудняется равномерное смешение целлюлозы с раствором щелочи. Однако если технические возможности предприятия позволяют проводить интенсивное смешение, концентрация массы может быть увеличена вплоть до 14...16 %. Понижение концентрации до 5...6 % считается нецелесообразным, так как при этом сильно возрастает удельный расход щелочи на 1 *t* целлюлозы.

Продолжительность обработки определяется скоростью растворения гемицеллюлоз и низкомолекулярных фракций клетчатки. Несмотря на низкую температуру, переход в раствор названных компонентов в условиях значительного набухания происходит относительно быстро. Практически продолжительность холодного облагораживания составляет от 30 до 60 *мин*.

Высокая степень облагораживания по холодно-щелочному способу достигается ценой значительных ресурсных затрат. Расход NaOH составляет 800...1000 *кг* на 1 *t* целлюлозы, химические потери целлюлозы – 8...10 %, выход целлюлозы из сосновой древесины (после сульфатной варки с предгидролизом и отбелки с холодным облагораживанием) – 32...34 %.

При практической реализации холодного облагораживания необходимо учитывать две характерные особенности этого процесса.

Во-первых, под действием концентрированного щелочного раствора на холоду происходит снижение реакционной способности целлюлозы к вискообразованию, вероятно, вследствие изменения надмолекулярной структуры целлюлозы. Реакционная способность почти полностью восстанавливается, если после холодного облагораживания провести ступень горячего облагораживания – обработку целлюлозы разбавленным щелочным раствором при высокой температуре. Так как в задачи этой ступени не входит повышение содержания альфа-целлюлозы, термин «горячее облагораживание» в данном случае применяется условно и указывает лишь на способ обработки. Температура обычно составляет 90...95 °С, остальные условия процесса такие же, как при обычном горячем облагораживании.

Во-вторых, набухшая целлюлоза труднее отмывается от щелочи. При этом процесс промывки должен быть организован таким образом, чтобы по возможности исключить разбавление фильтрата, направляемого на регенерацию гидроксида натрия. Инженерное оформление этого процесса аналогично ступенчатой противоточной промывке целлюлозы после варки. В случае, когда после холодного облагораживания следует горячее облагораживание, промывка несколько упрощается. В промытой массе после холодного обла-

гораживания оставляют небольшое количество щелочи (2...4 % NaOH), нужное для проведения горячего облагораживания. Отмытый крепкий раствор щелочи нецелесообразно возвращать на холодное облагораживание, так как он содержит значительное количество растворившихся гемицеллюлоз, присутствие которых при повторном использовании щелока значительно снижает содержание альфа-целлюлозы в холодно-облагороженной целлюлозе. На сульфатцеллюлозных заводах имеется возможность направить отработанный щелок после облагораживания для варки целлюлозы.

Для проведения как холодного, так и комбинированного холодно-горячего облагораживания используется типовое для отбельного цеха оборудование.

На практике холодно-горячее облагораживание применяется почти исключительно для увеличения содержания альфа-целлюлозы в сульфатной предгидролизной хвойной целлюлозе до 96,5...97,5 % при выработке высших сортов кордной целлюлозы (марок «Super-Cord», «Super-Super» и других для высокопрочного и сверхпрочного вискозного корда). Во всем мире лишь единичные целлюлозные заводы вырабатывают такую целлюлозу, используя для этого «традиционные» схемы отбеливания. В таблице 3.8 приведены параметры отбеливания и облагораживания по схеме

X-Щ-Г-ХО-ГО-Д-Г-К,

которая применяется одним из заводов, вырабатывающих хвойную предгидролизную сульфатную целлюлозу марки «Super-Super» с такими свойствами: белизна 92 %; степень полимеризации 1100; медное число 0,35; растворимость в 10 %-ном NaOH 4,3 %; массовая доля альфа-целлюлозы 97,0 %, бета-целлюлозы 1,3 %, гамма-целлюлозы 2 %, пентозанов 2 %, смолы 0,1 %, золы 0,02 %.

В приведенной схеме три первые ступени *X-Щ-Г(1)* делигнифицирующие, их основное назначение – удаление лигнина. Ступень холодного облагораживания *ХО* удаляет гемицеллюлозы и низкомолекулярные фракции клетчатки и повышает массовую долю альфа-целлюлозы. Следующая за ней ступень горячего облагораживания *ГО* нужна для улучшения реакционной способности, а также используется для удаления смолы. Собственно отбеливание завершается ступенью добеливания диоксидом хлора. Вторая ступень обработки гипохлоритом *Г(2)* необходима для тонкого регулирования степени полимеризации (вязкости) целлюлозы.

К зольности кордной целлюлозы предъявляются очень жесткие требования. Нормируется содержание не только золы в целом, но и отдельных входящих в ее состав элементов – кальция, железа, меди, марганца. Это заставляет проводить глубокую кислотку при pH 3,5 с добавлением к раствору диоксида серы более сильных минеральных кислот (обычно соляной кислоты), а для промывки и разбавления целлюлозы использовать химически очищенную воду.

Таблица 1.2 – Параметры отбеливания и облагораживания хвойной предгидро-

лизной сульфатной целлюлозы по схеме
X–Щ–Г(1)–ХО–ГО–Д–Г(2)–К

Ступени отбелки	Реагент	Расход реагента, % от волокна *	Концентрация массы, %	Температура, °С	Продолжительность, мин
<i>X</i>	Cl ₂	3...4	3,5	20	50
<i>Щ</i>	NaOH	1,5	13	60	140
<i>Г(1)</i>	NaClO	0,8	15	35	280
<i>ХО</i>	NaOH	52,5	16	10...20	90
<i>ГО</i>	NaOH	3,5	16	90	180
<i>Д</i>	ClO ₂	0,8	15	70	300
<i>Г(2)</i>	NaClO	0,4	16	40	180
<i>К</i>	SO ₂	0,5	16	20	– **

* Расход гипохлорита натрия и диоксида хлора приведен в единицах активного хлора.

** Кисловка проводится в аккумулирующих бассейнах беленой целлюлозы.

Современные схемы отбелки холодно-облагороженной целлюлозы могут быть организованы различным образом при соблюдении тех же общих принципов, на которых базируются другие рассмотренные выше схемы отбелки (включая схемы ECF и TCF).

1.2 Переработка целлюлозы в сложные и простые эфиры

Подробно этот раздел изучается в курсах химии и физики целлюлозы, химии древесины, поэтому здесь приведена краткая характеристика основных производных целлюлозы и методов их получения.

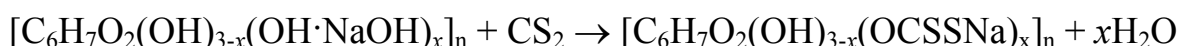
1.2.1 Вискозная целлюлоза

Вискоза – раствор натриевой соли ксантогената целлюлозы в разбавленном NaOH, из которого формуют волокна и пленки (целлофан), при формовании целлюлоза регенерируется из ксантогената.

Получение вискозы. Исходное сырье для ее производства — древесная целлюлоза (Ц.), содержащая 95-99% высокомолекулярной волокнообразующей фракции со степенью полимеризации 800-1100. Основная стадии процесса: получение щелочной целлюлозы, синтез ксантогената, его растворение, подготовка вискозы к формованию.

Первая стадия процесса включает: 1) обработку целлюлозы 18-20 %-ным водным р-ром NaOH (мерсеризация) в течение 5-15 мин при 45-60 °С и жидкостном модуле (отношение объема р-ра NaOH к массе целлюлозы) в пределах 14-40; в результате мерсеризации создаются условия, при которых получают растворимый ксантогенат; 2) удаление из образовавшейся суспензии (пульпы) избытка раствора NaOH на отжимном прессе; при этом получают продукт, содержащий 30-32% целлюлозы и 16,0-17,5% NaOH; 3) измельчение щелочной целлюлозы; 4) окислит, деструкция (предсозревание) щелочной целлюлозы под действием кислорода воздуха до степени полимеризации 400-600. Производительность установок 25-50 т/сут.

Ксантогенат образуется из щелочной целлюлозы в результате реакции:



($x = 0,45-0,65$). Кол-во CS_2 составляет 28-50% от массы целлюлозы; до 30 % CS_2 расходуется на побочные процессы, которые могут выражены суммарным уравнением:



При взаимодействии Na_2CS_3 с NaOH и O_2 воздуха образуется сложная смесь сернистых соединений Na (сульфид, полисульфид, сульфит, тиосульфат и др.).

Из-за токсичности и взрывоопасности CS_2 процесс осуществляют в герметичных аппаратах (ксантогенаторах) емкостью ок. 30 м³ при разрежении и в среде N_2 . Продолжительность реакции 60-90 мин, ее начальная температура 22-26 °С, конечная - 28-35 °С.

Технический ксантогенат целлюлозы - комкообразная оранжевая масса. Для его растворения в ксантогенатор добавляют разбавленную щелочь, образующуюся пульпу пропускают через диспергирующие устройства и выгружают в аппарат с вертикальной мешалкой (т. наз. растворитель). Продолжительность растворения (обычно 2-2,5 ч при 12-20°C) и качество вискозы зависят от степени измельчения частиц ксантогената (их размер не должен превышать 3 мм).

Получаемая в результате растворения ксантогената вискоза - оранжевая прозрачная жидкость с вязкостью 4-30 Па·с. Ее состав (% по массе): целлюлоза - 6-10, NaOH - 5-7, сернистые соединения - 3,5-4, вода - 80-85. Вискоза содержит, кроме того, 0,01-0,02% дисперсных примесей, попадающих в раствор из сырья, а также диспергированный и растворенный воздух (соотв. 10-15 и 0,8-1,0% по объему). Воздух удаляют до его остаточного содержания 0,15-0,3%, примеси отфильтровывают.

При подготовке вискозы к формованию происходят изменения ее химического состава (созревание): в макромолекуле целлюлозы более равномерно распределяются ксантогенатные группы (это обуславливает снижение вязкости вискозы на 10-15%), уменьшаются степень замещения и кол-во сво-

бодных NaOH и CS₂, увеличивается содержание побочных сернистых соединений, снижается устойчивость к коагуляции и др.

Формование волокон. Волокна вискозы формуют по мокрому способу через фильеры с диаметром отверстий 40-100 мкм. Осадительная ванна - водный раствор, содержащий H₂SO₄, ZnSO₄ и Na₂SO₄. При формовании штапельного волокна число отверстий в фильере составляет 10 000-120 000, текстильных и технических нитей - соответственно 12-100 и 720-2200. Струи, выходящие из фильеры, осаждаются (коагулируют) вследствие нейтрализации щелочи, образования цинк-ксантогенатных связей и десольватирующего действия электролитов, особенно Na₂SO₄. Введение в вискозу и (или) в осадительную ванну модификаторов, например полиэтиленоксида, способствует получению волокон однородной структуры (в поперечном срезе волокон, полученных без модификатора, могут быть выделены оболочка и ядро). Свежеформованные вискозные волокна представляют собой гель гидратцеллюлозы, содержащий до 80% воды.

Штапельное волокно формуют на агрегатах непрерывного действия производительностью 25-60 т/сут. Жгуты нитей, выходящие из осадительной ванны, принимают на прядильные диски, откуда их собирают в общий жгут, имеющий форму ленты. Жгут, пропущенный через водную пластификационную ванну с т-рой 95 °С, содержащую 1-2% H₂SO₄ и до 1,5% ZnSO₄, принимают на вытяжные вальцы. При этом окончательно разлагается ксантогенат (т. н. довосстановление целлюлозы), отгоняется CS₂, происходят ориентационная вытяжка и термофиксация волокна. Заключительные операции: резка жгутов на отрезки (штапельки) длиной 36-80 мм, обработка волокон острым паром, промывка водой, удаление серы действием разбавленного раствора NaOH, отбеливание при помощи NaClO или H₂O₂, авиважная обработка, рыхление, сушка, упаковка.

Текстильные нити получают на машинах периодического действия. Нить, сформованную и вытянутую между прядильными дисками, принимают на центрифугу, вращающуюся с частотой 8000 с⁻¹. В корзине (кружке) центрифуги образуется «кулич» массой 0,8-1,2 кг. «Куличи» собирают в пакеты, промывают, отделяют, сушат и перематывают на бобины массой 2-3 кг, к-рые направляют потребителю.

Технические нити, не требующие полного цикла отделки, изготавливают обычно на вертикальных или горизонтальных машинах непрерывного действия. При использовании машин первого типа довосстановление, промывку, обработку и сушку осуществляют на парных в роликах с непараллельным расположением осей, что обуславливает спиральное движение нити. В случае горизонтальных машин нити обрабатывают в 3-5 последовательно установленных желобах и сушат на барабанах.

Свойства волокон. В. в. гигроскопичны, устойчивы к большинству органических растворителей, растворимы в ДМСО в присутствии формальдегида, в ДМФА - в присутствии N₂O₄, в четвертичных аммониевых основаниях и др. Они разрушаются в концентрированных минеральных кислотах,

растворах щелочей, окислителях, под действием аэробных и анаэробных бактерий, грибков, термитов, но не подвержены действию моли. При нагревании (180-200 °С) и действии УФ-лучей вискозные волокна деструктируются, при 180°С легко загораются. Окрашивают вискозные волокна в массу (кубозолями, орг. пигментами и др.)

Недостатки вискозных волокон, ограничивающие применение штапельного волокна в смеси с хлопком: сравнительно низкая прочность, значительная ее потеря в мокром состоянии - до 55 %), большая усадка тканей (до 16%). Этим недостаткам лишены штапельные вискозные волокна хлопкоподобного типа - высокомодульное и полинозное.

Высокомодульное волокно (сиблон, аврал, винцел, ленцинг-333) по прочности превосходит обычное штапельное в 1,6 раза, в мокром состоянии - в 2 раза, по модулю упругости - в 2,5-3 раза), устойчиво к действию щелочей и окислителей. Такое улучшение свойств в достигается благодаря применению высококачественного сырья, увеличению расхода CS_2 при ксантогенировании, применению модификаторов, использованию вискозы с меньшим содержанием целлюлозы, снижению скорости формования, увеличению содержания $ZnSO_4$ в осадительной ванне и большей вытяжке сформованных волокон.

Полинозное волокно, которое по прочностным характеристикам еще ближе к хлопку, чем высокомодульное, обладает большей хрупкостью. Технология его производства сложнее, чем обычного штапельного и высокомодульного, т.к. связана с переработкой высоковязкой вискозы и применением больших количеств CS_2 .

Для получения тканей с улучшенными драпируемостью, окрашиваемостью штапельным волокнам иногда придают извитость или пористость. Первая достигается вытяжкой и последующей усадкой волокон с несимметричным поперечным сечением, вторая – введением в вискозу 3-5 % Na_2CO_3 , который разлагается при нейтрализации с выделением CO_2 , служащего порообразователем. Гигроскопичность вискозных волокон может быть улучшена (повышена) путем их карбоксиметилирования, оксиэтилирования, прививкой акриловой кислоты.

В 1985 г. весь мир произвел 3,2 млн. т. Производство вискозных волокон непрерывно сокращается из-за применения больших количеств токсичных реагентов – 120-400 кг CS_2 и 20 – 120 кг $ZnSO_4$ /т целл. волокон. При этом нити для трикотажа заменяют полиэфирными, а для шинного корда полиамидными и другими более прочными синтетическими волокнами. На основе регенерированной целлюлозы в последние годы стали производить волокна Лиоцел, формируемые из растворов в N-морфолин-N-оксиде.

1.2.2 Ацетилцеллюлоза $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OCOCH_3)_x]_n$

В промышленности ацетаты целлюлозы получают двумя методами: гомогенным и гетерогенным.

Гомогенный метод состоит в том, что получающийся при ацетилировании ацетат целлюлозы растворяется в ацетилирующей смеси. В этом случае в ацетилирующую смесь вводят агент, способный растворять получающийся ацетат целлюлозы. Роль агента выполняет метилен-хлорид или уксусная кислота.

Гетерогенный метод состоит в том, что получающийся при ацетилировании ацетат целлюлозы сохраняет форму волокна. Для этого в состав ацетилирующей смеси вводят вещества, препятствующие растворению ацетатов целлюлозы. В качестве таких веществ могут быть использованы бензол, толуол, четыреххлористый углерод и некоторые другие. Процесс производства ацетата целлюлозы по обоим методам может быть осуществлен как периодическим, так и непрерывным способами.

Получение ацетатов целлюлозы гомогенным методом. Получение ацетатов целлюлозы по этому методу периодическим и непрерывным способами состоит из следующих стадий: активация целлюлозы; ацетилирование, частичное омыление (гидролиз) триацетата целлюлозы; высаживание, измельчение, промывка и сушка.

Активация целлюлозы для повышения реакционной способности проводится в аппарате. Аппарат имеет корытообразную форму, оборудован рубашкой для обогрева и мешалкой, частота вращения которой регулируется от 4 до 40 об/мин. Мешалка может вращаться в разные стороны (прямой и обратный ход).

Целлюлоза загружается в активатор пневмотранспортом при вращении мешалки с частотой 4 об/мин. После окончания загрузки частота вращения мешалки увеличивается до 40 об/мин, и из мерника, через распылитель, разбрызгивается ледяная уксусная кислота, нагретая до $110^{\circ}C$. Активатор обогревается водой с температурой $90-100^{\circ}C$. Активация длится 30 мин. При более низкой температуре продолжительность процесса увеличивается.

Ацетилирование проходит в аппарате, представляющем собой бронзовый горизонтальный цилиндрический котел с рубашкой для охлаждения и обогрева. Вместимость аппарата 25 м^3 . Рамная мешалка насажена на полый вал, вращающийся в разные стороны с переменной частотой вращения - от 4 до 14 об/мин. Ацетилирование проводят обычно в две или три подачи в аппарат ацетилирующей смеси, состоящей из уксусного ангидрида, метиленхлорида, уксусной и серной кислот.

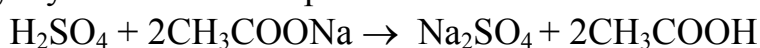
Реакция образования ацетатов целлюлозы проходит с выделением тепла, поэтому в рубашку ацетилатора и в вал подается холодная вода. Температура при первой обработке целлюлозы уксусным ангидридом поддерживается не выше $20^{\circ}C$. При введении следующих порций ацетилирующей смеси температура не должна быть выше $30-40^{\circ}C$

В процессе ацетилирования образуется так называемое тесто, которое переходит в сироп. Сироп выдерживают до получения требуемой вязкости и до исчезновения недоацетилированных волокон, т. е. до достижения так называемой чистоты поля. Чистоту поля проверяют под микроскопом или визуально.

Частичное омыление (гидролиз) триацетата целлюлозы проводится водой в две фазы: первая - в ацетиляторе, вторая - в высадителе.

Для омыления триацетата целлюлозы из мерника в ацетилятор в течение 25-30 мин подается вода с температурой 75° С. Для поддержания в ацетиляторе температуры не ниже 55° С рубашка обогревается горячей водой. Процесс проводится под давлением 2,25 кгс/см², создаваемым в результате испарения метиленхлорида. Первые порции воды расходуются на гидратацию избытка уксусного ангидрида, вследствие чего температура в ацетиляторе растет. В качестве катализатора омыления используют серную кислоту. Через 3-3,5 часа сироп охлаждают до 40-50° С и дают вторую порцию воды. Сироп через нижний штуцер ацетилятора и фильтр выгружают в высадитель, где продолжается процесс омыления. Высадитель - цилиндрический вертикальный аппарат из бронзы специальной марки. Аппарат имеет якорную мешалку и рубашку для нагрева и охлаждения. Окончание омыления контролируют по водному числу, которое должно быть 98-100. Процессу омыления должно быть уделено особое внимание, так как при неравномерности омыления могут получаться ацетаты с разной степенью замещения, что приводит к плохой растворимости ацетата целлюлозы и образованию гелеобразных сгустков в растворе.

Для прекращения омыления серную кислоту нейтрализуют 28 - 30%-ным уксуснокислым натрием:



После нейтрализации метиленхлорид отгоняют при 75-80° С и остаточном давлении 400-500 мм рт. ст.

Высаживание ацетата целлюлозы проводится после отгонки метиленхлорида разбавленной уксусной кислотой. В некоторых случаях применяют горячее высаживание, при котором в горячую разбавленную уксусную кислоту подают сироп, содержащий метиленхлорид. Вследствие испарения метиленхлорида высадившиеся частицы ацетата целлюлозы имеют более пористую структуру. Такой продукт легче промывается, сушится и значительно быстрее растворяется.

Перед промыванием ацетат целлюлозы проходит предварительное дробление на мельнице грубого помола. Затем массонасосом подается на неподвижное сито, или сгуститель, и поступает на мельницу тонкого помола (на схеме не указаны). Отделившийся маточник поступает обратно в высадитель, а ацетат целлюлозы передается в промыватель. Промывают его сначала 4%-ной отработанный уксусной кислотой, а затем водой. Из промывателя ацетат целлюлозы массонасосом перекачивается во флотатор, где промывается умягченной водой. После тщательной промывки влажный ацетат целлю-

лозы отжимается на пульсирующей центрифуге и с влажностью до 60% подается на сушку.

Сушка ацетата целлюлозы проводится в сушилке вакуум-гребкового типа под вакуумом не менее 450 мм рт. ст. при температуре не выше 80°C. Сушат ацетат целлюлозы до 3 % -ной влажности. Из сушилки продукт подается пневмотранспортом в приемные бункера, из которых фасуется в многослойные бумажные мешки.

Режим работы для получения ацетатов целлюлозы различного назначения несколько меняется в соответствии с требованиями по вязкости сиропов, степени омыления (гидролиза) и некоторым другим показателям. Ацетаты целлюлозы для пластмасс дополнительно отбеливаются и более тщательно стандартизируются.

Активация целлюлозы проводится путем диспергирования ее в воде или в водном растворе уксусной кислоты, которую затем вытесняют ледяной уксусной кислотой. Диспергирование целлюлозы 80%-ной уксусной кислотой протекает в течение 15 мин. Полученная 2-2,5%-ная суспензия целлюлозы из активатора подается насосом в бак-хранилище (на схеме не указан), а оттуда непрерывно на фильтр. Вытеснение слабой уксусной кислоты из суспензии целлюлозы происходит на многоступенчатом фильтре ленточного типа - фильтре вытеснения. Фильтр работает по принципу противоточной промывки. 100%-ная уксусная кислота орошает слой целлюлозы на последней ступени фильтра. Ослабленная уксусная кислота поступает в активатор для обработки свежей целлюлозы. Выходящая из фильтра целлюлозная лента прессуется отжимными валиками 5 до 200%-ного содержания ледяной уксусной кислоты от массы целлюлозы, разрыхляется рыхлителем и поступает на ацетилирование.

Ацетилирование проводится в ацетиляторе непрерывного действия ацетилирующей смесью, состоящей из уксусного ангидрида и серной кислоты. Ацетилятор имеет кожух с зубцами на внутренней стенке и полный вал с прерывистыми винтовыми лопастями. Вал имеет вращательное и возвратно-поступательное движение, что обеспечивает тщательное растирание волокна между зубцами кожуха и лопастями вала. Целлюлоза поступает в ацетилятор через загрузочное отверстие и передвигается по ацетилятору к выгрузочному патрубку. Ацетилирующая смесь подается в ацетилятор через патрубки. Холодная вода циркулирует внутри вала, лопастей и отсеков водяной рубашки для отвода тепла и поддержания необходимой температуры процесса. Вода в рубашку подается с температурой 12°C, выходит с температурой 50° С.

Из ацетилятора сироп поступает в смеситель, где смешивается с 60%-ным раствором уксусной кислоты. На этом реакция ацетилирования прекращается. В результате ацетилирования образуется сироп - триацетат целлюлозы, который насосом подается на омыление.

Частичное омыление (гидролиз) триацетата целлюлозы проводят водой в гидролизере - аппарате цилиндрической формы. На вращающемся валу гидролизера укреплены полки (через каждые 7-20 см). Зазор между корпусом

и полками аппарата должен быть минимальным, чтобы не допускать перетока сиропа. Для перетока сиропа в полках делают вырезы, смещенные по отношению к следующей полке на 90°. Сироп протекает снизу вверх. Обычно гидролиз длится 10 ч при 40-80°C. Выходящий частично омыленный сироп ацетилцеллюлозы поступает на высаживание.

Высаживание проводится водой или разбавленной (25-30%-ной) уксусной кислотой в высадителе. Высадитель имеет три емкости. Сироп непрерывно поступает с высаждающей жидкостью в первую емкость, снабженную мешалкой, где ацетат целлюлозы выпадает в виде частиц более или менее одинакового размера. Образующаяся суспензия по переточной трубе перетекает во вторую емкость, в которой есть вертикальный шнек, поддерживающий суспензию во взвешенном состоянии. Из второй емкости суспензия перетекает в третью, где заканчивается осаждение омыленного ацетата, и суспензия через флотатор (на схеме не указан) направляется на промывку.

Промывка проводится во вращающемся горизонтальном цилиндрическом аппарате с несколькими отделениями. Промывка ведется умягченной водой. Суспензия перемещается из одного отделения в другое, а промывная жидкость движется в обратном направлении. Промытый ацетат шнеком подается в валковый отжимный пресс, из которого поступает в сушилку.

Сушка может осуществляться в вакуум-гребковой или аэрофонтанной сушилке. Сухой продукт непрерывно подается пневмотранспортером в бункера и на фасовку в мешки.

Получение ацетатов целлюлозы гетерогенным методом. Ацетаты целлюлозы по гетерогенному методу получают по периодической и непрерывной схемам. Процесс включает стадии: загрузка, активация целлюлозы; ацетилирование; нейтрализация катализатора; бензольная промывка ацетата целлюлозы; отгонка бензола; водная промывка; частичное омыление триацетата целлюлозы и сушка ацетата.

Получение ацетатов целлюлозы периодическим способом осуществляется в одном аппарате - ацетиляторе, представляющем собой горизонтальную центрифугу из специальной кислотоупорной стали с полым валом. Внутри корпуса вращается с частотой от 12 до 375 об/мин горизонтальный перфорированный барабан. На торцах аппарата расположены люки для загрузки целлюлозы и выгрузки ацетата целлюлозы. В ацетиляторе при малой частоте вращения барабана проводятся операции: активации, ацеталирования и др., а при быстрой частоте вращения - отжим избытка жидкости при переходе от одной стадии к другой.

Активация целлюлозы проводится обработкой ее смесью ледяной уксусной кислоты с уксусным ангидридом при 45-48° С и частоте вращения барабана 14-18 об/мин в течение одного часа. Температура поддерживается циркуляцией уксусной кислоты через теплообменник.

Ацетилирование ведут смесью уксусного ангидрида (около 60%), уксусной кислоты (около 20%) и бензола (около 20%) в течение 6-8 ч при медленном вращении барабана. В качестве катализатора применяют хлорную

кислоту в количестве 0,7-0,8% от массы целлюлозы. Температуру смеси (34-38° С) поддерживают путем циркуляции ее через холодильник. В процессе ацеталирования вводят дополнительное количество бензола для предотвращения растворения образующегося ацетата целлюлозы.

