

**Р.О. Шабиев
А.С. Смолин
Л.Л. Парамонова**

**ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ
ЛАБОРАТОРНЫХ ОБРАЗЦОВ БУМАГИ
И КАРТОНА ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ**

Учебно-методическое пособие

**Санкт-Петербург
2013**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ»**

Р.О. ШАБИЕВ, А.С. СМОЛИН, Л.Л. ПАРАМОНОВА

**ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИСПЫТАНИЕ
ЛАБОРАТОРНЫХ ОБРАЗЦОВ БУМАГИ
И КАРТОНА ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ**

Учебно-методическое пособие

**Санкт-Петербург
2013**

УДК 676.064.1 (2)
ББК 35.77я7
Ш 129

Шабиев Р.О., Смолин А.С., Парамонова Л.Л. Изготовление и испытание лабораторных образцов бумаги и картона из вторичного сырья: учебно-методическое пособие / СПбГТУРП. – СПб., 2013. – 66 с.

Настоящее учебно-методическое пособие представляет собой сокращенный лабораторный практикум по анализу бумажной массы, изготовлению лабораторных образцов и испытанию бумаги и картона из вторичного сырья, прежде всего, из макулатуры марки МС-5Б, используемой для производства картона для плоских слоев гофрированного картона и бумаги для гофрирования. В пособии и изложены адаптированные методики, являющиеся частью государственных стандартов на методы испытания, а также методы и приемы выполнения исследовательских работ, разработанные на кафедре «Технология бумаги и картона» СПбГТУРП.

Учебно-методическое пособие предназначено для выполнения НИР студентами, бакалаврами и магистрами, обучающимися на химико-технологическом факультете по специальности 240406 «Технология химической переработки древесины».

Рецензенты:

профессор кафедры «Механика автоматизированных систем» СПбГТУРП,
канд. техн. наук М.В. Ванчаков;
научный консультант ООО «СКИФ Спешиал Кемикалз», д-р техн. наук,
проф. И.Н. Ковернинский.

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом университета в качестве учебно-методического пособия.

© Шабиев Р.О., Смолин А.С., Парамонова Л.Л.,
2013
© Санкт-Петербургский государственный
технологический университет растительных
полимеров, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРЫ	5
1.1. Терминология и классификация макулатуры	5
1.2. Бумагообразующие и физико-химические свойства вторичных волокон ..	7
1.3. Виды бумаги и картона из вторичного сырья	13
1.4. Химические вспомогательные вещества, используемые для производства бумаги и картона из вторичного сырья	15
1.5. Анализ макулатурной массы	16
2. ИСПЫТАНИЕ БУМАГИ И КАРТОНА	17
2.1. Терминология и классификация испытаний	17
2.2. Испытание поверхностных свойств	20
2.3. Испытание гофрокартона и его компонентов. Формула Макки	23
2.4. Испытание коробочного картона. Способность картона к изгибу	28
2.5. Составление базы данных, связь с компьютером	28
3. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	29
3.1. Лабораторная работа №1 «Определение степени помола и скорости обезвоживания»	29
3.2. Лабораторная работа №2 «Определение длины волокна и степени фибрилляции»	31
3.3. Лабораторная работа №3 «Размол волокнистого полуфабриката»	34
3.4. Лабораторная работа №4 «Составление композиции бумаги»	37
3.5. Лабораторная работа №5 «Приготовление рабочих растворов химических вспомогательных веществ. Анализ крахмала»	39
3.6. Лабораторная работа №6 «Выполнение выкрасок массы»	41
3.7. Лабораторная работа №7 «Определение катионной потребности индикаторным обратным титрованием»	42
3.8. Лабораторная работа №8 «Определение остаточного содержания катионного крахмала»	43
3.9. Лабораторная работа №9 «Получение облагороженной макулатуры»	44
3.10. Лабораторная работа № 10 «Фракционирование»	45
3.11. Лабораторная работа № 11 «Определение показателя WRV»	46
3.12. Лабораторная работа №12 «Изготовление лабораторных образцов»	47
3.13. Лабораторная работа №13 «Испытание компонентов гофрокартона» ...	50
3.14. Лабораторная работа №14 « Испытание бумаги и картона на вертикальной разрывной машине Hounsfield»	53
3.15. Лабораторная работа №15 «Испытание бумаги и картона на горизонтальной разрывной машине Messmer-Büchel»	57
3.16. Лабораторная работа №16 «Определение впитываемости»	58
3.17. Лабораторная работа №17 «Определение воздухопроницаемости»	61
3.18. Лабораторная работа №18 «Основы планирования эксперимента. Оценка влияния композиционного состава на свойства бумаги. Построение диаграммы состав-свойство при помощи программы Triangle 1.0»	63
Библиографический список	66

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время из макулатуры изготавливают практически полный ассортимент продукции, за исключением высокохудожественных, фильтрационных, электроизоляционных, медицинских и прочих видов бумаги, где предъявляются высокие требования к химической чистоте и однородности сырья. Производители отдают предпочтение вторичному сырью, заменяя целлюлозу частично или полностью при производстве бумаги для гофрирования, картона для плоских слоев гофрированного картона, туалетной бумаги, печатных видов бумаги, картона хром-эрзац, коробочного и облицовочного картона, гильзового картона, картона-основы для переплетного и склеенного картона, кровельного, обложечного и прокладочного картона, картона для спичечных коробков, бугорчатой тары и т.д. Стоит заметить, что, несмотря на общемировую практику, в России до сих пор не производят печатные виды бумаги с использованием макулатуры. Настоящее учебно-методическое пособие дополняет существующий практикум по испытанию бумаги и картона, изданный в 2006 г. совместными усилиями кафедр «Технология бумаги и картона» СПбГТУРП и «Технология ЦБП» САФУ (ранее АГТУ) [1]. Основная цель пособия – показать особенности изготовления лабораторных образцов и испытания бумаги и картона из вторичного волокна, что связано с тем, что макулатура все больше выступает в качестве основного источника волокнистого полуфабриката. Испытание вторичного сырья и материалов на его основе требует несколько иных подходов по сравнению с анализом первичного полуфабриката и изделий из него. В пособии особенно внимательно рассмотрены испытания, относящиеся к гофроматериалам как наиболее востребованным, производимым из макулатуры.

Развитие технологии бумаги и картона определяется общим развитием науки и технологий, внедрением новых материалов и улучшением существующих. Все эти процессы одновременно связываются с изменением сырьевой базы и увеличением производительности технологического оборудования. При внедрении новых или модернизации хорошо изученных технологических процессов всегда выполняются предварительные научно-исследовательские работы (НИР) с последующим внедрением результатов на производстве. В рамках НИР проводятся лабораторные испытания. Повышение интереса отрасли к проведению подобных НИР обуславливает повышение требований к развитию навыков исследовательской деятельности у студентов, получение таких навыков положительно скажется на их подготовке и повысит конкурентоспособность на рынке труда.

1. ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРЫ

1.1. Терминология и классификация макулатуры

Макулатурой называют бумагу, картон и изделия из них, которые в виде отходов производства или после использования могут быть снова переработаны и использованы для изготовления бумаги, картона и другой продукции [2]. Наряду с термином «макулатура» в качестве синонимов используют термины «вторичное сырье» и «вторичное волокно». Макулатура используется для повторного производства бумаги и картона и замены свежего волокна, хотя восполнение первичного волокнистого полуфабриката является не единственным способом утилизации макулатуры. С точки зрения терминологии, вторичное сырье используют все производители, имеющие технологические потоки для переработки собственного брака [3]. Известно, что использование макулатуры позволяет существенно снизить удельный расход свежей воды и электроэнергии при производстве бумаги, поэтому экономическая целесообразность и экологические аспекты обуславливают развитие переработки макулатуры, её сбор и повторное использование. Согласно различным статистическим данным, доля использования макулатуры в мировом производстве бумаги и картона непрерывно возрастает. При этом увеличивается ассортимент выпускаемой продукции, в композиции которой используется макулатура. К сожалению, теоретически возможный уровень сбора и утилизации макулатуры неограничен и составляет около 80 %, поскольку приблизительно 20 % использованной бумаги и картона не подлежит сбору и аккумуляции. В 2011 г. общемировой уровень утилизации макулатуры составил более 50 %. В Европейском Союзе этот показатель был еще выше, а в Германии - более 70 %. Неограниченным является и уровень цикличности при повторном использовании макулатуры, теоретически возможным считается повторное использование растительных волокон около 7-10 раз, после чего они становятся непригодными к дальнейшему использованию в качестве волокнистого полуфабриката при производстве бумаги и картона.

С точки зрения своей классификации, макулатурное сырье включает в себя 3 группы и 13 марок и характеризуется составом по волокну, источником поступления, способностью к роспуску, количеством и природой включений. Материалы, полученные из несортированной макулатуры, имеют более низкие физико-механические показатели, поэтому такую макулатуру производители перерабатывают неохотно. К неволокнистым и нежелательным включениям относятся: металл, пластик, канатно-веревочные отходы, стекло, текстильные материалы, древесина, песок и строительные материалы, пластмассы и резинотехнические изделия [4]. Эти компоненты могут вызвать повреждения оборудования и серьезно ухудшают качество производимой продукции. Все перечисленные факторы влияют на стоимость вторичного сырья. Выделяют следующие особенности применения макулатуры, стимулирующие рост использования вторичного сырья [3]:

1. Желание заказчиков снизить стоимость производства массовых видов бумаги и картона. При производстве продукции из макулатуры только 20-30 % от её себестоимости составляет стоимость сырья, при использовании в композиции 100 % обрезки – более 50 %, а при использовании целлюлозы эта доля возрастает еще больше.
2. Дефицит на рынке товарной сульфатной небеленой целлюлозы. Отказ от использования целлюлозы повышает независимость бумажных фабрик от предприятий-монополистов, выпускающих целлюлозу.
3. В тех случаях, когда это возможно, замена 1 т первичных растительных волокон макулатурой дает экономию 3-4 м³ древесины. Это позволяет сократить вырубку лесов, исключает затраты на заготовку, доставку и лесовосстановление.
4. Отсутствие необходимости применения оборудования для переработки древесины на предприятиях, перерабатывающих макулатуру, позволяет получить экономию воды, тепла (пара), электроэнергии и химических реагентов. Существенно снижается количество сбросов и выбросов.
5. Возможность вводить небольшие по мощности предприятия. Капитальные затраты на строительство производств, использующих макулатуру, в 2-4 раза, а небольших предприятий в 10-20 раз ниже, чем затраты на создание ЦБК. Снижаются сроки возврата инвестиций (Return On Investment - ROI) при строительстве новых производственных мощностей.
6. Предприятия, использующие в качестве сырья макулатуру, располагаются в промышленно развитых районах, где образуются основные её ресурсы, имеются развитая инфраструктура, квалифицированные кадры и находится основная масса потребителей продукции.
7. Использование макулатуры, выделенной из твердых бытовых отходов, приводит к уменьшению объемов городских свалок и потребности в оборудовании для переработки отходов. Городские свалки содержат около 25 % (по массе) отходов бумаги и картона. Свалки часто самовозгораются, выделяя токсичные вещества, которые отравляют воздух, почву и воду. Таким образом, выделение макулатуры из твердых бытовых отходов дает экономический и экологический эффект.

В России и странах СНГ макулатура бумажная и картонная заготавливается и закупается перерабатывающими предприятиями в соответствии с положениями, приведенными в технических условиях на макулатуру [4]. В соответствии с ними, выделяют следующие группы и марки макулатуры:

ГРУППА «А» — макулатура высокого качества:

- марка МС-1А — отходы производства белой бумаги (кроме газетной), например, бумаги для печати;
- марка МС-2А — отходы производства всех видов белой бумаги в виде обрезков с линовкой и черно-белой или цветной полосой;
- марка МС-3А — отходы производства бумаги из СФА небеленой целлюлозы;
- марка МС-4А — использованные бумажные мешки невлагопрочные.

ГРУППА «Б» — макулатура среднего качества:

- марка МС-5Б — отходы производства и потребления гофрированного картона, бумаги и картона, применяемых в их производстве. Некоторые предприятия подразделяют макулатуру этой марки на три подмарки в зависимости от её качества, как указано в предыдущем ГОСТ 10700-89;
- марка МС-6Б — отходы производства и потребления картона всех видов с печатью (кроме электроизоляционного, кровельного и обувного);
- марка МС-7Б — использованные книги, журналы, брошюры, проспекты, каталоги, блокноты и другие виды полиграфической и бумажно-беловой продукции, изготовленные из белой бумаги, без переплетов, обложек и корешков.

ГРУППА «В» — макулатура низкого качества:

- марка МС-8В — отходы производства и потребления газет и газетной бумаги;
- марка МС-9В — бумажные гильзы, шпули, втулки (без покрытия и пропитки);
- марка МС-10В — литые изделия из бумажной массы;
- марка МС-11В — отходы производства и потребления бумаги и картона с пропиткой и покрытием – влагопрочные, битумированные и т.д.;
- марка МС-12В — отходы производства и потребления бумаги и картона черного и коричневого цветов, бумага с копировальным слоем и пр.;
- марка МС-13В — отходы производства и потребления различных видов картона, белой и цветной бумаги (кроме чёрного и коричневого цветов).

1.2. Бумагообразующие и физико-химические свойства вторичных волокон

Вторичные волокна отличаются от первичных волокон изначально более низкими бумагообразующими свойствами (табл. 1). Причем чем ниже марка макулатуры, тем ниже физико-механические показатели готовой продукции. Снижение бумагообразующих свойств вторичных волокон объясняется снижением величины их удельной поверхности и содержания свободных гидроксильных групп, способных к образованию водородных связей, что происходит при сушке и удалении воды. Такой необратимый процесс называется «ороговением» (“*Verhornung*”). Термин “*Verhornung*” впервые использовал проф. Г. Джайме в 1944 г. Физический смысл этого явления заключается в снижении толщины клеточной стенки и количественно выражается в снижении величины водоудерживающей способности (показатель WRV) волокнистой массы:

$$\text{Ороговение} = \frac{WRV_0 - WRV_1}{WRV_0} * 100 \%, \quad (1)$$

где WRV_0 - водоудерживающая способность первичного волокна;
 WRV_1 - водоудерживающая способность вторичного волокна.

Показатель WRV используется для косвенной оценки разработки поверхности и удельной поверхности волокнистых полуфабрикатов. Сам метод отличается простотой используемого оборудования и непродолжительностью времени испытания. С каждым последующим циклом переработки и связанными с ним размолотом и сушкой, показатель WRV снижается пропорционально воздействию (рис. 1).

Таблица 1. Физико-механические показатели макулатуры в зависимости от цикла переработки [5]

Номер цикла	F, Н	ТЕА, Дж/м ²	δ , %	L _В , м	N, ч.д.п.
МС-4А					
1	54,5	62,8	2,5	3700	233
2	46,0	48,0	2,3	3120	184
3	44,9	39,2	1,9	3050	122
4	36,8	29,1	1,8	2500	83
МС-5Б					
1	47,0	30,9	1,8	3190	71
2	45,8	29,9	1,5	3110	57
3	40,3	20,6	1,2	2730	48
4	34,1	16,6	1,2	2320	30
МС-8В					
1	31,3	25,5	1,7	2120	10
2	31,1	21,0	1,6	2110	7
3	24,2	15,0	1,5	1640	4
4	22,2	12,7	1,4	1510	3

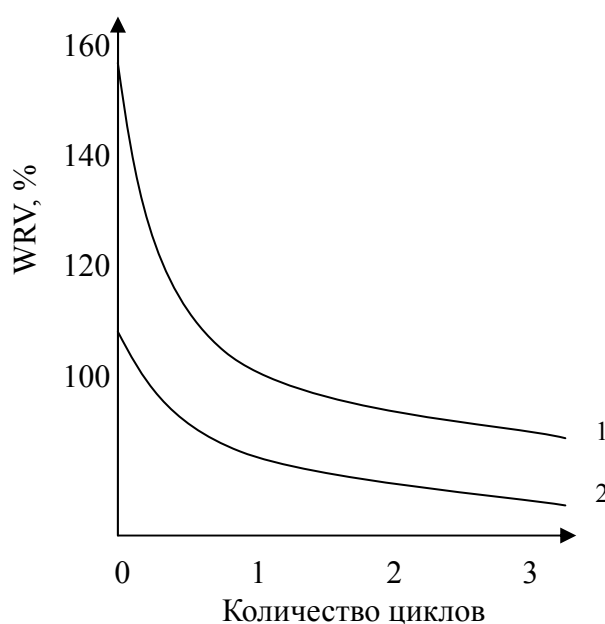


Рис. 1. Влияние переработки небыеленой СФА целлюлозы СП = 43 °ШР на водоудерживающую способность (показатель WRV):
1 – с мельштофом; 2 – без мельштофа [6]

Водоудерживающая способность макулатуры зависит не только от количества циклов переработки, но, прежде всего, от композиционного состава. Лиственная целлюлоза (рис. 2а) удерживает больше воды по сравнению, например, с хлопковой целлюлозой. Со временем размола и снижением длины волокна (длина волокна фракции 50 меш больше длины волокна фракции 100 меш) показатель WRV возрастает. Более высокая величина показателя означает более развитую удельную поверхность лиственной целлюлозы и большее содержание гемицеллюлоз в клеточной стенке. При размоле происходит фибрилляция волокна и увеличение доступности воды к гидроксильным группам целлюлозы. Показатель WRV начинает снижаться из-за частичного разрушения фибриллярной структуры и макрокапилляров, сильного укорачивания волокна, общей деструкции микрофибрилл и потери связанной воды.

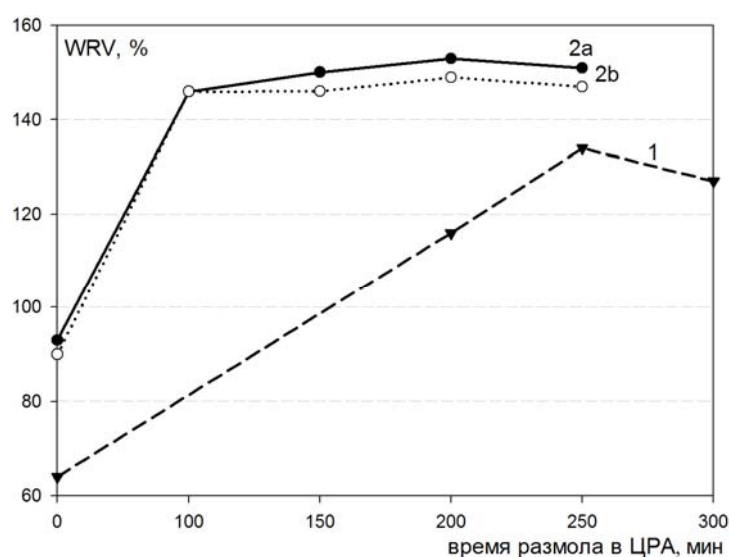


Рис. 2а. Изменение показателя WRV целлюлозы в зависимости от времени размола: 1 – хлопковый линтер; 2 – СФА лиственная целлюлоза фракция 100 меш (а), фракция 50 меш (б)

Отсутствие значительного прироста гидрофильности обеих фракций лиственной целлюлозы после 100 мин размола связано с достижением, так называемой, точки насыщения (Fiber Saturation Point – точки FSP), физический смысл этого показателя заключается в достижении уравнивания повышения прочности за счет водородных связей при фибрилляции и одновременной потерей прочности волокнистой структуры за счет разрушения макрокапилляров и расслаиванием ламелярных слоев клеточной стенки. Точку FSP можно определить экстраполяцией плато постоянных значений в зависимости от содержания недоступной воды и диаметра пор или молекулярной массы декстранов при помощи методики количественного проникновения (рис. 2б). На графике видно, что при размоле происходит увеличение доли пор со средними размерами от 25 до 100 Å. Размол и высушивание целлюлозы не оказывают влияние на количество пор с размерами менее 25 Å. На положение точки FSP оказывают

влияние выход полуфабриката, химическая однородность, условия последующей обработки, сушки и размола. Количественно эту точку можно определить методом водоудержания центрифугированием при 900g (где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$) за 30 мин. Количество недоступной воды, определенное этим методом, коррелирует с показателем WRV до значений $\leq 180 \%$.