По достижении требуемой вязкости раствора из мерника добавляют раствор уксуснокислого натрия для нейтрализации хлорной кислоты. Путем ступенчатого центрифугирования отжимают из массы ацетилирующую смесь и противотоком промывают образовавшийся триацетат целлюлозы бензолом в четыре приема: сначала отработанным, а затем чистым бензолом из аппарата. Смесь бензола с уксусной кислотой передают в сборник, откуда она поступает на регенерацию. Оставшийся на волокнах бензол отгоняют водяным паром. Смесь паров бензола и воды конденсируется в холодильнике. Ацетат целлюлозы дополнительно дважды промывают водой при 20-30° С по 30-40 мин.

Частичное омыление (гидролиз) триацетата целлюлозы проводят 10-11%-ной азотной кислотой, поступающей из мерника, при 30-36° С в течение 4-6 ч. Гидролизированный продукт промывают водой. Последнюю промывку проводят водой, подщелоченной до рН 7-7,5.

Ацетат целлюлозы после промывки и отжима до 40-50%-ной влажности направляют на ленточную сушилку.

Сушку проводят в токе горячего воздуха (120-135° С) до остаточной влажности не более 3%.

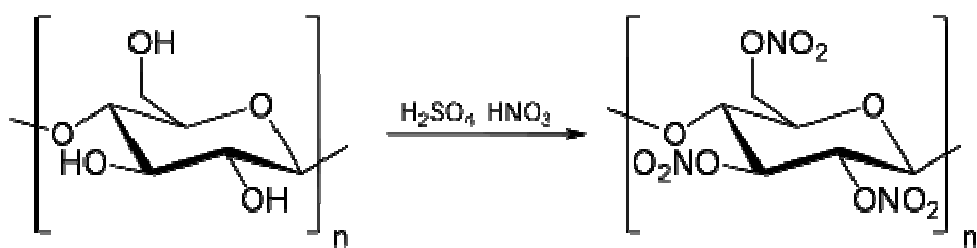
Процесс получения ацетатов целлюлозы непрерывным способом ведется на ленточном транспортере, представляющем собой стальную перфорированную ленту, заключенную в герметический кожух. Рабочая ветвь ленты проходит через несколько зон в последовательно установленных ваннах для активации целлюлозы и ее жидкостной обработки. Внутри каждой зоны, под лентой, установлены поддоны для сбора стекающей жидкости, которая через патрубки соответствующими насосами подается в емкости для последующего использования.

Хлопковая целлюлоза из кип разрыхляется на специальной машине и поступает на ленту, проходит через разравнивающий механизм в зону активации.

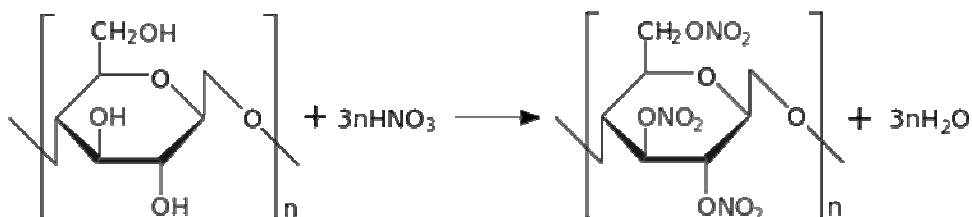
1.2.3 Нитрат целлюлозы $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(ONO_2)_x]_n$

(Техн. назв. нитроцеллюлоза химической номенклатуре не соответствует)

Лучшим сырьём для производства нитроцеллюлозы считаются длинно-волокнистые сорта хлопка ручной сборки. Хлопок машинной сборки и древесная целлюлоза содержат значительное количество примесей, усложняющих подготовку и снижающих качество продукции. Нитроцеллюлозу получают действием на очищенную, разрыхлённую и высушенную целлюлозу смесью серной и азотной кислот, называемой нитрующей смесью:



Ниже приведена реакция получения тринитроцеллюлозы в лабораторных условиях:



Концентрация применяемой азотной кислоты обычно выше 77 %, а соотношение кислот и целлюлозы может быть от 30:1 до 100:1. Полученный после нитрования продукт подвергается многоступенчатой промывке, обработке слабокислыми и слабощелочными растворами, измельчению для повышения чистоты и стойкости при хранении. Сушка нитроцеллюлозы — сложный процесс, иногда совместно с сушкой применяется обезвоживание (этанолом, спирто-эфирными смесями). Практически вся нитроцеллюлоза после получения используется в производстве различных продуктов. В случае необходимости хранится во влажном состоянии с содержанием воды или спирта не ниже 20 %.

Применение

Нитроцеллюлоза производится в больших количествах во многих странах мира и находит много различных применений:

- Бездымный порох, обычно пироксилин. За более чем 100-летнюю историю развития химии и технологии предложены тысячи разнообразных составов, многие из которых производились десятками и сотнями тысяч тонн. (Баллистит, Кордит).
- Взрывчатые вещества. Нитроцеллюлоза в чистом виде из-за низкой термической стойкости не применяется, но существует неисчислимое множество реальных и фантастических взрывчатых составов с её применением. В 1885 году была впервые получена смесь нитроцеллюлозы с нитроглицерином, названная «гремучий студень».
- Ранее использовалась как подложка Фото- и киноплёнки. в связи с горючестью была вытеснена Ацетилцеллюлозой и полиэтилентерефталатом (лавсаном).

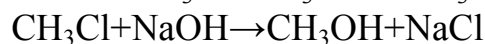
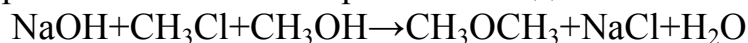
- Целлулоид. До сих пор лучшие шарики для настольного тенниса производятся из нитроцеллюлозы.
- Нитроцеллюлозные мембраны для иммобилизации белков.
- В индустрии развлечений для производства быстросгорающих предметов в реквизите артистов-фокусников.
- Нитроцеллюлозные мембраны используют для гибридизации нуклеиновых кислот, например, при Саузерн блоттинге.

1.2.4 Метилцеллюлоза $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OCH_3)_x]_n$

В промышленности для получения метилцеллюлозы чаще всего применяют метод, основанный на алкилировании щелочной целлюлозы хлористым метилом.

Процесс алкилирования алкилгалогенидами происходит при температурах 353—373 К. Так как хлористый метил имеет точку кипения 248К, реакция алкилирования производится в автоклавах под высоким давлением.

В процессе алкилирования происходят побочные реакции между хлористым метилом и щелочью с образованием спирта и соли и между спиртом и хлористым метилом с образованием диметилового эфира:

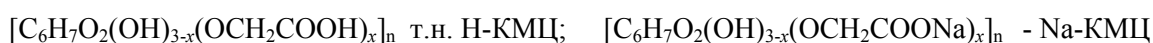


Поэтому необходимо применять избыток хлористого метила и значительное количество твердой щелочи, так как с увеличением концентрации щелочи разложение хлористого метила уменьшается.

Легче всего подвергается обмену (наиболее подвижен) атом йода, что связано с его большей поляризуемостью, однако алкилиодиды относительно дороги. Хлориды и бромиды мало различаются по реакционной способности, поэтому в промышленных синтезах предпочитают использовать более доступные хлористые алкилы.

1.2.5 Карбоксиметилцеллюлоза $[C_6H_7O_2(OH)_{3-x}(OCH_2COOH)_x]_n$

Простой эфир целлюлозы



В промышленности Na-карбоксиметилцеллюлозу получают взаимодействием щелочной целлюлозы с монохлоруксусной кислотой или ее Na-солью в присутствии NaOH (отношение реакционных способностей групп OH в

элементарном звене целлюлозы у атомов С-2, С-3 и С-6 составляет 2,14 : 1 : 1,58). Технологически схема включает следующие стадии: получение щелочной целлюлозы при обработке древесной или хлопковой целлюлозы водным раствором NaOH в присутствии органического растворителя (низшие спирты) или без него; взаимодействие щелочной целлюлозы с монохлоруксусной кислотой (в присутствии растворителей при 80-100 °С, без растворителей при 70-80 °С); сушку, измельчение до порошка; упаковку. Технический продукт содержит 50-70% эфира. Для получения более чистой Na-карбоксиметилцеллюлозы технический продукт промывают водными растворами низших спиртов. Для препаративного получения Na-карбоксиметилцеллюлозы можно использовать эфиры монохлоруксусной кислоты. Na-карбоксиметилцеллюлозу определяют спектрофотометрически с помощью антрона или осаждением Cu-соли карбоксиметилцеллюлозы из водного раствора Na-карбоксиметилцеллюлозы при pH 4,0-4,1 с последующим иодометрическим определением Cu^{2+} .

Используется Na-карбоксиметилцеллюлоза как загуститель и стабилизатор глинистых суспензий при бурении нефтяных и газовых скважин; сорбент загрязнений в синтетических моющих средствах; флотореагент при обогащении медно-никелевых и калийных руд; шликтующий, аппретирующий и загущающий агент в текстильных производствах; компонент клеевых композиций для обоев и др. Продукт с содержанием Na-карбоксиметилцеллюлозы выше 95% - загуститель и пластификатор обмазочных масс сварных электродов, загуститель зубных паст, косметическое средство, в пищевых продуктах (соки, муссы). Na-карбоксиметилцеллюлозу используют для получения ионообменных материалов. Объем мирового производства Na-карбоксиметилцеллюлозы превышает 150 тыс. т/год (1980). Карбоксиметилцеллюлоза впервые синтезирована Б. Янсенем в 1918 г.

Вопросы:

1. Чем отличаются принципиально способы получения простых и сложных эфиров целлюлозы?
2. В каких областях используется карбоксиметилцеллюлоза? Метил-, этилцеллюлоза?
3. Чем отличается вискозное волокно от ацетатного?
4. Есть ли различие в химическом составе между чистой исходной целлюлозой и вискозными волокнами?
5. При каких условиях и какими реагентами проводят ацетилирование целлюлозы?
6. Почему простые эфиры получают на основе щелочной целлюлозы?
7. Что такое облагороженная целлюлоза? Каков главный критерий?
8. Каковы способы облагораживания целлюлозы для химической переработки?

2. Нанесению покрытий на бумагу

2.1 Гуммированная бумага и клеевые ленты

К гуммированной относится бумага с односторонним клеевым покровным слоем, способным при смачивании водой или при нагревании приклеиваться к другим предметам. Различные виды гуммированной бумаги применяют в качестве почтовых марок, клеевых лент, для переводных изображений, широко используются для этикетирования продуктов при автоматизированных системах расфасовки и упаковки продуктов.

Гуммированная бумага для переводных изображений предназначена для перевода рисунков, напечатанных на этой бумаге, на фарфор, стекло, металл, а также для детских переводных изображений. Клеевая лента применяется в фанерной промышленности для склеивания шпона из березы, ольхи и дуба, а также фанеры, для склеивания картонных коробок и оконных рам, заклеивания картонных ящиков, в производстве органического стекла. К поверхности предметов ленту приклеивают после увлажнения клеевого слоя.

Основным компонентом покровного слоя гуммированной бумаги, способным при смачивании водой приклеиваться к другим предметам, является животный, и главным образом костный, клей.

Животный клей обладает хорошей адгезией к целлюлозному волокну, придает повышенную механическую прочность бумаге-основе, обладает высокими клеящими свойствами, но ему свойственны такие недостатки, как биологическая нестойкость и специфический запах. Поэтому в композиции с животным клеем или в качестве его заменителей применяются натуральные или синтетические водорастворимые полимеры, способные к адгезионному взаимодействию с целлюлозным волокном и животным клеем. Такие полимеры содержат в своем составе достаточное количество гидрофильных полярных групп: $-\text{OH}$; $-\text{CO}$; $-\text{NH}_2$; $-\text{COOH}$; $-\text{SO}_3\text{H}$.

К ним относятся крахмалы, декстрины, натрийкарбоксиметилцеллюлоза, поливинилацетат, поливиниловый спирт, поливинилпирролидон, некоторые сополимеры на основе акриловой, метакриловой кислот, их солей и виниловых мономеров.

В состав композиции клеящих веществ входят мягчители, агенты набухания, консервирующие средства, смачивающие агенты.

В качестве мягчителей применяют глюкозу, глицерин, полиэфир. Глицерин является также и смачивающим агентом, иногда для улучшения смачивания в клеящую композицию добавляют спирт, например пропанол.

В качестве веществ, способствующих набуханию клеящих веществ в воде, используют хлориды кальция и натрия, буру, роданистые соли.

Для придания животному клею стойкости к загниванию в покровный состав вводят противогнилостные добавки, защищающие его от образования

грибковой плесени и поражений бактериями, например алкированные фенолы и их производные, салициловую кислоту и ее соли, формальдегид.

Для получения приятного запаха в клеевой состав добавляют тимол, терпентинное масло.

Для улучшения качества клеевой ленты при хранении на покровный клеевой состав иногда наносят защитное антиадгезионное покрытие, содержащее полиметилсилоксановый препарат. В этом случае клеевая лента даже после долгого хранения разматывается без нарушения клеевого слоя.

В качестве бумаги-основы используют различные виды бумаги из сульфатной целлюлозы массой 1 м^2 от 35 до 100 г.

Машина для нанесения клея состоит из раската, клеенаносящего устройства, сушильной части и наката.

Клеевой состав наносят в горячем состоянии. Наносящее устройство состоит из двух или трех валиков, из которых один (нижний) погружен в обогреваемую ванну с клеевым составом. Толщина клеевого покрытия регулируется путем изменения зазора между валиками. Масса покрытия в зависимости от назначения бумаги составляет 20–40 г/м².

Прочность склеивания покровного слоя с бумагой-основой зависит от температуры и продолжительности сушки. При высокой температуре и продолжительной сушке прочность склеивания уменьшается. Температура сушки должна быть 80–140 °С, влажность около 5%.

В производстве гуммированной бумаги применяют канальную или фес-тонную сушку, иногда бумагу сушат на горячих цилиндрах. В этом случае уменьшается ее скручиваемость.

2.2 Копировальная бумага

Бумага, изготовленная путем нанесения на одну сторону бумаги-основы тонкого слоя невысыхающей краски для получения копий, называется копировальной бумагой. Это материал для размножения копий на бумаге посредством печатания на пишущих машинах и при письме карандашом, который с точки зрения потребительских свойств должен обладать определенным числом прочных на истирание и четких оттисков. Наиболее распространена копировальная бумага черного цвета, где в состав покровного слоя в качестве пигмента входит сажа, которая обеспечивает черный цвет и светостойчивость отпечатков. Масса покрытия составляет 6–12 г/м².

Копировальная бумага должна обеспечивать получение не менее 8 одновременных оттисков и не менее 15 последовательных. Одновременными называются оттиски, полученные при одновременном печатании текста, и их число соответствует числу копировальных листов. Последовательными называются оттиски, получаемые последовательно один за другим с одного и того же листа копировальной бумаги. Число возможных одновременных и последовательных оттисков с копировальной бумаги в значительной степени

зависит от толщины и плотности бумаги-основы. При проверке качества копировальной бумаги принято использовать бумагу писчую массой 1 м^2 равной 70 г.

Бумага-основа для копировальной бумаги должна иметь малую толщину, но в то же время быть прочной. Чем тоньше основа для копировальной бумаги при ее достаточной прочности, тем легче получить большее число копий. Бумага-основа выпускается массой 1 м^2 равной 12, 14, 16 г и толщиной соответственно 16, 21 и 22 мкм.

Бумага-основа должна иметь равномерный и монолитный просвет при отсутствии сквозных отверстий. В связи с этим воздухопроницаемость ее должна быть не более 3,5—4 мл при вакууме 100 мм водяного столба за 60 с. Эти высокие требования к монолитности листа копировальной бумаги позволяют предупредить возможность проникновения красящих пигментов покровного слоя на обратную сторону бумаги. Такие требования к качеству бумаги обуславливают и выбор волокнистых материалов для ее изготовления. Бумага-основа массой 1 м^2 16 г выпускается из небеленой сульфатной целлюлозы из хвойных пород древесины. В композицию бумаги меньшей массы 1 м^2 входит до 75 % тряпичной и льнопеньковой полумассы. В настоящее время в связи с дефицитностью тряпья и льнопенькового волокна без синтетических волокон разработана технология получения бумаги-основы для копировальной бумаги из 100%-ной небеленой сульфатной целлюлозы из хвойных пород древесины с введением до 20—30 % сульфатной целлюлозы из лиственных пород древесины. Добавка к длиноволокнистой целлюлозе из хвойных пород древесины коротковолокнистой древесины повышает однородность бумаги и равномерность просвета.

Для получения бумаги с плотным заполнением поверхности при малой толщине требуется масса с высокой степенью помола, порядка $90 \text{ }^\circ\text{ШР}$.

В процессе производства бумагу-основу для копирования покрывают с одной стороны жидкой краской, что при высоком помеле массы способствует деформации копировальной бумаги. С целью устранения деформации копировальной бумаги на обратную сторону ее наносят пигментированный противоскручивающий слой, содержащий двуокись титана.

Применяемые химические вещества. Краска для производства копировальной бумаги состоит из пигментов, жирорастворимых красителей, воска и масел. В качестве пигментов применяют преимущественно газовую сажу, которая обеспечивает черный цвет и светоустойчивость отпечатков. Для подцветки иногда употребляют пигмент милори, фиолет-лак, нигрозин, индулин. Пластификаторы (масла) добавляются для улучшения эластичности покрытия, для растворения красителей и придания продукции устойчивости при хранении. Воск является важной составной частью покровного слоя. Воски должны обладать необходимой твердостью, хорошими связующими и диспергирующими свойствами, что обеспечивает отсутствие отмарывания красящего слоя, четкость копий, требуемую текучесть при минимальном содержании пигментов и наполнителей. В копировальных покрытиях исполь-

зуют этерифицированный и природный карнаубский воск, озокерит, сырой и рафинированный отбеленный монтан-воск. Отбелка монтан-воска способствует увеличению диспергирующих и связующих свойств. Кроме того, введение отбеленного монтан-воска обеспечивает лоск копировальному покрытию.

Технологическая схема производства копировальной бумаги включает операции приготовления копировального покровного состава, состава для противоскручивающего слоя, нанесения их соответственно на верхнюю и нижнюю сторону бумаги-основы, перемотки и упаковки готовой продукции.

Копировальный покровный состав готовят следующим образом: сажа и масло индустриальное загружаются в сажемешалку, в которой компоненты тщательно перемешиваются, после чего поступают на краскотерку и перетираются 3—4 раза, так как степень дисперсности пигмента имеет существенное значение для получения ровного и плотного покрытия. Дисперсность сажи должна быть не более 15 мкм.

Олеиновая кислота и жирорастворимые красители загружаются в котел с паровой рубашкой и при температуре не выше 110 °С перемешиваются до полного растворения. В котле с паровой рубашкой расплавляется монтан-воск сырой, монтан-воск отбеленный и озокерит. После расплавления сюда же добавляют раствор красителя, суспензию сажи в масле и в течение одного часа перемешивают мешалкой при температуре около 100 °С.

Готовая краска еще раз перетирается на краскотерке и поступает в емкость, которая имеет обогрев с температурой 80—100 °С. В расплавленном виде краска подается в расходные баки, а затем в ванну наносящего устройства. Приготовление противоскручивающего слоя производится следующим образом. Двуокись титана и индустриальное масло смешиваются в емкости и затем перетираются на краскотерке несколько раз. В котле с паровой рубашкой расплавляется монтан-воск отбеленный и затем загружается смесь двуокиси титана и индустриального масла. Полученная смесь интенсивно перемешивается в течение часа при температуре около 100°С. Готовое покрытие перетирается на краскотерке и подается в расходные баки, а оттуда в ванны наносящих устройств.

Копировальные составы наносятся на бумагу на установках валикового типа, имеющих ширину от 0,8 до 2 м и работающих со скоростью 250 м/мин.

Копировальная бумага без сажевого покрытия. За последние годы получило распространение применение бумаги без сажевого покрытия, что значительно облегчает труд машинисток. Обычная копировальная бумага загрязняет руки. Кроме того, перед очередной закладкой в пишущую машину материала для копирования приходится комплектовать набор, состоящий из бумаги для копий и листов копировальной бумаги. При копировании с бескарбонной бумагой эти недостатки исключаются. В пользу бумаги без сажевого покрытия свидетельствуют и другие факторы: ее технически легче перерабатывать; при использовании ЭВМ она обеспечивает получение более

четких печатных символов; знаки, полученные с помощью такой бумаги, не смазываются и их качество не ухудшается со временем и при неоднократном использовании.

Наибольшее распространение получила бумага, которую называют реактивной, или капсульной. Комплект такой бумаги состоит из двух бесцветных листов. Верхний лист покрыт с нижней стороны чувствительными к печати микрокапсулами, которые содержат раствор бесцветного карбонильного основания красителя, нижний – с связующим веществом. При печатании капсулы раздавливаются, содержащаяся в них жидкость вступает во взаимодействие с покровным слоем второго листа, образуя краситель. Переход цветной формы карбонильного основания красителя в окрашенное состояние осуществляется за счет кислых свойств каолинового покрытия. В процессе повседневного пользования, когда бумагу могут резать, прокалывать и пр., капсульное покрытие может преждевременно разрушаться. В итоге будет снижаться эффект копирования и происходить обесцвечивание деловой бумаги в результате смазывания. Эта проблема сводится к минимуму путем введения некоторых инертных материалов. К микрокапсулам, используемым в производстве бумаг предъявляются определенные требования: размер капсул должен составлять 1 —10 мкм. Стенки капсул не должны растворяться в материале содержимого. Стенки должны быть хрупкими и разрушаться под давлением. Почти идеальной представляется оболочка, обладающая

2.3 Мелование бумаги и картона

К мелованным видам бумаги относят бумагу с покровным слоем одной или двух сторон, состоящим из пигментов и связующих веществ.

Мелованная бумага и картон вырабатываются для художественной многокрасочной печати, а также для типографской печати. Используется мелованная бумага для черно-белой и цветной иллюстрированно-текстовой печати массовых изданий книг и журналов, каталогов, проспектов, многокрасочных репродукций, для воспроизводства схем и чертежей. Мелованный картон применяется для почтовых карточек, вкладышей в книги, для различного рода циферблатов. Мелованные виды бумаги применяются для изготовления художественно выполненной упаковки промышленных и продовольственных товаров.

Покрытие придает бумаге и картону гладкость, белизну, требуемый лоск, делает ее поверхность сомкнутой, хорошо впитывающей печатные краски. Покрытие сообщает бумаге устойчивость к истиранию и изгибу, а также определенную стойкость в отношении воды и жира.

Требования предъявляемые к мелованной бумаге определяются носителями печатного изображения, а также условиями их обработки.

Требование предъявляемое к пигментному покрытию – получение ровной поверхности и улучшить восприятие ею печатной краски. Для получения высококачественной печати необходимым условием является хороший

контакт с печатной формой для равномерной передачи печатной краски. Это особенно важно для полутонных репродукций, в которых печатное изображение состоит из мельчайших растровых точек – 60-80 и более на 1 см (36-64 точки на 1 мм). Отсутствие на оттиске даже небольшого их числа приводит к появлению бесцветных или малоокрашенных пятен.

Требования предъявляемые к бумаге для печати, можно разделить на три группы: химические, физические и физико-химические свойства на границе между бумагой и печатной краской.

Химические свойства определяются реакционной способностью поверхности бумаги и присутствием в ней химически активных веществ.

К физическим свойствам относятся: прочность, стабильность, сопротивление выщипыванию, оптические свойства (белизна, лоск, непрозрачность).

В основе физико-химических свойств лежит взаимодействие между бумагой и печатной краской; к ним относятся в первую очередь смачиваемость краской поверхности бумаги, время ее впитывания и закрепления.

Белизна, лоск, непрозрачность, а также пылимость имеют одинаковое значение при всех способах нанесения печати, а гладкость, мягкость, впитывание печатной краски, сопротивление выщипыванию, влагопрочность слоя и деформация мелованной продукции после ее намокания оказывают различное влияние в зависимости от способа печати.

Для офсетного способа печати большое значение имеют водостойкость, сопротивление выщипыванию, деформация после намокания.

Для **высокого** способа печати большое значение имеют сопротивление выщипыванию, меньшее значение имеют гладкость и сжимаемость.

Для **глубокого** способа печати большое значение имеют впитывание краски, гладкость, сжимаемость.

Под термином впитывание печатной краски подразумевается время, в течение которого печатная краска настолько высохнет и закрепится на поверхности бумаги, что ее отмарывание исключено.

Это свойство является особенно важным при многоцветной ротационной печати, где впитывание печатной краски должно практически происходить в доли секунды между двумя печатными секциями.

Способность мелованных видов бумаги впитывать печатные краски зависит от размеров и количества пор в покрытии, а у тонких бумаг с небольшой массой мелованного слоя – и от структуры верхних слоев бумаги-основы. Размер пор покровного слоя мелованной бумаги порядка 1 мкм, т.е. в 2-3 раза меньше, чем у основы, а количество их в 50-1000 раз больше. Поэтому сила всасывания жидкой фазы краски у мелованной бумаги значительно выше. Хорошая мелованная бумага имеет показатель впитываемость по ксилолу около 60 с.

Мелованные бумаги, в покрытии которых содержится казеин и связующие на основе акрилатов, лучше смачиваются и впитывают печатные краски, чем содержащие крахмал.

Введение в покровный состав мела и сатинвейса улучшает впитывание.

Сильное лощение мелованных видов бумаги приводит к получению сомкнутой поверхности с небольшой пористостью, при этом ухудшается впитывание печатной краски. На впитывание печатной краски большое влияние оказывает рН бумаги; при низком значении рН замедляется сушка печатной краски вследствие адсорбции отвердителя бумагой, при слишком высоком (выше 9,5) – происходит эмульгирование краски; оптимальным значением рН является 8.

Неоднородная плотность и неравномерная пористость мелованного слоя является наиболее опасными дефектами, т.к. на такой бумаге отпечатки получаются пятнистыми, одни участки изображения блестят, другие – матовые, что вызвано неодинаковым восприятием и распределением краски, а также разной скоростью ее закрепления. Причиной этих дефектов являются неправильные условия нанесения мелованной суспензии, неисправность установки, а также нестабильность суспензии и неоднородность основы.

Бумага и картон для многокрасочной печати должны отличаться достаточно высокой степенью белизны: в зависимости от назначения их степень белизны колеблется от 75 – 100%. Цветовой оттенок бумаги недопустим. Желтоватый оттенок чаще всего сопутствующий мелованной бумаге, в значительной степени искажает цветовые градации репродуцируемого оригинала: загрязняет голубой цвет, гасит пурпурный и понижает контрастность желтой краски.

Белизна поверхности мелованных бумаг определяется в основном степенью белизны используемых минеральных пигментов. связующие вещества в той или иной мере уменьшают белизну. На белизну так же оказывает влияние белизна бумаги-основы. И тем больше, чем меньше масса покровного слоя.

Важным оптическим свойством является лоск поверхности бумаги. Блестящая бумага непригодна для печати мелкого текста в книгах, журналах, газетах, т.к. световые отблески при чтении быстро утомляют глаза.

Характер отражения света мелованной поверхностью определяется природой, формой и дисперсностью частиц пигмента, степенью и характером отделки ее на каландрах. В результате каландрирования мелованная поверхность уплотняется, сглаживаются микронеровности и вследствие этого уменьшается рассеяние света – поверхность приобретает лоск. Однако при сильном каландрировании снижается восприятие краски. Поэтому в практике часто прибегают к иным средствам для повышения лоска: вводят в меловальную суспензию латексы СК, воск, парафин, а также высушивают бумажное полотно с мелованным слоем на цилиндре с полированной поверхностью.

В зависимости от назначения лоск мелованной бумаги колеблется от 40 до 80% (по ФБ-1).

Мелованная продукция должна быть непрозрачной чтоб не были видны изображения, нанесенные на оборотной стороне листа или на другом листе, находящемся в контакте с первым. Непрозрачность повышается за счет по-

вышенной непрозрачности бумаги-основы и наличием в мелованном составе пигмента с большим показателем преломления.

Необходима повышенная гладкость и отсутствие раковистости. При недостаточной гладкости поверхности вследствие неполного контакта элементов формы и участков бумаги, находящихся ниже поверхности контакта, наблюдается «непроечка» того или иного числа растровых точек, что снижает качество оттиска, т.к. нарушается постепенность перехода от полутона к тону. Гладкость различных видов мелованной продукции колеблется от 250 до 3000 с. особенно высокие требования предъявляются к гладкости бумаги для глубокой печати. Неравномерность поверхности бумаги выравнивается при высоком способе печати высоким давлением формы (до 8 МПа), а при офсетной печати – мягким эластичным офсетным полотном. При глубоком способе печати в связи с низким давлением формы (около 2 МПа) этого не происходит.

В зависимости от назначения продукции меловальная суспензия может наноситься с одной или двух сторон, причем число слоев, наносимых на одну сторону, может быть один, два и более.

Чаще всего наносятся двухслойные покрытия, при этом имеются следующие преимущества:

- первый слой уменьшает разницу между сеточной и верхней стороной,
- снижает ее впитываемость,
- заполняет неровности, выравнивая поверхность.

Полосы, царапины и отпечатки, имеющиеся на первичном покрытии, сглаживаются верхним покрытием.

При двукратном покрытии появляется возможность уменьшить общую массу покровного слоя и регулировать наносимый состав по слоям. В первичный слой вводятся менее дефицитные и более дешевые компоненты, при этом рекомендуется увеличить долю связующих веществ до 80 % и более к массе пигмента, что способствует прочному закреплению мелованного слоя и предотвращает миграцию связующего из вторичного слоя в первичный.

Нанесение вторичного слоя может быть произведено без предварительного высушивания первичного слоя — «мокрое по сухому». Первый способ обеспечивает лучшую адгезию слоев, но качество покрытия хуже, и обязательным условием является совместимость связующих обоих слоев.

Масса мелованного покрытия обычно составляет 10-25 г/м². При производстве легких мелованных бумаг (45-60 г/м²) минимальная масса покрытия бумаги для глубокой и офсетной печати 10 г/м², а для высокой — 6-8 г/м², с каждой стороны.

Нанесение меловальной суспензии на бумагу и картон производится на отдельно стоящей установке или на бумаго- и картоноделательной машине. В последнем случае процесс мелования может быть осуществлен в одну или две ступени: при однопроцессном способе процесс мелования производится и завершается на машине (машиномелованная продукция), при двухпроцессном — на машине наносится предварительный (грунтовальный) слой в коли-

честве 3-10 г/м², а завершается процесс мелования на специальной установке вне машины.

При проведении процесса мелования на бумаго- или картоноделательной машине в ее сушильную часть, где влажность полотна составляет 10-25 %, встраивается устройство для мелования. Таким способом можно нанести на одну сторону не больше 10 г/м² (обычно 3-6 г/м²) покровного слоя.

Машиномелованная бумага находит применение для массовых видов печати (типографская бумага). Дополнительное нанесение покровных слоев (12-15 г/м² на каждую сторону) в значительной степени улучшает свойства бумаги и делает ее пригодной для восприятия художественной печати.

Мелование на бумагоделательных машинах целесообразно производить только в тех случаях, когда режим работы меняется редко, и при этом диапазоны изменений скорости машины, массы 1 м² основы и покровного слоя невелики.

Меловальное устройство вызывает определенные трудности в работе бумаго- и картоноделательных машин: ограничивает скорость, увеличивает количество оборотного брака и простои машины, в результате чего снижается производительность машины на 1,5-2 %, поэтому наибольшее распространение получило мелование бумаги и картона на специальных отдельно стоящих установках.

Применяемые в настоящее время машины для мелования принципиально одинаковы, отличаются они в основном конструкциями устройств нанесения и разравнивания меловальной суспензии. Установки для мелования включают следующие узлы: раскат (разматывающее устройство), устройство для мелования, сушильное устройство и накат. На современных установках раскат позволяет производить заправку нового рулона бумаги на ходу, без останова машины.

Для нанесения меловальных составов применяются устройства валикового типа, с дозирующим стержнем (валиком), с шабером-лезвием, с воздушным шабером, фонтанирующего типа.

При машинном способе мелования любое из этих устройств может быть предусмотрено в сушильной части бумаго- или картоноделательной машины, чаще других встраиваются устройства валиковые и с перевернутым шабером.

Для нанесения предварительного грунтовального слоя наибольшее применение находят клеильные прессы на бумагоделательных машинах и дозирующие роликовые стержни на картоноделательных.

Отдельно стоящие установки для мелования часто оснащаются устройством для нанесения покрытия с механическим шабером (шабером-лезвием) и с воздушным шабером. Покрытие, нанесенное при помощи лезвия, сглаживает неровности бумаги-основы, но слой покрытия получается неравномерным, в углублениях поверхности толщина слоя пасты больше.

При помощи воздушного шабера на поверхность наносится покрытие, равномерное по толщине, но в этом случае не происходит выравнивание поверхности.

Ввиду того, что покрытие, нанесенное на устройство с воздушным шабером, сохраняет профиль основы, обычно этому устройству предшествует устройство для нанесения первого слоя валикового или шаберного типа. При производстве мелованной бумаги используются в сочетании устройства валиковые — шаберные, шаберные — шаберные, шаберные с воздушным шабером; при производстве мелованного картона обычным является сочетание устройств с дозирующим стержнем и воздушным шабером.

При нанесении покрытия методом «мокрое по мокрому» концентрация первого слоя должна быть как можно большей, поэтому он наносится на шаберных устройствах или с дозирующим стержнем, а верхний — обычно на устройстве с воздушным шабером.

Ширина установок для мелования, превышающая в настоящее время 8 м, соответствует ширине бумаго- или картоноделательных машин, вырабатывающих основы; длина установок доходит до 30 м и более. Меловальная установка имеет привод со 140-150 двигателями. Общая мощность потребляемой электроэнергии 3-5 МВт.

Установка для мелования оборудуется современной контрольно-измерительной аппаратурой: измеряется, регулируется и регистрируется концентрация суспензии, уровень ее в ванне, масса и влажность бумаги в машинном и поперечном направлении, масса покрытия.

На раскат таких машин устанавливают рулон бумаги диаметром 2 м и массой до 15-20 т; продолжительность обработки рулона 50-60 мин. Масса покрытия обычно составляет 10-25 г/м² на одну сторону, но в случае необходимости может достигать 40 г/м².

2.3.1 Сушка мелованных видов бумаги и картона

Процесс сушки оказывает большое влияние на качество покрытия, особенно большую роль имеет начальный период сушки. Вредное воздействие на покрытие оказывает очень быстрая сушка при высокой температуре. В этом случае нарушается равномерность распределения адгезива и создается тенденция к переходу его на поверхность покрытия. Мелованное покрытие сушат тремя способами: **контактным, конвекционным, с помощью инфракрасных лучей.**

Контактную сушку на обычных сушильных цилиндрах, диаметр которых от 0,6 до 4,5 м, чаще всего применяют в тех случаях, когда не предъявляют высоких требований к качеству покрытия, например для предварительного грунтовального покрытия. Для того чтобы избежать приклеивание мелованного покрытия к поверхности сушильных цилиндров, первые два из их числа должны быть хромированы, покрыты тефлоном или силиконами, а температуру следует поддерживать не выше 70 °С.

Применение контактных способов сушки ограничено, так как возможно только при поочередном меловании и сушке обеих сторон или при, выпуске односторонне мелованной продукции.

Кроме того, при таком способе сушки происходит интенсивная миграция природных связующих, особенно крахмала, к поверхности основы, что вызывает уменьшение прочности покровного слоя; вследствие неравномерного высыхания покрытия на бумаге появляется пятнистость, а тонкая мелованная бумага коробится. Сушка на цилиндрах ограничивает скорость меловальных установок, особенно при нанесении покрытий с большой массой; производительность сушки всего; $10 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$.

Оснащение сушильных цилиндров колпаками скоростной сушки в значительной степени интенсифицирует процесс. Температура подаваемого воздуха, при этом составляет $250\text{—}350 \text{ }^\circ\text{C}$, скорость $50\text{--}100 \text{ м/с}$, производительность сушки доходит до $50\text{—}70 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$.

Для сушки мелованного слоя, полученного на устройствах шаберного типа, широкое применение находит комбинированная система, предусматривающая сушку на одном-двух цилиндрах с колпаками, скоростной сушки, за которыми установлено $4\text{—}8$ обычных сушильных цилиндров с сукнами; перед сушкой покрытие подсушивается инфракрасным светом.

Для сушки двусторонне мелованных бумаг разработана система сушки на **воздушной подушке**. Горячий воздух служит поддерживающей средой, нагревающим телом и средой, отводящей влагу из бумаги.

На скорость сушки и качество продукции оказывают влияние объем воздуха и его температура. Разработанные конструкции сушилок рассчитаны для подачи $15\text{—}915 \text{ м}^3$ воздуха на каждый 1 м^2 поверхности. Объем подаваемого воздуха зависит от скорости воздуха, конструкции сопла и статистического давления в камере за соплом. Интенсивность сушки достигает $35\text{—}50 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ при $180 \text{ }^\circ\text{C}$ и $80\text{—}85 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ при $270 \text{ }^\circ\text{C}$. Чтобы исключить миграцию связующего к поверхности покрытия, рекомендуется поддерживать производительность сушки на уровне $25\text{—}30 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$; коэффициент теплопередачи составляет $68\text{—}80 \text{ кДж/м}^2$.

Длина сушильной секции обычно не превышает $5,5 \text{ м}$, что обусловливается размерами нагревательных элементов и воздуходувок, а также условиями заправки полотна и противопожарной безопасности. Такие секции располагаются последовательно, они монтируются в горизонтальном, наклонном или вертикальном положении; между отдельными сушильными секциями предусматриваются приводные бумаговедущие валы.

Для современных меловальных установок обычной является сушильная часть, включающая три секции воздушных планок длиной $3\text{—}5 \text{ м}$ и $8\text{—}9$ сушильных цилиндров, обеспечивающих досушку полотна, от влажности $15\text{—}20 \%$ до 5% , плоскостность полотна и разглаживание его. Однако не исключается возможность сушки мелованных видов бумаги и картона только на воздушных планках.

Сушка инфракрасными лучами (электрическая или газовая инфракрасная сушка) с длиной волн от 1 до 10 мкм широко используется для предварительного быстрого нагрева полотна с мелованным слоем до температуры сушки с последующим досушиванием на цилиндрах, а также для досушивания в последней ступени, например для снижения влажности полотна с 10 до 5%. Сушка инфракрасными лучами рекомендуется также как наиболее безопасная для сушки покрытия, содержащего органические растворители. Производительность по испаряемой влаге доходит до 40 кг/м²·ч.

Инфракрасные лучи производят нагрев изнутри, поэтому внутри покрытия и основы влага не скапливается, исчезает опасность подгара поверхности покрытия и его разрушения. Сравнительно высокая производительность процесса объясняется тем, что интенсивный процесс сушки начинается через влажное, еще не монолитное покрытие. Покрытие получается высокой гладкости, и лоска. Путем правильного подбора длины волны излучения предупреждается переход большого количества связующего в основу, поэтому содержание его в меловальной суспензии можно снизить. Однако применение для сушки только ИК-лучей неэкономично, так как КПД сушки снижается до 40—50%.

После сушки мелованная бумага (картон) наматывается на накат периферического типа с тамбурами.

2.3.2 Отделка мелованных видов бумаги и картона

В процессе сушки мелованных видов бумаги и картона, в зависимости от состава покрытия и условий сушки, происходит большая или меньшая усадка основы и покрытия, в результате чего поверхность становится неровной.

Для придания бумаге гладкости, сомкнутости и лоска ее увлажняют до 5—8 % и подвергают суперкаландрированию, пропуская через 10—16-вальные суперкаландры один или два раза. Увлажнение производится на суперкаландре или на увлажнительном станке. При производстве высококачественных видов мелованной бумаги и картона после увлажнения рулоны помещаются на одни - трое суток в помещение акклиматизации с кондиционированием воздуха.

Максимальное линейное давление при каландрировании мелованной бумаги 250—300 кН/м, скорость—до 600—800 м/мин.

Применение мелованной бумаги с большой степенью лоска и гладкости позволяет воспринимать иллюстрации с высоким растром, однако создаются трудности при чтении из-за световых отблесков. Поэтому для высокой и офсетной печати предпочтительна бумага с ровной матовой поверхностью. Получают такую бумагу, пропуская ее через 4-вальный каландр. Особенностью каландра являются металлические валы большого диаметра с незначительной бомбиривкой, изготовленные из кокильного чугуна с матовой хро-

мированной поверхностью. Нижний вал — приводной, два средних вала изготовлены из пластмассы. Эти валы выравнивают матовость бумаги, полученную после металлических хромированных валов. Рабочая скорость таких каландров составляет до 300 м/мин, линейное давление при выработке мелованной бумаги для высокой печати с линеатурой раstra до 60 линий - 250 кН/м, для офсетной печати - 150 кН/м; температура каландрирования 30-35 °С.

При суперкаландрировании высокая гладкость поверхности достигается за счет большого давления вследствие полирующего действия при прохождении полотна между валами различной твердости.

Суперкаландрирование приводит к значительному увеличению плотности за счет снижения толщины бумаги, при этом понижается прочность, белизна и непрозрачность материала.

Для отделки мелованных видов бумаги и картона применяют лоцильные каландры, их используют обычно для производства мелованной продукции с высоким лоском, при этом уплотнения не происходит, поэтому картон сохраняет жесткость и высокую способность к фальцеванию.

Необходимым условием для достижения высокоглянцевой поверхности является нанесение на нее менее 10-г/м² пасты. Меловальное покрытие при этом должно отличаться высокой пластичностью (достигается путем введения пластификаторов и веществ повышающих лоск), а металлическая поверхность, к которой прижимается бумага в процессе лощения, должна быть высокой зеркальной гладкости. Лоцильные каландры работают со скоростью 90—900 м/мин и применяются для отделки полотна шириной до 10 м.

Для облагораживания поверхности картона находит также применение устройство, состоящее из цилиндра с вращающимися щеточными валами. Жесткость ворса на валах снижается по ходу движения полотна.

На подобной установке возможна обработка бумаги массой от 60 г/м² и картона до 700 г/м². Часто этому устройству предшествует отделка картона на шестивальном каландре при умеренном давлении.

Высокий лоск мелованной поверхности без уплотнения бумаги или картона достигается способом литого мелования, по которому бумага с покрытием сразу после его нанесения приводится в плотный контакт с нагретым цилиндром (диаметром около 5 м) или другой полированной нагретой поверхностью. Температура поверхности не должна быть более 100 °С, чтобы избежать кипения покровной пасты, при котором выделяющиеся пары нарушают покрытие.

Испаряющаяся вода удаляется только через основу, поэтому процесс протекает медленно и скорость установок составляет всего 30—90 м/мин. Качество мелованной бумаги и картона получается очень высоким; используются эти материалы для изготовления декоративных этикеток, художественных открыток, высококачественных коробок и т. д.

2.4 Устройства для нанесения покрытий на бумагу

Выбор того или иного устройства среди большого количества конструктивных вариантов определяется структурой покрытия, массой 1 м^2 и свойствами конечного продукта. Масса покрытия может изменяться от $1...2$ до $25...30 \text{ г}$ и более на 1 м^2 . От одних покрытий требуется строгая равномерность толщины, от других — ровность поверхности; покрытия бывают однослойные и многослойные.

Наиболее распространенные типы меловальных устройств и их техническая характеристика представлены в табл. 2.1.

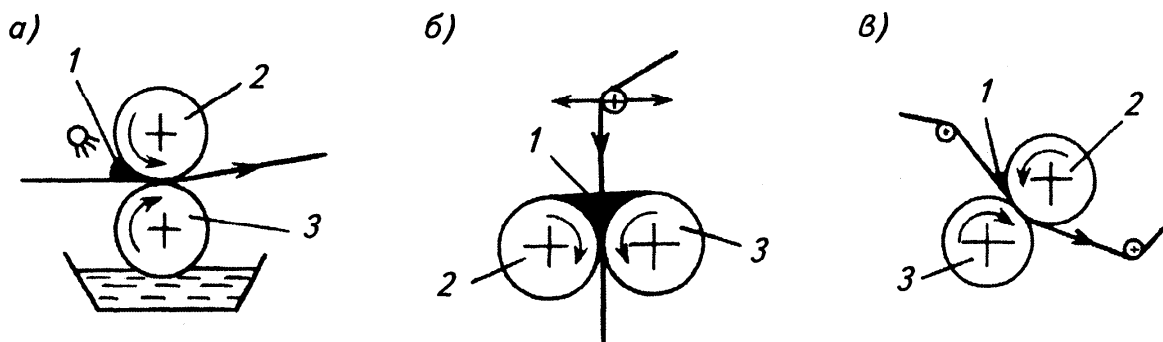
Таблица 2.1 - Техническая характеристика меловальных устройств

Показатель	Тип устройства				
	Клеильный пресс	Вращающийся шабер	Вращающийся стержень	Воздушный шабер	Ножевой шабер
Масса 1 м^2 покрытия, г	1...6	2... 6	3...10	8...35	6...30
Содержание сухих веществ, %	30...45	35...55	40...55	35... 50	55... 73
Вязкость, Па·с	До 400	50... 1400	100...2000	5... 500	1000...8000
Максимальная скорость, м/мин	500	400	700	450	1500
Способ сушки (И — инфракрасная; А — аэрофонтанная; Ц — цилиндровая)	А + Ц или И + Ц	И или А + Ц	А или И + Ц	А + Ц или И + А + Ц	А + Ц или И + А + Ц

Клеильный пресс состоит из двух валов — твердого (резина твердостью 95 ед. Пуссей - Джонса, стонит, бронза) и мягкого (резина твердостью 90 ед. Пуссей—Джонса), предназначенных для нанесения растворов полимеров или меловальных составов на полотно бумаги. Состав вязкостью $0,01...0,02 \text{ Па·с}$ наносится на бумагу и разравнивается за одну операцию. Между валами клеильного пресса при помощи гидравлики или пневматики создается линейное давление $1...3 \text{ Н/м}$. Твердость резиновой рубашки мягкого вала подбирается в зависимости от рабочей скорости, диаметра валов, линейного давления, реологических свойств меловальных составов, влажности основы и свойств бумаги с покрытием. Меловальный состав подается на одну или обе стороны полотна бумаги при помощи sprays. Твердый вал устанавливают, как правило, для верхней стороны полотна. На клеильном прессе может наноситься покрытие массой $1...6 \text{ г/м}^2$, при скорости до 500 м/мин .

По взаимному расположению валов различают вертикальный, горизонтальный и наклонный прессы (рис 2.1, а—в). Наклонный клеильный пресс является наиболее оптимальным вариантом. Угол между межосевой плоскостью валов и горизонтальной плоскостью составляет 45° , благодаря чему операция заправки бумаги более проста, чем у горизонтального пресса. При работе пресса бумага охватывает нижний вал, поэтому нагрузка от избытка

меловального состава на полотно и попадание воздуха в зазор уменьшаются, что снижает возможность обрыва полотна в прессе.



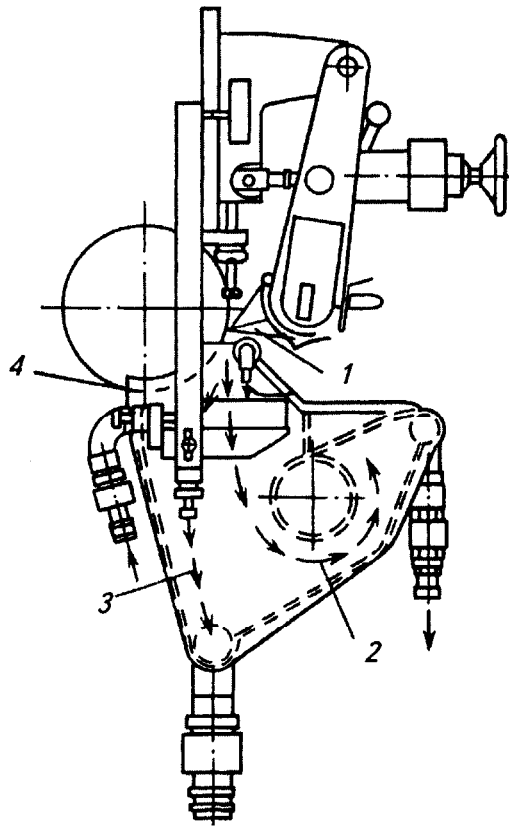
a - вертикального; *б* — горизонтального; *в* - наклонного
1 — подача состава; 2 — твердый вал; 3 — мягкий вал

Рисунок 2.1 – Схемы клеильных прессов

Для клеильного пресса наиболее приемлемым является тиксотропный режим течения меловального состава. Это обусловлено тем, что на границе с бумагой состав загущается из-за впитывания жидкой фазы, разрыв слоя происходит вблизи вала, поскольку в этой зоне состав сохраняет максимальную текучесть. Тиксотропность состава выполняет две функции на выходе из полосы контакта: обуславливает минимальную вязкость внешнего слоя и образование гладкой поверхности без тяжей; при снятии напряжения покрытие сохраняет ровную поверхность вследствие быстрого структурирования.

При ньютоновском и дилатантном характере течения в составах нет зоны минимальной вязкости и слой рвется в любом месте, что сопровождается образованием пятен и длинных нитей. Покрытие при этом имеет шероховатую, с низкой гладкостью поверхность.

Устройства с воздушным шабером для нанесения покрытия на бумагу и особенно на картон получили наиболее широкое распространение (рис. 2.2). Принцип действия устройства состоит в следующем: меловальный состав с содержанием сухих веществ 35...45 % наносится в избытке на одну сторону полотна бумаги. Бумага всасывает воду из граничащих с ней слоев суспензии, в результате чего концентрация и вязкость состава в этих слоях повышаются. Верхние слои меловального состава при этом остаются во влажном состоянии и снимаются струей воздуха. Одновременно покрытие разравнивается. Струя воздуха создается и направляется воздушным шабером, состоящим из камеры с повышенным давлением и направляющих пластин, образующих регулируемое сопло в виде щели одинаковой ширины. Расход воздуха в шабере и его скорость на выходе из сопла зависят от размера сопла и давления воздуха и наряду с температурой являются важнейшими характеристиками.



1 — воздушный шабер; 2 — воздух; 3 — меловальный состав; 4 — основа

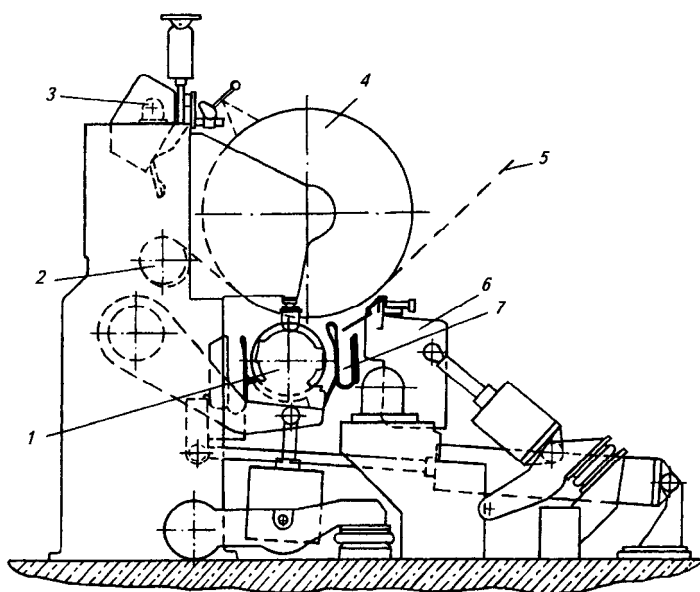
Рисунок 2.2 - Устройство с воздушным шабером

Количество наносимого воздушным шабером покрытия определяется скоростью машины, расстоянием от сопла до поверхности покрытия, углом наклона шабера и давлением воздуха. Скорость машины составляет 100...500 м/мин, угол наклона шабера — 45...50°, расстояние от сопла до поверхности покрытия — 2...8 мм, давление воздуха — 0,1...0,8 МПа. Масса покрытия снижается при повышении давления воздуха и повышается при увеличении скорости нанесения и расстояния от сопла до поверхности покрытия.

В зоне «дозирование—распределение» в машинах с воздушным шабером покровные составы характеризуются малой вязкостью из-за низкого содержания твердых веществ; тиксотропность здесь проявляется незначительно, поэтому более подходящими являются слегка псевдопластичные составы.

Устройства с механическим шабером отличаются тем, что дозировка и разравнивание меловального состава осуществляются металлическим гибким шабером, представляющим собой заточенную пластину толщиной 0,3...0,5 мм. Повышение жесткости разравнивающего тела по сравнению с воздушной струей и обрезиненными валиками позволило повысить содержание сухих веществ в составе до 65... 70 % и скорость машины до 1000... 1500 м/мин. Устройствами с механическим шабером широко оснащаются бумагоделательные машины и отдельно стоящие установки, что обусловлено высоким качеством структуры поверхности покрытия и высокой производительностью.

В настоящее время известно большое количество конструкций меловальных устройств с использованием металлического шабера. На рис. 2.3 приводится схема меловального устройства с ножевым шабером.