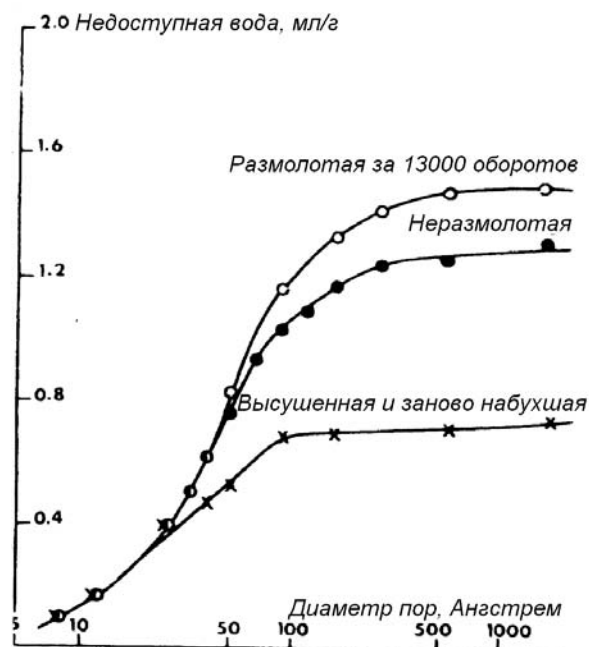


Рис. 2б. Кривые распределения по размерам пор для СФА хвойной беленой целлюлозы

В процессе подготовки бумажной массы растительные волокна подвергаются размолу, т.е. механическому воздействию размольной гарнитуры. Размол является физико-химическим процессом и направлен на подготовку волокнистого материала к отливу бумаги. Основная цель размола заключается в улучшении бумагообразующих свойств волокон, т.е. способности волокон образовывать прочную, однородную и гладкую структуру бумаги. Размол осуществляется в водной среде при различной концентрации в зависимости от конструкции размалывающего аппарата, происхождения и предназначения полуфабриката. При размоле волокна набухают, подвергаются укорачиванию, расщепляются, раздавливаются и фибриллируют, одновременно повышается их гибкость, происходит увеличение поверхности и усиливается гидратация (рис. 3). При размоле растительных волокон параллельно с фибрилляцией происходит высвобождение и растворение некоторых компонентов клеточной стенки S_2 , что приводит к повышению величины катионной потребности, образованию волокнистой мелочи и общему увеличению степени дисперсности гетерогенной системы. Растительным волокнам, как всем полимерным материалам, свойственен физико-химический процесс набухания и гидратации. Набухание способствует процессу фибрилляции, а размол способствует процессу набухания. При набухании увеличивается

реакционная способность волокнистого материала. Считается, что набухание перед размолом способствует повышению значений физико-механических показателей получаемых отливок. Набухание растительных волокон усиливается в щелочной среде и при хранении при низких температурах, поскольку процесс является экзотермическим. По возрастающей способности к набуханию целлюлозные материалы можно расположить в следующем порядке: хлопковый линтер, СФИ хвойная беленая целлюлоза, СФИ хвойная небеленая целлюлоза, СФА хвойная небеленая целлюлоза.

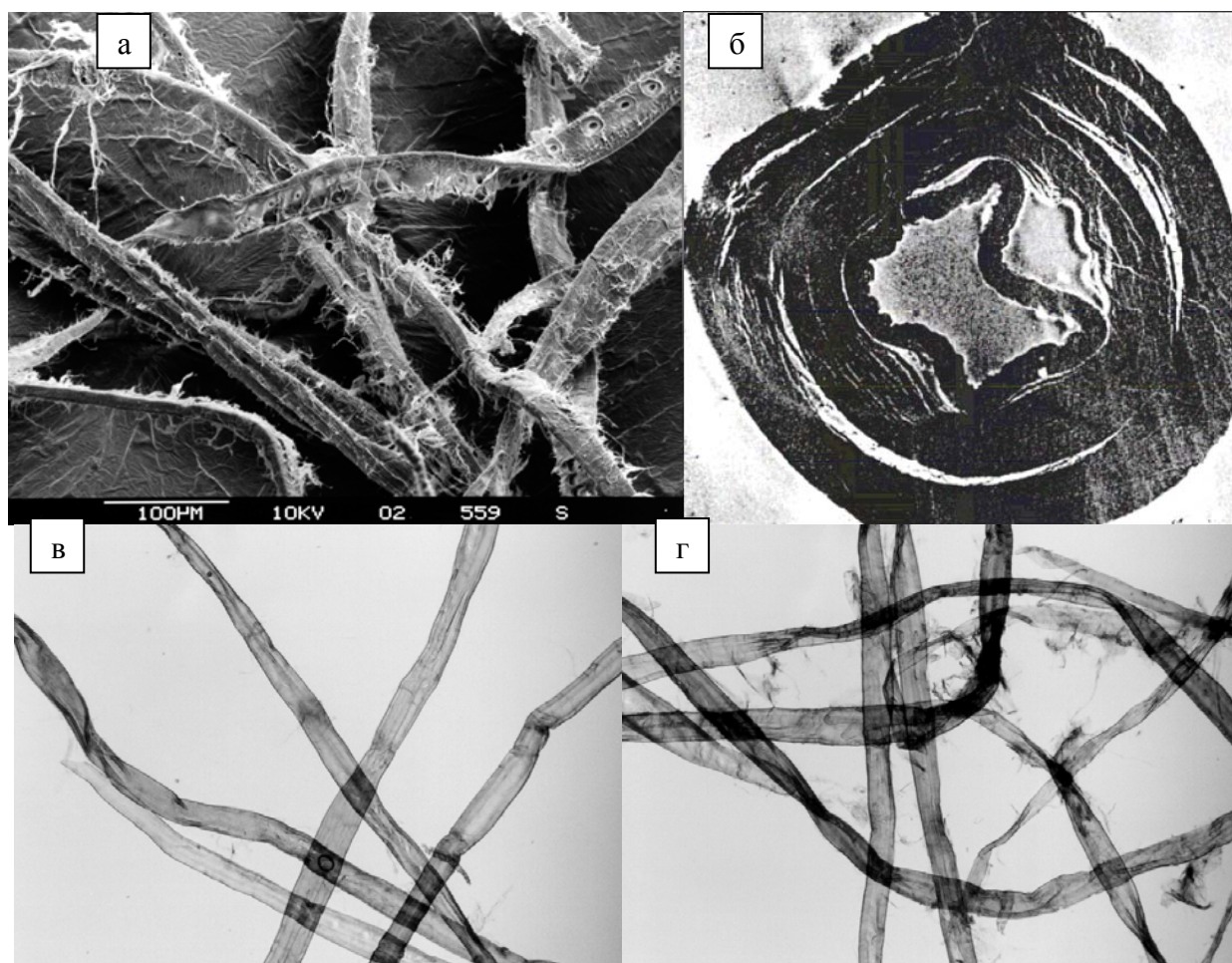


Рис. 3. Электронные фотографии волокон СФА хвойной целлюлозы: а – волокна с сильными признаками внешней фибрилляции (электронная сканирующая микроскопия – SEM); б – поперечный разрез волокна (SEM); в – не размотые волокна (СП=13 °ШР); г – после размолы (СП=25 °ШР)

Со временем размолы всегда увеличивается степень помола (рис. 4), причем отдельные фракции набирают степень помола медленнее по сравнению со всей массой, например, после набухания и дезинтегрирования лиственной СФА целлюлозы начальная степень помола составила 15 °ШР для всей массы (длина волокна $l=0,91$ мм), 12 °ШР для фракции 100 меш ($l=0,98$ мм) и 11 °ШР для фракции 50 меш ($l\sim 1,18$ мм). Через 100 мин размолы в мельнице ЦРА степень помола всей массы достигла 80 °ШР. Степень помола отдельных фракций волокнистой массы вырастает

незначительно: для фракции 100 меш ($l=0,92$ мм) до 25 °ШР и для фракции 50 меш ($l=1,11$ мм) до 22 °ШР, соответственно. Изменение же степени помола при фракционировании обуславливается исключительно фибрилляцией волокна, а не содержанием коротковолокнистой фракции (рис. 4-1). Таким образом, степень помола, являясь основным показателем скорости обезвоживания бумажной массы на сетке БДМ, может считаться только косвенным показателем коллоидно-химического состояния волокнистой массы и степени разработки волокна, величина которого сильно зависит от содержания коротковолокнистой фракции.

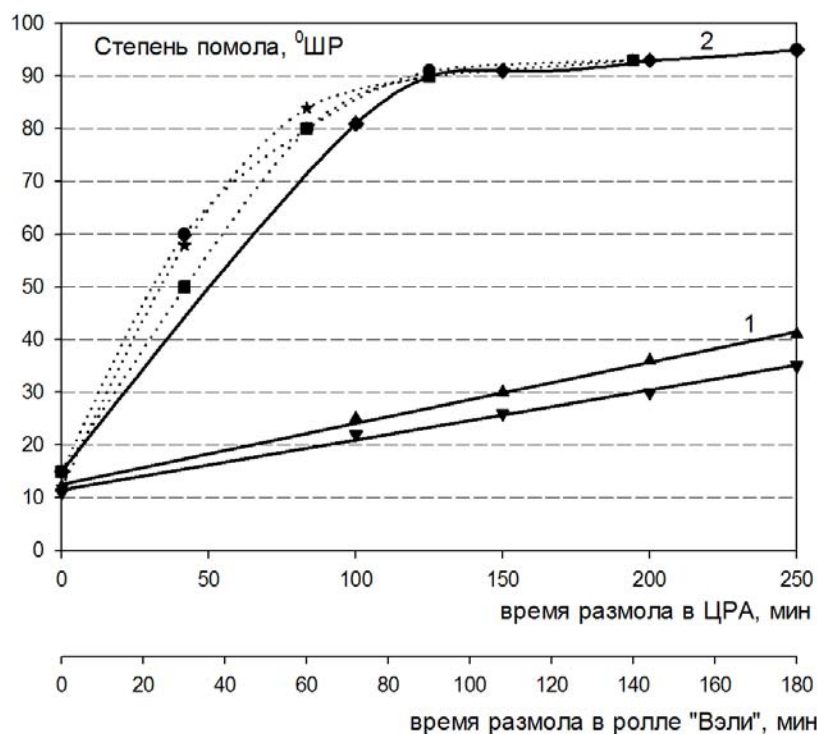


Рис. 4. Изменение степени помола целлюлозы от времени размола в мельнице ЦРА (—) и лабораторном ролле «Вэли» (···): 1 – фракционированная масса; 2 – не фракционированная масса; СФА лиственная (◆, ■), фракция 50 меш (▼); фракция 100 меш (▲); СФА хвойная (★, ●)

Как отмечалось ранее, серьезное влияние на бумагообразующие свойства оказывают средневзвешенная длина волокна и грубость, т.е. масса на единицу длины. Волокна лиственной целлюлозы менее грубые (в 1 г содержится 10 млн. волокон против 2 млн. в хвойной целлюлозе). Для разделения целлюлозной массы по длине волокна, оценки грубости и содержания волокнистой мелочи бумажную массу подвергают фракционированию или классификации [7]. В результате фракционирования определяют содержание волокнистой мелочи самых малых компонентов бумажной массы волокнистой природы. Не существует четкого определения фракции массы, относящейся к волокнистой мелочи, считается, что к ней относится фракция массы, которая не задерживается ситом с отверстиями 200 меш (75 мкм) или 100 - 150 меш (100 мкм) [8]. В общем случае к волокнистой мелочи относятся фрагменты и компоненты гидросуспензии, утратившие

волокнистое строение, остатки волокон, их фрагменты или просто пучки микрофибрилл, т.е. все волокнистые элементы с незначительным различием своих поперечных и продольных размеров. Удельная поверхность такой фракции превышает удельную поверхность самих волокон. Несмотря на свое отрицательное действие, волокнистая мелочь, в небольшом количестве, повышает физико-механические показатели и плотность бумаги. Волокнистая мелочь заполняет пустоты между большими волокнами, выполняя функции песка в бетоне.

1.3. Виды бумаги и картона из вторичного сырья

Картон для плоских слоев гофрированного картона

Если такая продукция вырабатывается практически исключительно в композиции из 100 % макулатуры, то она называется тест-лайнером (test-liner), если из целлюлозы, то крафт-лайнером (kraft-liner). Для этой продукции основными показателями являются сопротивление продавливанию, сопротивление сжатию и сопротивление изгибу, а также хорошая степень проклейки. В зависимости от физико-механических показателей качества и массы 1 м^2 , картон для плоских слоев гофрированного картона изготавливается по ГОСТ Р 53207-2008 «Картон для плоских слоев гофрированного картона. Технические условия» или в соответствии с разработанными на предприятиях техническими условиями. Данный документ предполагает разделение материала на следующие марки: К-0, К-1, К-2, К-3, К-4. Такой материал должен обладать привлекательным внешним видом, необходимыми печатными и поверхностными свойствами, в ряде случаев иметь влагостойкость.

Бумага для гофрирования

Бумага, предназначенная для изготовления гофрированного слоя гофрированного картона, называется флутингом (fluting), должна обладать высокими показателями жесткости (сопротивлением торцевому и плоскостному сжатию гофрированного образца) и прочностью при растяжении. Жесткость бумаги для гофрирования во многом определяет жесткость всего гофрированного картона, гофры принимают на себя основную нагрузку, и именно от характеристики бумаги для гофрирования во многом зависят амортизационные свойства гофрированного картона и гофротары. Поверхностные свойства играют меньшую роль, чем для тест-лайнера. Лучшим сырьем для производства гофробумаги считается полуцеллюлоза или древесная масса, которые обладают самыми высокими показателями жесткости, но на практике чаще всего состав по волокну аналогичен тест-лайнеру, т.е. 100 % макулатура марки МС-5Б, смешанная макулатура и т.д. Бумага для гофрирования производится в России в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ Р 53206-2008 «Бумага для гофрирования. Технические условия» или в соответствии с разработанными на предприятиях техническими условиями. Данный документ предполагает разделение материала на следующие марки: Б-0; Б-1; Б-2; Б-3.

Санитарно-гигиеническая бумага и изделия из неё

Бумагу санитарно – гигиенического и бытового назначения выделяют в отдельную группу, поскольку она должна обладать особыми свойствами. В отличие от своего первоначального исторического предназначения, т.е. передачи информации, этот вид бумаги должен поглощать влагу и обеспечивать чистоту, такую тонкую впитывающую бумагу называют «тисью» (tissue). Эта бумага обладает низкой массой 1 м^2 , высокой пористостью, пухлостью и др. Все термины и способы испытания санитарно-гигиенических видов бумаги и изделий из них приводятся в серии стандартов ИСО 12625. Для производства этого вида бумаги и изделий из неё широко используют макулатуру всех марок, кроме МС-4А, МС-9В, МС-11В, МС-12В, МС-13В, с показателями качества, отвечающими основным потребительским свойствам (ГОСТ Р 52354-2005 «Изделия из бумаги бытового и санитарно-гигиенического назначения. Общие технические условия»). Основные потребительские свойства такой бумаги – высокая впитывающая способность, мягкость, пухлость, относительно невысокая механическая прочность, влагопрочность, низкая масса 1 м^2 бумаги (12...38 г). Для улучшения потребительских характеристик макулатуру печатных видов бумаги облагораживают, т.е. удаляют печатную краску, полученный таким образом волокнистый полуфабрикат по зарубежной классификации называется DIP (например, из такого полуфабриката изготавливают бумагу ZewaTM). Для производства изделий интимной гигиены - подгузники, пеленки, прокладки и т.д. используют исключительно распушенную целлюлозу.

Коробочный картон

Коробочный картон – это многослойный материал машинной гладкости, иногда каландрированный, применяемый для изготовления малогабаритной тары. Высокий индекс поглощенной энергии ТЕА, высокую жесткость биговочной линии и хорошее сопротивление изгибу во многом определяют его качество. Картон коробочный типа «хром-эрзац» - один из самых популярных и широко используемых материалов, предназначенных для изготовления потребительской тары и полиграфических изделий.

Облицовочный картон для гипсокартона (ГОСТ 6266-97)

Облицовочные слои гипсового сердечника должны обладать повышенной влагостойкостью, прочностью и высокой воздухопроницаемостью (не менее 85 с по Герлею), поскольку выполняют защитные свойства.

Бумага для печати

За границей макулатуру широко используют для выработки бумаги для печати, например, газетной бумаги книжно-журнальной и даже офисной. Для этих целей из бумажной массы удаляют печатную краску методом флотации (сам процесс называется «деинкингом»), диспергируют и облагораживают.

Гильзовый картон

Гильзовый картон предназначен для изготовления гильз для намотки бумаги и картона. Обычно является многослойным материалом с массой 1 м^2

300 – 500 г. Основными показателями такой продукции являются сопротивление продавливанию, поверхностная впитываемость по Коббу, сопротивление расслаиванию, влажность, прочность при растяжении.

1.4 Химические вспомогательные вещества, используемые для производства бумаги и картона из вторичного сырья

Таблица 2. Роль химии в технологии бумаги и картона [1]

Вид добавки	Процессы		Свойства			
	Удерживаемость	Обезвоживание	Макроструктура	Прочность	Поверхностные	Барьерные
Процессные химикаты						
– сернокислый глинозем	+	+	-	-	-	-
– катионный полиакриламид	+	+/-	+/-	+	+/-	0
– полиэтиленимин	+/-	+	-	0	-	0
– микрочастицы	+	+/-	+	0	+	0
Химикаты свойств						
– наполнители	-	+	+	-	+	-
– проклеивающие	+/-	-	+/-	+/-	+	+
– крахмал анионный	+/-	-	+	+	+	+
– крахмал катионный	+	+/-	+/-	+	+	+
– полиамидамины	+	+	-	+	+/-	+

+ Положительное влияние; +/- в зависимости от условий; - отрицательное влияние; 0 - нет влияния

Современное производство бумаги и картона из вторичного сырья невозможно представить без химических вспомогательных веществ (ХВВ), используемых для проклейки, обезвоживания, удержания, повышения физико-механических показателей, крашения и т.д. (табл. 2). Причем, несмотря на схожую терминологию и названия используемых для этих целей классов химических соединений, например, сернокислый алюминий - известный коагулянт, полиакриламид – широко используемый для очистки воды флокулянт, в технологии они выполняют совершенно другие функции и предназначение. При водоподготовке используемые флокулянты должны вызывать макрофлокуляцию и осветление воды, а в бумажном производстве флокулянт используется для микрофлокуляции и удержания компонентов бумажной массы. Поэтому флокулянты в бумажном производстве называют средствами удержания – “retention aids”, обычно они имеют катионную природу. Эффективность этих веществ снижается по мере увеличения удельной электропроводности потока, в этом случае используют полиэлектролиты с высокой степенью замещения и плотностью заряда. Для окрашивания и создания оттенка макулатуры используется основной краситель, и реже – прямой. Основной краситель характеризуется низкой

устойчивостью к действию света, яркими тонами, закрепление зависит от содержания кислотных ионогенных групп, с которыми он образует прямую ковалентную связь. Закрепление прямого красителя сильно зависит от электрокинетического потенциала волокнистой массы.

Средний расход химических средств при производстве двухслойного (дуплекса) картона макулатурного для плоских слоев гофрированного картона:

Клей АКД	2-5	кг/т
Катионный крахмал	5-10	кг/т
Полиамин	1-1,5	кг/т
Полиакриламид катионный	0,1-0,2	кг/т
Краситель (добавляется при необходимости)	0,5-3	кг/т
Пенегаситель, пассиватор и т.д.	<0,1-0,2	кг/т

1.5. Анализ макулатурной массы

Анализ вторичного волокнистого полуфабриката включает стандартные методы, используемые для анализа целлюлозы, а также методы анализа содержания загрязнений и примесей, такие как определение мутности, определение скорости фильтрования, окисляемости и т.д. Ниже (табл. 3) приводятся наиболее распространенные технологические параметры, контролируемые на производстве при использовании макулатуры.

Таблица 3. Наиболее распространенные параметры, определяемые на производстве, и их приборное оформление

Параметр	Прибор
– Степень помола или садкость;	– Аппарат Шоппера-Риглера или прибор С.С.Ф. (канадский стандарт);
– Электропроводность;	– Кондуктометр;
– Кислотность среды;	– рН-метр;
– Катионная потребность;	– Анализатор заряда частиц, индикаторное титрование;
– Электрокинетический потенциал;	– Анализатор электрокинетического потенциала;
– Мутность;	– Нефелометр (турбидиметр);
– Показатель водоудержания (показатель WRV);	– Центрифуга со специальным приспособлением;
– Способность к обезвоживанию;	– Установка динамического фильтрования «джар-тестер», аппарат Шоппер-Риглера;
– Определение остаточного содержания крахмала;	– Спектрофотометр, рефрактометр;
– Окисляемость, редокс потенциал;	– Титрование, редокс электрод;

Параметр	Прибор
– Длина волокна; – Способность к размолу, развитие бумагообразующих свойств; – Фракционирование волокна (отделение костры и примесей); – Отделение липких веществ (stickies), макро- и микропримесей	– Анализатор длины волокна, микроскоп, прибор Иванова; – Мельница ЦРА, мельница PFI, лабораторный ролл (с последующим изготовлением образцов на листоотливном аппарате); – Фракционатор Соммервиля, Классификатор Бауера-МакНетта; – Фракционатор Пулмак МастерСкрин

2. ИСПЫТАНИЕ БУМАГИ И КАРТОНА

2.1. Терминология и классификация испытаний

Лабораторные испытания являются неотъемлемой частью многих технологических процессов во всех отраслях промышленности. Проведение предварительных испытаний новых материалов и технологий благоприятно сказывается на их внедрении в производственный процесс.

За последние десятилетия в технологии производства бумаги и картона произошли серьезные изменения, начиная от изменения структуры сырья, внедрения системного контроля и заканчивая автоматизацией лаборатории. Сложность процессов, масштаб производства, серьезная конкуренция, возрастание производственных затрат, а также изменение состава бумажной композиции вынуждают производителей отслеживать все больше и больше технологических параметров и свойств полученной бумаги, а также внедрять потоковые системы «он-лайн», которые позволяют быстрее реагировать на изменения потока. При всех явных преимуществах автоматизированного поточного контроля не теряют своей актуальности и привычные лабораторные испытания, по причине несоответствия нормативным требованиям условий измерения потоковых автоматических датчиков и необходимости их калибрования при помощи стандартных методов. Обострилась необходимость понимания фундаментальных процессов производства и оценки свойств бумаги как сырья для дальнейшей переработки. На первый план выходит глубокое понимание физико-химических свойств как сырья, так и конечного продукта.