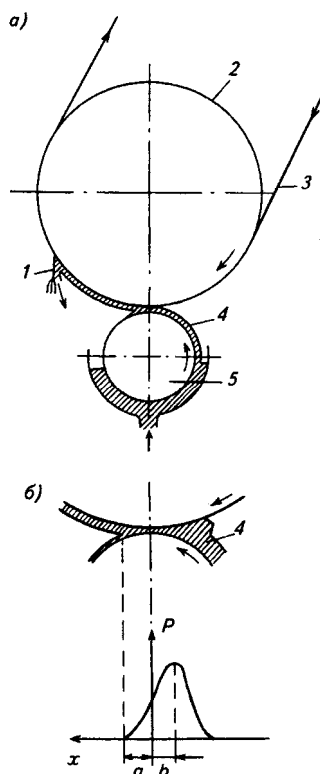


1 — наносящий вал; 2 — разгонный валик; 3 — увлажнитель; 4 — опорный вал; 5 — полотно бумаги; 6 — механизм гибкого лезвия; 7 — ванна с меловальной пастой

Рисунок 2.3 - Меловальное устройство с ножевым шабером:

Главными узлами устройства являются: встречный валик, наносящий валик с ванной; несущие и прижимные устройства лезвия. Обрезиненный наносящий валик должен иметь подходящую бомбировку, чтобы зазор в захвате между ним и встречным валиком был одинаковым в поперечном направлении машины. Захват между наносящим и встречным валиками, а также скорость наносящего валика подбираются в каждом отдельном случае таким образом, чтобы на бумагу-основу поступало достаточное количество меловальной пасты. Обычно зазор в захвате составляет около 1 мм, а окружная скорость наносящего валика — около 20 % от скорости меловальной машины. Несущие и прижимные устройства лезвия должны допускать точное регулирование прижима и угла наклона лезвия во время работы. При небольших количествах наносимого покрытия угол обычно составляет 50° , а при больших количествах покрытия — $15...40^\circ$.

На рис. 2.4, а приведена схема шаберного нанесения покрытий.



1 — шабер; 2 — упорный валик; 3 — бумага или картон; 4 — меловальный состав; 5 — наносящий валик

Рисунок 2.4 - Схема шаберного нанесения покрытия (а) и эпюра давления в зазоре между упорным и наносящим валиками (б)

При меловании бумаги в установке с ножевым шабером бумажное полотно проводится через захват между двумя валиками, вращающимися в разных направлениях, нижний наносящий валик подает в захват меловальный состав. После захвата полотно уходит по упорному валику, а на полотне находится избыток меловального состава, который снимается с помощью шабера, прижатого к полотну и упорному валику. При подаче меловального состава в захвате между двумя валиками создается гидродинамическое давление (рис. 2.4, б). На первом этапе наблюдается увеличение давления, которое достигает максимального значения немного не доходя до середины захвата, после чего давление снижается и на определенном расстоянии от середины захвата опять становится равным внешнему давлению. В это точке происходит расщепление пленки суспензии и меловальная композиция делится между валиками. Гидродинамическое давление прямо пропорционально вязкости и окружной скорости валика:

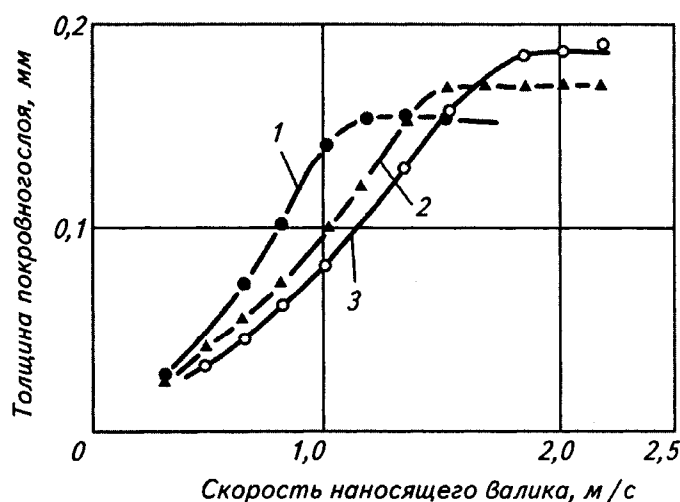
$$p = k\eta (U_1 + U_2)f_1(h_0)$$

где k — константа; η — вязкость, мПа·с; U_1, U_2 — окружная скорость валиков, м/с; h_0 - межваликовый зазор, мм.

При величине зазора менее 0,1 мм зазор оказывает существенное влияние на величину гидродинамического давления; при больших зазорах (около 0,5 мм) это влияние незначительно.

Количество суспензии, поступающее через захват, увеличивается с ростом скорости наносящего валика, но не бесконечно. Если материал поверхности валиков жесткий, то теоретическим пределом толщины слоя будет $4/3$ минимального расстояния между валиками.

На практике все выглядит иначе, так как и наносящий и упорный валики обычно имеют резиновую поверхность, и таким образом, гидродинамическое давление, образуемое в мел овальной суспензии, увеличивает величину межваликового зазора. Чем меньше первоначальная величина зазора, тем выше давление и тем больше деформируются поверхности валиков. На практике эту деформацию видно по количеству суспензии, пропускаемой через зазор. Максимальная толщина слоя может многократно превышать названную теоретическую величину. На рис. 2.5 приводится сравнение толщины покровного слоя в зависимости от работы наносящего валика при трех рабочих скоростях установки и установленной величине зазора в 0,1 мм.



1 — 10,0 м/с; 2 — 13,3 м/с; 3 — 16,7 м/с

Рисунок 2.5 - Зависимость толщины покровного слоя от скорости вращения наносящего валика при рабочей скорости установки

Если зазор установлен слишком большим (около 0,5 мм), то гидродинамическое давление останется слишком низким и значительного расширения зазора не будет. Следовательно, это явление свойственно малым зазорам и эффект давления может значительно сглаживать неровность захвата. С другой стороны, деформация приводит к тому, что между валиками никогда не будет высокого гидродинамического давления. Распределение меловальной суспензии между бумагой и наносящим валиком зависит от адгезионных

свойств поверхностей и от соотношения скоростей валиков. Окружная скорость упорного валика обычно в 10 раз больше скорости наносящего валика. Исследования показывают, что толщины слоев, оседающих на поверхности валиков, пропорциональны их скоростям. Таким образом, можно управлять (в определенных пределах) толщиной покровного слоя, регулируя скорость вращения наносящего валика.

Область взаимодействия шабера 1 с покровной суспензией, поступающей вместе с бумагой, можно разделить на две зоны (рис. 2.6). В первой зоне слой суспензии сталкивается с шабером и его основная часть изменяет направление движения, стекая вниз по шаберу. Во вторую зону попадает тонкий слой суспензии, который после сушки и образует окончательный покровный слой 2. Масса этого слоя зависит от соотношения сил, действующих на шабер, от свойств покровной суспензии и бумаги-основы.

Схема сил, действующих на шабер 2, изображена на рис. 2.7: D — сила давления потока покровной суспензии на поверхность шабера в зоне I.

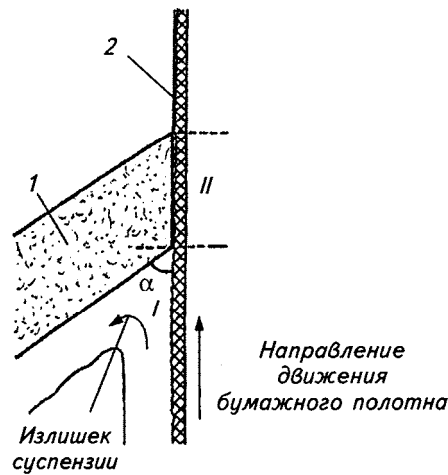


Рисунок 2.6 – Схема образования покровного слоя

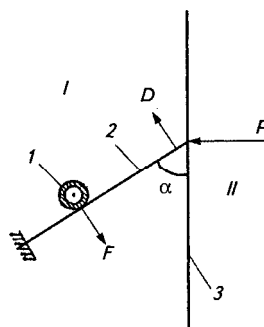


Рисунок 2.7 - Схема сил, действующих на шабер

Эта сила определяется изменением вектора количества движения потока; F — сила, действующая со стороны прижимного шланга 2, в который подается воздух под давлением; регулирование давления воздуха позволяет регулировать силу прижима шабера; P — сила взаимодействия лезвия шабера с поверхностью бумаги 3 в зоне II (реакция опоры шабера и силы трения на

схеме не указаны).

Сила давления покровной суспензии на поверхность шабера существенно зависит от угла наклона шабера α . Характер этой зависимости при больших углах наклона шабера ($40...55^\circ$) показан на рис. 2.8.

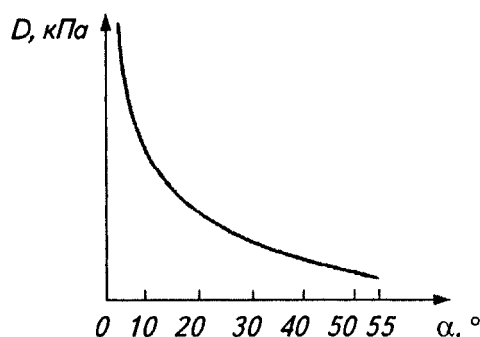


Рисунок 2.8 - Схема сил, действующих на шабер

При малых (20° и менее) углах наклона, в так называемых малоугольных шаберных установках, влияние угла сильно возрастает (рис. 2.9). Эти установки отличаются тем, что шабер у них имеет большую протяженность и гибкость. Шланг, создающий нагрузку, помещается, как правило, около самого конца шабера.

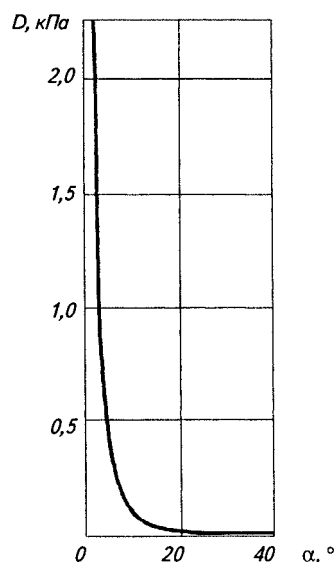


Рисунок 2.9 – Зависимость линейного давления покровной суспензии D на поверхность шабера от угла его наклона α при скорости полотна 13,3 м/с, вязкости суспензии 50 мПа·с для малоугольной шаберной установки

Сила прижима F является главным фактором регулирования массы 1 м^2 покровного слоя. На рис. 2.10 приведена зависимость массы 1 м^2 покровного слоя от давления в шланге над шабером при двух скоростях бумажного полотна и трех скоростях наносящего валика в каждом случае.

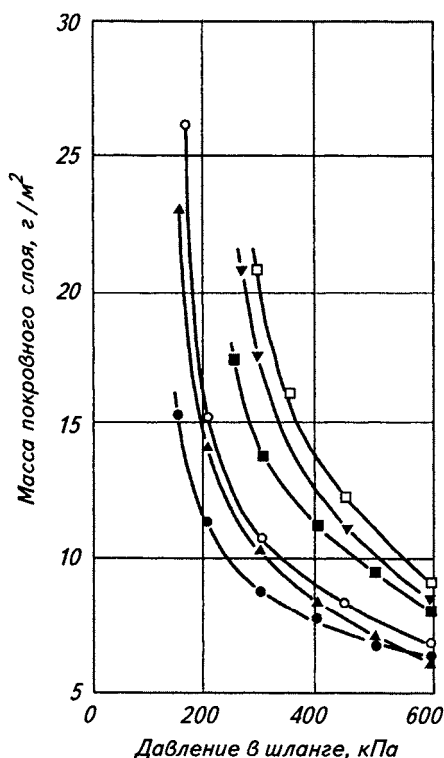


Рисунок 2.10 – Зависимость массы покровного слоя от давления в шланге и массы покровного слоя от давления в шланге: при скорости бумажного полотна 13,3 м/с и скорости наносающего валика 0,83 м/с (•); 1,17 м/с (▲); 2,0 м/с (○); при скорости бумажного полотна 16,7 м/с и скорости наносающего валика 1,0 м/с (■); 1,33 м/с (▼); 1,67 м/с (□) и D на

Использовалась бумага-основа массой 40 г/м², содержащая древесную массу. Содержание сухих веществ в меловальном составе составляло 60 %. Из приведенных графиков видно, что при уменьшении давления, увеличении скорости наносающего валика и скорости бумажного полотна увеличивается количество наносимого покрытия.

Устройство *Twostream* работает следующим образом (рис. 2.11). Бумажное полотно проходит снизу вверх через промежуток между двумя соплами, в котором покрытие наносится одновременно на обе стороны.

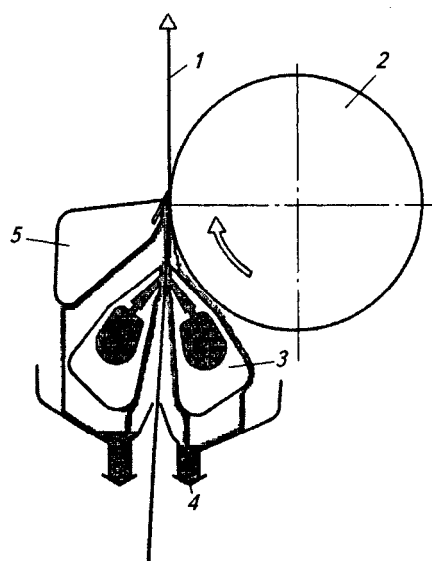
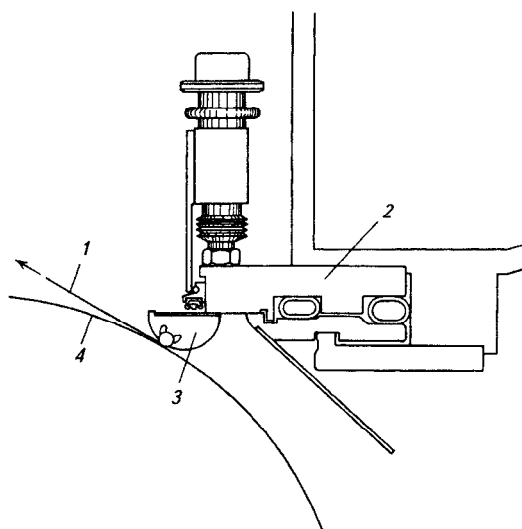


Рисунок 2.11 – Схема устройства Twostream

1 — бумажное полотно; 2 — опорный вал; 3 — подача

Выравнивание покрытия происходит при выходе бумаги из захвата, образованного встречным валиком и лезвием или вращающимся стержнем. На рис 2.12 представлена конструкция вращающегося стержня Rodblade.

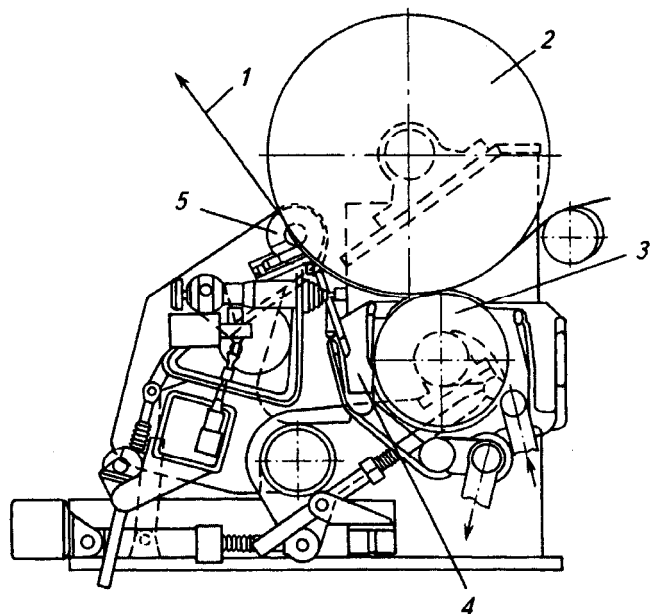


1 — бумажное полотно; 2 — пневмо-прижим; 3 — вращающийся стержень; 4 — опорный вал

Рисунок 2.12 – Схема вращающегося стержня Rodblade

Благодаря небольшой разнице скоростей (2...4 %) бумажного полотна и встречного валика последний производит эффективное выравнивающее действие, что позволяет получить хорошее покрытие полотна с обеих сторон. Устройство работает со скоростью до 1000 м/мин при массе наносимого покрытия 15...20 г/м². Количество наносимого покрытия можно регулировать при помощи лезвий различной толщины (0,30...0,381 мм) и посредством изменения давления в расположенном за лезвием резиновом шланге.

Устройство *Autoblade* отличается тем, что метод нанесения покрытия на нем (рис.2.13) основывается на обеспечении точных механических

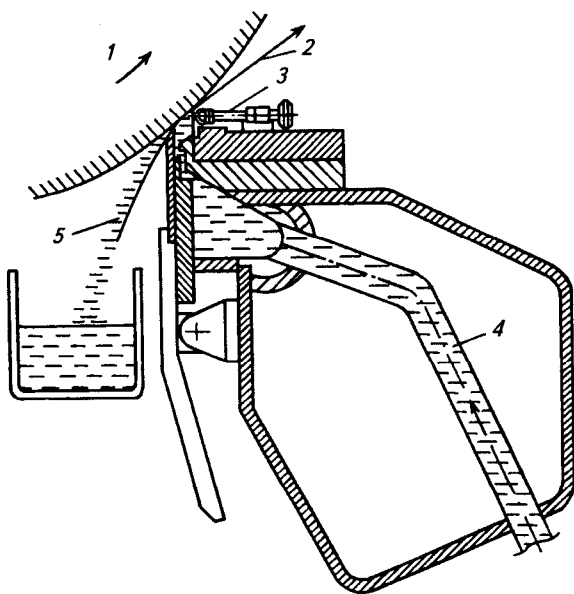


1 - бумажное полотно; 2 - опорный цилиндр; 3 - наносящий вал; 4 - возврат меловального состава; 5 - механический шабер

Рисунок 2.13 – Схема устройства Autoblade

регулировок и на повторяемости регулировок. При изменении нагрузки угол рабочей части шабера остается неизменным. Это позволяет повысить рабочую скорость и обеспечивает точное регулирование массы покрытия (масса покрытия — 15...20 г/м², скорость — до 1500 м/мин).

Устройство Surface Blade (рис. 2.14)

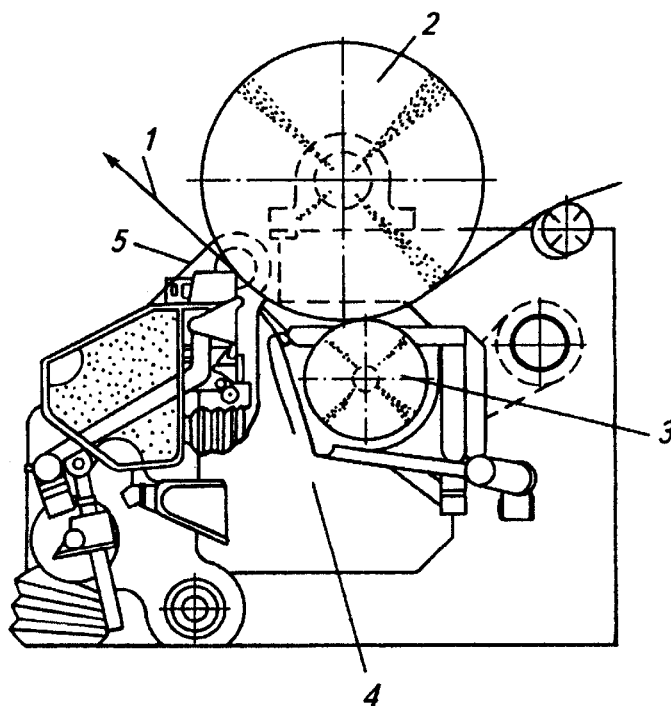


1 - опорный цилиндр; 2 - бумажное полотно;
3 - механический шабер; 4 - подача меловального состава; 5 - возврат меловального состава

Рисунок 2.14 - Схема ножевого меловального устройства Surface Blade

Дозировка и разравнивание меловального состава осуществляются немедленно после нанесения покрытия. Благодаря этому обеспечивается минимальное время выдержки и предотвращается излишнее поглощение покрытия бумагой. Через канал типа гребенки покрытие накачивается в нужную зону. Излишнее покрытие стекает против движения полотна и служит уплотнением, предотвращая доступ воздуха в зону нанесения покрытия. Масса наносимого покрытия составляет 5... 15 г/м² при скорости 1500 м/мин.

Меловальное устройство *Combi* (рис. 2.15) представляет собой комбинацию из устройств Surface blade и Autoblade, обеспечивает расширенную зону нанесения покрытия и высокое качество в широком диапазоне массы наносимого покрытия.



1 - бумажное полотно; 2 - опорный цилиндр; 3 – наносящий вал; 4 - возврат меловального состава; 5 – механический шабер

Рисунок 2.15 - Схема меловального устройства *Combi*

2.5 Сушка мелованной бумаги

Физико-химические основы сушки. Мелованная бумага является капиллярно-пористым коллоидным телом, сушка которого представляет собой сложное взаимодействие процессов тепло- и массообмена. Физико-химические свойства материала и виды связи с ним влаги наряду с режимными параметрами обуславливают скорость сушки. Влажная мелованная бумага согласно современным представлениям содержит следующие виды влаги.

Влага намокания механически удерживается полостями и макрокапиллярами бумаги, не связана с твердым веществом молекулярными и капиллярными силами. Ее поглощение и удаление не сопровождается изменениями размеров тела и тепловыми эффектами.

Капиллярная влага удерживается капиллярами бумаги и существует в равновесии с паром. Исходя из теоретических представлений, минимальный радиус капилляра, обеспечивающий конденсацию воды, — 10 \AA , максимальный радиус определяется относительной влажностью воздуха. Сила связи капиллярной влаги пропорциональна высоте влаги в капиллярах ($J_{\text{таж}}$), которая определяется по формуле

$$h_{\max} = 2 \sigma v \cos \theta / Mrg, \quad (2.1)$$

где σ — поверхностное натяжение, мН/м; θ — краевой угол смачивания, °; v — мольный объем, л; M — молекулярная масса жидкости, у. е.; r — радиус капилляра, мкм; g — ускорение силы тяжести, м/с².

Из формулы (2.1) видно, что высота подъема капиллярной влаги обратно пропорциональна радиусу капилляров. Поэтому сила связи капиллярной влаги с бумагой и, следовательно, расход энергии на удаление влаги тем больше, чем меньше радиус капилляров.

Осмотическая влага обусловлена наличием в бумаге и смачивающей жидкости меловальных составов растворенных веществ и электролитов. Осмотическое давление, возникающее при тепловом движении молекул растворенных веществ, является причиной набухания бумаги. Характер набухания описывается теорией Доннана. Повышение температуры в процессе сушки приводит к повышению осмотического давления и набуханию бумаги.

Адсорбционная, или гидратационная влага образуется благодаря действию молекулярных сил между поверхностью твердого тела и жидкостью. При этом молекулы воды взаимодействуют с поверхностью наполнителей и полярными или иогенными группами полимерных связующих и целлюлозы-основы через связи «диполь—диполь», «диполь—ион» или водородные связи.

Химически связанная влага связана с веществом капиллярно-пористого тела, не удаляется в процессе сушки бумаги и не имеет практического значения при сушке.

Кинетика процесса сушки мелованной бумаги. Под кинетикой процесса сушки обычно понимают изменение среднего влагосодержания и средней температуры тела с течением времени. Это изменение зависит от тепло- и массопереноса внутри влажного материала и тепло- и массообмена с окружающей средой. Последние, в свою очередь, связаны с физико-химическими свойствами сохнущего материала. Знание кинетики процесса сушки позволяет рассчитать продолжительность сушки, количество испаренной из материала влаги и расхода тепла на сушку.

При *радиационно-конвективном* способе сушки мелованной бумаги имеют место два четко выраженных периода: постоянной и падающей скорости сушки. В период постоянной скорости сушки скорость отвода влаги из объема мелованной бумаги определяется скоростью ее испарения с поверхности. В этот период влага перемещается внутри тела в основном в виде жидкости и энергия расходуется на парообразование.

В период падающей скорости сушки скорость поступления влаги на поверхность мелованной бумаги уменьшается и граница испарения перемещается в ее толщу. Расход энергии возрастает на величину, необходимую для преодоления капиллярных сил. В этот период удаляется капиллярная влага. Вторая критическая точка, характеризующая удаление адсорбционно связанной влаги, менее выражена. Для формирования поверхности покрытия важен период падающей скорости сушки. Влага, мигрировавшая в бумагу-основу

при нанесении пасты, начинает удаляться в этом периоде, и скорость сушки определяется диффузией влаги через покрытие.

С повышением температуры скорость сушки увеличивается и имеет два периода. Во втором периоде после 80 °С изменяется характер переноса влаги в высушиваемом материале. Влага начинает поступать к поверхности испарения не только в виде жидкости, но и в большей степени в виде пара, т. е. скорость сушки в этом периоде определяется в основном интенсивностью процесса парообразования внутри тела, а не испарением со свободной поверхности. Так как кривые сушки имеют два периода, описываются они уравнениями вида:

для периода постоянной скорости сушки:

$$W = W_H - A\tau \quad (2.2)$$

для периода падающей скорости сушки:

$$W = W_p + Be^{-k\tau}, \quad (2.3)$$

где W — текущая влажность материала, % или кг влаги/кг сухого; W_H — начальная влажность материала, % или кг/кг; — равновесное содержание влаги в материале, % или кг/кг; A, B, k — коэффициенты, зависящие от начальной влажности бумаги, массы покрытия, содержания влаги в суспензии (табл. 2.2).

Таблица 2.2 - Значения коэффициентов уравнений кинетики при радиационно-конвективном способе сушки

Температура, °С	Масса покрытия, г/м ²	A	B	k	$\tau_{кр}$, мин	W_H , %	$W_{кр}$, %
40	6,6	9,25	31,8	0,59	1,2	26,6	15,6
	7,0	10,75	33,8	0,50	0,9	31,3	21,5
60	8,0	12,10	33,0	0,96	1,0	24,8	12,6
	9,0	19,20	41,5	0,21	0,8	31,3	16,0
80	10,0	22,10	72,5	1,74	1,0	34,9	12,6
	9,0	14,70	57,8	1,28	1,1	29,3	11,2
100	15,0	15,30	72,5	1,40	1,4	32,3	11,2
	9,0	26,40	92,5	2,35	0,9	34,9	11,2
130	10,5	27,40	163,0	5,84	1,0	32,6	5,2
	7,0	40,00	91,5	3,43	0,6	35,9	12,6

Уравнение (2.1) описывает процесс сушки в области от $0 < \tau < \tau_{кр}$, где $\tau_{кр}$ — время перехода от постоянной к падающей скорости сушки. В рассматриваемом примере $\tau_{кр}$ составило в зависимости от температуры сушки, начальной влажности, количества наносимой суспензии от 0,6 до 1,4 мин. В уравнении (2.1) значение коэффициента A можно выразить также следующим образом:

$$A = (W_H - W_{кр})/\tau_{кр}. \quad (2.4)$$

Определив экспериментальным путем значение коэффициента A из уравнения (2.2), можно определить

$$\tau_{кр.} = (W_H - W_{кр.}) / A \quad (2.5)$$

Общее время сушки до заданного конечного влагосодержания (влажности) определяется по формуле

$$\tau = \tau_{кр.} + 1/k \cdot \ln [B / (W - W_p)] \quad (2.6)$$

Кривые *контактной скорости сушки* имеют два четко выраженных периода: постоянной и падающей скорости, причем продолжительность постоянного периода скорости сушки зависит от температуры и начальной влажности, а последняя определяется концентрацией и количеством наносимой пасты. С увеличением температуры поверхности резко возрастает скорость в периоде постоянной скорости сушки. Это объясняется тем, что при температуре свыше 60 °С возрастает эффект парообразования в бумаге. Критические значения $\tau_{кр.}$, $W_{кр.}$ для разных температур и концентраций наносимой пасты, полученные расчетным путем, приведены в табл. 2.3.