Лабораторные испытания являются неотъемлемой частью производственного цикла и включают в себя контроль качества поступающего сырья, а также соблюдение технической спецификации изготавливаемой продукции. Методы лабораторных испытаний могут

соответствовать международным, национальным или отраслевым стандартам, таким как ГОСТ, ISO, DIN, TAPPI, ASTM, SCAN, FEFCO, а могут являться внутренней методикой предприятия или лаборатории. Существуют внутривзаводские методы испытаний, разработанные на основе методик, рекомендованных поставщиками технологий или химических вспомогательных веществ. Такие методы используются для внутреннего контроля качества под конкретного заказчика или же для унификации продукции по международным нормам и правилам.

Контроль качества поступающего сырья включает в себя проверку соблюдения заявленных в технических условиях показателей и составление общего представления о его потребительских свойствах. Контролировать качество на производственном оборудовании нерентабельно из-за высокой стоимости таких испытаний, поэтому используют лабораторное испытательное оборудование, при помощи которого *оказывается воздействие на испытываемый материал в стандартизованных условиях*. Стоит отметить, что большинство лабораторного испытательного оборудования контроля качества не является средством измерения, поскольку определяет параметры, не являющиеся физическими величинами, и определяет пригодность картона к дальнейшей переработке и использованию. В некоторых случаях все измерения выполняет только оператор. Точность измерений физических величин в этом случае в меньшей степени влияет на результат измерения, чем точность воспроизведения условий испытания. Такие величины, как сопротивление раздиранию или сопротивление продавливанию, не являются физическими величинами СИ, например, как «сила, давление, масса», а выражают их значения при определенных условиях или подготовке образцов. Например, прибор для определения сопротивления продавливанию имеет измерительный канал давления (манометр), но, безусловно, погрешность определения этого показателя прочности определяется, прежде всего, свойствами резины, из которой изготовлена диафрагма, нежели погрешностью манометра. А вот показатель толщины является физической величиной, но из-за упруго-пластинчатых свойств бумаги толщину определяют при стандартных заданных условиях, и от усилия прижима пяты толщина будет меняться, чуть ли не больше, чем от свойств самой бумажно-картонной продукции. Прибор для определения толщины следует называть толщиномером, а не микрометром, который можно успешно использовать для определения толщины несжимаемых материалов. Таким образом, качество бумаги и картона именно *испытывают*, а не *измеряют*, оценивая, таким образом, свойства капиллярно-пористого, сжимаемого материала, изготовленного из растительных волокон. Надо признать, что некоторое оборудование, установленное в подобных лабораториях, всё же является средством измерения (например, весы).

Известно, что воспроизводимость результатов испытаний в большей степени зависит от подготовки образцов (рис. 5), нежели от погрешности самого оборудования. При подготовке образцов используются специально предназначенные для этого пневматические и ручные ножи, вырубного типа,

циркулярные, в зависимости от метода испытания, в котором указаны размеры образцов. Лезвия рекомендуется менять после каждых 50 вырезанных образцов.

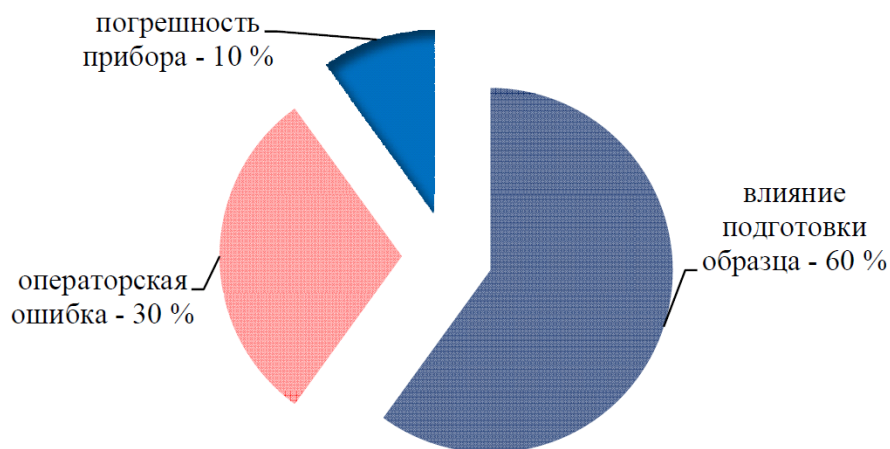


Рис. 5. Доля влияния разных факторов на погрешность одного измерения

Терминология и классификация испытаний связаны с особенностями процесса производства бумаги, который условно можно разделить на несколько технологических этапов:

- подготовка волокнистого полуфабриката;
- осуществление контроля качества с целью выполнение требований нормативной документации;
- определение нестандартных показателей для более полной характеристики потребительских свойств.

Особенности производства определяются видом вырабатываемой продукции. Многообразие областей применения бумаги определяет всё многообразие требований, к ней предъявляемых, иногда совершенно противоположных. Все многочисленные свойства бумажной продукции подразделяют по ряду качественных признаков на следующие основные группы:

1. Структурно-размерные: масса 1 м^2 , толщина, плотность, пухлость, воздухопроницаемость, формат, индекс формования.
2. Композиция: состав по волокну, зольность, влажность, наличие специальных добавок.
3. Физико-механические: прочность при растяжении, сопротивление излому, сопротивление продавливанию, сопротивление раздиранию, сопротивление смятию, сопротивление истиранию, жесткость при изгибе, прочность при растяжении, относительное удлинение и др.
4. Оптические: белизна, светопроницаемость, прозрачность и непрозрачность, лоск, цветовые координаты, оттенок.
5. Гидрофобные и гидрофильные: степень проклейки, впитывающая способность, водонепроницаемость, капиллярная впитываемость.
6. Химическая чистота бумаги: щелочность, кислотность, наличие минеральных включений, присутствие катионов — свинца, железа, меди,

натрия и др. и анионов — хлоридов, сульфатов, сульфитов, сульфидов и др.

7. Печатные и поверхностные свойства: гладкость, пылимость, прочность поверхности к выщипыванию, влагопрочность, способность к отмарыванию, растискиванию, красковосприимчивость и т.д.

8. Специальные свойства.

2.2. Испытание поверхностных свойств

Основными печатными свойствами бумаги и картона являются гладкость и шероховатость бумаги, определяемые «воздушными» методами, например, гладкость по Бекку, шероховатость по Бендтсену, гладкость PPS по Паркеру и т.д. Определение поверхностной шероховатости бумаги заключается в измерении воздушного потока между поверхностью образца и прижатой к нему заданной плоскостью в виде металлической или стеклянной пластины. Приборы для определения поверхностной шероховатости обязательно включают в себя [9]:

1. Измерительную ячейку, обычно это металлическое кольцо с высокой степенью полировки.
2. Устройство подачи воздуха с известным и контролируемым давлением.
3. Подкладку, поддерживающую бумажный образец во время испытания.
4. Средство прижима бумажного образца к заданной плоскости с известным и контролируемым усилием.
5. Устройство измерения воздушного потока между бумажным образцом и заданной плоскостью.

Ниже (табл. 4) приводятся некоторые различия основных методов определения поверхностной шероховатости в России.

Таблица 4. Параметры «воздушных» методов определения поверхностной шероховатости/гладкости

Метод	Ширина кольца, мм	Давление прижима, кПа	Деформируемая подкладка
Бекка	13,5	100	есть
Бендтсена	0,15	100	нет
Паркера	0,051	500,1000, 2000	мягкая и жесткая

Наравне с гладкостью, печатные свойства бумаги во многом определяют устойчивость поверхности бумаги к выщипыванию. Для экспресс-метода на устойчивость к выщипыванию используют восковые стандарты Деннисона по стандарту TAPPI T459. В этом методе восковые палочки с различной способностью к выщипыванию закрепляются на поверхности бумаги путем плавления. Номер палочки, под которой поверхность бумаги не деформируется после её удаления, и определяет прочность поверхности. Чем выше номер, тем прочнее поверхность (рис. 6).

Альтернативно экспресс-методу бумагу подвергают испытаниям на динамическое выщипывание, методика которого приводится во многих международных и национальных стандартах ISO 3783, SCAN P 63.90, TAPPI T514.

Прочность поверхности показывает способность бумаги сопротивляться выщипыванию волокон или их пучков с поверхности при соприкосновении с красочной печатной формой. Низкая прочность поверхности вызывает появление пылимости и приводит к итоговому засорению печатной формы. В методах испытания прочности поверхности бумаги обычно используют стандартную смолу или печатные краски с высокой вязкостью и липкостью. Метод оценки динамической прочности поверхности ИСО 3783 определяет в качестве стандартных приборов пробопечатные устройства IGT, где происходит нанесение печатного оттиска на бумагу стандартной смолой с нарастающей скоростью печати (рис. 6). Минимальная скорость, при которой начинается выщипывание, и является мерой сопротивления выщипыванию бумаги и картона. Основными элементами устройства IGT являются сектор для закрепления образца и два вала для печатных форм (дисков). В отдельном краскораскатном устройстве на печатные формы (диски) наносится краска, а в пробопечатном устройстве запечатывается образец бумаги. Величина давления при печати выбирается вручную. Количественно качество печатного оттиска выражается в оптической плотности, разрешении и однородности полученного изображения.

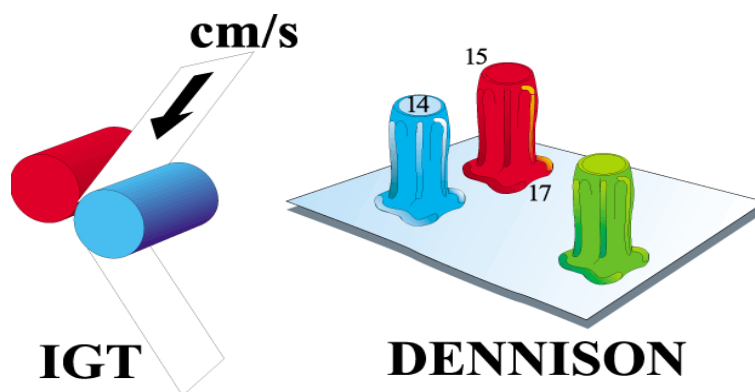


Рис. 6. Методы определения прочности поверхности: IGT – динамический метод; Dennison – статический метод

При изготовлении гофрокартона и готовой упаковки важную роль играют свойства бумаги и картона, определяющие результат их взаимодействия с различными жидкостями, например, адгезивным материалом или печатными красками. В настоящее время для испытания проклеенных видов бумаги и картона на впитываемость наиболее широко используется метод Кобба. Данный метод позволяет оценить результат взаимодействия бумаги с водой через определенный промежуток времени

после начала процесса (30 с или 60 с). Однако в современных машинах, например, гофроагрегатах или печатных прессах, весь процесс переработки бумаги занимает секунды, и такой параметр, как впитываемость по Коббу, не позволяет оценить реальный результат взаимодействия бумаги с клеем или краской. Для оценки процесса взаимодействия бумаги с различными жидкостями существуют методы определения динамической впитываемости либо по изменению интенсивности ультразвука (приборы Емтек), либо по изменению геометрических размеров капли жидкости при помощи видеокамеры (гониометры). Гониометры также используются для определения поверхностного натяжения. Принцип действия приборов Емтек основан на измерении интенсивности прохождения ультразвука через образец бумаги за определенный промежуток времени.

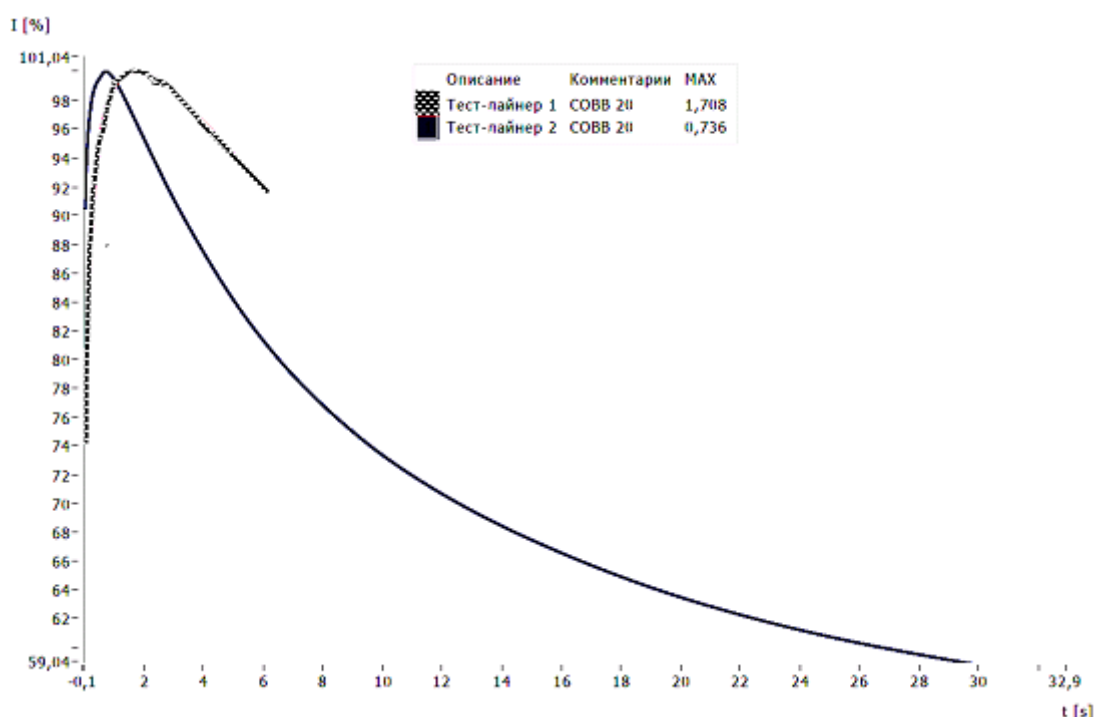


Рис. 7. Кривая динамического впитывания воды в поверхность тест-лайнера в зависимости от изменения интенсивности ультразвука (описание см. в тексте)

На рис. 7 показаны результаты испытания макулатурного картона для плоского слоя гофрокартона одной марки, но двух разных производителей. Точка МАХ (максимум) показывает относительную степень поверхностной проклейки. Тест-лайнер № 1 показывает более высокую степень поверхностной проклейки (МАХ 1,708 с), чем у тест-лайнера № 2, степень поверхностной проклейки которого ниже (МАХ 0,736 с). Точка максимума определяется за несколько секунд, далее кривые (5-30 с) имеют практически идентичную форму. Это означает, что внутримассная степень проклейки, оцениваемая по методу Кобба, у обоих образцов будет практически одинаковой (COBB 20). При замене тест-жидкости с воды на спирт ультразвуковым способом можно определять поверхностную или печатную пористость и многие другие параметры.

2.3. Испытание гофрокартона и его компонентов. Формула Макки

К основным физико-механическим свойствам гофрокартона и его компонентов относятся различные виды сопротивлений сжатию, сопротивление изгибу и сопротивление продавливанию, эти показатели наиболее полно предсказывают эксплуатационные характеристики получаемой гофротары. Способность к штабелированию и каркасность возрастают с ростом толщины картона-лайнера (т.е. его массы 1 м^2) и модуля упругости, зависящего от композиции и возрастающего с ростом доли целлюлозы в композиции по волокну. При испытаниях необходимо учитывать анизотропность бумаги, изготавливаемой машинным способом. Прочностные свойства бумаги в поперечном направлении (CD – cross direction) обычно значительно ниже, чем в машинном направлении (MD – machine direction), из-за большей интенсивности ориентации волокна в продольном направлении и усадки бумаги в поперечном направлении в сушильной части БКДМ.

В традиционном методе испытаний компонентов гофрокартона, прежде всего, картона-лайнера на сжатие кольца (RCT) присутствует значительная постоянная погрешность, связанная с эффектом прогиба испытываемой части образца во время испытания. Влияние этого эффекта на результат испытания возрастает со снижением массы 1 м^2 (рис. 8) и повышением доли макулатуры.

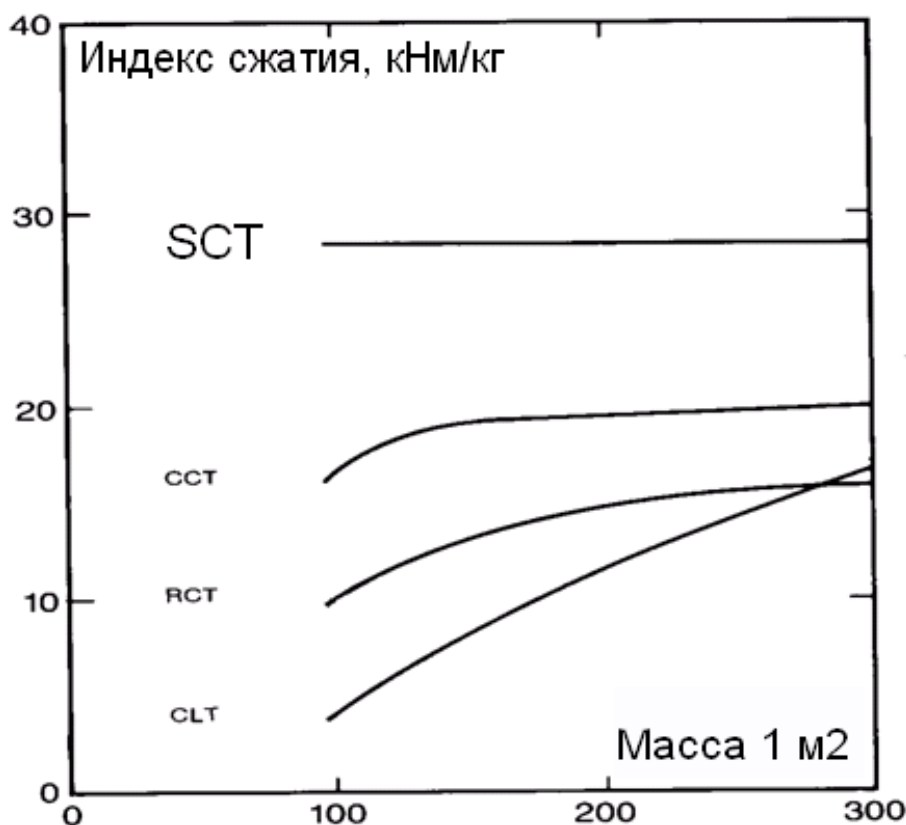


Рис. 8. Зависимость индекса сжатия разных показателей от массы 1 м^2 картона

Разнообразие видов сопротивлений сжатию гофрокартона и его компонентов:

1. Сопротивление плоскостному сжатию гофрированного образца (СМТ), Н.
2. Сопротивление плоскостному сжатию гофрокартона (FCT), Н.
3. Разрушающее усилие при сжатии кольца (RCT), Н.
4. Сопротивление торцевому сжатию гофрированного образца (ССТ), кН/м.
5. Сопротивление торцевому сжатию гофрированного картона (ЕСТ), кН/м.
6. Сопротивление гофрированного картона расслаиванию (РАТ), кН/м.
7. Сопротивление торцевому сжатию плоских слоев для гофрированного картона (LCT), Н.
8. Сопротивление сжатию на коротком расстоянии по STFI (SCT), кН/м.

Шведским институтом бумаги STFI был разработан альтернативный метод испытания на сопротивление сжатию компонентов гофрокартона при малом расстоянии, в котором недостаток излишнего прогиба полосы полностью устранен. Данный метод, получивший название SCT (ИСО 9895) (рис. 9), отражает действительное усилие, необходимое для разрушения межволоконных сил связи. За результат испытания принимается сопротивление сжатию, отнесенное к ширине образца, вычисляемое с точностью до 0,01 кН/м. Отношение сопротивления сжатию SCT к массе 1 м^2 , вычисляемое с точностью до 0,1 Н*м/г, называется индексом сжатия (J_{SCT}).

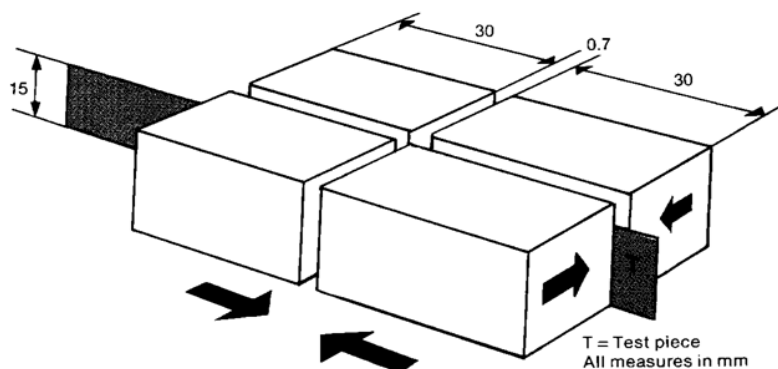


Рис. 9. Определение сопротивления сжатию на коротком расстоянии

Сопротивление плоскостному сжатию бумаги для гофрирования (СМТ) и сопротивление плоскостному сжатию гофрокартона (FCT) являются одними из важнейших показателей амортизации гофротары, что особенно важно при транспортировке бьющихся предметов, например, изделий из стекла. Считается, чем выше показатель СМТ, тем выше стабильность всего процесса гофрообразования. Бумага для гофрирования должна выдерживать усилие растяжения между гофрами при переработке на гофроагрегате, для контроля прочности на разрывной машине определяют прочность при растяжении в машинном направлении по ГОСТ ИСО 1924-1-96 (рис. 10).