Кривая контактной сушки для температур 60 и 80 °С для первого периода хорошо описывается уравнением вида

$$W = W_n - W_{кр.} \tau \quad (2.7)$$

для второго периода сушки достаточно справедливо уравнение вида

$$W = W_p + C e^{-k\tau} \quad (2.8)$$

Значения коэффициентов этих уравнений также приведены в табл. 2.3. Таким образом, можно определить время сушки до заданной влажности:

$$\tau = \tau_{кр.} + 1/k \cdot (\ln [C / (W - W_p)]). \quad (2.9)$$

Таблица 2.3 - Значения коэффициентов уравнений кинетики при контактном способе сушки

Температура, °С	Концентрация наносимой суспензии, %	Масса покрытия, г/м ²	$W_{кр.}$, %	$\tau_{кр.}$, мин	W_p , %	C , %/мин	k
40	39	12-15	5,95	2,3	6,4	62,57	1,040
60	39	12-15	13,70	0,9	3,6	34,40	1,350
80	56	12-15	5,22	0,5	2,9	7,18	2,313

Воздушно-инфракрасная сушка. Обычно сушка термической радиацией сопровождается сушкой нагретым газом. Если генератором излучения является лампа, которая помимо инфракрасных лучей излучает видимые лучи, такая сушка называется воздушно-субинфракрасной. Условия передачи тепла при инфракрасном нагреве определяются интенсивностью излучения, диатермичностью среды в пространстве между источником излучения и материалом и способностью материала поглощать инфракрасные лучи. Послед-

няя зависит от физических свойств, состояния поверхности, состава и массы покрытия, толщины и температуры материала и от спектрального состава излучения. Для эффективного нагрева материала необходимо подобрать такой источник излучения, максимум которого совпадал бы с минимумом пропускания инфракрасных лучей для данного материала, т. е. необходимо знать оптические свойства материала.

Максимум излучения для лампы ИК-излучения составляет 1,2...1,3 мкм (определен по формуле Вина) и приходится на минимум пропускания мелованной поверхности, однако отражение достаточно велико и составляет около 50 %. Более эффективен источник излучения с длиной волны 8...9 мкм. Однако в этом случае значительно меньшее количество энергии приходится на единицу поверхности и эффективность нагрева снижается в несколько раз. По кривым кинетики воздушно-субинфракрасной сушки определяются критические точки, которые делят скорость сушки на два периода. Процесс сушки идет быстро и заканчивается за 30...50 с. Резкое изменение переноса влаги происходит при температуре около 80 °С. В этот момент парообразование начинается не только на поверхности и вблизи ее, но и внутри материала.

На скорость радиационно-воздушной сушки существенное влияние оказывает водоудержание меловального состава. Наибольшая скорость наблюдается у систем, имеющих среднюю водоудерживающую способность.

При нанесении меловальных покрытий с низким водоудержанием в основу впитывается большое количество свободной жидкости, что обуславливает большую продолжительность сушки бумаги.

Снижает скорость сушки также чрезмерное использование полимерных связующих для повышения водоудержания покрытия, так как они адсорбируют влагу и препятствуют ее перемещению к поверхности испарения. Водоудержание оказывает влияние также на продолжительность периодов постоянной и падающей скорости сушки. С повышением водоудержания период постоянной скорости сушки уменьшается и увеличивается период падающей скорости.

Передвижение влаги и связующих меловального состава в процессе сушки покрытия. При введении в соприкосновение бумаги-основы и меловального состава, содержащего значительно больше влаги, чем бумага-основа, возникает градиент концентрации влаги, под действием которого влага перемещается в бумагу-основу в виде жидкости или пара.

Первоначальное испарение начинается с поверхности покрытия, испарившаяся влага путем диффузии покидает поверхность покрытия, переходя в окружающую среду. Это испарение влаги с поверхности создаёт перепад влажности между последующими слоями и поверхностным слоем, что вызовет обусловленное влажностью перемещение влаги (растворителя) из бумаги-основы и покрытия к поверхности покрытия. По мере поступления влаги к поверхности она испаряется, и это можно рассматривать как поверхностную сушку. При дальнейшей сушке наступает период, когда скорость подвода влаги к поверхности покрытия будет меньше скорости отвода пара в окружающую среду. Зона испарения начнет перемещаться в покрытие, и при

дальнейшей сушке пар образуется внутри покрытия и полотна бумаги-основы. Начало перемещения зоны испарения внутрь полотна характеризуется испарением из отдельных влажных пятен. Это характеризует наступление периода падающей скорости сушки.

Жидкость меловального состава содержит растворенные соли, ПАВ, красители, высокомолекулярные вещества, частицы дисперсной фазы, поэтому особенно важным является то, в виде какой жидкости или пара перемещается влага. При перемещении в виде жидкости все перечисленные вещества выносятся в верхние слои и остаются там при испарении влаги. При этом внутренняя связь и адгезия покрытия к полотну уменьшаются, а печатные свойства покрытия ухудшаются, так как избыток связующих на поверхности ухудшает красковосприятие готовой бумаги. Неравномерное распределение связующего при интенсивной сушке горячим воздухом приводит к пятнистости поверхности при запечатывании. Миграция к поверхности покрытия регулируется скоростью сушки, содержанием сухих веществ в составе и свойствами связующего.

Если сделать срез мелованной бумаги, при сушке которой происходила интенсивная миграция связующего, и посмотреть его под электронным микроскопом, то можно обнаружить три зоны распределения связующего в покрытии.

На поверхности — зона с большим количеством связующего, затем часть покровного слоя с незначительным количеством связующего и на границе раздела поверхности бумаги-основы с покрытием — зона с большим содержанием связующего. Это разделение на зоны происходит всегда при плохом регулировании сушки горячим воздухом. Иногда быстрая сушка приводит к образованию пузырей или трещин на поверхности покрытия.

Для получения высококачественного покрытия необходимо достижение оптимального соотношения между водоудерживающей способностью покровного слоя, временем до начала сушки (время капиллярной миграции) и интенсивностью сушки. Снижение интенсивности сушки способствует увеличению миграции компонентов состава в бумагу-основу.

Миграция связующих почти одинакова для различных видов связующих, а влияние способа сушки наиболее ощутимо для бумаги без содержания древесной массы, с низкой впитывающей способностью. Напротив, на бумагу, содержащую древесную массу, способ сушки, по-видимому, никакого влияния не оказывает.

Промежуток времени между нанесением покрытия и началом сушки оказывает большое влияние на свойства поверхности мелованной бумаги. При увеличении указанного промежутка повышается миграция связующих в основу, обусловленная капиллярными силами, вследствие чего уменьшается сопротивление выщипыванию и увеличивается впитывающая способность поверхности мелованной бумаги. Миграцию связующих можно уменьшить повышением содержания твердых веществ в меловальной дисперсии, повышением ее водоудерживающей способности.

Стойкость поверхности бумаги к выщипыванию при достаточно высоких значениях водоудержания меловального состава увеличивается при повышении температуры воздушной сушки с 60 до 120 °С. Особенно важно водоудержание при высушивании составов низкой концентрации. При этом максимальные показатели красковосприятости, прочности и лучшая микроструктура поверхности бумаги достигаются при водоудержании системы 58...60 %.

Стойкость поверхности бумаги к выщипыванию достигает максимума при температуре 80... 100 °С и снижается при дальнейшем ее повышении при воздушном и контактном способах сушки. При этом контактный способ обеспечивает большую прочность покрытия и красковосприятость в сравнении с воздушным, что указывает на преимущественное удаление влаги при контактном способе в виде пара и уменьшение миграции. При интенсификации воздушной и контактно сушки происходит не только миграция связующих, но и перемещение и агрегация частиц пигментов покрытия, при этом ухудшается микроструктура поверхности.

При использовании инфракрасной сушки не обнаруживается тенденции к снижению впитывания краски и уменьшению сопротивления выщипыванию.

Это указывает на равномерный прогрев всей массы бумаги и удаление влаги в виде пара, исключая миграцию связующих и обеспечивающие высокое качество покрытия.

Таблица 2.4 - Зависимость печатных свойств мелованной бумаги от температурных режимов и способов сушки

Показатель	При сушке горячим воздухом, °С			При сушке ИК-лучами		
	80	100	120	до конечной влажности	в периоде постоянной скорости сушки и с досушкой горячим воздухом	в течение 5 с, и с досушкой горячим воздухом
Микронеровность, мкм	1,8	1,7	1,5	1,8	2,0	2,3
Стойкость поверхности к выщипыванию, м/с	0,86	0,90	0,88	1,49	1,2	1,03
Коэффициент перехода краски $K_{max/\phi}$, %	53/2,0	55/1,0	52/2,0	57/1,8	55/1,8	62/01
Оптическая плотность, отт/отт	1,7/2,5	1,75/2,1	1,78/2,75	1,70/2,2	1,73/1,8	1,70/2,2

Примечание. $K_{max/\phi}$ — максимальный коэффициент перехода краски с формы на бумагу при определенной толщине слоя краски на печатной форме;

отт/отт — максимальная оптическая плотность оттиска при определенной толщине слоя краски на оттиске.

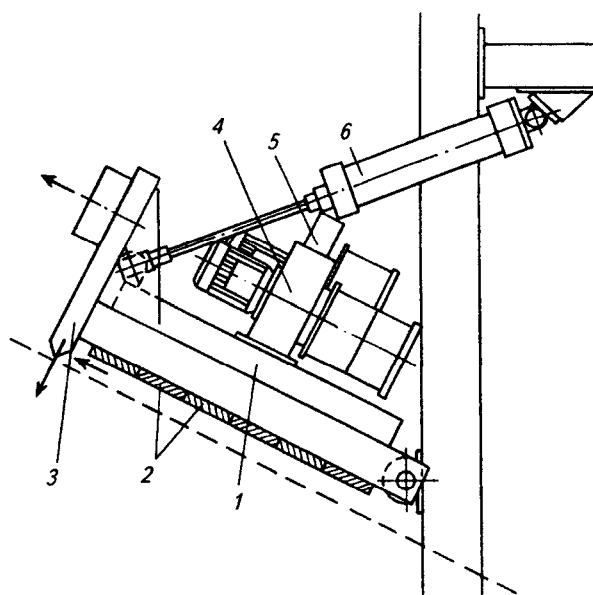
Несмотря на повышение производительности сушильной части у меловальных установок за счет быстрого поднятия температуры, сушка ИК-лучами до конечной сухости в настоящее время неэкономична из-за низкого (40...50 %) значения коэффициента полезного действия сушильного устройства. Поэтому в меловальных установках широко используется комбинированная сушка: инфракрасная в начальный период с последующей досушкой на цилиндрах или горячим воздухом. Продолжительность предварительной инфракрасной сушки, обеспечивающей высокое качество покрытия, приведена в табл. 2.4.

Анализ данных табл. 2.4 показывает, что оптимальные печатные свойства покрытия достигаются при использовании инфракрасной сушки во всем периоде постоянной скорости сушки. Досушка в периоде падающей скорости до необходимой влажности горячим воздухом не снижает качества покрытия.

Промышленные способы сушки. Мелованную бумагу сушат обычно следующими способами: контактным, воздушным, инфракрасной сушкой и другими.

Процесс сушки лимитирует рабочую скорость меловальных установок. Кроме того, стоимость сушильной части (не считая цилиндров) обычно составляет 30 % от полной стоимости мел овальной установки. Энергетические затраты на высушивание материала существенно зависят от способа сушки. Способ сушки оказывает значительное влияние на свойства мелованной бумаги.

Сушка *инфракрасными лучами* получила наибольшее распространение в качестве способа предварительной сушки (рис. 2.16). Она дает равномерный нагрев мелованного слоя и бумаги и этим уменьшает миграцию связующего. Длина волн инфракрасного излучения составляет от 0,75 до 400 мкм. Облучение происходит без существенного повышения температуры окружающей среды, проникая вглубь высушиваемого материала и повышая его температуру. При сушке инфракрасными лучами очень важно правильно выбрать источник излучения с подходящей длиной волны, учитывая абсорбционный коэффициент поглощения инфракрасных лучей, отражательную способность высушиваемого материала, степень черноты материала и оптико-геометрические характеристики. Известно, что при длине волны 1...2 мкм отражается около 70 % энергии, и, следовательно, покрытие слабо нагревается. С другой стороны, чем больше длина волны, тем меньше энергии приходится на единицу поверхности. Это приводит к тому, что источник излучения с длиной волны 6 мкм будет занимать в 8 раз большее пространство, чем источник с длиной волны 3 мкм при одинаковой эффективности. Для воды максимальное значение абсорбционного коэффициента получено при длине волн 3 и 6 мкм. Эти значения учитываются при выборе длины волны для сушки покрытий.



1 - охлажденный корпус; 2 — ряд излучателей; 3 — удаление влажного воздуха; 4 — вентилятор охлаждающего воздуха; 5 — вентилятор горения; 6 — перемещающийся пневмоцилиндр

Рисунок 2.16 - Схема инфракрасного сушителя с газовым обогревом

Следует заметить, что коротковолновое излучение обладает глубиной проникновения в несколько миллиметров. Поэтому для бумажного полотна с покрытием общей толщиной слоя 0,1 мм эффективнее применять среднее и длинноволновое излучение. Исследования, проведенные с целью выяснения наиболее подходящей длины волны для сушки покрытий на бумаге, показывают, что в начале процесса сушки рекомендуется применять источник инфракрасной энергии с короткой длиной волны, а к концу процесса — с более длинными.

В производственных условиях для сушки бумаги применяют источники излучения с длинами волн 2,5...3,0 мкм в начале процесса и 3,0...3,7 мкм в конце его. Однако наилучшие результаты сушки получают при использовании инфракрасного излучения для сушки покрытий в комбинации с конвективной сушкой. Сушильная часть в этом случае выглядит следующим образом: инфракрасные светильники с короткой длиной волны, конвективная часть, инфракрасные светильники, излучающие длинные волны.

Сушка мелованных бумаг в *высокочастотном магнитном поле* вызывает повышенный интерес благодаря способности к мгновенному разогреву покрытия, отсутствию радиационных потерь тепла и малым размерам сушилки.

Отличительной особенностью способа является равномерное выделение тепла во всем объеме влажного тела за счет превращения электрической энергии в тепловую. Это позволяет получить очень большие скорости подвода тепла.

Из всех видов поляризации под действием внешнего электрического поля (электронной, атомной, дипольной, ионной) наибольшее значение имеет дипольная поляризация. В диэлектрике поворот деталей и их колебание под действием внешнего электрического поля связаны с выделением тепла. Таким образом, энергия, затрачиваемая на поляризацию диэлектрика, выделяется в виде тепла, количество которого можно определить по формуле

$$Q = 0,555 E^2 v \varepsilon \operatorname{tg} \delta, \text{ Дж}, \quad (2.10)$$

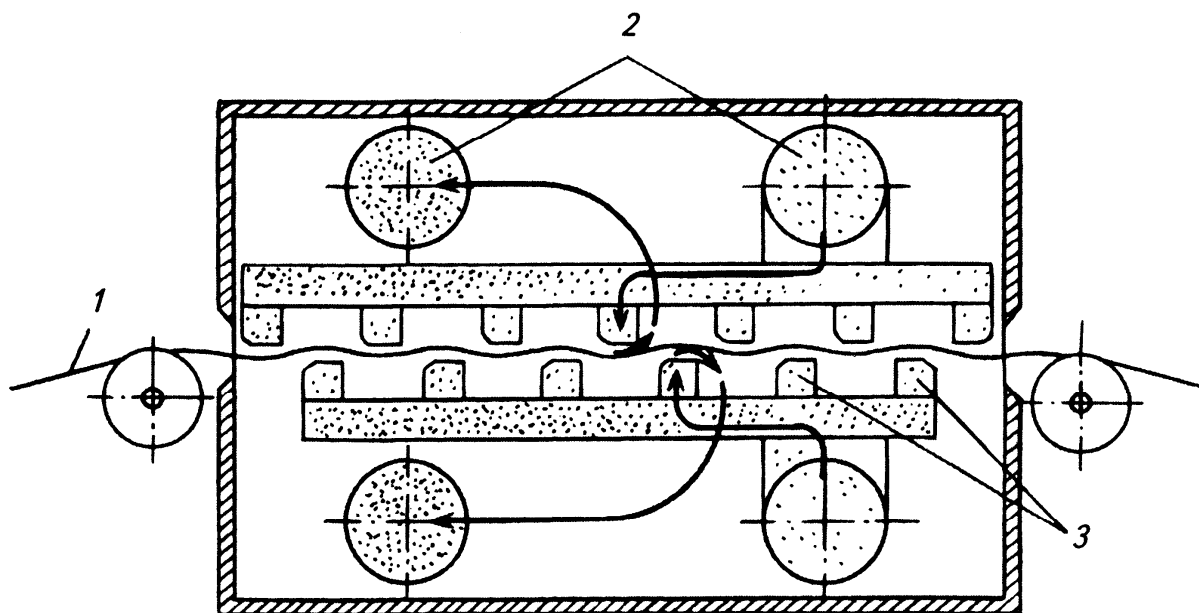
где E — напряженность внешнего электрического поля, В/м; v — частота, Гц; ε — диэлектрическая проницаемость, Ф/м; δ — угол диэлектрических потерь, $\text{м}^3 \cdot \text{с}$.

Сушка *токами высокой частоты* находит применение для сушки клеевых латексных композиций, нанесенных на картон. При высокочастотном нагреве влага переходит на наружную поверхность, откуда легко удаляется обычной конвективной сушкой. По сравнению с ранее описанными методами сушка токами высокой частоты имеет следующие основные преимущества:

- возможность получать очень мощные источники тепла, равномерно распределенные внутри тела при полной безинерционности высокочастотного нагрева;
- облегчается контроль процесса и улучшается качество получаемой продукции, достигается равномерное распределение влаги в полотне, что устраняет трудности при дальнейшей отделке бумаги;
- экономия места при увеличении производительности сушки на 10...50 %;
- при увеличении производительности меловальной установки не требуется вводить дополнительные мощности для производства пара.

Сушка *токами сверхвысокой частоты* порядка $10^{10} \dots 10^{11}$ Гц (микроволновая сушка) также вызывает повышенный интерес. Полагают, что микроволновая сушка покрытий на бумаге более экономична, чем рассмотренный диэлектрический нагрев. Она позволяет полностью отказаться от сушильных цилиндров, заменив их микроволновыми нагревателями. К недостаткам сушки токами высокой частоты относятся большой расход энергии, сложное оборудование и трудности в обслуживании. Кроме того, даже при оптимальных режимах она в 3...5 раз дороже сушки нагретыми газами. Поэтому высокочастотную сушку применяют в комбинации с сушкой нагретыми газами.

Схема *аэрофонтанного сушителя* приведена на рис. 2.17. Вентиляторы и горелки сушиителей помещены с приводной стороны машины. Каждый сушитель имеет свою систему каналов для циркуляции воздуха, в которой на всасывающей стороне вентилятора установлена газовая горелка. Заданная скорость потока обеспечивается при помощи регулятора, снабженного направляющими лопастями. Максимальная скорость потока воздуха составляет 60 м/с. Большая мощность горелки (700 кВт) обеспечивает возможность быстрых изменений температуры. Максимальная температура нагнетаемого воздуха — 350 °С. Испарительная способность — 10...15 кг H₂O/м²/ч.



1 — бумажное полотно; 2 — воздуховоды; 3 — сопло горячего воздуха

Рисунок 2.17 - Схема аэрофонтанного сушителя

Развитием способа аэрофонтанной сушки является метод «*воздушной подушки*», при котором исключается касание полотна с покрытием каких-либо элементов машины. В сушилке используется принцип Бернулли. Бумажное полотно с нанесенным покрытием поддерживается и транспортируется турбулентным потоком горячего воздуха, который одновременно удаляет влагу из покрытия. Для обеспечения равномерной сушки бумаги по всей ширине полотна и высокого качества покрытия производится регулирование нагрева и сушки обеих сторон бумаги изменением давления воздуха в верхней и нижней частях сушильной камеры.

Воздушные сопла располагаются с одной или с обеих сторон полотна. Такая сушка имеет ряд преимуществ по сравнению с обдувкой горячими струями воздуха:

- нагретый воздух дольше контактирует с полотном, что увеличивает эффективность сушки;

- воздух контактирует с одной стороны с горячей стальной планкой, что обеспечивает улучшение теплопередачи к бумаге;

- ввиду высокой эффективности сушки используется меньше воздуха и топлива на единицу площади сушильного устройства по сравнению с сушкой струями воздуха, ударяющимися о поверхность бумаги;

- полностью устраняется неравномерность миграции связующего.

Сушка на цилиндрах обычно является завершающей стадией сушки мелованной бумаги. Сушку мелованных бумаг трудно проводить только на одних цилиндрах, так как покрытие в той или иной мере пристает к цилиндру, но сушка на цилиндрах в конечной стадии позволяет получить более ровную и однородную поверхность благодаря прижатию полотна к цилиндру.

Недостатком сушки на цилиндрах является необходимость соблюдения чистоты цилиндров и полотна. Примеси, небольшие частицы покрытия, оставаясь на стальных цилиндрах, затем попадают на бумагу, вызывая пыление, что приводит к затруднениям при печати.

Испарительная способность составляет 6...10 кг H₂O/м²/ч при расходе энергии 4,0...4,5 МВт/кг H₂O. Температура поверхности цилиндра — 80...100 °С.

Высокоскоростную сушку чаще всего применяют для сушки тонкой мелованной бумаги. Высокоскоростная сушка осуществляется на сушильных цилиндрах, покрытых колпаком, в котором с высокой скоростью циркулирует воздух. Такая комбинация вызвана тем, что в начальном периоде сушки температура поверхности сушильного цилиндра в большей мере влияет на скорость сушки, чем температура воздуха. Однако в последнем периоде падающей скорости сушки большие скорости воздуха, нагретого до высокой температуры, являются решающим фактором ускорения процесса сушки. В колпаках скорость воздуха следующая: в первом — 15...30 м/с, во втором — 30...45 м/с, температура воздуха — 0...170 °С; в конце установки имеются два досушивающих цилиндра.

Колпаки для сушки покрытий наиболее эффективно работают на установках с шаберными устройствами, где съем воды может достигать 58,6 кг/м²·ч при паровом подогреве воздуха и 97,6 кг/м²·ч при подогреве воздуха сжиганием нефти или газа. Коэффициент теплопередачи от воздуха при скорости подачи его до 102 м/с достигает 712...1084 кВт/м²·град. Гарднер для расчета значения коэффициента теплопередачи от воздуха дает следующую формулу:

$$K = n (V/\lambda)^{1/2} \quad (2.11)$$

где n — обобщенные показатели внутренних свойств подаваемого воздуха; V — скорость воздуха, м/мин; λ — длина ламинарного пограничного слоя, м.

Удельная производительность сопловой сушилки зависит от массы 1 м^2 бумаги, толщины ее, температуры воздуха и сушильного цилиндра. Ее можно определить по формуле

$$G = (k\Delta t + a\Delta t)/r \quad (2.12)$$

где G — удельная производительность сушилки, $\text{кг}/\text{м}^2$; k — общий коэффициент теплопередачи от сушильного цилиндра, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$; a — частный коэффициент теплопередачи от подводимого соплами воздуха, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$; Δt — движущаяся сила процесса, $^\circ\text{C}$; r — коэффициент испарения, $\text{кВт}/\text{кг}$.

Колпаки скоростной сушки являются достаточно хорошим средством для сушки легких покрытий массой $8... 10 \text{ г}/\text{м}^2$. Для более тяжелых покрытий простой колпак высокоскоростной сушки становится неэффективным из-за ограничения скорости сушки в результате миграции воды через покрытие. Кроме того, из-за большой скорости сушки возникла другая проблема - перемещение связующего. Первую проблему решают двумя способами: устанавливают колпак скоростной сушки, а после него группу досушивающих цилиндров, либо покрытие наносят двумя слоями и сушат последовательно. Перемещение связующего стараются устранить, повышая насколько возможно содержание сухого вещества в суспензии или так же, как и в первом случае, наносят два или более слоев вместо одного с промежуточной сушкой; кроме того, стараются применять новые способы сушки.

2.6 Отделка мелованной бумаги

Для отделки мелованной бумаги применяются суперкаландры с самой разнообразной оснасткой. На суперкалاند্রে полотно бумаги обрабатывается между металлическим и эластичным валами. Эластичные валы под действием приложенной нагрузки сжимаются, при этом выделяется тепло, необходимое для выравнивания поверхности. Линейное давление обычно рассчитывается на максимальное значение $350 \text{ кН}/\text{м}$. К этому пределу при каландрировании некоторых сортов бумаги подходят довольно близко. Эластичность вала позволяет воздействовать одновременно на рыхлые и плотные элементы структуры листа, не опасаясь чрезмерных локальных сжатий при больших значениях давления. Для придания мелованной бумаге высокой гладкости наиболее широко используются суперкаландры. Количество валов обычно составляет 10, но станину машины рассчитывают на 12 валов. На рис. 2.18 показан 12-вальный суперкаландр фирмы «Wartsila». Суперкаландр имеет раскат, накат и тормозное устройство для натяжения бумажного полотна.

В табл. 2.5 приведены значения линейного давления в нижнем захвате при нагрузке массой только валов и пределы давления при дополнительной нагрузке для этого суперкаландра. Суперкаландр можно эксплуатировать и без верхнего вала. В этом случае применение дополнительной нагрузки не-

возможно, но, пользуясь массой валов, можно работать с числом валов и значениями давлений приведенными в табл. 2.5.

Максимальная скорость суперкаландра — 1500 м/мин, максимальная мощность, обеспечиваемая главным приводом, — 90 кВт а раската и наката — по 20 кВт. В табл. 2.6 представлены возможные комбинации режимных параметров.

Для получения бумаги с одинаковой гладкостью обеих сторон посередине каландра; устанавливаются два набивных вала, нижний верхний валы делаются большего диаметра и имеют бомбировки. Валы с бумажной набивкой для каландрирования тонкой мелованной и некоторых технических бумаг набиваются бумагой, содержащей волокна шерсти, а для высокосортной мелованной бумаги — специальными сортами хлопка.

В целях улучшения лоска при каландрировании мелованной бумаги прибегают к паровой обработке. Паровую обработку следует проводить осторожно, ввиду опасности расслоения покрытия и прилипания его к поверхности валов. Валы суперкаландра для мелованной бумаги должны быть снабжены эффективными системами регулирования тепла. Обводных бумаговедущих валиков требуется полное количество, т. е. по одному на каждый захват. Это необходимо потому, что бумага обладает малой воздухо- и паронепроницаемостью, и воздух при стремлении выходить наружу перед захватом вызвал бы образование фестонов и прорывов.

Таблица 2.5 - Линейное давление в нижнем захвате суперкаландра фирмы «Wartsila»

Число валов	Линейное давление в нижнем захвате, кН/м	
	массой валов	с дополнительной нагрузкой
12	221	221...500
11	200	200...479
10	186	186...465
9	166	166...445
7	130	130...409
5	94	94...373
3	39	-

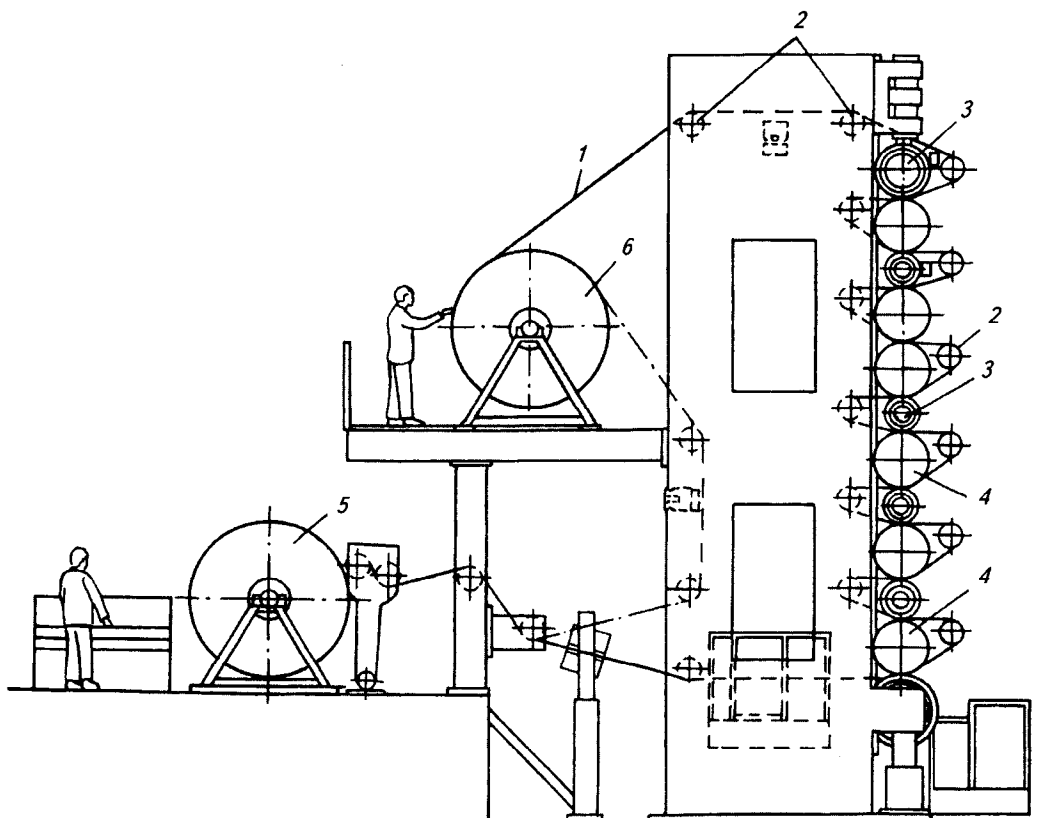
Основными факторами, определяющими эффективность суперкаландрирования являются линейное давление, температура и влажность, а также время пребывания полотна на суперкаландре.

Увеличение *линейного давления* при постоянной скорости процесса увеличивает зону и продолжительность действия давления, что обеспечивает повышение гладкости, лоска и стойкости поверхности к выщипыванию. Од-

нако улучшение всех указанных показателей происходит при повышении давления до определенного предела, превышение которого приводит к

Таблица 2.6 - Параметры работы суперкаландра фирмы «Wartsila»

Скорость, м/с (м/мин)	Линейное давление, кН/м	Натяжение, Н/м
25 (1500)	320	800
12,5 (750)	500	800
14 (850)	310	1500



1 — бумажное полотно; 2 — бумаговедущие валики; 3 — набивные валики;
4 — стальные валики; 5 — накат; 6 — раскат

Рисунок 2.18 - Схема суперкаландра 12-вального

появлению микротрещин на поверхности, разрушению связей и уменьшению лоска. Для обеспечения высокой гладкости мелованной бумаги с малой массой покрытия, содержащей в основе древесную массу, необходимо линейное давление 27...35 Н/м, при отделке бумаги с массой покрытия 30 г/м² — до 25 Н/м.

Температура очень сильно влияет на эффективность суперкаландрирования. В результате сжатия эластичного вала суперкаландра выделяется теп-

ло, нагревающее валы и полотно бумаги. При этом бумажные волокна становятся эластичными и им легче придать новую форму, возрастает также текучесть связующих веществ покрытия. Это означает, что при высокой температуре каландрирования (50...90 °С) сомкнутость поверхности бумаги, ее гладкость возрастают без существенного уплотнения структуры и уменьшения объема бумаги.

Необходимо поддерживать постоянство температуры для получения стабильных показателей гладкости. Для этой цели полые металлические валы нагреваются или охлаждаются водой в автоматическом режиме. Практически при остановке каландра валы необходимо нагревать, а в процессе работы охлаждать.

Время пребывания полотна на суперкаландре определяется количеством захватов и его рабочей скоростью. Лучшие результаты суперкаландрирования получаются при отделке с уменьшенным давлением с большим числом захватов.

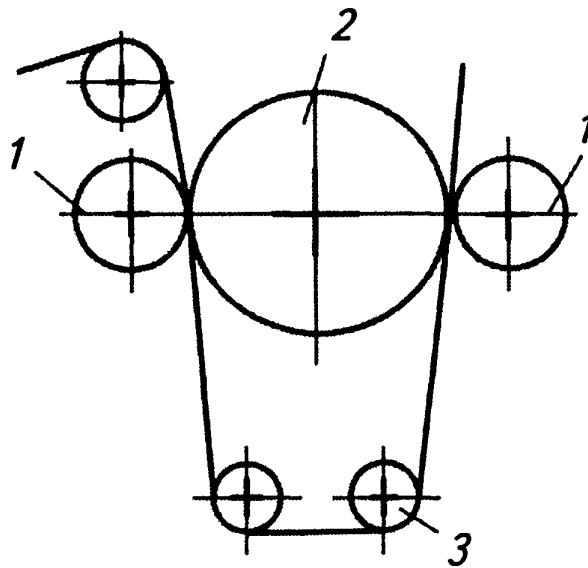
Влага, содержащаяся в структуре основы и покрытия, способствует повышению гладкости и лоска бумаги в процессе отделки вследствие пластифицирующего действия на волокно основы и покрытия.

С возрастанием *влажности* увеличивается пластичность покрытия. При слишком большой пластичности в процессе отделки происходит потемнение бумаги вследствие образования выступов и впадин при сжатии и перемещении ингредиентов меловального состава. Поэтому влажность не должна превышать некоторого заданного предела. При низкой влажности недостаточная пластичность покрытия не позволяет достичь требуемых гладкости и лоска без раздавливания основы и снижения стойкости поверхности к выщипыванию. Приемлемая влажность для мелованной бумаги — 4...8 %.

Наряду с суперкаландрами для отделки мелованной бумаги применяют лощильные каландры и щеточнолощильные суперкаландры.

Лощильный каландр (gloss calender) (рис. 2.19) предназначен для придания бумаге глянца (лоска). Лощильный каландр состоит из хромированного цилиндра с полированной поверхностью (диаметр цилиндра 1...4 м) и одного или двух прижимных стальных валов меньшего диаметра. Прижимные валы позволяют регулировать давление в зазорах в зависимости от вида бумаги и картона с последующим сохранением постоянного давления по всей ширине цилиндра. Цилиндр и валы обогреваются до температуры 150...300 °С. Для покрытия прижимных валов используется полимерный материал, обеспечивающий упругую деформацию вала, что способствует плавному изменению давления в зазорах. Покрытие пластифицируется и сглаживается в длинном захвате между валами. При этом гладкость и лоск быстро увеличиваются без большой потери пухлости.

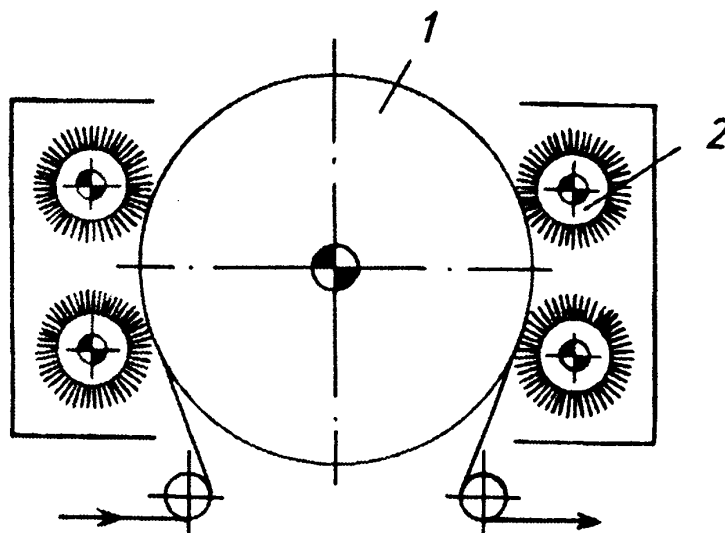
Лощильный каландр позволяет получить очень высокую степень отделки с наименьшими изменениями других характеристик бумаги, особенно толщины. Он нашел широкое применение в производстве мелованного картона, где толщина рассматривается как основной показатель качества.



1 — прижимной валик; 2 — хромированный цилиндр с полированной поверхностью; 3 — приводной вал

Рисунок 2.18 – Схема лоцильного каландра

Щеточнолоцильный каландр (рис. 2.19) располагается после лоцильного каландра перед накатом, чтобы удалить возможный неравномерный лоск. Комбинацией лоцильный каландр - щеточнолоцильный каландр достигают лучшего лоска. Для достижения оптимального результата использования щеточных валиков их диаметр должен быть большим.



1 — опорный цилиндр; 2 — щеточные валики

Рисунок 2.19 – Схема щеточнолоцильного суперкаландра

Увеличение числа щеточных валиков также способствует улучшению равномерности лоска.

Уход за набивными валами суперкаландра. Одним из условий профилактического ухода за набивными валами суперкаландра является их правильное хранение в нерабочем состоянии. Не следует хранить запасные валы в ящиках на земле, необходимо содержать их на специальных стойках таким образом, чтобы цапфы валов лежали на опорах, а сами валы время от времени поворачивались на 90° вокруг своей оси для равномерного распределения влажности и контакта с окружающей средой. Валы должны храниться в сухом, хорошо вентилируемом помещении. При длительном останове суперкаландра валы должны быть вылегчены и обернуты плотной бумагой. При кратковременных остановках валы также должны быть вылегчены и вращаться без прижима на заправочной скорости.

Основным дефектом бумажных валов являются вмятины, образующиеся при обрывах полотна бумаги и прохождении через суперкаландр, морщин, складок, бумажных жгутов или посторонних предметов. Эти дефекты могут быть устранены при наличии на суперкаландре специальной автоматической установки сбрасывания давления и вылегчения валов при обрывах. При отсутствии такой установки и недостаточно быстром и оперативном останове суперкаландра на валах образуются вмятины, эффект которых проявляется на бумаге в виде сырых полос и так называемых «жженок».

Чрезмерно высокая температура при каландрировании вызывает подгар набивных валов или избыточный паровой обогрев металлических валов. При применении парового обогрева необходимо следить за своевременным и регулярным удалением конденсата из обогреваемых валов.

Неправильная промывка набивных валов и случайное попадание на их поверхность смазочных материалов также вызывают появление дефектов. Промывать валы следует теплой водой с небольшим содержанием натуральных или синтетических моющих средств. Недопустимо эксплуатировать набивные валы с трещинами на поверхности. Наличие трещин вызывает ороговение верхнего слоя волокон бумажной набивки, которые перестают «дышать» и начинают выкрашиваться.

Неправильная работа подшипников одной из цапф набивного вала вызывает перегрев одного конца бочки вала и его деформацию. Эта деформация может быть также вызвана перекосом в установке батареи валов. Не следует работать на суперкаландре с бумагой различной ширины. Проводка полотна бумаги только через часть валов суперкаландра приводит к порче не охваченных бумагой валов из-за перегрева. Если пропуск бумаги через часть валов неизбежен, следует чередовать не охваченные бумагой валы для равномерного распределения нагрузки на все валы и систематического охлаждения перегретых валов.

Линейное давление, скорость и температура взаимосвязаны, повышение температуры сверх допустимых норм происходит из-за одновременного увеличения скорости и давления. Для обеспечения нормального режима ра-

боты суперкаландра необходимо снижать один из факторов при увеличении другого.

Новые или отшлифованные набивные валы должны быть перед пропуском бумаги обкатаны вхолостую в течение времени, определяемого в зависимости от твердости валов, заданного значения гладкости и типа каландрируемой бумаги. В многовальном суперкаландре необходимо время от времени изменять позиционное распределение набивных валов, перемещая их по ходу бумаги, т.е. сверху вниз. Это мероприятие обязательно в тех случаях, когда набивные валы не были подвергнуты предварительной обкатке.

Повреждение набивных валов может быть вызвано несоответствием между скоростью и линейным давлением. Оба эти параметра должны увеличиваться одновременно и постепенно (например, нельзя допускать работы суперкаландра при высоком линейном давлении на тихом ходу).

Вопросы:

1. Что такое суперкаландр?
2. Что такое лоцильный цилиндр?
3. При каких условиях можно использовать суперкаландр, чтобы не повредить набивные валы?
4. Какие способы сушки можно применить к мелованной бумаге?
5. Какие требования предъявляются к мелованной бумаге?
6. Что такое гуммирование бумаги?
7. Как наносят меловальную пасту на бумагу-основу?

3 Резка, сортирование, упаковка

Резка бумаги на рулоны. Бумага или картон с покрытием на накате машины или суперкаландре наматывается на тамбурный вал. Диаметр тамбура с намотанным полотном составляет обычно 2,0...2,5 м, а ширина соответствует ширине машины и может достигать на современных машинах 10 м. Для использования бумаги и картона потребителем ее необходимо разрезать на продольные полосы требуемой ширины и перемотать в рулоны нужного диаметра. Эта операция осуществляется на продольно-резательных станках (ПРС). Работают ПРС циклически, их скорость в 2...3 раза превышает скорость машины для покрытий и достигает 2000... 2500 м/мин, что позволяет разрезать всю бумагу, вырабатываемую машиной.

При выполнении продольной резки необходимо высокое качество рулонов, чтобы при дальнейшей переработке или в процессе печати отсутствовали обрывы, перекосы и образование складок бумажного полотна. Рулон должен выдерживать без повреждений транспортировку и хранение, иметь равномерные свойства по ширине. Большое значение имеет и распределение напряжений по глубине рулона. Поверхность рулона должна быть менее твердой, чем внутренние слои, чтобы сохранялась способность восстанавли-

вать форму после ударов. Таким образом, радиальное давление внутри хорошего рулона не должно возрастать от гильзы к окружности.

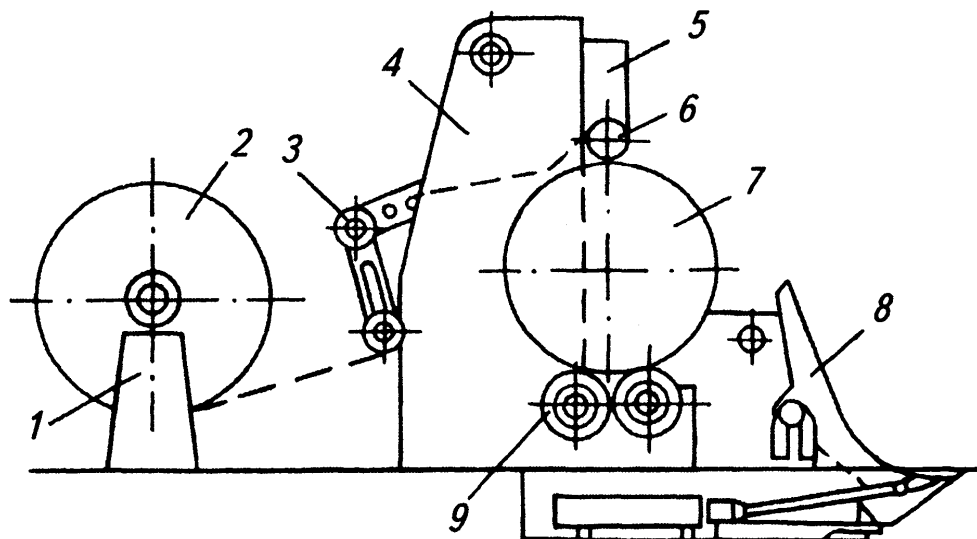
Принципиально ПРС можно разделить на два основных типа: с несущими валами и с цилиндром. На ПРС с несущими валами рулон образуется на валах; на радиальное напряжение и плотность намотки влияет непрерывно увеличивающаяся масса рулона. На структуру рулона при намотке на ПРС с несущими валами оказывают влияние натяжение полотна, нагрузка прижимного вала и разница значений крутящих моментов несущих валов. Натяжение полотна не используется для регулирования плотности намотки. Натяжение должно быть минимальным и равномерным по ширине полотна. В основном твердость рулонов зависит от линейного давления между рулоном и прижимными валами. В начале наматывания, когда диаметр рулона небольшой, давление прижимного вала большое. По мере увеличения диаметра рулона давление прижимного вала снижается. Прижимной вал обычно вылегчивают гидравлическим и пневматическим цилиндрами в зависимости от диаметра цилиндра. Однако механическое трение в механизме существенно снижает точность регулирования прижима. Последние конструкции станков имеют автоматический программный регулятор давления прижимного вала. В конце наматывания рулонов большого диаметра, когда прижимной вал полностью отжат, более мягкая поверхность руле на достигается тем, что на задний вал подается большее давление. Для полного использования разницы моментов несущих валов необходимо устранить проскальзывание между рулоном и несущими валами. Достигается это напылением слоя металла на поверхность валов.

ПРС с несущими валами подразделяют на станки с верхней и нижней заправкой бумаги на наматываемый рулон. На станке верхней заправкой (рис. 3.1) полотно бумаги с разматываемого рулона, установленное на раскате, проходит по бумаговедущим валикам, расправочной дуге через механизм резки, где разрезается на рулоны требуемой ширины. Разрезанное полотно бумаги поступает на прижимной вал и наматывается на гильзу. По мере увеличения диаметра наматываемого рулона прижимной вал вместе режущим механизмом поднимается вверх: Нестационарное положение режущей группы повышает возможность смещения ножей и, как следствие, вызывает трудности при разделении рулонов из-за нахлестывания кромок полотна бумаги.

В станках с нижней заправкой (рис 3.2 бумажное полотно с разматываемого рулона через бумаговедущие валики проходит через стационарно установленный механизм резки и наматывается в рулон на несущих валах. При этом уменьшается нахлестывай кромок и облегчается разделение рулонов. Последние конструкции ПРС с несущими валами имеют выносное резательное устройство, куда полотно бумаги входит горизонтально или вертикально. Станки соответственно, называются станками с горизонтальной или вертикальной подачей.

Резательные станки с горизонтальной подачей (см. рис. 3.2) отличаются короткими расстояниями подачи и поддержания полотна, что уменьшает риск обрыва и позволяет достигать высокой скорости и производительности.

В станках с вертикальной подачей (рис. 3.3) полотно поступает в резательный аппарат сверху, обеспечивая надежный контроль качества резки.



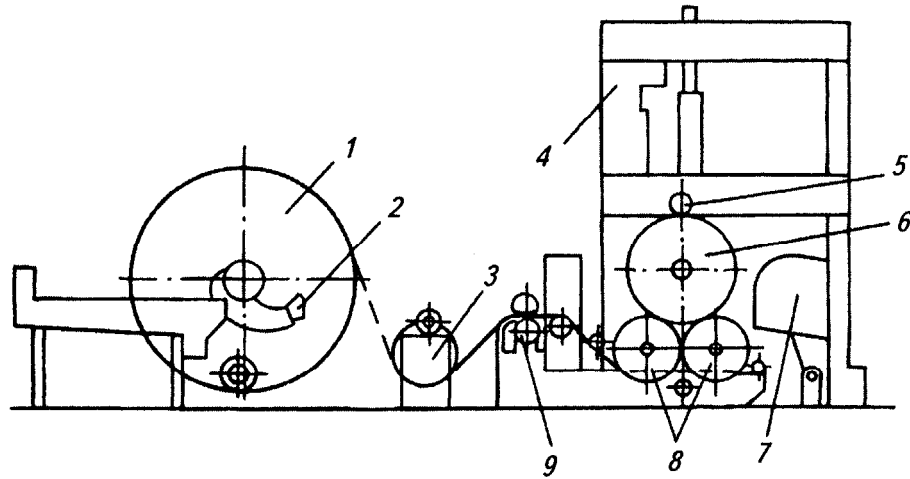
1 — раскат; 2 — разматываемый рулон; 3 — правильное устройство; 4 — станина; 5 — режущее устройство; 6 -прижимной вал; 7 — наматываемый рулон; 8 — сбрасывающее устройство; 9 — несущий вал

Рисунок 3.1 - Схема продольно-резательного станка с верхней заправкой

В станках этого типа для обеспечения равномерного натяжения полотна по ширине предусматривается разгонное устройство нового типа, в котором к нормальной разгонной штанге или валику добавляется еще разгонная труба (или валик), помещаемая под полотном бумаги. Устройство обеспечивает равномерное натяжение полотна по ширине рулона.

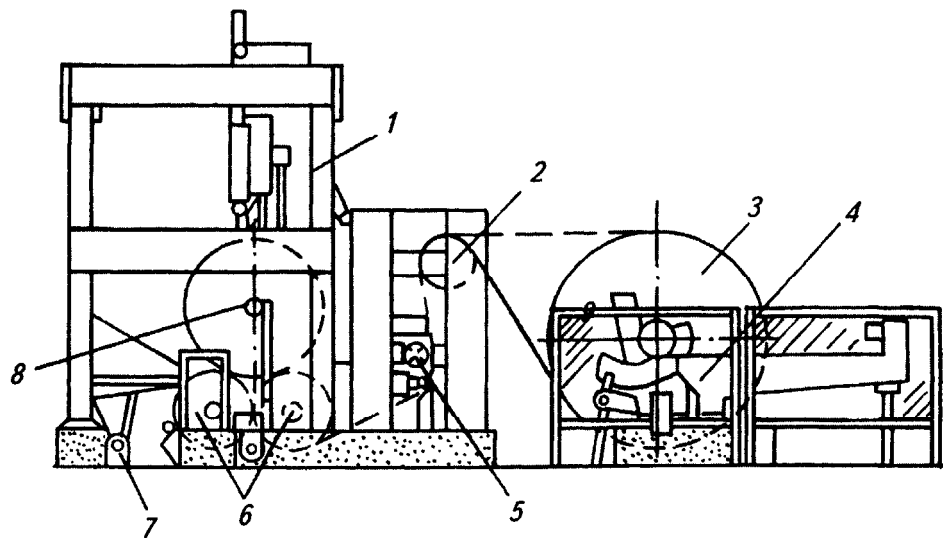
Тамбур для резки рулона бумаги устанавливается на раскат, имеющий ручное или автоматическое устройство, перемещающее рулоны в осевом направлении для регулирования ширины обрезаемых кромок бумаги. На старых станках с несущими валами бумагу наматывают на металлическую штангу диаметром 70 мм с надетыми на нее бумажными гильзами, разрезанными по формату рулонов бумаги. После окончания резки и намотки штангу вытаскивают ручным или механическим способом. Применяется и бесштанговая намотка, когда бумажные гильзы надеваются на деревянную ось, длина которой на 150 мм меньше ширины наката. При этом гильзы с торцов зажимаются конусами, вращающимися на подшипниках. Собранный ось помещается между несущими валами, а подшипники конусов закрепляются в опорах. После этого готовится заправочная полоса и запускается станок. Полоски бумаги, обрезанные с кромок, удаляются пневматическим способом. Рулон сталкивается с несущих валов с помощью механических, гидравлических или пневматических сталкивателей различных конструкций. Для учета вырабо-

танной бумаги ПРС оборудуются счетчиками метража, которые отключаются при обрывах полотна. При обрывах полотно склеивают вручную липкой лентой, ширина и свойства которой зависят от последующей переработки бумаги.



1 — разматываемый рулон; 2 — раскат; 3 — правильное устройство; 4 — станина; 5 — прижимной валик; 6 — наматываемый рулон; 7 — сбрасывающее устройство; 8 — несущие валы; 9 — режущее устройство

Рисунок 3.2 - Схема продольно-резательного станка с нижней заправкой и горизонтальной подачей



1 — станина; 2 — бумаговедущий валик; 3 — разматываемый рулон; 4 — раскат; 5 — режущее устройство; 6 — несущие валы; 7 — сбрасывающее устройство; 8 — наматываемый рулон

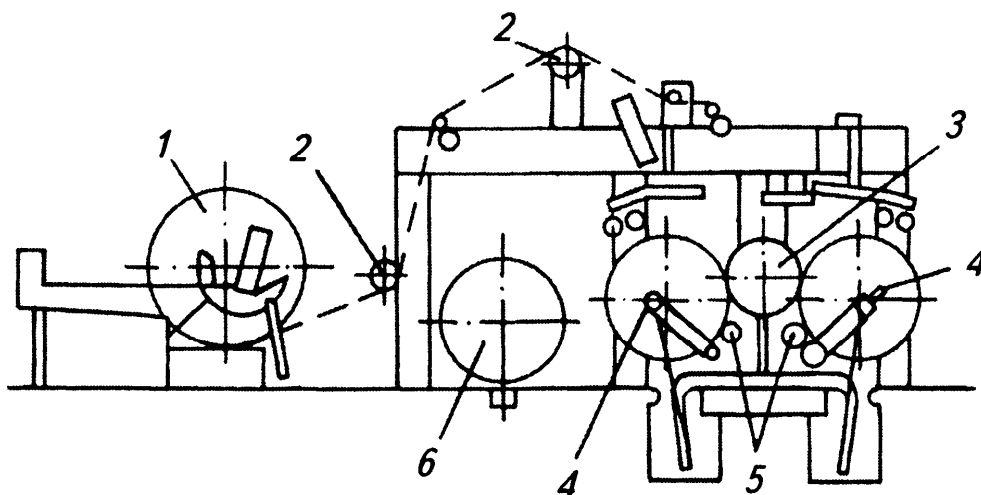
Рисунок 3.3 - Схема продольно-резательного станка с нижней заправкой и вертикальной подачей

Склейка должна обеспечивать прочное соединение концов бумаги без захлестывания смежных слоев, что приводит к обрыву при переработке или

печати. Места склеек должны отмечаться цветными сигналами с торца рулона.

Основные виды брака при выработке рулонной бумаги — неравномерная плотность намотки по ширине рулона, слишком большая твердость верхних слоев и недостаточная — внутренних, лохматый обрез кромки бумажного полотна, отсутствие цветных сигналов склеек, количество склеек больше допустимого, вмятины на торцах и поверхности рулонов. Причинами дефектов могут быть неравномерность толщины, влажности, упругоэластических свойств по ширине полотна, неравномерное натяжение при резке и намотке, неправильное давление вала или накатных вилок в сдвоенных станках, неправильная заточка и установка ножей.