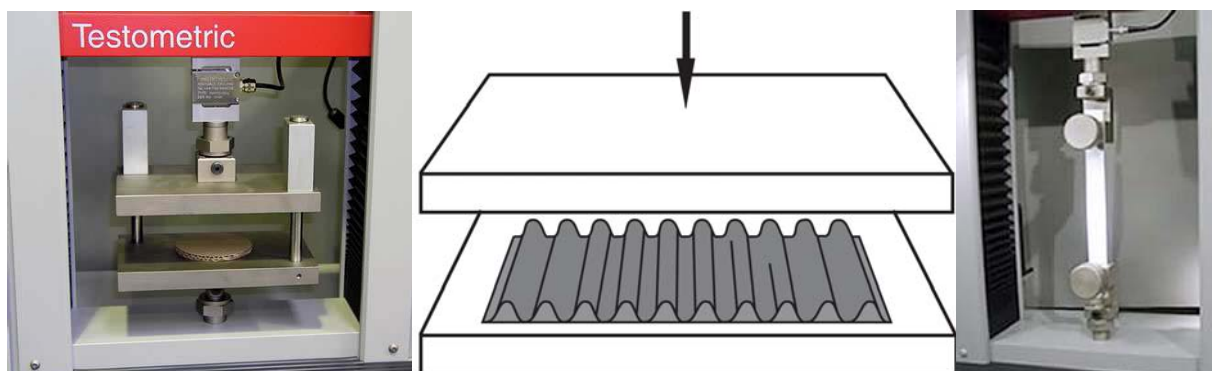


Рис. 10. Определение сопротивления плоскостному сжатию (FCT) гофрокартона и гофробумаги (СМТ) на универсальной испытательной машине и определение сопротивления растяжению бумаги для гофрирования на вертикальной разрывной машине

Определение сопротивления продавливанию относится к одному из старейших методов испытаний, применяемых для оценки физико-механических свойств бумаги, картона и гофрокартона. Различают сопротивление продавливанию для бумаги (ИСО 2758) и картона (ИСО 2759). Определяется величина сопротивления продавливанию величиной максимального давления, которое выдерживает образец, находящийся под эластичной диафрагмой, на зажатый по кольцу образец ($d = 30,5$ мм для испытания бумаги; $d = 31,5$ мм для испытания картона), индекс сопротивления продавливания, отнесенный к 1 м^2 выражается в $\text{кПа} \cdot \text{м}^2/\text{г}$. Физически величина сопротивления продавливанию связана с прочностью на растяжение и удлинением. Сопротивление гофрокартона торцевому сжатию напрямую связано с сопротивлением сжатию отдельных его компонентов и может быть рассчитано по эмпирической формуле:

$$\text{ECT} = K_1 \cdot (F_1 \cdot L_1 + F_1 \cdot L_2 + K_2 \cdot F_f \cdot L_3), \quad (2)$$

где F_1 , F_f – величина сопротивления сжатию картона-лайнера и гофробумаги;

K_2 – фактор гофрирования, определяется формой гофров, сообщается поставщиком оборудования;

$L_{1,2,3}$ – эмпирические коэффициенты;

K_1 – константа, если $F = \text{RCT}$, то $K_1 = 1,28 \pm 0,08$; если $F = \text{CCT}$, то $K_1 = 0,97 \pm 0,04$; если $F = \text{SCT}$, то $K_1 = 0,71 \pm 0,03$.

Гофрокартон является популярным упаковочным материалом, в первую очередь, из-за своей легкости и одновременно невысокой стоимости при относительно высокой прочности. Гофрокартон – это удивительный конструкционный материал, сгибая несколько листов картона и бумаги и соединяя их вместе можно получить нечто настолько жесткое, что полученный из их комбинации гофрокороб в состоянии выдерживать нагрузки, превышающие в несколько сотен раз вес самой коробки. Например, стандартный гофрокороб потребительского размера, со средней высотой

гофра, может выдержать нагрузку в 350 раз больше, чем его собственная масса. Прочность гофрокартона кроется в конструкционной роли бумаги для гофрирования, которая разделяет два плоских слоя и со строительной точки зрения является как бы аналогом колонны, поддерживающей массивную часть здания. Из курса «Сопротивление материалов» известно, что прочность возрастает пропорционально диаметру или радиусу толщины. Поэтому для создания максимальной прочности необходимо поддерживать максимально возможную толщину. Толщина также является очень важной частью формулы Макки – главной теоретической зависимости, описывающей зависимость прочности гофрокороба от свойств гофрокартона, и используемой для расчета оптимальной композиции гофрокартона (масса 1 м² по слоям, тип гофры, марка картона-линера и гофробумаги).

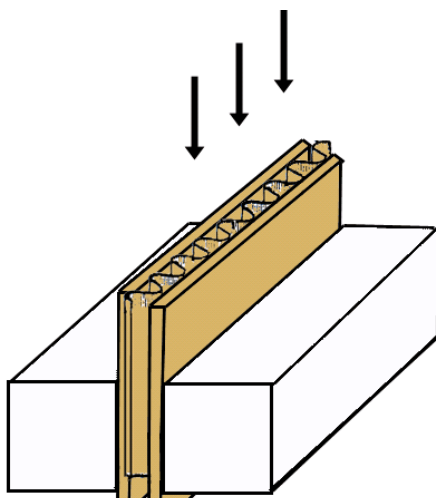


Рис. 11. Определение сопротивления гофрокартона торцевому сжатию ЕСТ (ЕСТ – edge crush test)

Прочность гофрокороба можно рассчитать по одной из модифицированных формул Макки:

$$\text{ВСТ} = 5,87 * \text{ЕСТ} * h^{0,508} * Z^{0,492} \text{ или } \text{ВСТ} = C * (\text{ЕСТ})^{0,75} * (h)^{0,25} * Z^{0,5}, \quad (3a)$$

где ВСТ – сопротивление короба на сжатие, Н;

ЕСТ – сопротивление гофрокартона на торцевое сжатие, кН/м;

h - толщина гофрокартона, м;

Z – периметр готовой заготовки, м;

C – эмпирический коэффициент.

Существует и краткая запись формулы Макки:

$$\text{ВСТ} = 5,87 * \text{ЕСТ} * (h * Z)^{1/2}. \quad (3б)$$

Если среднее значение показателя ВСТ отличается от рассчитанного более чем на 10 %, следовательно, снижение прочности вызвано, скорее всего, неэффективной работой гофровалов.

Первоначально в уравнение Макки (3а, б) вместо толщины использовался показатель сопротивления изгибу, но поскольку определение сопротивления изгибу не является распространенным испытанием, то его просто заменили производной, т. е. толщиной. Этой формулой вполне можно пользоваться при условии соблюдения постоянства толщины. Считается, что результаты, полученные при помощи формулы (3а, б), на 5 % завышают показатель ВСТ (Box Compression Test). При использовании формулы Макки необходимо учитывать, что определенную погрешность вносит колебание толщины гофрокартона, которая зависит от настройки гофроагрегата и нанесения биговочных линий. Малая толщина обычно вызвана плохим гофрообразованием или даже разрушением гофров и является причиной снижения качества гофротары. Формулой Макки удобно пользоваться при проектировании заказываемой тары, с последующей проверкой расчетов определением показателя ВСТ на прессе для испытания гофротары на сжатие. В свою очередь, величину ЕСТ гофрокартона можно получить расчётным путём по результатам испытаний на сжатие компонентов гофрированного картона - плоских слоёв гофрокартона и бумаги для гофрирования.

Выбор оптимальной марки сырья для производства гофрокартона

Вначале указывается тип гофры, масса 1 м² и композиция по волокну компонентов гофрокартона. Затем предоставляются данные о продукте, который будет находиться в упаковке, размеры коробки, предполагаемое количество коробов в штабеле, особенности конструкции (наличие отверстий и вкладышей). После чего рассчитывают нагрузку, которую должен выдержать короб, по следующей формуле (ГОСТ 9142-90 «Ящики из гофрированного картона. Общие технические условия»):

$$ВСТ_{ГОСТ} = 9,81 * K * m * [(H - h_n) / h_n], \quad (4)$$

где K – коэффициент запаса прочности, учитывающийся при транспортировании и хранении, от 1,6 до 1,85 в зависимости от продолжительности хранения;

m – предельная масса нагрузки в ящике, кг;

H – высота штабеля, принимают не менее 250 см;

h_n – наружная высота ящика, см.

В формулу (4) вносят поправочный коэффициент запаса, равный 1,15, если это обычная четырёхклапанная коробка, или 1,45, если в корпусе имеются вырубные отверстия. Если короб подвергается перемещению из помещения с низкой влажностью в помещение с высокой влажностью или если в него будут загружать горячий или холодный продукт, повышающий коэффициент должен быть не менее 1,5. Рассчитывают прочность короба при сжатии ($ВСТ_1$) по формуле Макки (3) с использованием средних значений для каждого параметра. Сравнивают полученную величину ($ВСТ_0$) с рассчитанной по $ВСТ_{ГОСТ}$ с учётом повышающего коэффициента. Если полученная величина $ВСТ_0$ равна или несколько выше $ВСТ_{ГОСТ}$, то композиция

и тип гофры выбраны верно. Если разница более 15 %, в расчёт ВСТ₁ подставляют данные для более лёгкой или более тяжелой композиции, соответственно.

2.4. Испытание коробочного картона. Способность картона к изгибу

Физико-механические свойства коробочного картона и заготовок из него определяются толщиной и жесткостью при изгибе, которая коррелирует со способностью картона сохранять свои свойства после нанесения биговочных линий, т.е. линий сгибов, по которым в дальнейшем производится фальцовка. Биговочная линия необходима для облегчения формирования из заготовки готовой картонной коробки на упаковочных машинах. Способность к изгибу означает легкость в складывании стенки картонной заготовки. Зависимость между жесткостью картона и способностью восстанавливаться после изгиба определяет эксплуатационные и потребительские свойства картонной коробки, а также её поведение на высокоскоростных автоматических упаковочных машинах. Незапланированные остановки при формировании и наполнении картонной коробки повышают себестоимость производства. Определение усилия формирования биговочной линии заключается в симулировании изгиба по линии биговки. При испытании картон сгибается по линии биговки на 90° на скорости, симулирующей упаковочную машину, и выдерживается заданное время. Жесткость по линии биговки (мН) определяется силой остаточной упругости после удержания образца бумаги под углом 90° заданное время.

Поскольку коробочный картон является многослойным материалом, то при его изготовлении учитывается сопротивление расслаиванию и энергия связи по Скотту по ГОСТ 7933-89.

2.5. Составление базы данных, связь с компьютером

Для облегчения сбора, хранения и отображения результатов лабораторных испытаний используют офисное или специальное программное обеспечение, поставляемые вместе с приборами. В простейшем случае информация передается микроконтроллером прибора в виде строк данных через последовательный порт (интерфейс RS232) в HyperTerminal Windows или в любую другую подобную программу. Передача данных таким способом не всегда возможна, поскольку фирма-производитель зачастую кодирует передаваемую информацию с последовательного порта с целью заставить покупателя пользоваться программами, специально разработанными фирмой-производителем приборов. Специализированные программы создают массив данных, включающий в себя входные и выходные показатели качества, номера партий, марки продукции и сырья, в том числе по датам.

3. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

3.1. Лабораторная работа №1 «Определение степени помола и скорости обезвоживания»

Степень помола является косвенной мерой степени фибрилляции и разработки удельной поверхности в процессе размола волокнистого полуфабриката и определяется на аппарате типа СР-2 («Аппарат Шоппер-Риглера»). Особенности метода описаны в ГОСТ 14363.4-89 «Целлюлоза. Метод подготовки проб к физико-механическим испытаниям». Определение степени помола основано на различной скорости отдачи воды волокнистой массой при обезвоживании на сетке, в зависимости от характера предварительной подготовки массы, воздействия размола, рафинирования, дефибрирования и т.д.

Величина степени помола (СП) зависят от следующих факторов:

1. Температура (повышение температуры снижает СП).
2. Солесодержание (повышение электропроводности снижает СП).
3. Содержащие солей жесткости (повышение жесткости воды снижает СП).
4. Концентрация массы (повышение концентрации массы повышает СП).
5. Износ аппаратуры и уменьшение живого сечения сетки.

Степень помола определяется на аппарате СР-2 (рис. 12) и выражается в единицах Шоппер-Риглера (°ШР).

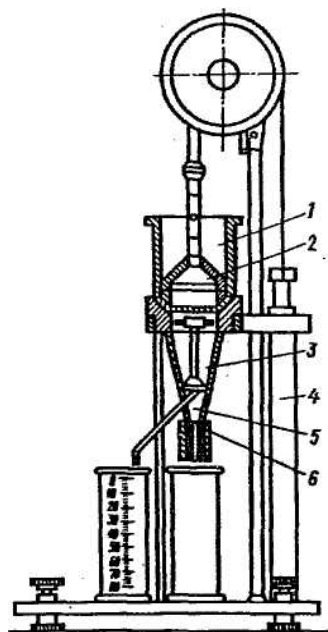


Рис. 12. Изображение аппарата Шоппер-Риглера (СР-2)

Верхняя, снимающаяся часть аппарата представляет собой цилиндр 1, дно которого изготовлено из одинарной металлической сетки №40. Сетчатое дно цилиндра закрывается клапаном 2, края которого обтянуты уплотняющим резиновым кольцом. Неподвижная нижняя часть аппарата выполнена в виде конуса 3, укрепленного на устойчивом штативе 4, и имеет

два отверстия: центральное узкое 5 (диаметр 3,1 мм) и боковое широкое 6 (диаметр 12,5 мм). Отверстия расположены таким образом, что фильтрат, стекающий через волокнистый слой из верхнего цилиндра, уходит через боковое отверстие, когда масса имеет низкую скорость водоотдачи, а через центральное отверстие – когда масса имеет высокую скорость водоотдачи. Перед испытанием дно цилиндра закрывается коническим клапаном, который опускается в цилиндр с помощью маховичка с ручкой. Подъем клапана во время испытания производится нажатием рычажка, освобождающего маховик. Для определения степени помола отбирают 2 г а.с.в. или 670 см³ при концентрации гидросуспензии 3 г/дм³. Пробу помещают в мерный цилиндр и разбавляют водой до 1000 см³. Так как скорость водоотдачи волокнистой массы в сильной степени зависит от вязкости воды, степень помола необходимо определять при температуре воды 20,0±0,5 °С. Хорошо перемешав массу, переливанием из одной кружки в другую, образец массы вносят в цилиндр и поднимают конус для начала обезвоживания и формирования волокнистого слоя на сетке. Жирная масса отдает воду медленно, и почти вся вода успевает уйти через центральную вертикальную трубу с узким отверстием. Садкая масса быстро отдает воду, она не успевает пройти через узкое отверстие центральной трубки и, наполнив коническую часть воронки, уходит через широкое боковое отверстие. Сетка цилиндра должна находиться в строго горизонтальном положении, поэтому перед началом работы аппарат выравнивают по уровню. Формующая сетка должна быть ровной, без прогибов, натянута и очищена от остатков волокон. Объем воды в боковом цилиндре замеряют с точностью до 10 см³ и рассчитывают степень помола по формуле

$$V = \frac{1000 - a}{10}, ^\circ \text{ШР}, \quad (5)$$

где a – объем воды, вытекший через боковое отверстие, см³.

Определение степени помола проводят в двух – трех параллельных пробах, за результат принимают среднее значение, округлённое до целых единиц Шоппер-Риглера (°ШР).

Скорость обезвоживания

Скорость обезвоживания определяют на аппарате Шоппер-Риглера (рис. 12) при закрытом центральном отверстии. Концентрация массы составляет 3 г а.с.в./дм³, температура должна быть одинаковой во всех испытаниях. Продолжительность испытания определяют в каждом конкретном случае индивидуально в зависимости от свойств массы. В результате предварительных испытаний определяют оптимальное время для скорости обезвоживания, для этого собирают фильтрат через боковое отверстие с интервалом 5-10 с. Затем составляют таблицу зависимости скорости обезвоживания от времени испытания (табл. 5). За оптимальное время испытания принимают время максимального прироста скорости обезвоживания между двумя точками (например, 20 с).

Определить скорость и построить кривую обезвоживания можно при помощи автоматических установок динамического фильтрования типа «джар-тестеров» или «стакана Бритта».

Таблица 5. Зависимость скорости обезвоживания от времени испытания

Время, с.	Объем, мл
10	410
20 (оптимальное время испытания)	490(+80)
30	510 (+30)
40	560 (+50)

3.2. Лабораторная работа №2 «Определение длины волокна и степени фибрилляции»

Прибор Иванова

Для экспресс-определения средней длины волокна используют прибор Иванова (рис. 13). Он состоит из воронкообразного сосуда 2 с нижним отверстием диаметром 40 мм, которое закрывается откидным клапаном 3. Между конической и цилиндрической частями воронки помещается проволочное горизонтальное кольцо, на которое ставится одна из рамок 5 - основной рабочий орган прибора. Рамки представляют собой решетки, выполненные из тонких металлических лезвий обтекаемой формы. С помощью крючка рамку можно взвешивать на рычажных весах 1 или на обычных электронных весах.

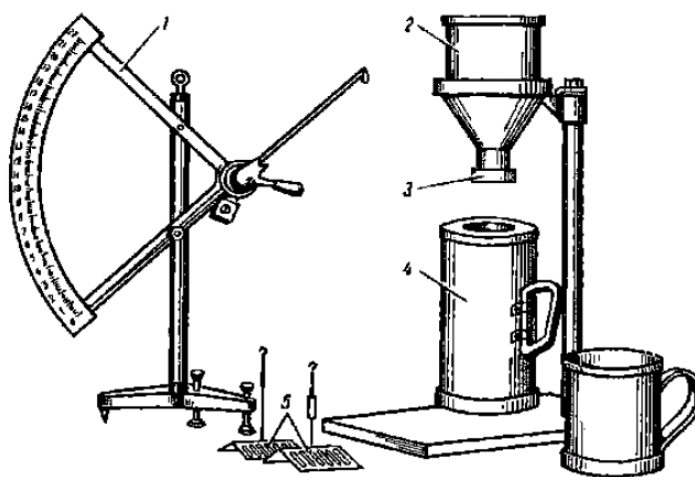


Рис. 13. Прибор Иванова для определения средней длины волокна

Рамки имеют размеры 100*100 мм. Выбор рамки зависит от характера испытуемой массы. Для длинноволокнистой массы применяют рамку с расстоянием между лезвиями 10 мм, для коротковолокнистой массы (макулатуры) – 5 мм. Для облегчения стока воды рамке придана форма двускатной крыши. Определение средней длины волокна производят следующим образом. Отбирают пробу массы, в которой должно быть точно 6 г а.с.в., разбавляют водой в кружке 4 до объема 2000 см³. Затем

перемешивают для устранения флоккул и вносят в сосуд при закрытом клапане. Затем в сосуд ставят на кольцо рамку и открывают клапан. Волокнистую суспензию спускают в кружку, а рамку вместе с волокнами, которые задержались на лезвиях, переносят на весы и взвешивают. Массу волокон, выражают в дециграммах (1 дг = 0,1 г), результат округляют до 1 дг. Весовой показатель характеризует длину волокна.

Для расчёта средневзвешенной длины волокна сульфатной целлюлозы, в диапазоне величин показателя Иванова (*И*) от 25 до 200, можно использовать следующее эмпирическое уравнение:

$$l_{cp} = 0,965 \cdot \ln(I) - 2,455. \quad (6)$$

Анализаторы длины волокна

При помощи анализатора длины волокна и в зависимости от массы анализируемой пробы определяют длину волокна, фракционный состав, грубость и прочие фундаментальные характеристики волокон, такие как излом, угол изгиба волокон и т.д. В некоторых анализаторах производитель заявляет о возможности определения состава по волокну. В качестве основных преимуществ таких анализаторов можно выделить быстродействие и высокую степень воспроизводимости результатов. А недостатки заключаются в сложности интерпретации некоторых морфологических характеристик, например, излом волокна, а также недостаточная степень воспроизводимости при идентификации видов волокон. Ниже приводится пример итогового отчета, выдаваемого анализатором после анализа волокнистого образца (рис. 14).

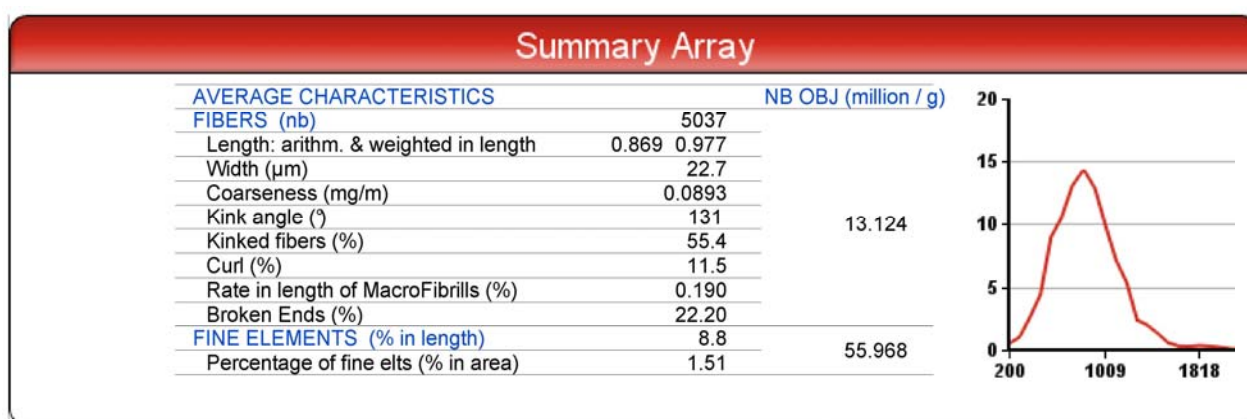


Рис. 14. Пример итогового отчета, выдаваемого анализатором длины волокна

Микроскопические исследования (по ГОСТ 7500-85)

Микроскопическое исследование целлюлозных волокон давно вошло в практику не только научно-исследовательских институтов, но и заводских лабораторий [10]. Эти исследования позволяют достаточно глубоко изучить вид волокнистых полуфабрикатов, особенности их структуры, изменения размеров волокон и т.д. При микроскопическом анализе волокнистых полуфабрикатов используют гистохимический метод, основанный на

получении специфических окрасок древесных и целлюлозных волокон. Для окраски применяют некоторые органические и неорганические красители – малахитовый зеленый, конго красный, сафранин, фуксин и др., а также специальные реактивы – хлор-цинк-йод, смесь нитрата кальция и йода и т.д. Одним из наиболее распространенных реактивов для качественной идентификации целлюлозных волокон является хлор-цинк-йод (реактив Херцберга). По его окраске можно различить волокна хлопковой и древесной целлюлозы разного выхода, а также волокна древесной массы. К недостаткам хлор-цинк-йода можно отнести изменение окраски в зависимости от рецепта его приготовления и неустойчивость раствора вследствие быстрого улетучивания йода из раствора. По окраске хлор-цинк-йодом волокна принимают следующие цвета: хлопковые – винно-красный; волокна технической древесной целлюлозы – сине-фиолетовый; волокна древесной массы – золотисто-зеленый. Реактив Херцберга готовят смешиванием хлористого цинка и йодного раствора. Приготовление раствора хлористого цинка: 50 г сухого $ZnCl_2$ растворяют в 25 см³ дистиллированной воды, при этом плотность раствора должна быть 1,82 г/см³ при 20 °С. Приготовление йодного раствора: смешивают 5,25 г KI и 0,25 г металлического I₂. К смеси по каплям при постоянном перемешивании медленно приливают 12,5 см³ дистиллированной воды до полного растворения кристалликов йода. Полученные растворы смешивают следующим образом: в сухом высоком цилиндре к 40 см³ $ZnCl_2$ при непрерывном перемешивании по каплям добавляют 14 см³ йодистого раствора. Цилиндр закрывают притертой пробкой (стеклянной). Раствор отстаивают в защищенном месте 24 ч. После отстаивания осадка чистый раствор декантируют в капельницу, обернутую темной бумагой, и добавляют небольшой кристаллик йода. Готовый раствор хранится не больше 6 месяцев.

Перед проведением микроскопических исследований готовят гидросуспензию волокон следующим образом: переносят небольшой кусочек целлюлозы в прозрачную пластиковую бутылку на 100 мл с крышкой и вносят около 5 см³ дистиллированной воды, затем многократно встряхивают до полного распуска волокон. Затем с помощью пипетки с диаметром не менее 5 мм переносят 0,5 см³ разбавленной суспензии на предметное стекло, избыток подсушивают фильтровальной бумагой, избегая скопления волокон и образования пузырьков. При анализе состава бумаги или макулатуры образец кипятят 5 мин либо в дистиллированной воде, либо в 1 %-м растворе NaOH/HCl, при необходимости окрашенные образцы обесцвечивают в подходящем растворе. После нанесения реактива препарат оставляют на 1 мин, затем излишек удаляют фильтровальной бумагой. Перед обработкой препарата реактивом волокна на стекле равномерно распределяют препарировальными иглами, затем препарат накрывают покровным стеклом. Предметное стекло с окрашенными волокнами помещают на подвижный столик микроскопа и рассматривают при увеличении 30-60× (объективы 2×, 4×) для определения групп и видов волокон и способа варки (объективы 8×, 10×), а при увеличении от 200× (объективы 20×, 40× и выше) - для

определения вида волокон по морфологическим признакам и характера фибрилляции. Микроскоп оснащен цифровой камерой высокого разрешения 3,2 Mpix UC MOS (система визуализации) и программным обеспечением TourView (рис. 15), которое позволяет просматривать, получать, сохранять и обрабатывать изображения волокон. Для определения длины волокна и состава необходимо подсчитать не менее 100-300 шт. волокон. Фотографии сохраняются на компьютере. В результате анализа замечают различные особенности препарата, а именно: наличие отдельных волокнистых фрагментов, трахеиды, волокна либриформы, сосудистые волокна, контур и поверхность волокна и т.д. По мере увеличения продолжительности размола волокна оказываются разорванными, обнаруживаются пучки микрофибрилл на поверхности. Для облечения статистических подсчетов пользуются табличным редактором MS Excel или аналогичным инструментом.

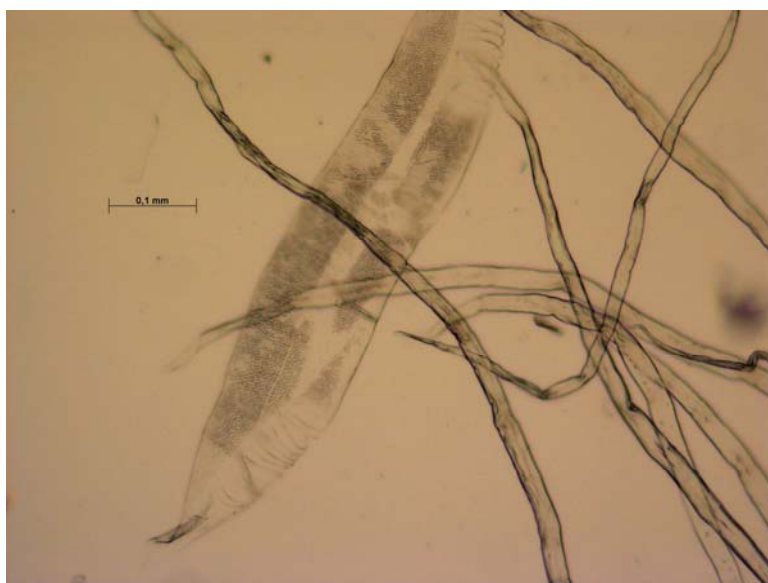


Рис. 15. Волокна лиственной целлюлозы при увеличении 300× крат

3.3. Лабораторная работа №3 «Размол волокнистого полуфабриката»

Известно, что с увеличением продолжительности размола и уровня нагрузки развиваются бумагообразующие свойства волокнистых полуфабрикатов. Уже при невысоких степенях помола физико-механические свойства сначала резко увеличиваются, хотя при продолжительном времени размола их рост начинает замедляться, затем стабилизироваться. При длительном размоле физико-механические показатели начинают снижаться (рис. 16). Показатель сопротивления раздиранию со временем размола падает быстрее. Характер кривых для разных полуфабрикатов определяется природой сырья, методом химического воздействия, режимом размола и т.д. Такой метод исследования помогает выбрать целлюлозу, а также установить, следует ли размалывать целлюлозу для улучшения ее свойств. Результаты лабораторного анализа оценки бумагообразующих свойств нельзя полностью переносить на реальные производственные условия, так как заводские

условия переработки (особенно условия размола) значительно отличаются, для корреляции используют переводные коэффициенты.

Не существует стандартизованного оборудования для размола волокнистого полуфабриката всех видов, более того, ни в одном из существующих аппаратов условия воздействия на волокна не соответствуют заводским условиям размола, хотя условия размола в лабораторном размалывающем аппарате Voith Refiner в наибольшей степени соответствуют таковым. К наиболее распространенному лабораторному размалывающему оборудованию относятся ролл «Вэли» (синонимы – ролл «Валлей», ролл Валлея, Valley, Hollander) и прочие роллы, но меньшего объема ванны, центробежные размалывающие аппараты – ЦРА (мельница Йокро) и мельница PFI. Методики размола описаны в соответствующих международных и национальных стандартах. Использование каждого метода зависит от целей и задач исследований. В соответствии с ГОСТ 14363.4-89 в России для размола первичного полуфабриката, с целью последующего определения его бумагообразующих свойств, следует использовать мельницу ЦРА (мельницу Йокро).

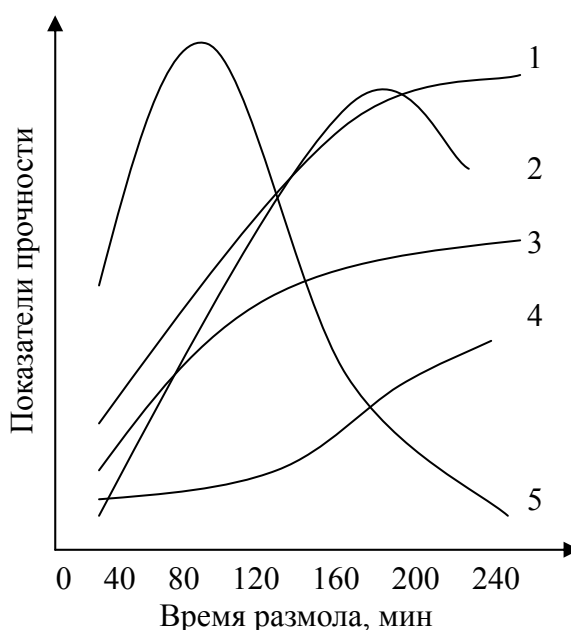


Рис. 16. Зависимость физико-механических свойств целлюлозы от времени размола: 1 - сопротивление продавливанию; 2 - число двойных перегибов; 3 - сопротивление разрыву; 4 - степень помола; 5 - сопротивление раздиранию

Размол в ЦРА (ГОСТ 14363.4-89)

Для проведения испытания отбирают образцы от 16 до 96 г а.с.в. (в зависимости от количества используемых размольных стаканов) и помещают в лабораторный стакан объемом 2000 см³, затем вносят водопроводную воду до отметки 1600 см³. Массу оставляют набухать не менее чем на 4 ч. Перед размолем загружают набухшую массу в стандартную лабораторную мешалку и дезинтегрируют по выбранной методике. Для каждого размалывающего стакана отбирают по 265 г (16 г а.с.в.) влажной массы. Интервал времени

размола изменяется в зависимости от типа массы, но при соблюдении одинаковой частоты $2,5 \text{ с}^{-1}$ (150 об/мин). Перед тем, как закрыть крышку мельницы, закручивают держатель для каждой крышки стакана, затем выставляют выбранный интервал времени, и только после этого включают блок автоматического управления, расположенный на частотном преобразователе. После завершения размола выгружают один размалывающий стакан и заполняют его водой для уравнивания центробежной силы, после чего устанавливают его обратно и продолжают размол массы в других стаканах. После выгрузки стаканов их промывают дистиллированной водой, остатки воды оставляют для предотвращения засыхания деревянных пробок на дне стакана.

Размол в лабораторном ролле «Вэли» (ИСО 5264/1)

Ролл «Вэли» состоит из нержавеющей эллипсоидной формы ванны на 25 дм^3 , в которой циркулирует масса, приводимая в движение вращающимся барабаном. Барабан представляет собой нержавеющий цилиндр, прикрепленный на подшипниках между боковой и срединной стенками ванны. По окружности барабана расположены 32 нержавеющие размалывающие планки. Опорная плита состоит из 7 планок в шевронном исполнении. Опорная плита прикреплена к резиновой диафрагме, которая позволяет ей свободно передвигаться вверх и вниз при приведении в движение рычага, к которому она прикреплена. Груз подвешивается к рычагу в зависимости от типа целлюлозы: 2 кг при размоле целлюлозы из лиственных пород и 5,5 кг - из хвойных. В ролл вносят пробу 360 г а.с.в. и заполняют 23 дм^3 водопроводной воды, тем самым, концентрация массы составит 1,57 %. В ролл можно загружать и любую другую массу волокна при соблюдении одинаковой концентрации при размоле. Сначала массу распускают без нагрузки на рычаг. Размол массы начинают при перемещении рычага в положение “закрыто“. Скорость вращения барабана составляет 500 об/мин.

Размол в лабораторном размалывающем комплексе ЛКР-1

В состав лабораторного размалывающего комплекса входит гидроразбиватель (рис. 17). В крышке гидроразбивателя имеется отверстие для загрузки распускаемых полуфабрикатов и наблюдения за процессом роспуска. В центре бака на приводном валу смонтирован ротор, состоящий из конуса и диска с лопастями. Роспуск происходит за счет ударного воздействия лопастей и гидродинамического воздействия при вращательном движении суспензии внутри бака. Перед началом работы навеску полуфабриката оставляют на набухание не менее чем на 1 ч, затем в бак гидроразбивателя вносят $2/3$ объема жидкости из посуды для набухания, закрывают крышку и включают привод гидроразбивателя. Через отверстие в крышке производят загрузку полуфабриката в виде кусочков (лепестков). Продолжительность роспуска 10 мин. После окончания роспуска массу выгружают в приемную тару, не допуская потерь во избежание изменения концентрации. Размол проводят в лабораторной дисковой мельнице НДМ-3, которая входит в состав ЛКР-1. Мельница состоит из цилиндрического

корпуса, который закрывается крышкой, фиксируемой при помощи болтов. В донной части бака установлено статорное кольцо гарнитуры, а на приводном валу смонтированы крыльчатка и роторное кольцо гарнитуры. Межножевой зазор изменяется путем осевого перемещения бака при помощи штурвала. Волокнистая масса размалывается в зазоре между ножами гарнитуры и центробежной силой отбрасывается к стенкам бака, на которых установлены планки, замедляющие вращение массы и способствующие возникновению пристенного восходящего потока. В центре бака создается нисходящий поток массы, которая с помощью лопаток крыльчатки попадает в межножевое пространство гарнитуры. Волокнистую массу загружают в мельницу, закрывают крышку, включают привод мельницы и производят перемешивание в течение 1,5-2 мин без прижима дисков гарнитуры. Затем вращением штурвала начинают уменьшать расстояние между ножами гарнитуры. Заданная степень помола достигается регулированием величины нагрузки и/или временем размола. По окончании размола сначала разводят диски гарнитуры, после чего выключают электродвигатель мельницы и выгружают размолотую массу в приемный бак объемом 5-10 дм³.



Рис. 17. Внешний вид ЛКР-1

3.4. Лабораторная работа №4 «Составление композиции бумаги»

Перед изготовлением лабораторных образцов (отливок) бумаги и картона выполняют расчеты по количеству волокнистого полуфабриката, степени его помола и дозировки химических вспомогательных веществ, необходимых для получения образца. Затем составляют техническое задание на отдельном листе бумаги, чтобы не отвлекаться при выполнении технологических этапов.

При выполнении лабораторной работы по приготовлению бумаги или картона задают требуемый вид продукции, его марку и массу 1 м², например, требуется получить тест-лайнер 150 г/м² из 100 % макулатуры марки МС-5Б. Для придания необходимых свойств материалу выбирают химические вспомогательные вещества, а исходя из их концентрации, определяют

дозировки. Для повышения прочности используют катионный крахмал (Д=7 кг/т, С=10 г/л), для придания гидрофобности – клей-эмульсию АКД (Д=4 кг/т, С=1 г/л), для повышения удержания и обезвоживания бумажной массы – катионный полиакриламид (Д=0,15 кг/т, С=0,1 г/л), для крашения в массу – основной коричневый краситель (Д=4 кг/т, С=1 г/л). Затем задают необходимое количество слоев отливки – один, два, три и т.д. Время взаимодействия на пропеллерной мешалке после добавления каждого реагента составляет 3-5 мин. Выбранная технология, предпочтение химических реагентов, принятая дозировка и порядок введения должны соответствовать показателям качества заданной продукции. Исходя из влажности полуфабриката и готового материала, определяют предварительный объем бумажной массы и химических вспомогательных веществ. Если масса готовой отливки не соответствует рассчитанной, то вводят поправку и определяют окончательный объем массы, который зависит от промоя волокна. При концентрации массы около 0,3 % массу можно отбирать при помощи градуированного цилиндра, поскольку плотность в этом случае составит около 1 г/см³ (ГОСТ 50068-92). Степень промоя волокна при отливе зависит от степени помола полуфабрикатов, длины волокна, удержания компонентов и прочих факторов, поэтому её трудно определить заранее.

Для оценки свойств конечного материала - гофрокартона полученные образцы картона для плоского слоя гофрокартона и бумагу для гофрирования склеивают гофроклеем на плитке под прессом при температуре 110±2 °С с расходом гофроклея 5 г/м².

Задание: приготовить трехслойный картон тест-лайнер для плоских слоев гофрированного картона марки К-1 со следующими показателями качества (из ГОСТ 53207-2008) и исходными данными:

1. Состав по волокну	100 %-я макулатура марки МС-5Б		
2. Влажность макулатуры	10 %		
3. Степень помола	38-40 °ШР		
4. Концентрация массы, а.с.в.	3 г/л		
5. Объем массы	10 л		
6. Масса 1 м ²	150±9 г		
7. Площадь отливки	0,0314 м ²		
8. Объем массы для получения одного элементарного слоя 50 г/м ² , масса отливки	490 мл, 1,57±0,1 г		
9. Промой волокна	10 % (без химии), 3 % (с химией)		
10. Химические вспомогательные вещества (50 г/м ²):	С, г/л	Д, кг/т	Расход, мл
– клей-эмульсия АКД;	1	4,8	7,5
– катионный крахмал;	1	9,5	15
– катионный полиакриламид;	0,1	0,16	2,5
– краситель основной (только в поверхностный слой)	1	3,2	5,0
11. Поверхностная впитываемость верхней стороны при одностороннем смачивании (Кобб ₆₀)	не более 30 г/м ²		
12. Абсолютное сопротивление продавливанию	не менее 520 кПа		
13. Разрушающее усилие при сжатии кольца	не менее 180 Н		
14. Толщина	0,27 ^{+0,02} _{-0,04} мм		

3.5. Лабораторная работа №5 «Приготовление рабочих растворов химических вспомогательных веществ. Анализ крахмала»

1) Приготовление крахмального раствора. Задание: приготовить и сравнить картофельный и кукурузный крахмал.

Для приготовления рабочего раствора переносят 0,05 г крахмальных гранул в пробирку и вносят в нее 5-7 см³ дистиллированной воды таким образом, чтобы уровень жидкости в пробирке был несколько ниже уровня жидкости в водяной бане. Клейстер варится на водяной бане в пробирке в течение 40 мин при 92...95 °С (по термометру). Готовность определяют по внешнему виду раствора, который должен быть слегка матовым. Сваренный клейстер количественно, путем многократного переливания, переносят в градуированную колбу на 100 см³. Концентрация крахмала составит 10 г/дм³. Полученный раствор в колбе остужают под струей водопроводной воды, после чего объем в колбе доводят до метки водой. Раствор желательно использовать свежеприготовленным (время жизни клейстера 8-10 ч). Записать наблюдения в тетрадь: наличие пены, цвет, однородность структуры. Перечисленные свойства зависят от химического состава (табл. 6), наличие пены связано с присутствием поверхностно-активных веществ, а изменение вязкости - от физико-химических свойств (табл. 7). Известно (рис. 18), что при повышении температуры вязкость повышается быстрее всего у картофельного крахмала с наличием на графике зависимости ярко выраженного максимума.

Табл. 6. Средний химический состав некоторых крахмальных гранул

Вид крахмала	Содержание амилозы, %	Влажность, %	Липиды, %	Протеины, %	Фосфор, %
Картофельный	23	19	0,1	0,1	0,08
Кукурузный	22-28	13	0,8	0,35	0,02
Тапиоковый	17-22	13	0,2	0,2	0,02
Пшеничный	17-27	13	0,9	0,4	0,06
Из восковой кукурузы	< 1	13	0,2	0,25	0,01

Табл. 7. Некоторые физико-химические свойства крахмальных гранул

Вид крахмала	Происхождение	Диаметр, мкм	Температура клейстеризации, °С	Форма гранул
Картофельный	клубень	5-100	59-68	овальная, сферическая
Кукурузный	зерно	2-30	62-72	круглая, полигональная
Тапиоковый	корень	5-25	62-73	овальная, усеченная
Пшеничный	зерно	1-45	58-64	круглая, двояковыпуклая
Рисовый	зерно	3-8	68-78	-
Из восковой кукурузы	зерно	5-26	63-72	круглая, полигональная

Идентификация крахмальных гранул (рис. 19), полученных из различных видов сырья, выполняют при помощи микроскопа «Биолам» при искусственном освещении и увеличении 120× крат (окуляр-микрометр 15× и объектив кратности минимум 8×). Для измерения размеров выбирают наибольшую гранулу из числа видимых в поле зрения и производят подсчет при помощи окуляра-микрометра, перемещением измерительного барабана от одной границы гранулы до другой. При этом одно деление окуляра-микрометра соответствует 100 мкм. Затем сравнивают полученные значения с данными из табл. 6.