Сдвоенные продольно-резательные станки. Наиболее совершенными являются сдвоенные ПРС (рис. 3.4). На этих станках разматывание тамбурного рулона производится на раскатном устройстве обычной конструкции, прямка станок не имеет, полотно подается к режущей части, находящейся под накатным цилиндром, при помощи натяжного и ведущих валиков.



1 — разматываемый рулон; 2 — бумаговедущие валки; 3 — накатный цилиндр; 4 — накатные валки; 5 — режущее устройство; 6 — готовый рулон

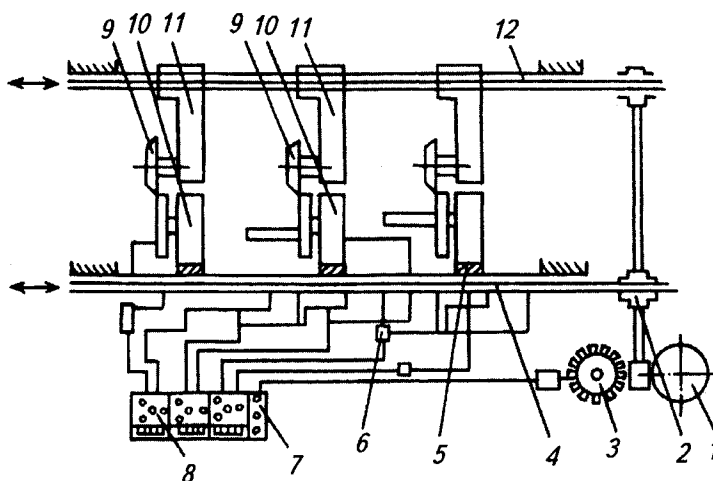
Рисунок 3.4 - Схема сдвоенного продольно-резательного станка:

Перед ножевым устройством установлена вращающаяся опора, состоящая из секционных валиков. Полосы разрезанного полотна наматываются в рулоны по обеим сторонам накатного цилиндра на специальных вилках с прижимом к накатному цилиндру. Прижим осуществляется давлением накатных вилок. Ножи закреплены на каретках накатных вилок и перемещаются вместе с ними. Плотность намотки на сдвоенном ПРС зависит от линейного давления между рулоном и накатным барабаном, крутящего момента центральной намотки и натяжения полотна. Так как намотка осуществляется на кулачках без штанги, при резке рулонов большого диаметра для компенсации прогиба гильз и выравнивания плотности по ширине рулона необходимо применять прижимные валки. В дальнейшем жесткость рулона возрастает за счет слоев бумаги и поддерживать его не требуется. Большое влияние на

плотность намотки оказывает линейное давление между рулоном и накатным барабаном, которое необходимо поддерживать постоянным на протяжении всего процесса наматывания с небольшим снижением при увеличении диаметра рулона. На сдвоенном ПРС наибольшую трудность представляет получение качественной структуры рулона в начальный период, когда требуется самая высокая плотность намотки. Обеспечить ее можно большим линейным давлением, которое одновременно вызывает изгиб гильз, вдавливание кулачка внутрь и нарушение ее цилиндрической формы. Поэтому на сдвоенном ПРС для каждого рулона имеется индивидуальный привод. В начальный период повышаются крутящий момент центра и плотность намотки без чрезмерного увеличения линейного давления.

На ПРС резка бумаги осуществляется двумя методами: по принципу ножниц и методом давления. В случае разрезания по принципу ножниц механизм состоит из пар круглых ножей, причем в каждой паре один нож тарельчатый, а другой — дисковый. Тарельчатые ножи обычно монтируют на валу, который приводится во вращение от привода. Дисковые ножи монтируют на рычагах, укрепленных на балке, расположенной поперек станка. Дисковые ножи прижимаются к тарельчатым пружинам и приводятся ими во вращение.

Формат рулона устанавливают перемещением тарельчатых ножей на валу, а дисковых - по балке. Скорость ножей должна быть на 10...20 % больше скорости бумаги. Это способствует уменьшению обрывности и улучшению качества обреза. На перестановку одной пары ножей вручную требуется 15...20 мин, поэтому смена формата оказывает большое влияние на производительность станка. При частой смене форматов современные ПРС оборудуются устройством автоматического перемещения ножей (рис. 3.5).

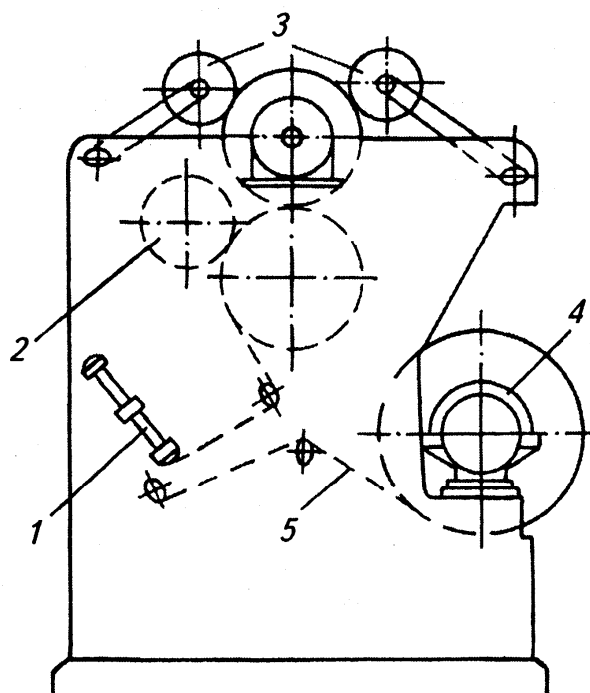


1 — электродвигатель; 2 — передача; 3 — понижающий редуктор; 4, 12 — направляющие перестановочных устройств; 5 — основание перестановочного устройства; 6 — датчик положения режущей группы; 7 — пульт управления; 8 — управляющее устройство; 9 — режущая группа; 10 — перестановочные устройства; 11 — держатели ножей

Рисунок 3.5 – Схема устройства автоматического перемещения ножей

Для этого полотно делится на зоны, в которых одна пара ножей может занять необходимое место. Максимальный диапазон перемещения пары ножей 500 мм. Перемещение ножей в новое положение осуществляется перемещением перестановочных устройств и начинается с возврата всех ножей в исходное положение. Перемещающий механизм состоит из понижающего редуктора и электродвигателя с тормозом, который синхронно вращает два ходовых винта. Двигатель имеет две скорости: перемещения и приближения. Необходимые форматы задаются с пульта управления, откуда сигнал передается на счетное устройство, устанавливающее ножи в нужное положение. Перемещение всех ножей производится одновременно.

Разрезание на бобины. Некоторые бумаги с покрытием необходимо дополнительно разрезать на полосы шириной от 15 до 200 мм и выпускать в виде кругов, называемых бобинами. С этой целью применяют бобинорезательные станки различной ширины, где полотно разрезается аналогичным ПРС способом (рис. 3.6.). Разрезанная на полосы бумага наматывается на кольца, расположенные на намоточном валу. Бобинорезательные станки могут иметь один или два намоточных вала. Два намоточных вала позволяют легче разделять бобины вследствие их чередования на одном и другом валу. Максимальная скорость бобинорезательных станков — 300...500 м/мин, диаметр — 500... 800 мм. Разрезаемый рулон устанавливается в раскате и полотно бумаги по бумаговедущим валикам проходит расправляющую линейку и поступает на резку. Механизм продольной резки состоит из двух валов с чашечными и дисковыми ножами, между которыми осуществляется процесс резки. Полосы бумаги поступают на несущий вал и наматываются на намоточные валы в шахматном порядке. Намоточные валы закрепляются в зажимных рычагах и опираются на несущий вал. Натяжение полотна бумаги регулируется при помощи пневматических цилиндров. Давление в цилиндрах регулируется с пульта управления. Приводится станок от электродвигателя постоянного тока.



1 — распределяющее устройство; 2 — механизм продольной резки; 3 — намоточное устройство; 4 — накат; 5 — бумажное полотно

Рисунок 3.6 - Схема бобинорезательного станка

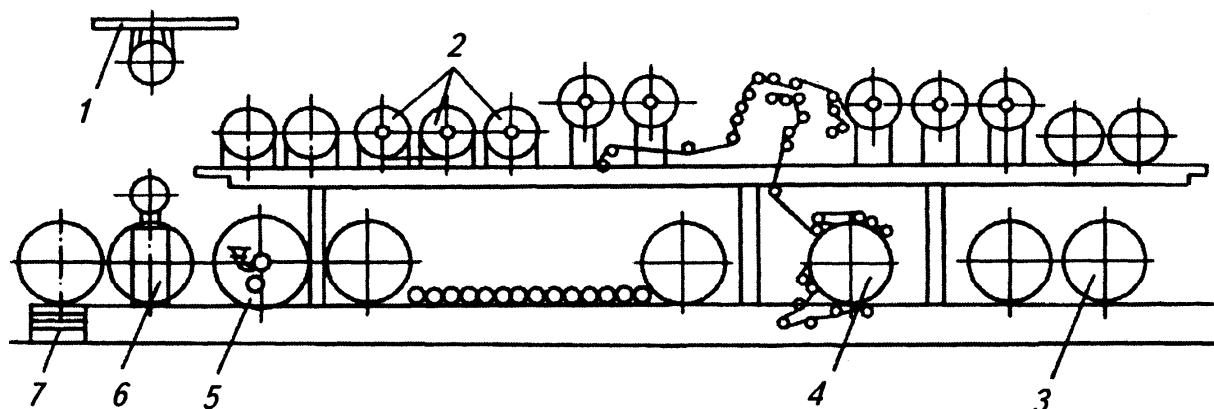
Разрезание бумаги на листы. Высококачественные бумаги с покрытием разрезаются на листы определенного формата на ротационных саморезках. На саморезку устанавливают от 6 до 24 рулонов одновременно. Бумажные полотна с 6... 12 разматываемыми рулонами по бумаговедущим валикам подаются в механизм продольной резки, работающий по принципу ножниц. Разрезанные полосы при помощи тягового пресса с обрешиненными гладким и рифленым валами подаются в механизм поперечной резки. Механизм поперечной резки состоит из опорного ножа, устанавливаемого неподвижно, и вращающегося барабана, на котором укрепляется под определенным углом второй нож. Между указанными ножами и происходит процесс поперечной резки. Ротационные саморезки бывают одно- и двухформатные. Двухформатные саморезки позволяют резать бумагу с двумя различными длинами отруба. Это имеет большое значение для полного использования ширины полотна бумаги. Нарезанные листы транспортерами подаются на листоукладчик. В процессе разрезания, на листы необходимо особое внимание обращать на чистоту и гладкость обреза и точность форматов. Предельные отклонения по размерам листа не должны превышать ± 2 мм, косина — не более 2 мм.

Упаковка ролевой бумаги. Бумага с покрытием, выпускаемая в рулонах, обязательно упаковывается в целях предохранения рулонов от порчи при хранении и транспортировании. Промышленные рулоны имеют ширину от 420 до 2100 мм и диаметр от 600 до 1250 мм. На торце рулона до его упаковки указывают формат, массу 1 м^2 , марку, ТУ, метраж бумаги, массу рулона. После этого рулон доставляется на рулоноупаковочный станок, где обертыв-

вается несколькими слоями плотной оберточной бумаги с промазыванием внутренней стороны двумя-тремя слоями клея. Затем накладываются торцевые круги и торцы заделываются вручную или специальными механическими приспособлениями. Окончательная заклейка дополнительными бумажными кругами с маркировкой производится в торцевозаклеечном прессе

с помощью обогреваемых дисков. Затем рулон поступает на склад готовой продукции.

Крупные предприятия оснащаются автоматическими линиями обработки рулонов. Современные линии проектируются на рабочий цикл упаковки приблизительно 30 с/рулон, однако наиболее часто на линии обрабатывается 1500...2000 рулонов в сутки. Основными узлами нормальной упаковочной линии (рис. 3.69) являются: подающий транспортер, весы, центрирующие устройства, оберточный станок, устройство для надевания краевой ленты, кромкозагибочный станок, торцевозаклеечный пресс, транспортер упакованной бумаги, подъемное устройство для рулонов оберточной бумаги, устройства управления и автоматики. Кроме того, имеется дополнительное оборудование для специальной маркировки, регистрации и печатания этикеток.



1 — подъемное устройство для рулонов оберточной бумаги; 2 — рулоны упаковочной бумаги; 3 — устройство для заклеивания торцов; 4 — оберточное устройство; 5 — центрирующее устройство; 6 — весы; 7 — подающий транспортер

Рисунок 3.7 - Схема рулоноупаковочной линии

Исполнительные механизмы линии — пневматические или электрические. Весы могут быть механическими или электрическими. Центрирование рулонов производится на двух наклонных рольгангах синхронизированных центрирующими рычагами. Замер ширины рулонов выполняется автоматически.

Оберточное устройство состоит из нескольких основных узлов: несущих валов, станции рулонов оберточной бумаги, подающих валиков, устройств для обрезания кромок. Оберточную бумагу можно подавать со всех станций. Часть из них может быть включена для подачи водонепроницаемой обертки.

На основании сигнала о ширине рулона, поступающего с центрирующего устройства, автоматически включается пара валиков, подающая обертку соответствующей ширины. Число витков обертки регулируется автоматически на основании сигнала о диаметре рулона. Натяжение обертки поддерживается постоянным при помощи устройств для измерения натяжения и пневматического тормоза.

Станция рулонов оберточной бумаги имеет несущие каретки, которые могут быть установлены в соответствии с шириной каждого рулона.

Клеильная система обеспечивает гибкое регулирование длины и ширины склеивания. Процесс склеивания делится на два этапа: склеивание начального конца обертки и последних слоев обертки.

Склежкой начального конца обертка закрепляется на рулоне, благодаря чему обеспечивается надежное начало наматывания. Склейка производится разбрызгиванием клея при помощи сопел высокого давления, не создающих клеевого тумана. В зависимости от ширины обертки клей наносится на конец обертки в одном или нескольких местах. Склейка последних слоев обертки производится устройством экструдерного типа, которое представляет собой балку, имеющую 10...12 групп сопел. Ширина группы — 250 мм. В группе сопел сделаны небольшие отверстия на расстоянии приблизительно 10 мм друг от друга. Клеильная система сблокирована с движением устройства, разводящего обрезающие ножи. Во время склейки отверстия сопел скользят по обертке. Клей подается в снабженные магнитными вентилями группы сопел, число которых определяется шириной рулона. После склейки балка поворачивается в корыто с водой, благодаря чему клей не засыхает в отверстиях сопел.

Посредством клеильной системы можно склеивать все слои обертки, пользуясь только одной (ширина 250 мм) или несколькими группами сопел, а последние слои обертки склеивать по всей ширине (получается чрезвычайно прочная упаковка). Расход клея при этом составляет одну треть по сравнению с устройством, в котором клей наносится валиками. Кроме того, клеильная система герметически закрыта, поэтому клей в ней не сохнет, не капает, не разбрызгивается и, следовательно, не пачкает машину.

Кромкозагибочный узел представляет собой устройство пропеллерного типа; имеет горизонтальные и вертикальные каретки, которые автоматически подводят загибающие колеса в рабочее положение, определяемое диаметром рулона. Число загибов и равномерное их распределение обеспечиваются автоматически регулированием скорости вращения приводных валиков.

Торцевозаклейный пресс представляет собой устройство для заклейки торцов рулона. Управление подачей рулона в пресс производится с кнопочного пульта. Обслуживающий рабочий укладывает торцевые круги на прессовые плиты. Круги удерживаются на месте при помощи вакуума. Пресс запускается в движение кнопкой. При давлении прессования 35 кПа и температуре на поверхности 200 °С время прессования составляет приблизительно 5 с. Нагревающая мощность (примерно 23 кВт на плиту) разделена на три отдельные зоны, которые используются в зависимости от диаметра рулона.

Время и давление прессования можно регулировать. Также можно регулировать температуру поверхности плит. После прессования плиты разводятся автоматически. Привод осуществляется пневматическими цилиндрами с коротким ходом. Однако при измерении длины рулона несущую каретку цилиндра можно передвинуть моторной винтовой системой посредством нажатия кнопки.

Все станции, обрабатывающие рулоны в упаковочной линии, снабжены пневматическими стопорами и сталкивателями.

Подъемные устройства для рулонов оберточной бумаги относятся к упаковочной линии. Это может быть грузоподъемная тележка, перемещающаяся по двум рельсам, или тельфер, перемещающийся по монорельсу.

Сортирование листовой бумаги вручную. Контроль качества бумаги с покрытием включает анализ показателей, регламентируемых стандартами, и сортирование листовой бумаги с целью обнаружения таких дефектов, как складки, обрывы, пятна, маркировка. Имеется несколько способов сортирования листовой бумаги.

Метод полистного сортирования предусматривает осмотр контролером обеих сторон каждого листа с переворачиванием вручную. Применяется только для высококачественных видов бумаг, например мелованной с полным покрытием. К недостаткам метода относится большая трудоемкость, высокая стоимость сортирования и необходимость больших производственных площадей. При статическом методе сортирования просматривается только часть партии бумаги и при этом устанавливаются наличие дефектов в данной партии и их количество. Если имеющиеся дефекты и их количество удовлетворяют требованиям стандарта, то партия бумаги считается кондиционной. Если количество дефектов превышает норму, вся партия пересортировывается полистно.

Применяется способ приемки образцов, разработанный на основании статистических данных. Он заключается в том, что сортируются только те партии, в которых количество дефектов превышает статистически обоснованные отклонения.

Автоматическое сортирование листовой бумаги. Устройства для обнаружения дефектов бумажного полотна подразделяются на следующие группы: оптико-электронные, электрические и механические.

Оптико-электронные системы по методу просмотра делятся на статические и динамические. В статических системах полотно просматривается большим числом фотоприемников, расположенных в линию поперек движению полотна. Преимуществами этого метода являются отсутствие подвижных частей, высокая скорость контролируемой бумаги, большая ширина зоны контроля. К недостаткам следует отнести большое число электронных каналов, сложность балансировки большого числа пар фотоэлементов, низкую чувствительность, сложность равномерного интенсивного освещения всей просматриваемой поверхности.

Динамические системы обеспечивают перемещение элемента контроля поперек движущегося полотна бумаги. Сканирование контролируемой поверхности может осуществляться следующими способами:

- по схеме «бегущий луч», в которой оптическая система создает небольшое яркое световое пятно, перемещаемое вращающимся зеркальным многогранником, а отраженный бумагой свет принимается фотоприемниками;

- по схеме «освещенная строка», когда полоса просмотра освещена одним мощным источником света, а оптическая система и сканирующее устройство выполняют развертку строки одним фотоприемником;

- по автоколлимационной схеме, когда одна оптическая система и сканирующее устройство используются для создания луча и передачи его на фотоприемник.

Автоколлимационные схемы нашли применение в поперечных листорезках и показывают высокую стабильность и надежность в работе. Их чувствительность позволяет обнаруживать соринки диаметром 0,5 мм.

Однако есть дефекты бумаги, которые не нарушают величину отражения или пропускания света бумагой и не могут быть обнаружены оптическими методами. К ним относятся коробление, вмятины и др. Обнаруживаются указанные дефекты механическими датчиками.

Разработаны механотензометрические, механооптические, механоконтактные, механоиндуктивные устройства обнаружения дефектов. Общим для них является наличие механических щупов, скользящих по поверхности контролируемого бумажного полотна. Различаются они принципом преобразования колебаний щупа в электрический сигнал, управляющий разбраковывающим устройством. Чувствительность механических дефектоскопов позволяет определять местные отклонения толщины бумаги на 0,01...0,05 мм. Оптические устройства практически не используются без механических датчиков. При высоком качестве сортировки рассмотренные методы можно использовать для контроля только по одному бумажному полотну, что снижает производительность листорезного оборудования. Этому недостатка лишены электрические дефектоскопы, основанные на принципе емкостных измерений диэлектрической постоянной пачки бумаги, содержащей до 10 листов.

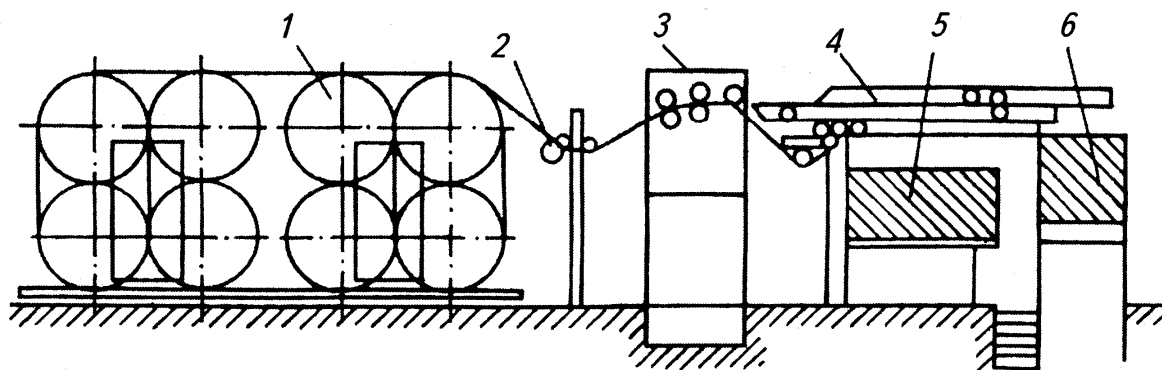
К этой системе относятся колл-детектор, биколл-детектор и суперколл-детектор, устанавливаемые на листорезках.

Колл-детектор обнаруживает склейки неформатные листы в пачке из десяти полотен. Метод измерения основан на использовании высокочастотного диэлектрического измерительного конденсатора, охватывающего стопу бумаги шириной 25 см. Детектор автоматически устанавливается на среднюю плотность пачки бумаги, поэтому при обрыве отдельного полотна сигнал о неформатном листе подается на разбраковочное устройство, а установка средней плотности автоматически настраивается на новую плотность.

Биколл-детектор работает отдельными передвижными измерительными приборами для различной ширины полотна и наряду со склейкой определяет все отрывы полотна.

Суперколл-детектор работает на том же принципе, но имеет повышенную чувствительность для обнаружения дефектов. Детектор выявляет дефекты, вызывающие изменение плотности на 0,6 % за 0,005 с, что позволяет листорезке, на которой установлен прибор работать на скорости 120... 150 м/мин с автоматической отбраковкой листов, имеющих отверстия минимум 2 см², обрывы на краю полотна шириной 2 см, склейки, каландровые складки, сгустки волокон.

Наличие указанных детекторов позволило сконструировать многорулонную сортирующую листорезку, схема которой представлена на рис. 3.8.



1 — рулон бумаги; 2 — дефектоскоп; 3 — листорезка; 4 — система управляемых транспортеров; 5 — дефектная бумага; 6 — кондиционная бумага

Рисунок 3.8 - Схема многорулонной сортирующей листорезки

Использование многорулонной автоматической сортировки экономически выгодно, так как при этом не снижается производительность листорезного оборудования и основная часть бумаги отсортировывается по крупным дефектам и пересчитывается автоматически. В связи с тем, что с бракованным листом переводится в отходы вся контролируемая пачка (6... 10 листов), необходимо повторное сортирование брака. Чувствительность дефектоскопов такого рода очень низка, поэтому использование многорулонной сортировки возможно при высокой культуре производства, когда в бумаге практически отсутствуют дефекты и отбраковать необходимо листы со склейкой и неполноформатные листы в начале и конце рулона. На практике такие условия встречаются редко, поэтому целесообразно использовать для обнаружения дефектов оптико-электронную систему на стадии нанесения покрытий или на суперкаландре. Устройства обнаруживают дефекты, на которые настраивается дефектоскоп, и отмечает их наклейкой небольшой бумажной полоски. Затем на многорулонной листорезке, оборудованной простейшим колл-детектором, все листы с наклейками отбраковываются и после вторичной сортировки отходов кондиционные листы направляются в готовую продукцию.

Установка контролирующих устройств на накате машины позволяет не только качественно рассортировать всю листовую бумагу, но и снизить ко-

личество дефектов благодаря своевременному оповещению обслуживающего персонала о появлении систематических дефектов. Установленные на отделочном оборудовании дефектоскопы, обнаруживая дефекты, одновременно с маркировкой включают системы звукового или светового освещения, что позволяет рабочим принять срочные меры к их устранению.

Упаковка листовой бумаги. Упаковка листовой бумаги регламентируется стандартами на продукцию. Мелованная бумага при внутригородских и контейнерных перевозках упаковывается в пачки. При этом упаковка пачек производится следующим образом: пачки заворачиваются в два слоя оберточной проклеенной бумаги из сульфатной целлюлозы с массой не менее 80 г/м^2 . Один слой оберточной бумаги должен иметь полиэтиленовое покрытие. Сверху и снизу пачки прокладывается по одному листу парафинированного картона и оберточной бумаги. Концы упаковочного материала заклеиваются клеевой лентой на бумажной основе марки В шириной 75 мм.

В целях механизации погрузочно-разгрузочных работ разработан способ упаковки бумаги в транспортный пакет. Состоит пакет из пачек листовой мелованной бумаги, уложенных в кипу, которая оборачивается со всех сторон листами гофрированного картона. В местах стыков концы картонной обкладки заклеиваются клеевой лентой. Сверху и снизу кипы накладываются крышки, изготовленные из того же картона, что и обкладка. Далее каждая кипа укладывается между двумя деревянными щитами. Размеры щитов должны быть на 30...40 мм больше формата упаковываемой бумаги. Щиты изготавливают из плотно прилегающих по кромкам дощечек толщиной 15 и 20 мм в зависимости от массы кипы. Влажность древесины должна быть не более 20 %. Дощечки скрепляются поперечными планками высотой 65...70 и шириной 50...70 мм. На концах планок делаются углубления для укладки стальной упаковочной ленты. Поперечных планок должно быть три, располагаются они симметрично на расстоянии 100 мм от каждого края щита или заподлицо с его торцевыми сторонами. Третья планка располагается точно посередине щита. Кипа, уложенная между щитами, затягивается по всем поперечным планкам стальной упаковочной лентой. Концы ленты в местах соединения закрепляют внахлест таким образом, чтобы они не мешали погрузочно-загрузочным работам и не повреждали обкладку кипы. Масса брутто транспортного пакета с обкладкой картоном должна быть не более 1000 кг.

Вопросы:

1. На каком принципе работают дефектоскопы?
2. Как упаковывается мелованная бумага?
3. Как называются станки для резки бумаги?
4. Какими устройствами наносят на бумагу меловальную пасту?
5. Чем отличаются различные устройства для нанесения меловальных паст?
6. Каковы основные операции нанесения меловальных покрытий на бумагу?
7. Из чего состоит меловальная паста?

4 Производство пергамента

Пергамент представляет собой уплотненный, эластичный, жиростойкий, влагопрочный, воздухонепроницаемый, непьюлимый материал, имеющий благодаря своим специфическим свойствам разнообразное назначение.