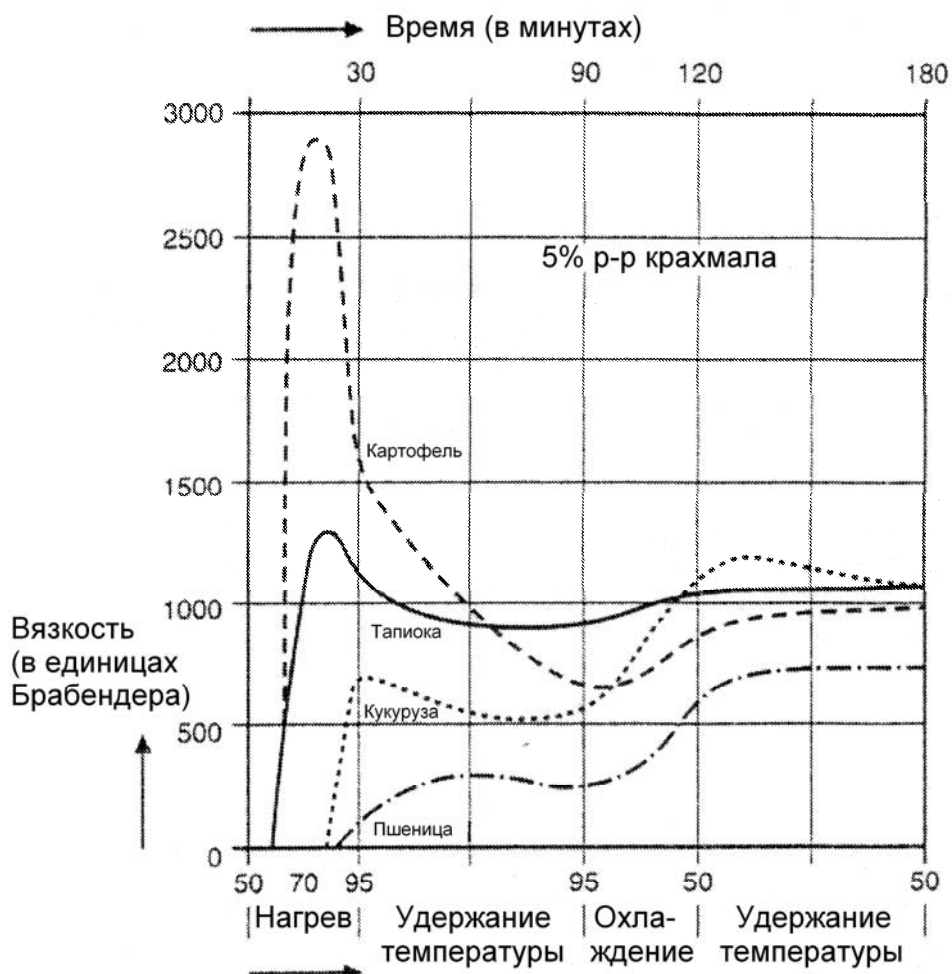


Рис. 18. Зависимость вязкости крахмального раствора от времени и температуры варки

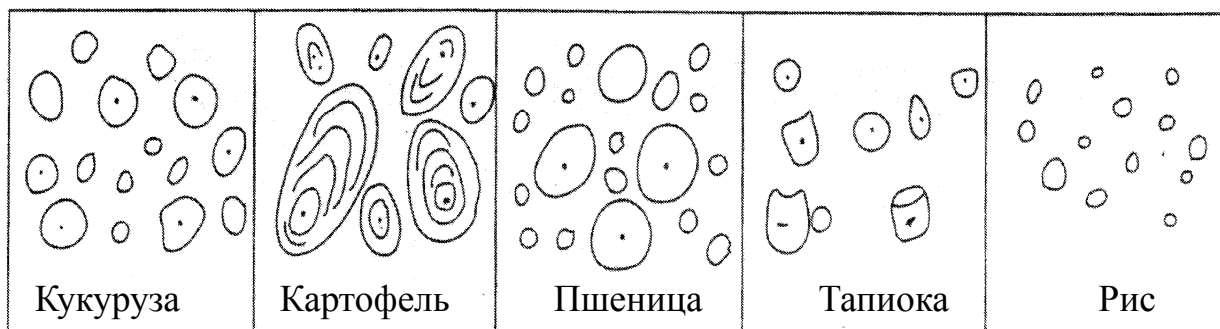


Рис. 19. Форма крахмальных гранул в зависимости от происхождения вида

2) Приготовление рабочего раствора клея АКД

Рабочую пробу нейтрального клея для проклейки АКД готовят разбавлением в колбе на 1 дм³ 1 г товарного продукта. Товарный продукт взвешивают на весах в стаканчике, содержимое стаканчика полностью переносится в колбу при многократном переливании. Разбавление производится дистиллированной водой. Концентрация рабочей пробы составит 1 г/дм³.

3) Приготовление рабочего раствора полиакриламида

Взвешивают на аналитических весах 0,1 г реагента в стаканчике на 100 см³, цена деления весов должна быть не более 0,001 г ($\epsilon=0,001$ г). Промывают содержимое стаканчика в стакан на 500 см³ и устанавливают стакан на магнитную мешалку. Степень растворения проверяют визуально не менее, чем через 30 мин. Затем все содержимое стакана переносят в колбу на 1 дм³ путем многократного переливания. Концентрация рабочей пробы составит 0,1 г/дм³.

4) Приготовление рабочего раствора сульфата алюминия

Взвешивают 10 г 18-водного сульфата алюминия и растворяют в теплой воде, затем переносят в колбу на 1 дм³. При необходимости содержание Al_2O_3 определяется любым из известных способов, с предпочтением трилонометрического способа.

Вязкость растворов промышленных полиэлектролитов определяют при помощи воронки ВЗ-2 или ВЗ-4 или вискозиметров, например, ВПЖ-4.

3.6. Лабораторная работа №6 «Выполнение выкрасок массы»

Для приготовления рабочего раствора красителя с концентрацией 1 г/дм³ (по товарному продукту) в градуированную колбу на 250 см³ переносят 0,25 г красителя. Краситель взвешивают в стакане и переносят многократным промыванием дистиллированной водой в колбу с последующим разбавлением до метки. При расходе 6 кг/т основного красителя для макулатуры при изготовлении отливки 3,14 г (100 г/м²) потребуется внести 20 см³. Дозировка варьируется в зависимости от вида продукции, интенсивности окрашивания и концентрации приготовленного раствора, поскольку при взвешивании запрещается переносить избыток красителя обратно из стакана. Краситель добавляют в массу при перемешивании. Перемешивание массы осуществляют в течение 3-5 мин. На макулатуре марки МС-5Б основной краситель фиксируется без добавления закрепителя. Для получения количественной информации о степени окрашивания для всех полученных образцов определяют координаты цветности CIE L*a*b при помощи спектрофотометра, где показатель «a» показывает соотношение оттенков красного и зеленого, «b» – желтого и синего, а величина «L» – показывает светлоту. Для определения количественного удержания красителя получают фильтрат на воронке Бюхнера и определяют оптическую плотность фильтрата колориметрированием.

3.7. Лабораторная работа №7 «Определение катионной потребности индикаторным обратным титрованием»

Метод определения катионной потребности является частным случаем определения **ионной потребности (ИП)** и основан на окрашивании основным индикатором ортотолуидиновым голубым (0,1 % ОТГ) осветленного фильтрата бумажной массы в зависимости от избыточного содержания в нем катионных или анионных реагентов. Если при титровании в избытке добавляется анионный реагент, то определяемая величина называется **анионной потребностью (АП)**. Такое явление встречается намного реже, чем **катионная потребность (КП)**, - случай, когда в бумажной массе присутствует избыточное количество анионных реагентов, а при титровании в избытке добавляется катионный реагент. Величина катионной (ионной) потребности выражается в единицах концентрации и в физическом смысле является количеством вещества.

Распускают в течение 30 мин в дезинтеграторе 30 г макулатуры марки МС-8В или марки МС-5Б и разводят в емкости на 5 дм³. Отбирают из емкости 2-4 пробы бумажной массы по 25-40 см³ и количественно переносят в стаканы центрифуги. Центрифугирование осуществляют в течение 15-30 мин при 4000 об/мин. В лабораторный стеклянный стакан (для каждой последующей пробы используют одинаковый чистый стакан) вместимостью 100 см³ переносят 10 см³ полученного осветленного фильтрата. Объем пробы можно менять в большую или меньшую сторону в зависимости от величины КП. При высокой величине КП пробу предварительно разбавляют. В стакан с исследуемой пробой помещают якорь, затем включают двигатель магнитной мешалки и полученную смесь тщательно перемешивают, затем вносят 1 см³ раствора «проверенного» катионного ПЭ и ждут около 3-5 мин для полного взаимодействия с пробой. Индикатор добавляют из расчета 3 капли индикатора на 15 см³ жидкости, после чего начинают титровать по 0,2 см³ анионным стандарт-титром – поливинилсульфонатом натрия – ПВСН (0,001 н.) до изменения окраски на сиреневую или при наблюдении любых других цветовых изменений (светлее-темнее). Для уточнения точки эквивалентности проводят повторное титрование с шагом 0,05-0,1 см³. Параллельно проводят титрование холостой пробы катионного ПЭ в том же объеме пробы, заменяя фильтрат дистиллированной водой. Для проведения титрования удобно пользоваться медицинским дозатором. Величину катионной потребности определяют по следующей формуле:

$$КП = (X-P) \cdot N \cdot 1000 / V, \text{ мкмоль/л,} \quad (7)$$

где X – расход ПВСН на титрование холостой пробы, см³;
P – расход ПВСН на титрование фильтрата массы, см³;
N – концентрация ПВСН, 1 ммоль/л;
V - объем пробы, взятой на анализ, 10 см³.

Недостатком метода является сложность в идентификации перехода окраски раствора при определении точки эквивалентности при производстве окрашенных видов бумаги и при работе с очень мутным фильтратом. В этом случае используют приборы типа SCD (Streaming Current Detector или «Мютек»), где точка эквивалентности определяется по достижению изоэлектрической точки.

3.8. Лабораторная работа №8 «Определение остаточного содержания катионного крахмала»

Определение остаточного содержания катионного крахмала основано на образовании окрашенного в голубой цвет клатрата (комплекса) макромолекул амилозы с йодом, для лучшего растворения йода к нему добавляют KI для образования KI_3 , который легко растворяется. Затем строится градуировочный график зависимости оптической плотности от концентрации крахмала (стандарт TAPPI T419).

Реактив KI_3 приготавливают разбавлением 0,75 г KI в 1 см³ воды с последующим добавлением 0,5 г I₂. Пропорции соблюдаются очень строго! Приготовленный реактив количественно переносят в колбу на 100 см³, доводя до метки дистиллированной водой. Для построения градуировочного графика последовательно переносят необходимое количество (по табл. 8) крахмального раствора ($C=0,2$ г/дм³) в градуированную колбу на 100 см³, затем добавляют 50 см³ 0,02 М NaCl (1,1688 г/дм³) для приготовления рабочего раствора с «фоновой проводимостью» ($\chi = 1200$ мСм/см). После чего при перемешивании вносят 5 см³ KI_3 . Колориметрирование проводят при длине волны 580 нм либо проводят сравнение с заранее приготовленной шкалой из стеклянных колб на 100 см³, холостая проба – дистиллированная вода, полученные данные заносят в табл. 8 и строят в MS Excel градуировочный график (рис. 20).

Таблица 8. Зависимость оптической плотности от концентрации крахмала

Концентрация крахмала, г/дм ³	Объем крахмального раствора, $C=0,2$ г/см ³	Общий объем, см ³	A, оптическая плотность
0,01	5	100	0,0535
0,02	10	100	0,1099
0,04	15	100	0,1738
0,06	20	100	0,2775
0,08	25	100	0,3567

В ходе эксперимента в бумажную массу при перемешивании вводят необходимое количество крахмала, после взаимодействия (3-5 мин) отбирают фильтрат и проводят аналогичное колориметрирование с последующим построением зависимости удержания крахмала от его дозировки. При использовании макулатуры марки МС-5Б в нулевой точке всегда будет содержаться остаточный крахмал из гофроклея. Перед добавлением KI_3 бумажную массу центрифугируют для осветления.

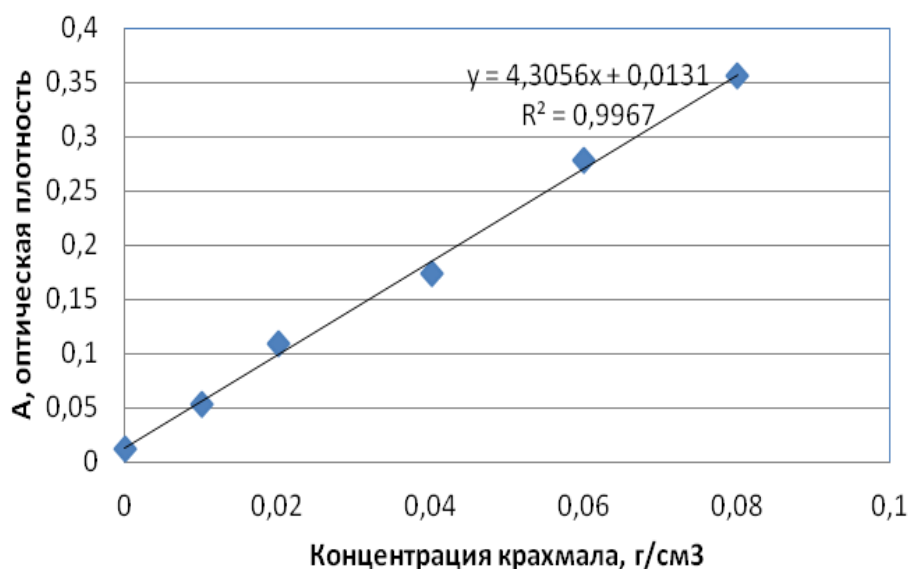


Рис. 20. Пример построения градуировочного графика при определении остаточного содержания катионного крахмала

3.9. Лабораторная работа №9 «Получение облагороженной макулатуры»

Взвешивают 80 г а.с.в. макулатуры марки МС-7Б (книжно-журнальная макулатура), предварительно её разрывают и оставляют на 1-4 ч для набухания, затем массу загружают в гидроразбиватель, где происходит роспуск в течение 10-20 мин в объеме 1500 см³ при концентрации 3-4 % и при температуре около 40 °С. Затем массу выгружают и переносят во флотатор объемом 2000 см³ (рис. 21). При флотации постоянно подается сжатый воздух из компрессора в специальную емкость с массой во время перемешивания, пена выходит в соседнюю емкость навстречу вращающемуся якорю. При флотации макулатурная масса испытывает совместное температурное, механическое и химическое воздействие. Полученную облагороженную массу используют для изготовления и испытания лабораторных образцов, затем строят зависимости зольности, белизны и физико-механических показателей от продолжительности удаления печатной краски, температуры и прочих факторов.

Для флотации используются следующие химические реагенты (в процентном отношении к массе а.с.в. макулатуры): 1 % NaOH (200 см³ 0,1 н.), 1 % H₂O₂ (2,5 г 32 %-й), 1,5 % Na₂SiO₃ (3,68 г Na₂SiO₃*9H₂O). Массу нагревают на плитке или вносят уже теплую воду, перед флотацией вносят 1-2 % масс. (0,01 г) стеарата натрия (можно использовать обычное твердое туалетное мыло или специальные ПАВы). Продолжительность удаления печатной краски составляет 10, 20, 40, 60 мин при температуре около 40-60 °С. После флотации облагороженную массу собирают в емкости и доводят уровень до 10000 см³ (C=1 %). Пену отделяют на делительной воронке.

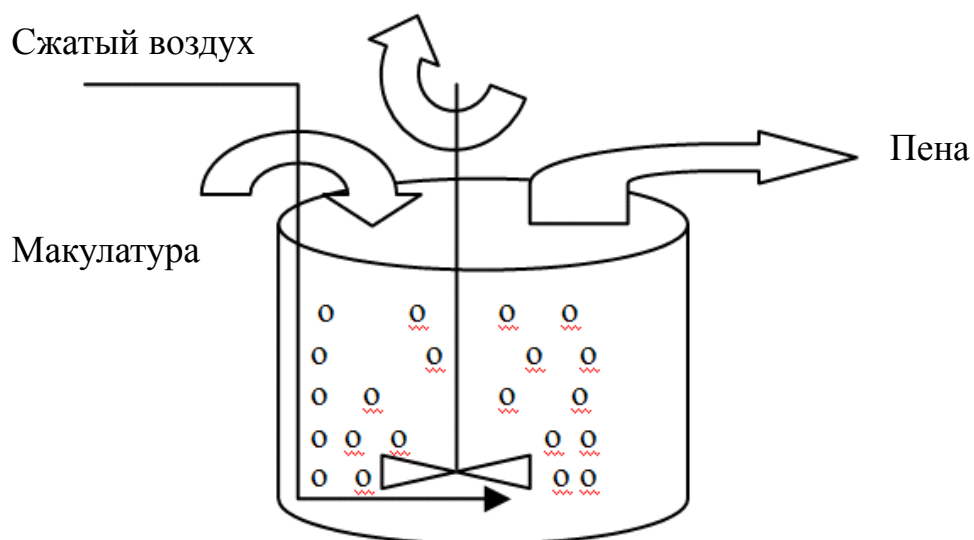


Рис. 21. Лабораторная флотационная установка для удаления краски

3.10. Лабораторная работа № 10 «Фракционирование»

Фракционирование растительных волокон выполняют в классификаторе типа Бауэр-Мак-Нетт. Конструкция классификатора приводится в SCAN-M 6:69 (рис. 22). Перед фракционированием массу дезинтегрируют, затем отбирают 32 г а.с.в. и переносят в выравниватель концентрации с разбавлением водопроводной водой до 6 дм³. Рабочая концентрация в выравнивателе составляет: $32 \text{ г} / 6000 \text{ см}^3 \cdot 100 = 0,53 \text{ \%}$. Для одной загрузки классификатора отбирают 1890 см³ массы. Все операции проводят при помощи мерного цилиндра. Перед фракционированием в фильтровальную чашу сливной трубы каждой ячейки помещают высушенную фильтровальную бумагу. В каждую ячейку помещают сито определенного номера в зависимости от типа волокнистой массы. Размеры отверстий сит уменьшаются с каждой последующей ячейкой. Таким образом, в первую ячейку устанавливают сито 30 меш ($d=0,595 \pm 0,030 \text{ мм}$), во вторую ячейку – сетку 50 меш ($d=0,297 \pm 0,015 \text{ мм}$), в третью ячейку – сетку 100 меш ($d=0,149 \pm 0,009 \text{ мм}$), в четвертую ячейку – сетку можно менять, исходя из ситуации. Расход воды составляет 10 дм³/мин. Для каждой точки размола из выравнивателя концентрации отбирают и фракционируют пробу по три раза. После фракционирования полученную массу подсушивают на фильтровальной бумаге до сухости около 20 %, а затем переносят в отдельные пластиковые контейнеры с крышками с маркировкой, включающей тип массы (буквы), время размола (цифры в минутах) и номер сетки (например, 100). Фракционированную массу используют по мере необходимости. Контейнеры хранят в холодильнике в течение нескольких месяцев.

Примечание: из-за забивания металлических сеток волокнистой мелочью, после каждой размольной точки рекомендуется промывать сетки водой под напором, а затем продувать сжатым воздухом.

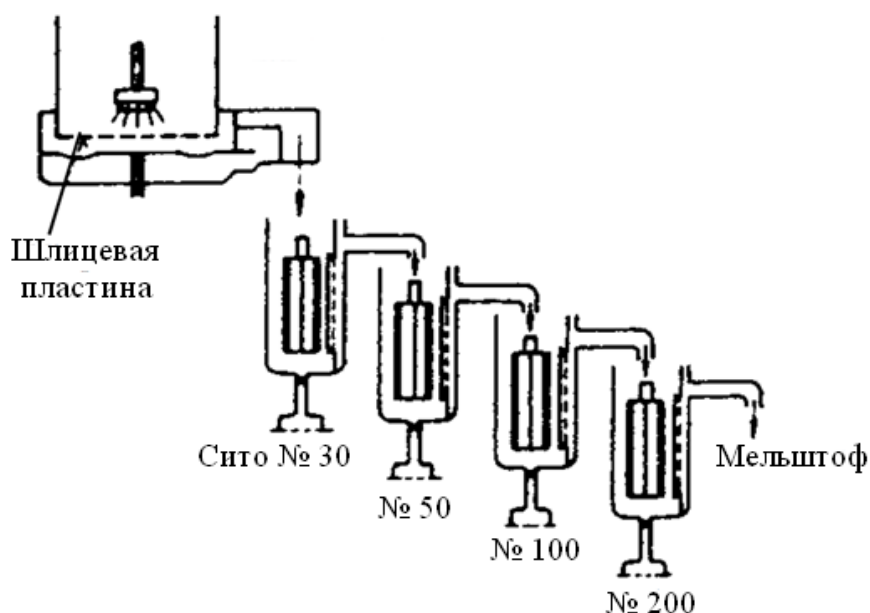


Рис. 22. Изображение классификатора волокна Бауэр-Мак-Нетт

3.11. Лабораторная работа № 11 «Определение показателя WRV»

Водоудерживающую способность (показатель WRV) определяют центрифугированием массы при ускорении 3000g (ИСО 23714:2007), хотя допускается центрифугировать при 900g до $WRV \leq 180\%$. Неразмолотую массу помещают в стакан с водопроводной водой на 1-4 ч, затем пробу дезинтегрируют при 3000 об/мин в объеме не более 2000 см³, при концентрации около 1,5 %. Размолотую массу переносят в воронку Бюхнера и отфильтровывают до образования влажного волокнистого слоя под вакуумом. Параллельно взвешивают высушенные пронумерованные сетчатые цилиндры (2-4 шт.) и переносят в них массу (рис. 23), слегка уплотняя её тыльной стороной карандаша до избавления от остатков свободной воды (масса пробы не должна превышать $\frac{3}{4}$ объема сетчатой пробирки). Прикладывают одинаковое усилие прижима для получения образца массы около 0,48 г а.с.в. Обычно после уплотнения волокон сухость массы составляет от 20 до 30 %, таким образом, при предварительном взвешивании до центрифугирования пробирка-адаптер с массой должна весить 1,35-1,45 г. Неразмолотая масса уплотняется сильнее на 20 %. Для одного испытания отбирают 2-4 пробы (среднеарифметическое принимают за результат). Сначала рассчитывают требуемую скорость центрифугирования по следующей формуле:

$$N = 299,05 \cdot (3000/r)^{1/2}, \text{ об/мин,} \quad (8)$$

где r – радиус от центральной оси до центра тяжести центрифугата, см;
3000 – коэффициент повышения ускорения свободного падения.

Для неразмолотой массы испытание проводят в течение 10 мин, для размолотой – в течение 15 мин. После центрифугирования вынимают сетчатые пробирки из центрифуги, взвешивают их и переносят в сушильный шкаф до получения постоянной массы.

Относительную водоудерживающую способность находят по следующей формуле:

$$WRV = (m_1 - m_2) * 100 / (m_2), \% \quad (9)$$

где m_1 - масса влажного образца, г;
 m_2 – масса сухого образца (а.с.в.), г.



Рис. 23. Приспособление для определения показателя WRV

3.12. Лабораторная работа №12 «Изготовление лабораторных образцов»

Для изготовления отливки подготавливают 30 г а.с.в. волокнистого полуфабриката. Роспуск выполняют при помощи дезинтегратора или гидроразбивателя. Размолотый волокнистый полуфабрикат разводят водой до 10 дм³, затем отбирают в пластиковый стакан рассчитанный объем массы на основе данных о массе 1 м², площади отливки, степени промоя, удержания наполнителя, влажности и т.д. Отобранная проба в стакане устанавливается под якорь пропеллерной мешалки и перемешивается при 500 об/мин, не допуская разбрызгивания массы. Затем при перемешивании в пробу вносят рассчитанное количество химических вспомогательных веществ в зависимости от вида и марки вырабатываемой продукции. При внесении больших объемов крахмала и подобных реагентов достаточно использовать мерный цилиндр.

При изготовлении отливки 100 г/м² масса абсолютно сухой отливки равняется: $m = \pi r^2 * 100 * 0,93 = 2,9 \text{ г} (\pm 5 \%)$. В процессе отлива часть волокна теряется – проходит сквозь сетку вместе с водой. Принимают степень промоя волокна 10 %, затем рассчитывают навеску волокна, необходимую для получения отливки заданной массы: $2,9 * 1,1 = 3,19 \text{ г}$. Если в 10 дм³ содержится 30 г волокна ($C_v = 4 \text{ г/л}$), то для изготовления отливки следует отобрать: $1000 * 3,19 / 4 = 797,5 \text{ см}^3$. При отборе массы следует округлять до 10 см³, таким образом, отбирают 800 см³ волокнистой массы в стакан, устанавливают на мешалку при 500 об/мин и вносят расчетное количество химических вспомогательных веществ. Затем переносят массу в загрузочную камеру листоотливного аппарата или на воронку Бюхнера. Если масса отливки не соответствует заданной, вводится поправка на объем отбираемой

массы. При необходимости пользуются «выравнивателем концентрации массы», который представляет собой бак с перемешивающим устройством, работающим со скоростью 150 об/мин. Вся конструкция прикрепляется на штативе под углом 10° . Объем бака около 10-12 дм³. Такое устройство служит для постоянного поддержания массы во взвешенном состоянии, препятствуя флокуляции волокон.

Лабораторные образцы из предварительно подготовленной бумажной массы изготавливают на листоотливном аппарате, например, ЛОА-4 (рис. 24) или воронке Бюхнера. Листоотливной аппарат состоит из следующих основных частей: станины 1, предназначенной для размещения основных узлов аппарата; формующей камеры 2 для получения отливки при вакууме 26,6 кПа; двух сушильных камер 3 и 4 для сушки влажных отливок при температуре $93 \pm 4^\circ \text{C}$ и вакууме 95 кПа; вакуум-насоса 5, расположенного внизу аппарата; парообразователя 6 для получения насыщенного водяного пара для нагрева сушильных камер; панели управления 7. Справа находится общее пусковое устройство аппарата 9 (трехполюсный автоматический выключатель на 16 А); на панели управления тумблер включения двигателя вакуум-насоса 10; тумблер включения электронагревателя парообразователя 11; вакуумметр 8; отжимной валик 12; два реле времени для установки продолжительности сушки в сушилках 13 и 14. На лицевой панели управления расположены: шарнирный клапан для опорожнения отсасывающей камеры 15; компрессор для подачи сжатого воздуха 16; кран для подачи воды в формующую камеру аппарата 17; кран для подключения вакуума к отсасывающей камере 18; краны для подключения вакуума к сушилкам 19 и 20. Краны 17, 18, 19, 20 имеют два положения: "О" — открыто; "З" — закрыто. Перед началом отлива необходимо подготовить аппарат к работе. При этом краны 17, 18, 19, 20 должны быть в положении "З", а электроприборы отключены. При подготовке аппарата ЛОА-4 к работе необходимо:

1. Подключить аппарат к водопроводной сети, открыв общий вентиль. Проверить наличие фильтра грубой очистки 22. Обязательно проверить, поступает ли вода на вакуум-насос!
2. Проверить наличие воды в парообразователе. При необходимости в парообразователь добавляется дистиллированная вода через воронку, помещаемую в отверстие 21. Для вытеснения воздуха при добавлении воды следует открыть вентиль, расположенный на парообразователе. Убедившись, что из вентилia идет вода, вентиль выключают и продолжают наполнять камеру водой, пока не загорится соответствующий датчик на панели управления. Для улучшения проводимости воды, что влияет на срабатывание датчика уровня, в дистиллированную воду можно добавить несколько щепоток поваренной соли.
3. Включить аппарат с помощью пускового устройства 9.
4. Включить электронагреватель парообразователя кнопкой 11. Время разогрева сушильных камер составляет до 30-40 мин.
5. При изготовлении отливок включить вакуум-насос кнопкой 10 и

проверить показания вакуумметров отсасывающей камеры и сушильных камер. Для этого краны 18, 19, 20 поочередно переводят в положение "О" — "открыто".

При отливе можно пользоваться различными сетками: металлическими, пластиковыми, с разным живым сечением. Стандартной сеткой считается металлическая сетка №40. После подготовки и проверки аппарата приступают к изготовлению лабораторных образцов.

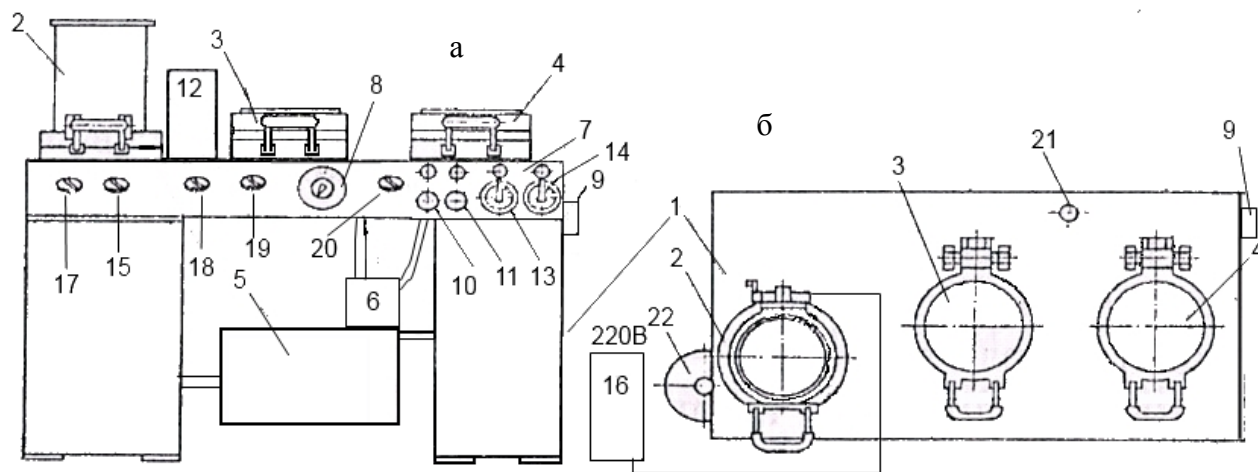


Рис. 24. Схема аппарата ЛОА-4 для изготовления лабораторных образцов бумаги: а – вид спереди; б – вид сверху

Приготовленную бумажную массу размешивают, затем отбирают рассчитанный объем, необходимый для получения отливки с заданной массой 1 м^2 . Листоотливную сетку смачивают водой и накладывают в предназначенное для неё место. Формующую камеру закрывают и прижимают к фланцу отсасывающей вакуумной камеры ручкой-зажимом. Кран 17 переводят в положение "О" и заполняют формующую камеру водой до отметки 2 дм^3 . После этого кран 17 переводят в положение "З" и вносят в формующую камеру волокнистую массу. Далее открывают кран 17 для заполнения формующей камеры до 4 дм^3 . Суспензию перемешивают при помощи сжатого воздуха 4-6 атм., подаваемого компрессором. Затем, открыв нажатием вниз клапан 15, спускают воду из формующей камеры в отсасывающую камеру. При этом на сетке начинает формироваться волокнистый слой. Когда под действием разрежения вся жидкость из формующей камеры будет удалена, образовавшаяся на сетке отливка дополнительно обезвоживается в течение 5 с. Затем кран 18 закрывают. После этого освобождают ручку-замок и откидывают корпус формующей камеры "от себя" до упора, при этом открывается клапан, обеспечивающий опорожнение вакуумной камеры. На мокрую отливку накладывают картонный лист массой 200 г/м^2 или полотно сукна. По картону (сукну) прокатывают под собственной массой валик, обтянутый фетром. Отливку снимают с сетки отстукиванием по обручу формующей сетки, устанавливают в сушильную камеру и накрывают покровным листом бумаги или картона, можно использовать бумагу с силиконовым слоем. Сушку отливок проводят в

одной из сушильных камер, управляемых кранами 19 и 20 и работающих автономно. Для этого открывают крышку сушильной камеры, приподняв ручку-замок и откинув камеру "от себя", на сушильную сетку помещают картон (сукно) с находящейся сверху отливкой, накрывают ее листом тонкой гладкой бумаги, закрывают крышку поворотом крана 19 или 20 в положение "З", подключают вакуум-насос, устанавливают реле времени поворотом рукоятки реле времени 13 или 14 по часовой стрелке. При этом зажигается сигнальная лампа. По окончании заданной продолжительности сушки гаснет сигнальная лампа и раздается щелчок. По окончании сушки кран 19 или 20 переводят в положение "О", открывают крышку сушилки, вынимают высушенную отливку, отделяют от картона (сукна) и покровной бумаги и взвешивают на весах ($e=0,01$ г).

Изготавливают 1...5 отливок для последующих испытаний. По окончании работы парообразователь и вакуум-насос выключают. Ручки кранов должны находиться в положении "З". Аппарат отключают от электросети и перекрывают подачу воды.

3.13. Лабораторная работа №13 «Испытание компонентов гофрокартона»

Определяют ориентацию волокон – машинное (MD) или поперечное (CD) направление, и сторону – сеточную (wire side) или верхнюю (top side), указывают условия кондиционирования, все результаты заносят в соответствующую форму записи (табл. 9).

Кондиционирование образцов

Кондиционирование и испытание образцов проводят в следующих условиях: относительная влажность воздуха (50 ± 2) %, температура (23 ± 1) °С до достижения равновесной влажности, помещая отливки и образцы готовой продукции в эксикатор в атмосферу насыщенного раствора KNO_2 . Для подготовки образцов используют специально предназначенные для этого пневматические и ручные, в том числе гильотинного типа, вырубного типа (Беллеруд), циркулярные (определение массы 1 м^2).

Определение толщины компонентов гофрокартона

Метод заключается в определении толщины бумаги при давлении подвижной пяты измерительного прибора 0,1 МПа на площади контакта с измеряемой поверхностью 2 см^2 при скорости перемещения пяты 5 мм/с. Результаты выражают в микрометрах или миллиметрах. Для измерения толщины бумаги используются специальные приборы - толщиномеры.

Определение разрушающего усилия при сжатии кольца (RCT)

Из образцов вырезают полосы длиной от $(150,0 \pm 0,5)$ мм до $(152,0 \pm 0,5)$ мм, шириной $(15,0 \pm 0,1)$ мм в поперечном направлении (если такое имеется). На штифт держателя образца насаживают диск, диаметр которого (d) выбирают по толщине испытуемого образца (S) (табл. 10). Держатель для образцов (рис. 25) состоит из корпуса 1 с цилиндрической выточкой 2 диаметром D ($49,30 \pm 0,25$) мм и набора сменных дисков 3. Далее

держатель с испытуемым образцом помещают на нижнюю плиту прессы и нажимают кнопку TEST, после разрушения извлекают держатель с образцом и снимают показания с точностью до трех значащих цифр.

Таблица 9. Форма записи результатов к лабораторной работе №13

Показатель	Бумага для гофрирования		Картон для плоских слоев	
	фактически	ГОСТ	фактически	ГОСТ
1. Масса 1 м^2 , г/м^2				
2. Толщина, мм		-		
3. Влажность, %				
4. Удельное сопротивление разрыву (F_{MD}), кН/м				-
5. Сопротивление продавливанию (Π), кПа				
6. Разрушающее усилие при сжатии кольца (RCT_{CD}), Н		-		
7. Сопротивление сжатию на коротком расстоянии (SCT_{CD}), кН/м		-		-
8. Сопротивление торцевому сжатию (CST_{MD}), кН/м			-	-
9. Сопротивление плоскостному сжатию (CMT), Н			-	-
10. Впитывающая способность при одностороннем смачивании, г/м^2	Кобб ₃₀		Кобб ₆₀	
11. Шероховатость по Бендтсену, мл/мин	-	-		-

Таблица 10. Зависимость диаметра диска от толщины образца

Толщина образца, мм	от 0,140 до 0,170	от 0,171 до 0,200	от 0,201 до 0,230	от 0,231 до 0,280	от 0,281 до 0,320	от 0,321 до 0,370
Диаметр диска $d \pm 0,05$, мм	48,8	48,7	48,6	48,5	48,3	48,2

Для установки образцов в держатель служит кольцевая канавка 5, образуемая стенками выточки и диска, с помощью которого регулируют ее ширину. Минимальная ширина кольцевой канавки должна быть такой, чтобы установка испытуемых образцов проходила без сопротивления, а максимальная ширина не должна превышать 150 % номинальной толщины образца. Испытуемый образец осторожно полностью вводят через вспомогательную канавку держателя в кольцевую канавку. Недопустимо, чтобы нижняя кромка испытуемого образца попадала под диск. При испытании половину образцов вводят в держатель верхней стороной к диску и половину - сеточной стороной.

Определение сопротивления бумаги продавливанию (Π , кПа)

Метод заключается в определении равномерно распределенного давления, выдерживаемого бумагой, зажатой по кольцу. Равномерно нарастающее гидростатическое давление передается через эластичную

резиновую диафрагму и фиксируется в момент разрушения образца. Сопротивление продавливанию равно максимальному давлению в паскалях (Па), которое выдерживает до разрушения образец бумаги в форме кружка диаметром 30,5 мм.

Образец испытуемой бумаги подходящих размеров помещают в прибор на резиновую диафрагму и зажимают по кольцу. Давление в камере создается при помощи поршня и передается через глицерин и резиновую диафрагму на образец испытуемой бумаги и фиксируется при помощи манометра. Округление проводят до целого числа, при пересчете $1 \text{ кгс/см}^2 = 98,1 \text{ кПа}$. Величина сопротивления продавливанию зависит от влажности, при повышении влажности величина снижается.

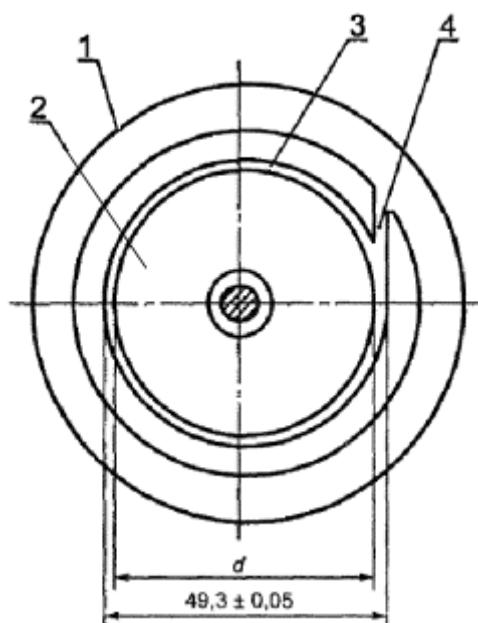


Рис. 25. Диск-держатель для образцов: 1 – корпус с ручкой; 2 - диск; 3 - кольцевая канавка; 4 - вспомогательная канавка

Определение шероховатости по Бендтсену

Шероховатость по Бендтсену – это величина потока воздуха (в мл/мин), проходящего между съемным кольцом измерительной головки и поверхностью образца под давлением 15 мбар с нагрузкой 10 Н/см^2 . Во время испытания образец находится на идеально гладкой поверхности – полированной стеклянной пластине.

Порядок измерения шероховатости на приборе Бендтсена: включают компрессор – включают подачу воздуха – устанавливают на воздушный поток маностат в 15 мбар – на приборе поворачивают ручку управления влево – опускают стеклянную пластину для определения утечки воздуха в каждом диапазоне соответствующей ротаметрической трубки – устанавливают образец на стеклянную пластину – плавно опускают головку на поверхность образца и считывают показания по поплавку подходящей ротаметрической трубки. *Головку устанавливают с особой осторожностью, не прикладывая особых усилий!*

3.14. Лабораторная работа №14 « Испытание бумаги и картона на вертикальной разрывной машине Hounsfield»

Внимание: запрещается работать на машине в верхнем диапазоне предельной нагрузки силоизмерительного датчика при $\text{Max } F$ более 200 Н. Например, при испытании картона массой более 140 г на 1 м^2 , изготовленного из 100 % СФА небеленой целлюлозы. Для этих целей использовать исключительно горизонтальную разрывную машину «Messmer»!

Вертикальная разрывная машина является универсальным испытывающим лабораторным оборудованием, которое, в зависимости от своей комплектации, служит для определения физико-механических свойств различных материалов, в том числе бумаги, картона, изделий из них, комбинированных материалов и т.д. Машина состоит из силоизмерительного датчика 250 Н (~ 25 кг), траверсы, зажимов, датчика, фиксирующего перемещение (экстензометр), дисплея и пульта управления. Прибор соответствует требованиям стандарта ГОСТ ИСО 1924-1-96 «Бумага и картон. Определение прочности при растяжении» для определения прочности и удлинения при растяжении при постоянной скорости нагружения.

Испытываемый образец нагружают таким образом, чтобы разрушение происходило за (20 ± 5) с. Предварительным испытанием выбирают скорость нагружения. Обычно при испытании макулатуры скорость нагружения составляет 7-10-12-15 мм/мин, при испытании бумаги и картона из первичного волокна 25-50 мм/мин. Перед испытаниями образцы выдерживают при температуре $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$ и относительной влажности $(50 \pm 2) \%$ до достижения равновесной влажности, помещая отливки и образцы готовой продукции в эксикатор в атмосферу насыщенного раствора KNO_2 . Предварительные эксперименты показали, что при снижении влажности образцов их прочность значительно повышается (более 10 %).

Порядок работы:

1. Взвешивают кондиционированные отливки и образцы готовой продукции на весах для определения их фактической массы 1 м^2 (масса отливки 3,14 г соответствует массе готовой продукции 100 г/м^2).
2. Определяют толщину при помощи толщиномера со следующими параметрами: площадь контакта $(200 \pm 10) \text{ мм}^2$; давление измерительной пяты $(100 \pm 5) \text{ кПа}$; скорость опускания измерительной пяты $(5 \pm 1) \text{ мм/с}$.
Примечание: измерение проводят в пяти точках на всей площади образца, на которой будет проводиться последующее испытание свойств; при толщине образца менее 0,05 мм испытание выполняется на стопе из 5 шт. и более образцов (ГОСТ 27015-86 «Бумага и картон. Методы определения толщины, плотности и удельного объема»); результат округляют до цены деления прибора (до 0,01 мм); для определения толщины санитарных и впитывающих видов бумаги используют толщиномер, соответствующий другим требованиям.
3. При помощи ручного ножа вырезают на менее 10 полосок в машинном

и поперечном направлении (если испытывается готовая продукция) с шириной $15 \pm 0,1$ мм (соответствует специальный ограничитель на ноже). Длина полосок должна быть не менее 14 см (чтобы проба помещалась в зажимы) и желательно не более 25 см.

4. Испытание выполняют при фиксировании образца на расстоянии 10 см между зажимами (для отливок). Правильность выставленного расстояния сверяют, прикладывая линейку. Для перемещения нижнего зажима плавно нажимают верхнюю или нижнюю стрелку.

5. Образец устанавливают в зажимы следующим образом: открывают подвижную часть зажима нажатием на клипсу, устанавливают образец и закрывают подвижную часть зажима нажатием клипсы до щелчка. Окончательно фиксируют образец, поворачивая диск шпильки до упора. *Фиксировать следует строго вертикально, избегая перекосов образца во время его испытания. При фиксировании образца не следует касаться испытываемой поверхности голыми руками.*

6. Обнуляют показания прибора (на дисплее строчки Force (Разрушающее усилие) и Extension (относительное удлинение)) нажатием кнопок F1 и F2.

7. Находясь в режиме ожидания, для начала испытания нажимают кнопку «Test», а затем нижнюю стрелку. Зажим с образцом начинает перемещаться вниз с заданной скоростью.

Примечание: если образец выскочил из зажима, а зажим продолжает перемещаться, следует нажать на центральную кнопку, расположенную между двумя стрелками, и вернуть зажим в исходное положение нажатием верхней стрелки.