Пергамент называют «растительным» в отличие от животного, вырабатываемого из шкур животных и используемого в настоящее время для изготовления перепонки для барабанов.

Применение

1. Пергамент массой 1 м^2 50-65 г применяется как упаковочный материал для пищевых продуктов, нуждающихся в продолжительном предохранении от сырости и высыхания, от потери эфирных летучих веществ, обуславливающих их вкус и запах (кофе, какао, сухое молоко, концентраты, химикаты), от воздействия кислорода воздуха (жиры, масло) или металла (красочные консервы).

2. Пергамент повышенной массы 1 м^2 100 г и выше применяется в текстильной промышленности для обмотки валков прядильных машин. В этом случае, пергамент часто армируется редкой тканью.

3. Пергамент используется для упаковки перевязочных материалов и изделий медицинской промышленности, подлежащих стерилизации.

4. Ввиду того, что пергамент способен задерживать коллоидные частицы, он может быть использован в качестве диафрагмы при осмосе отработанных растворов (в производстве искусственного шелка) и ультрафильтрации (производство сахара и патоки).

5. Пергамент используют в машиностроении, приборостроении, в мясомолочной, пищевой, электронной, электротехнической, автомобильной отраслях промышленности, сельском хозяйстве, торговле и др.

Пергамент получают обработкой бумаги-основы серной кислотой с последующей промывкой, нейтрализацией, пластификацией и сушкой.

В качестве пергаментирующих реагентов в промышленных условиях могут быть использованы кроме серной кислоты концентрированные растворы хлористого цинка, смесь роданистого кальция с хлористым кальцием, ортофосфорная кислота концентрацией выше 80 %, растворы, содержащие трехфтористый бор и серную или фтористоводородную кислоту.

В результате пергаментирования происходит усадка полотна бумаги, особенно в поперечном направлении – 5 - 10%.

Свойства пергамента

- разрывная длина 4000 - 5500 м,
- сопротивление продавливанию 0,2 - 0,28 МПа

Это обусловлено не только его применением в качестве упаковочного материала, но и необходимостью проводить полотно через машину для пергаментирования.

Вследствие более сомкнутой структуры готовый пергамент превышает прочность бумаги-основы на 20 - 25 %.

Связь между волокнами в пергаменте не разрушается под воздействием холодной и теплой воды, и оказывается стойкой при любом изменении рН.

В сухом состоянии пергамент паропроницаем, а после увлажнения он приобретает свойство не пропускать водяные пары.

Водонепроницаемость пергаamenta изменяется при изменении давления: мешок из растительного пергаamenta во взвешенном состоянии не пропускает воду, но вода начинает просачиваться сквозь пергамент, если мешок положить на стол.

Обработка бумаги серной кислотой не только убивает бактерии плесени, но и придает бумаге противогрибковые свойства, что имеет большое значение для упаковочных видов бумаги.

Основным требованием к пергаменту как упаковочному материалу для масла, маргарина и жиров является показатель жиронепроницаемости, определяемый по его способности не пропускать 1 %-ный спиртовой раствор фуксина и выражаемый числом сквозных отверстий размером не выше 0,1 мм на 1 м²; количество отверстий — 50 шт/м².

Важной особенностью пергаamenta растительного является его воздухо-непроницаемость и способность не пропускать ультрафиолетовые лучи. Чем выше масса пергаamenta, тем он менее пористый и тем выше значения этих показателей. Это свойство пергаamenta приобретает особенно большое значение при упаковке жирных продуктов питания.

При пергаментировании материал приобретает прозрачность, и тем в большей степени, чем выше крепость кислоты и продолжительность обработки. В том случае, когда необходима повышенная прозрачность, полотно пергаamenta 18 - 20 %-ной влажности рекомендуется пропускать через горячий каландр.

К пергаменту предъявляются высокие требования в отношении сорности. Особенно жестко регламентируется содержание металлических вкраплений: железные и медные вкрапления приводят к появлению красно-бурых пятен, окрашивающих и портящих жировые продукты. Количество вкраплений железа в пергаменте не должно превышать 10 - 20 шт/м², а вкраплений меди 1 - 3 шт/м².

Потребительскую ценность пергаamenta определяет его химическая чистота:

- содержание мышьяка не должно превышать 1 мг/кг,
- а свинца — 20 мг/кг.

Повышенное содержание в пергаменте кислот и щелочей обуславливает его разрушение и вызывает порчу упакованных продуктов; величина рН для разных марок пергаamenta должна быть в пределах 3,9—8,4.

Основа пергамента.

Бумага для получения растительного пергамента вырабатывается:

- массой 1 м^2 51 - 100 г,
- неклееной и без наполнителя;
- степень белизны не менее **75%**.

Основными требованиями, предъявляемыми к бумаге-основе, являются ее впитывающая способность и реакционность в отношении серной кислоты. Нужная величина впитываемости 20 - 30 мм достигается подбором соответствующих полуфабрикатов и режимом размола массы.

Бумагу-основу вырабатывают из:

- сульфитная хвойной облагороженная целлюлоза, содержащая 87 - 88 % α -целлюлозы и 4 - 8 % β -целлюлозы., сульфатная беленая хвойная, предгидролизная кордная и лиственная целлюлоза.
- хлопковые волокна, поэтому длительное время в композицию бумаги-основы вводили целлюлозу из старого и нового хлопчатобумажного тряпья (практически не используют)

Обычной является композиция из 25 - 50 %-ной сульфитной облагороженной и 75 - 50%-ной сульфатной беленой целлюлозы. Введение в композицию 20 % лиственной целлюлозы улучшает структуру, однородность бумаги-основы, повышает ее впитываемость.

Бумага для крабового пергамента состоит из 100 %-ной сульфатной предгидролизной кордной целлюлозы горячего облагораживания.

Высокое содержание β -целлюлозы (выше 10 %) и γ -целлюлозы приводит к повышению хрупкости пергамента и ослаблению его прочности, особенно на излом; целлюлоза, содержащая α -целлюлозу свыше 91 %, пергаментируется плохо.

Размол целлюлозы должен быть умеренным, без сильной фибрилляции и укорачивания волокон. Степень помола массы в зависимости от композиции и плотности бумаги составляет:

- для пергамента массой 100 г/м^2 — 25 – 35 °ШР,
 - для пергамента $57 - 62 \text{ г/м}^2$ - 30 – 40 °ШР,
 - для пергамента 50 г/м^2 — 40 - 50 °ШР
 - для крабового пергамента из кордной целлюлозы — 50 – 55 °ШР;
- средняя длина волокна колеблется от 0,9 до 1,5 мм.

При жирном характере помола проникновение серной кислоты в толщу бумаги затруднено и требует длительного времени на пергаментацию, что вызывает нежелательный глубокий гидролиз целлюлозы в поверхностных слоях бумаги.

Сущность процесса пергаментации. В нашей стране для пергаментации используются концентрированные растворы серной кислоты. При соприкосновении с серной кислотой концентрацией 62 % и выше в течение 3 - 8 с (такова продолжительность процесса пергаментации) волокна набухают и, увеличиваясь в размерах, заполняют промежутки между волокнами, вытесняя при этом воздух. Одновременно происходит растворение в поверхностных

слоях продуктов гидролиза целлюлозы и некоторой части гемицеллюлозы. Однако в процессе пергаментирования происходит лишь незначительная деструкция волокон бумаги-основы, основная масса волокна не подвергается глубоким изменениям: снижение степени полимеризации целлюлозы, увеличение содержания фракции со степенью полимеризации (СП) до 200 и рост величины медного числа происходят в незначительной степени. Рентгенограммы пергамента соответствуют рентгенограммам природной целлюлозы.

При последующем отжиме кислоты на прессе под действием поверхностного натяжения и капиллярных сил происходит перераспределение растворенной части, которая в итоге покрывает волокна с поверхности и заполняет межволоконные пространства.

Во время промывки водой бумаги, обработанной серной кислотой, соединение целлюлозы с H_2SO_4 разрушается, целлюлоза регенерируется, а растворенная ее часть выпадает в виде хлопьев — амилоида, представляющего собой студенистую массу. К амилоиду относятся продукты кислотного распада целлюлозы со степенью полимеризации от 50 до 20.

При прохождении полотна через пресс амилоид вдавливаются вглубь листа, что сопровождается вытеснением воздуха. В процессе последующей сушки амилоид закрывает поры бумаги и склеивает волокна. Несмотря на то что количество амилоида в пергаменте не превышает 5—10 %, расположение его в промежутках между волокнами обеспечивает получение малопористой сомкнутой структуры.

Скорость пропитки бумажного полотна серной кислотой зависит от ее концентрации. При низкой концентрации (до 62 %) скорость пропитки полотна и величина набухания по всей его толщине чрезмерно велики и бумажное полотно теряет механическую прочность, что создает трудности при проведении его через пергаментную машину; при концентрации кислоты выше 63 % скорость пропитки резко замедляется. При концентрации 65—70 % за время пергаментирования изменяется только наружная поверхность полотна, дальнейшее проникновение кислоты в толщу листа через набухший поверхностный слой замедляется, поэтому внутри листа имеются не набухшие волокна, которые обеспечивают необходимую прочность полотну.

Продолжительность воздействия кислоты на бумагу, зависящая от ее впитывающей и реакционной способности, а также концентрации и температуры кислоты, оказывает большое влияние на протекание процесса пергаментации. Слишком длительное воздействие кислоты вызывает гидролиз амилоида до декстринов и глюкозы и может привести к обугливанию продуктов распада целлюлозы.

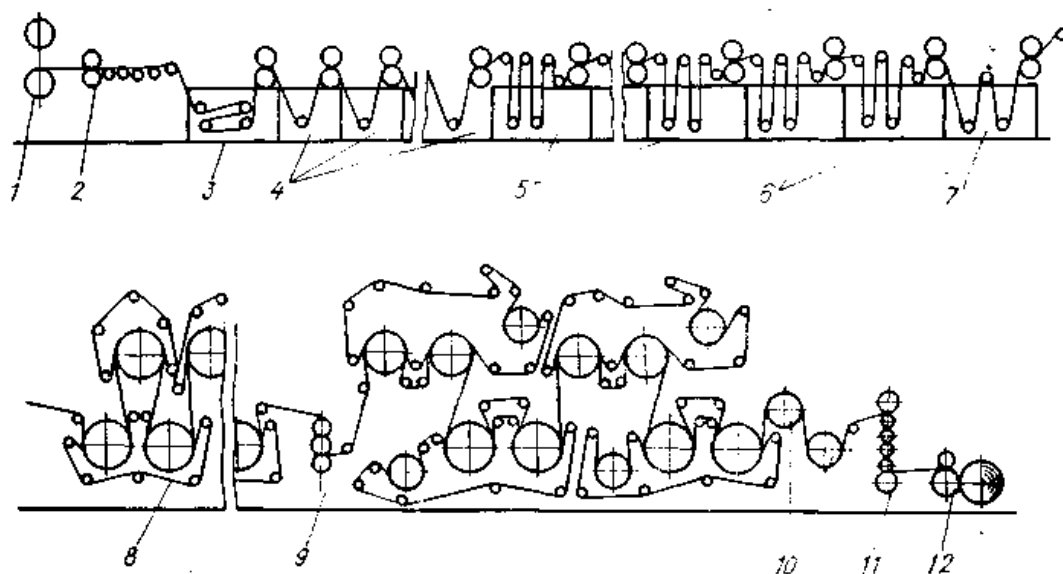
Процессы набухания и растворения гидролизованной целлюлозы получают максимальное развитие при температуре 20-30°C; понижение и повышение температуры сверх этого предела замедляет их. Таким образом, на протекание процесса пергаментации и качество готового продукта оказывают влияние кроме свойств бумаги-основы такие факторы, как концентрация и температура кислоты, скорость прохождения полотна через кислотную и промывную часть машины, а также степень натяжения полотна.

Технология пергамента. Для получения пергамента бумагу-основу в виде бесконечного полотна пропускают через ряд ванн, наполненных серной кислотой. После пропитки бумагу отжимают в прессах, промывают водой с помощью sprысков, нейтрализуют, снова промывают, пластифицируют, сушат с помощью обогреваемых паров цилиндров и каландрируют.

Вырабатывается пергамент на пергаментной машине, схема которой приведена на рис. 4.1.

Машина состоит из:

- раската, кислотных, (пергаментирующих) ванн,
- прессов, улавливающих ванн, промывных аппаратов,
- промежуточных отжимных прессов,
- ванн для нейтрализации и пластификации,
- сушильной части,
- каландра и наката.



1 - раскат; 2 - тянущий пресс; 3 - пергаментирующая ванна; 4 - кислотные ванны; 5 - промывные ванны со sprысками; 6 - нейтрализующие ванны; 7 - пластифицирующая ванна; 8 - сушильная часть; 9 - полусухой каландр; 10 - холодильные цилиндры; 11 - каландр; 12 - накат

Рисунок 4.1 - Схема машины для выработки пергамента

Отечественная машина П2-01, предназначенная для выработки растительного пергамента массой 35—140 г/м², состоит из двухтумбурного раската, тягового пресса, пергаментирующей ванны, девяти кислотных ванн, пяти групп промывных ванн, двух нейтрализующих, двух промывных и пластифицирующей ванн. После каждой ванны установлен отжимной пресс

Сушильная часть машины состоит из 16 сушильных цилиндров, 8 сукносушильных и 2 холодильных цилиндров. После 11-го сушильного цилиндра установлен полусухой трехвальный каландр с пневматическим прижимом валов, в конце сушильной части предусмотрен 6-вальный каландр. Накат машины периферический. Заправка полотна автоматическая канатиковая. Обрезная ширина бумаги на накате 2,2 м; максимальная рабочая скорость 100—120 м/мин; производительность 825 кг/ч; установленная мощность регулируемого привода 240 кВт, нерегулируемого — 67 кВт; предел регулирования скорости 1 :6.

Изготовление однослойного пергаменты с повышенной массой 1 м² затруднено, так как более толстая основа пропитывается неравномерно по толщине. В то же время пергамент массой 100 г/м² и выше находит применение для оклейки валиков прядильных машин и при диализе щелочных растворов, получающихся после мерсеризации целлюлозы на фабриках искусственного волокна.

Толстый пергамент массой до 350 г/м² может быть изготовлен прессованием двух и более полотен бумаги, предварительно пропитанных серной кислотой. Все оборудование для производства пергаменты изготавливается из кислотостойкой стали или свинца, все емкости для кислоты облицованы листовым свинцом.

Бумага-основа с раската поступает в пергаментующую ванну, наполненную серной кислотой и снабженную змеевиком, по которому циркулирует холодная вода для охлаждения кислоты.

Обычно плотность используемой серной кислоты составляет 1,56 - 1,58 г/см³ (при производстве крабового пергаменты 1,58 - 1,62 г/см³), температура 10 - 26°С. Продолжительность пребывания полотна бумаги в пергаментующей ванне в зависимости от качественных показателей бумаги-основы и параметров кислоты составляет 2 - 15 с. Продолжительность пребывания полотна в кислотной ванне можно регулировать не только скоростью его движения, но и путем изменения глубины погружения бумаговедущих валиков, определяющих длину пути полотна в кислоте.

При выходе из ванны избыток кислоты, унесенный полотном, снимается шабером и отжимается прессом. Затем полотно проходит через ряд улавливающих кислотных ванн, также снабженных отжимными прессами.

Кислотные ванны соединены свинцовыми трубами, с помощью которых осуществляется противоток кислоты от последней ванны к первой.

Прессы, отжимая из полотна пергаменты избыточную кислоту, способствуют уменьшению уноса ее, облегчению процесса промывки пергаменты и улучшению процесса регенерации кислоты. Унос кислоты полотном пергаменты после первого пресса составляет приблизительно 1200 кг в пересчете на моногидрат на 1 т пергаменты, после седьмого пресса — 800 и после десятого — 50 кг.

Прессы имеют пневматический прижим, верхние прессовые валы устроены подвижными, что позволяет регулировать степень и угол прижима.

Верхние валы прессов снабжены шаберами для снятия обрывков пергамента, наматывающихся на вал при заправке или обрыве полотна. Давление при отжиме до 2 МПа.

Все прессовые валы, как в кислотной, так и мокрой части машины, покрываются кислотоупорной резиной твердостью 36 - 18 по ТШМ-2, причем твердость первого кислотного пресса наибольшая; для лучшего отжима нижние валы прессов покрываются более твердой резиной, чем верхние.

Для последующей промывки полотно пергамента пропускается через группу промывных аппаратов, представляющих собой две станины специальной конфигурации с просверленными отверстиями. В отверстия вставляются продырявленные трубы, которые с приводной стороны соединены в один патрубок. Диаметр трубок 30 - 35 мм, диаметр отверстий 0,7 - 1 мм, число отверстий 80 - 90 на 1 м длины трубы. Вода подается для промывки под давлением 150 - 200 кПа, расход ее составляет до 2000 л/мин.

Высота промывного sprыскowego аппарата, продолжительность промывки и путь, проходимый при промывке полотном пергамента, должны соответствовать массе 1 м² и скорости машины.

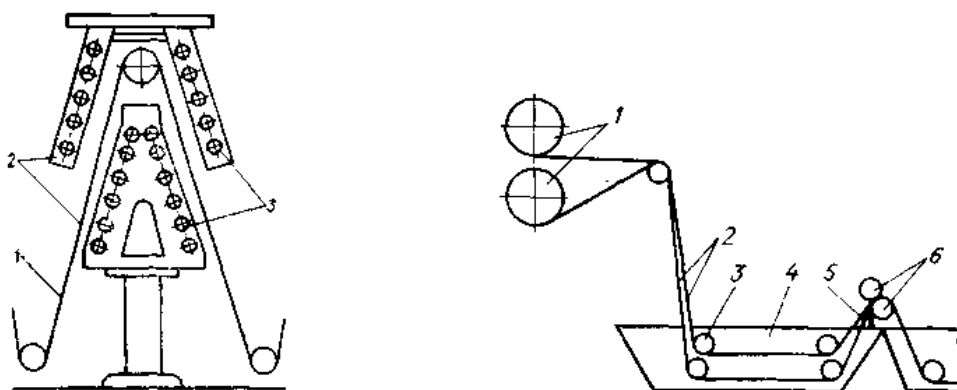


Рисунок 4.2 - Схема промывного sprыскowego аппарата (слева):
1 - полотно пергамента; 2 - sprыскowe трубы нижнего ряда; 3 - sprыскowe трубы верхнего ряда

Рисунок 4.3 -Схема заправки полотна бумаги в пергаментирующую машину для выработки двухслойного пергамента (справа):
1 - размоточное устройство; 2 - полотно бумаги; 3 - бумаговедущие валики; 4 - пергаментирующая ванна; 5 - шаберное устройство; 6 - пресс

Удаление кислоты из пергамента должно быть полным (остаточное содержание кислоты не должно превышать 0,03%, так как даже ничтожное ее содержание будет вызывать разрушение пергамента и порчу завернутых в него продуктов, особенно при повышенных температурах.

Остатки кислоты в пергаменте нейтрализуются путем пропускания полотна через содовые ванны с последующей промывкой водой от избытка щелочи и образовавшегося серноокислого натрия. Количество и крепость рас-

твора в содовой ванне регулируются в зависимости от толщины пергаменты и скорости машины. Обычно используется раствор кальцинированной соды концентрацией 1 - 4 г/л при температуре 35 - 40°С.

Чем больше содержится в композиции пергаменты необлагороженной целлюлозы, тем более жестким и ломким он получается. Для придания пергаменту мягкости и эластичности его пластифицируют пропусканием через ванну, наполненную раствором хлористого натрия концентрацией 9—15 г/л, ксилитана или глицерина концентрацией 10 - 12 г/л.

Способность этих веществ пластифицировать пергамент основана на их гигроскопических свойствах: они поглощают пары воды из окружающего воздуха и способствуют удержанию воды между пергаментированными целлюлозными волокнами. При этом пергамент несколько увлажняется и приобретает пластические свойства, становится эластичным.

Хлористый натрий как пластификатор имеет ряд преимуществ: он дешев, хорошо растворяется в воде, пригоден для обработки пергаменты, предназначенного для упаковки пищевых продуктов, не дает больших отложений на поверхности сушильных цилиндров, что упрощает условия эксплуатации пергаментирующей машины и удлиняет срок службы сушильных цилиндров. Содержание хлористого натрия в пергаменте должно составлять 3,5 - 5 г на 1 кг пергаменты.

Промытое и пластифицированное полотно пергаменты с сухостью 35 - 40 % поступает в сушильную часть машины.

Температура поверхности первых сушильных цилиндров составляет 45 – 50 °С, затем она постепенно повышается к середине сушильной части до 85 - 100°С и снижается на последних цилиндрах до 60 - 65°С.

Первые три сушильных цилиндра часто работают без сушильных сукон и имеют медную облицовку. Расход пара на сушку в зависимости от толщины полотна пергаменты составляет 1,5 - 2,5 т на 1 т готового пергаменты.

После охлаждения на холодильном цилиндре пергамент каландрируется на машинном каландре и наматывается в рулоны на накате. На продольно-резательном станке пергамент разрезается на рулоны требуемого формата.

Регенерация отработанной серной кислоты из отходящих кислых вод пергаментирующей машины преследует цель сократить расход свежей кислоты и устранить спуск кислых вод в канализацию.

Концентрация кислоты в кислотных ваннах нарастает против хода полотна: от 1,05—1,12 г/см³ в последней ванне до 1,35— 1,4 г/см³ в первой ванне. Отработанная серная кислота загрязнена волокнами, а также обугленными частицами, подвергшимися чрезвычайно сильному воздействию кислоты. Поэтому процесс регенерации должен включать три операции:

- выпарку кислоты до плотности 1,4 г/см³,
- осветление сконцентрированной кислоты, т. е. удаление из нее загрязнений,

- укрепление кислоты до рабочей плотности 1,56—1,62 г/см³ с помощью концентрированной свежей серной кислоты плотностью 1,83 г/см³.

На отечественных предприятиях процесс регенерации кислоты в значительной степени упрощен за счет исключения ступени выпарки. Это стало возможным после правильной организации процесса улавливания унесенной пергаментом кислоты и процесса сбора и отбора кислых вод по принципу противотока. Повышению концентрации кислоты, поступающей на регенерацию, способствовало также разделение ванн пергаментной машины на отделения, сообщаемые между собой перепускными трубами, что предотвращает диффузию кислоты из ванны с более высокой концентрацией в ванну с более низкой концентрацией.

Серную кислоту от органических примесей очищают с помощью марганцовокислого калия и бертолетовой соли или их смеси. Введение окислителей в регенерируемую кислоту осуществляется в измельченном состоянии небольшими порциями и при непрерывном размешивании сжатым воздухом.

Процесс очистки кислоты заключается в окислении содержащихся в ней органических примесей до углекислого газа с помощью кислорода, выделяющегося в результате разложения окислителей под действием серной кислоты: $4\text{KMnO}_4 + 6\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 4\text{MnSO}_4 + 2\text{K}_2\text{SO}_4 + 6\text{H}_2\text{O} + 5\text{O}_2$;



Из бака отработанной кислоты кислота перекачивается в разводные баки, в которые добавляется концентрированная свежая серная кислота для получения рабочей кислоты требуемой концентрации; кислота в баке тщательно перемешивается воздухом, после чего вводятся окислители. Температура кислоты повышается до 45—50 °С, перед поступлением в запасные баки пергаментной машины готовая кислота охлаждается в холодильной установке до 10—22 °С.

Расход серной кислоты на процесс пергаментации зависит от свойств бумаги-основы, от количества кислотных ванн на машине, от давления отжимных прессов, от состояния поверхности их резиновой облицовки и составляет 600—850 кг на 1 т пергаменты. Сточные кислые воды, которые направляются на очистные сооружения, не должны содержать кислоты более 2,5 г/л воды.

Библиографический список

1. Остреров М. А., Товстошкурова Д. У. и др. Методы оценки качества печатных видов бумаги по ГОСТ и ISO // Целлюлоза. Бумага. Картон, 1994. — № 3-4. — С. 20-22.
2. Комаров В. И. Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов. — Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. — 440 с.
3. Остреров М. А., Острерова И. Я. Изменение структуры бумаги при обработке в клеильном прессе бумагоделательной машины // Бумажная пром-сть. — 1990. - №8.~ С. 6-8.
4. Пузырёв С. С. Современная технология механической массы. В 2 т. — СПб.: ЛТА, 1995. — Т. 1. — 70 с.
5. Козаровицкий Л. А. Бумага и краска в процессе печатания. — М.: Книга, 1965. — 367 с.
6. Остреров М. А., Курятников А. В., Кудряшо-ва Г. И. и др. Факторы, определяющие качество прохождения бумаги через печатную машину // Целлюлоза. Бумага. Картон. — 1993. — № 1. — С. 26-27.
7. Харин О., Сувейздис Э. Электрофотография для цифровой печати. — М.: МГУП, 1999. — 438 с.
8. Остреров М. А. Бумага для электрофотографических копировальных аппаратов с промежуточным носителем изображения: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. — Л: ЛТА, 1986. — 19 с.
9. Беркман Е. М., Вишневский С. М., Иоффе Л. О. Словарь целлюлозно-бумажного производства. — М.: Лесная пром-сть, 1969. — 300 с.
10. Аким Э. Л., Махотина Л. Г., Никольский С. Н. Какими свойствами должна обладать современная бумага для офисов // Целлюлоза. Бумага. Картон. — 1999. — Вып. 5-6. — С. 35-38.
11. Иванов С. Н. Технология бумаги. — М.: Лесная пром-сть, 1970. — 695 с.
12. Крылатов Ю. А., Ковернинский И. Н. Проклейка бумаги. — М.: Лесная пром-сть, 1987. — 228 с.
13. Производство и применение мелованной бумаги и картона: Реферативная информация ЦБНТИ по печати. — М.: Книга, 1977. — Ч. 1. — 56 с; Ч. 2. — 53 с.
14. Бельхер В. А. и др. Пигменты для мелования бумаги. — М.: Гослесбумиздат, 1959. — 108 с.
15. Ермилов П. И. Диспергирование пигментов. — М.: Химия, 1971. — 298 с.
16. Бондарев А. И. Производство бумаги и картона с покрытием. — М.: Лесная пром-сть, 1985. — 190 с.
17. Осмоловская Л. П., Бондарев А. И. Технические требования к бумаге-основе для мелования // Реф. информ. ЦБНТИ по печати. — М.: Полиграфическая пром-сть, 1977. — № 7 (98). — С. 26.
18. Пшеничников В. С, Бондарев А. И., Полушкин В. А. Исследование печатных свойств и оптимизация рецептуры покрытий мелованной бумаги для глубокой печати // Сб. тр. ЦНИИБ. — М.: Лесная пром-сть, 1981. — С. 72-79.
19. Шульц Г. Все о бумаге./ Пер. с нем. — М.: Дубль В, 1999. — 120 с.
20. 43. Пономарев О. И., Шапиро В. О. Современное состояние и тенденции производства мешочной бумаги за рубежом // Бумажная пром-сть. — М.: Лесная пром-сть, 1984. — № 9. — С. 31.