8. Параметры проведения испытания приведены на дисплее справа. Test speed – скорость испытания 12 мм/мин; Jog speed – скорость предварительного натяжения 1 мм/мин; Ret. speed – скорость возврата зажима 500 мм/мин; Auto return – Return – включен автоматический обратный ход траверсы; Peak hold – off (Сохранение данных на дисплее – выключено); Status – Stop – включено перемещение зажима. При желании параметры можно изменить в главном меню нажатием кнопки

9. Для изменения текущей скорости следует перейти в главное меню (Main menu) нажатием кнопки speed, затем на клавиатуре нажать клавишу #1 и выбрать требуемую скорость, подтверждая соответствующей клавишей и т.д.

10. Для отображения полученных результатов следует перейти в главное меню нажатия кнопки ^{menu} ENTER, затем клавишей #7 («Results») и, находясь в подменю «Results», нажать на клавиатуре клавишу #1 раздел «View». ENTER – MAIN MENU – RESULTS – VIEW.

11. Определяют погрешности измерений по ГОСТ 8.207-76.

Перемещаться по таблице данных можно при помощи кнопки F1 (Scroll). Переписывать в лабораторный журнал следующие показатели: Max; Mean; Std. Dev. (Среднеквадратическое отклонение – погрешность).

Пример записи в лабораторном журнале:

Марка / обозначение	Разрывное усилие (Max F), Н	Среднее (Mean F), Н	СКО (Std. Dev.), Н	Результат с учетом погрешности, Н	Индекс прочности при растяжении, Н*м/г
Бумага для гофрирования	42,4; 44,1; 45,3; 46,5; 49,7	45,5	0,7	45,5±0,7	30,0±1,5

Разрушающее усилие определяют по ГОСТ ИСО 1924-1-96 «Бумага и картон. Определение прочности при растяжении». Ширина испытуемых образцов 15,0 мм. Расстояние между зажимами разрывной машины – 100 мм. Для определения разрушающего усилия из 2 изделий вырезают по 5 образцов для испытания. За результат испытаний разрушающего усилия принимают среднеарифметическое значение всех определений и округляют до 0,1 Н при Max F до 50 Н и до 1 Н при Max F от 50 до 200 Н. Индекс прочности при растяжении I и разрывная длина бумаги L рассчитываются по следующим формулам:

$$I = \frac{F}{g \times w} \times 10^3, \text{ Н*м/г}, \quad (10)$$

$$L = \frac{Pp}{9,8 \times g \times w} \times 10^3, \text{ км}, \quad (11)$$

где g - масса 1 м², г (100 г);

Pp - разрушающее усилие, Н;

w - ширина испытуемого образца, мм (15 мм).

9,8 – ускорение свободного падения (коэффициент пересчета единицы силы в единицу массы), м/с².

Для просмотра статистических данных нажатием кнопки ^{menu} на клавиатуре возвращаются в режим ожидания. Удалить из статистики можно только последний неудавшийся результат, выбрав в подменю «Results» соответствующей клавишей на клавиатуре пункт Delete Last (удалить последний). ENTER – MAIN MENU – RESULTS – DELETE LAST. Перед началом испытания следующей партии следует удалить предыдущие результаты, выбрав соответствующей клавишей на клавиатуре в подменю «Results» пункт Clear All (удалить всё). ENTER – MAIN MENU – RESULTS – CLEAR ALL. Нажатием кнопки ^{menu} машина возвращается в режим ожидания.

Сохранение данных и управление работой разрывной машины в программном обеспечении QMAT

Введение: студент самостоятельно или при помощи преподавателя определяет целесообразность управления машиной при помощи компьютера в программе QMAT и получения результатов в электронном виде (файл .pdf).

1. Включить машину (клавиша 1 – 0) и компьютер.

2. Проверить наличие электронного ключа – Донгла, вставленного в разъем LPT.
3. Запустить программу QMAT, нажав соответствующий ярлык в правом верхнем углу рабочего стола.
4. Нажать кнопку QMAT ТестЗона и подтвердить сообщение DEMONSTRATION SOFTWARE, после чего открывается окно программы.
5. В меню «Файл» загружаем шаблон ISO 1924-1.
6. В открывшемся окне «Настройки шаблона испытания» появляется вкладка «Выбор Вид Бумаги или Картона», где выбирают соответствующую фамилию студента, группу, вид бумаги или картона, или вводят новую фамилию, например, Иванов.
7. В закладке «Партия» заполняют только раздел «Описание», идентифицируя испытание, например, КК 7 кг/т. **Внимание: менять содержимое раздела «Дата» нельзя!** В закладке «Настройки» диапазон напряжения, МПа - 50; диапазон удлинения, % - 3; скорость, мм/мин – 12; длина, мм – 100.
8. Закрепляют образец в зажимах.
9. Подтверждают выполненные настройки, после чего происходит обнуление датчика силы и удлинения.
10. В открывшемся окне «Размеры» вводят Width (Ширина), Grammage (Масса 1м²), Thick (Толщина) через запятую, оставляя поле «Маркировка» незаполненным.
11. Нажимают кнопку «ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦА 1», нижний зажим начинает перемещаться вниз до разрушения образца.
12. Нажимая «Страница результатов» в строке управления, можно просматривать результаты в отдельном меню и при желании их удалить, выбрав нужную строчку и нажимая на ярлык «Редактирование результатов».
13. Для сохранения результатов в виде новой партии необходимо нажать ярлык «Сохранить шаблон».
14. Чтобы отправить всю серию испытаний одной партии с графиком в виде одного файла на виртуальный принтер и тем самым сохранить в формате .pdf, следует выбрать «Файл» - «Печать графика» - «Печать» - «Имя» - «Adobe PDF», затем подтвердить и сразу же выйти из открывшегося окна «Сохранить PDF-файл как...», поскольку программа предлагает сохранить только выбранное испытание, а не всю серию. В меню «Страница результатов» - «Печать Результаты» выбрать или создать папку для сохранения данных.
15. После завершения всех испытаний переносят сохраненные файлы на внешний носитель.
16. Если требуется вернуться к ранее сохраненным данным, то следует в окне QMAT 5.22 выбрать пункт «Анализ данных» - «Файл» - «ISO 1924-1», затем выбрать требуемую фамилию и нажать «Результаты» в описании, выбрать нужную партию.

17. Если появляется окно ошибки, например, «Не выполнена проверка подлинности» или другая ошибка, то надо зайти в программу заново и восстановить прерванную сессию.
18. После выполнения испытаний извлекают остатки образцов из зажимов и выключают оборудование.
19. Результаты обрабатываются в табличном редакторе MS Excel.

3.15. Лабораторная работа №15 «Испытание бумаги и картона на горизонтальной разрывной машине Messmer-Büchel»

Вставляют образец между зажимами, далее переходят в меню установок нажатием кнопки Enter, для удаления результата после испытания нажимают кнопку Clear. После выполнения испытания на экране появляются результаты, которые отображаются в течение 15 с. Необходимо следить, чтобы разрушение образца наступало в интервале времени 20 ± 5 с.

Для выхода в МЕНЮ необходимо нажать ENTER, CLEAR, на экране появятся следующая структура меню:

Пункт меню	Опция	Описание опции
0 – Выбор единицы измерений	1 – кН/м	Выбрать пункт №1
	2 – Н	
	3 – Фунты	
1 – Определение скорости испытания	1 – с клавиатуры	
	2 – установка по образцу	Далее вставляют образец в зажимы для вычисления скорости
2 – Длина образца	1 – 50 мм	
	2 – 100 мм	Выбрать расстояние между зажимами
	3 – 180 мм	
3 – Номер образца		
4 – Ширина образца	15 мм	Выбрать пункт №1
	25 мм	
5 – Масса 1 м^2	Вводят нужную массу 1 м^2 (нужна для вычисления разрывной длины), например, 70 – Enter	
6 – Направление	1 – машинное (MD)	Enter
	2 – поперечное (CD)	
7 – Режим работы дисплея	Enter	Длительное отображение
	Clear	Быстрое отображение
8 -Чувствительность к обнаружению разрыва	1 – 10 %	
	2 – 20 %	
	3 – 30 %	
	4 – 40 %	В большинстве случаев выбирают пункт №4, пользуясь правилом: чем меньше предполагаемая нагрузка, тем выше должна быть чувствительность
	5 – 50 %	
9 – Возвращение в исходное положение		

Изображение на экране:

Разрушающее усилие при растяжении (Н);

Индекс поглощённой энергии ТЕА (Дж/м²);

Относительное удлинение (δ , %).

После испытания убрать анализируемый образец. Если этого не выполнить, то появится надпись REMOVE PAPER FROM CLIPS – УБРАТЬ ОБРАЗЕЦ ИЗ ЗАЖИМОВ. Статистика. ENTER. На экране появятся средние величины, максимальное, минимальное и относительное отклонение (СКО). Для продолжения испытаний нажимают ENTER и устанавливают образец в зажимы.

3.16. Лабораторная работа №16 «Определение впитываемости»

Определение поверхностной впитываемости воды при одностороннем смачивании (метод Кобба)

Сущность метода заключается в определении массы воды, поглощенной поверхностью бумаги или картона при смачивании испытуемой стороной в течение установленного времени, по разности взвешивания до и после смачивания. Данный метод не распространяется на бумагу массой менее 50 г/м², газетную и прочие неклееные виды бумаги.

Образцы выдерживают при температуре (23±1) °С и относительной влажности (50±2) % до достижения равновесной влажности, помещая отливки и образцы готовой продукции в эксикатор в атмосферу насыщенного раствора KNO₂. Испытывают не менее 2 (желательно 3-5) образцов для каждой стороны. При испытании лабораторных образцов испытывают, в первую очередь, гладкую сторону.

Порядок работы:

1. Наполнить цилиндр 100 мл дистиллированной водой комнатной температуры (для каждого эксперимента используют воду одинаковой температуры). Во время проведения испытания контролируют уровень воды по отметке внутри сосуда, но не меняют для одной партии (до 10 листов). Избегать просачивания воды между цилиндром и испытуемой поверхностью образца.
2. Помещают на выдвижной столик 9 листов фильтровальной бумаги Filtrak 76,5 г/м² с капиллярной впитываемостью 50-100 мм.
3. Вырезают испытуемый образец при помощи шаблона по одному образцу с размерами 125×125 мм (*Примечание:* если размеры образца не позволяют нарезать образцы заданного размера, допускается проводить испытания образцов меньшего размера, но закрывающих поверхность заполненного водой цилиндра) и взвешивают на весах (m_1). К испытуемой поверхности образца не следует прикасаться руками.
4. Образцом закрывают сосуд испытуемой поверхностью вниз (*для отливок – гладкой стороной*).
5. Цилиндр закрывают герметически крышкой, переворачивают на 180° и включают секундомер.

6. По истечении заданного времени возвращают цилиндр в исходное положение, открывают крышку, снимают образец, осторожно кладут его испытуемой стороной вниз на 9 листов фильтровальной бумаги и накрывают 3 листами фильтровальной бумаги.
7. Удаляют избыточную воду с поверхности прокатыванием подвижного валика под отжимным валиком дважды (вперед и назад). Большие капли можно стряхивать с поверхности образца.
8. Сразу после промокания испытуемый образец складывают мокрой стороной внутрь и немедленно взвешивают (m_2), чтобы предотвратить потерю влаги за счет испарения.
9. Перед следующим испытанием заменить намокшие листы фильтровальной бумаги сухими (*Примечание:* мокрые листы отложить в сторону для высыхания).
10. Для смены воды в цилиндре воспользоваться пипеткой.

Продолжительность испытания выбирается индивидуально в зависимости от вида бумаги и картона и зависит от впитывающей способности:

Таблица 11. Условия проведения испытаний по Коббу в зависимости от продолжительности испытания

Продолжительность испытания	Обозначение	Продолжительность контакта образца с водой	Время до начала промокания
10	Кобб ₁₀	5±1	10±1
30	Кобб ₃₀	20±1	30±1
60	Кобб ₆₀	45±1	60±2

Бракование образцов:

А. Насквозь пропитан водой.

Б. Имеет признаки просачивания воды вне испытуемой поверхности.

В. Имеет избыточную воду после промокания (блеск поверхности).

Обработка результатов: $\text{Кобб}_x = 100 (m_2 - m_1)$. Результат округляют до 0,5 г/м², записывая погрешность. Продолжительность испытания определяют как время между моментом контакта воды с испытуемым образцом и началом удаления избытка воды бумагой промоканием.

Капиллярная впитываемость (метод Клемма)

Капиллярная впитываемость — это свойство бумаги поднимать по своим капиллярам воду или водные растворы. На капиллярную впитываемость проверяют основу для санитарно-гигиенических изделий и бумагу санитарно-гигиеническую и для бытовых целей из вторичных материалов. Метод не пригоден для материалов с капиллярной впитываемостью менее 5 мм, для испытания которых необходимо

воспользоваться впитываемостью при односторонней смачиваемости (метод Кобба).

Метод Клемма заключается в испытании полоски материала, один конец которой закреплен в вертикальном положении, а другой погружен в воду (водные растворы и др.), и измерении капиллярной впитываемости в интервалах через 10 мин. При испытании одной серии образцов использовать дистиллированную воду или водные растворы одинаковой температуры. Испытания проводят на устройстве В-2 (рис. 26). Устройство для определения капиллярной впитываемости бумаги состоит из ванны, расположенной на горизонтальной подставке, имеющей установочный винт и штатив. На штативе находится подвижная поперечная планка, перемещающаяся вверх и вниз и закрепляемая винтом в любом положении. К планке прикреплены вертикальные линейки с делениями в миллиметрах. Рядом с ними имеются зажимы для закрепления полосок бумаги. Деления на линейках нанесены снизу вверх, ноль совпадает с нижним концом линейки, который обычно имеет заостренную форму.

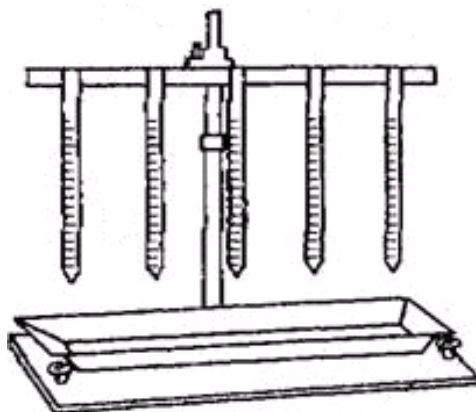


Рис. 26. Аппарат для определения капиллярной впитываемости бумаги

Проведение испытания. В ванну наливают дистиллированную воду комнатной температуры до уровня, при котором при опускании поперечной планки до самого низкого положения вертикальные линейки своими концами коснутся поверхности воды. Если не все линейки одновременно соприкасаются с поверхностью воды, необходимо добиться этого при помощи установочного винта. Ослабляют винт, поднимают планку в верхнее положение и закрепляют винтом. Из анализируемых образцов нарезают по 5 полосок в машинном и поперечном направлении (если такие имеются) длиной 200 мм и шириной 15 мм и закрепляют одним концом в зажимах планки вертикально так, чтобы свободные концы полосок были на 15 мм ниже нулевых делений линейек. Далее ослабляют винт и опускают поперечную планку до нижнего положения. С этого момента фиксируют время по секундомеру и по истечении 10 мин отсчитывают по линейкам высоту поднятия воды.

В протокол заносятся среднее арифметическое из пяти результатов с точностью 1 мм, условия кондиционирования и температура воды, средние

для машинного и поперечного направления. Для каждой серии испытаний используют чистую воду. Испытание материалов с высокой впитываемостью можно проводить за более короткое время, о чем следует указать в протоколе.

3.17. Лабораторная работа №17 «Определение воздухопроницаемости»

Метод Шоппера

Сущность метода заключается в измерении объема воздуха, прошедшего через определенную площадь образца бумаги и картона за единицу времени при определенном разрежении под образцом (обычно, 1 кПа). Прибор представляет собой дензометр Шоппера (рис. 27). На штативе 11 помещен цилиндрический сосуд 8 с воронкой 5, соединенный резиновой трубкой 4 через шлаг 6 и трубку 7 с зажимом для закрепления образца 3, зажим соединен с мановакуумметром 2. К штативу прикреплена сливная трубка 1, так чтобы ее можно было перемещать вверх и вниз по штативу. Сливная трубка соединена резиновым шлангом с основанием цилиндра через патрубок, в котором находятся кран 9 и регулировочный вентиль 10. Зажимное устройство 3 должно обеспечивать герметичное закрепление образца, испытываемая площадь которого должна составлять 10 см². Образец закрепляют в зажиме прибора. Измерение воздухопроницаемости проводят отдельно для верхней и сеточной сторон. Испытывают по пять образцов для каждой стороны. Для определения воздухопроницаемости по сеточной стороне образец закрепляют сеточной стороной вниз, а по верхней стороне – верхней стороной вниз. Сосуд заполняют дистиллированной водой комнатной температуры. Затем открывают кран и регулируют разрежение по водяному вакуумметру передвижением сливной трубки так, чтобы оно составляло 1,0 кПа. После этого измеряют объем жидкости в см³, вытекший за 1 мин. В соответствии с этим значением выбирают по табл. 12 условия испытания и проводят повторное испытание. За результат принимают среднее арифметическое 5 измерений для каждой стороны образца.

Воздухопроницаемость определяют по формулам:

$$V = V/t, \text{ см}^3/\text{мин}, \text{ при } \Delta p = 1 \text{ кПа};$$

$$V = 2 * V/t, \text{ см}^3/\text{мин}, \text{ при } \Delta p = 0,5 \text{ кПа};$$

$$V = V/(2,5 * t), \text{ см}^3/\text{мин}, \text{ при } \Delta p = 2,5 \text{ кПа},$$

где V – объем вытекшей воды, см³;

Δp – разрежение, кПа;

t – время испытания, мин.

Результат округляют при значениях до 25 см³/мин включительно до 1, от 25 до 100 см³/мин – до 5, 100-200 см³/мин – до 10, свыше 200 см³/мин – до 20. Перед испытанием следует проверить герметичность сосуда. При низкой герметичности проводить испытания образцов с низкой воздухопроницаемостью нельзя.

Таблица 12. Условия испытания на воздухопроницаемость по Шопперу

Воздухопроницаемость, см ³ /мин	Разрежение, кПа (мм вод. ст.)	Время испытания, мин
до 25	2,5 (250)	10
от 25 до 2500	1,0 (100)	1
св. 2500	0,5 (50)	0,5

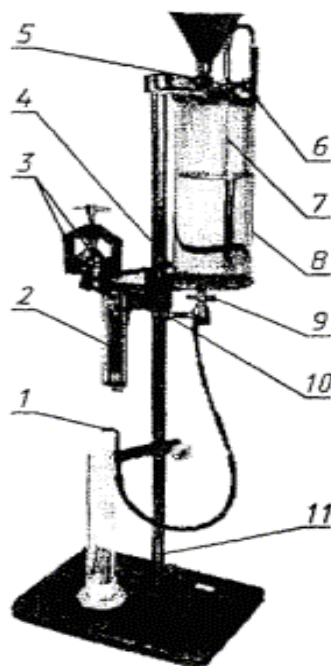


Рис. 27. Дензометр Шоппера

Метод Бендтсена для определения пористости и шероховатости

Шероховатость по Бендтсену выражается в скорости прохождения воздуха под измерительной головке между гладкой пластиной и поверхностью бумаги или картона под давлением $1,47 \pm 0,02$ кПа. Прибор Бендтсена состоит из промежуточной емкости для стабилизации давления (В), ротаметрических трубок (D), клапана, регулирующего давление (С), плоской стеклянной пластины, измерительной головки для шероховатости, головки для измерения пористости (Е) площади 5 и 10 см². Для подачи воздуха давлением 1-6 бар используют компрессор (А). Три моностата (груза) для давления 7,5; 15; 22,5 мбар. Ротаметрические трубки соединены параллельно с клапаном для изменения скорости потока воздуха (рис. 28). В зависимости от площади сечения трубки существует три диапазона измерения: 10-150, 40-500, 300-3000 мл/мин. Моностаты (грузы) помещают после подачи воздуха, а снимают после прекращения поступления воздуха.

Порядок определения пористости

Включают подачу воздуха, устанавливают требуемый моностат. Ручку клапана поворачивают вправо, клапаном выбирают приблизительный диапазон измерения. Помещают испытуемый образец между головкой и резиновым уплотнением и воздействуют на рычаг до установления постоянного значения. Записывают в тетрадь полученный результат.

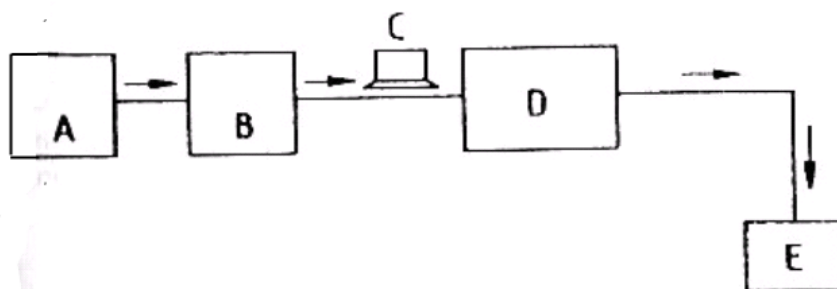


Рис. 28. Принцип работы прибора Бендтсена

3.18. Лабораторная работа №18 «Основы планирования эксперимента. Оценка влияния композиционного состава на свойства бумаги. Построение диаграммы состав-свойство при помощи программы Triangle 1.0»

Оценку влияния композиционного состава выполняют методом симплекс–решетчатого планирования (планы Шеффе) посредством заполнения матрицы планирования, составления уравнения аппроксимирующего полинома при помощи табличного редактора MS Excel и построения диаграммы состав-свойство в программе TRIANGLE 1.0.

Функция, описывающая влияние состава на свойства системы, может быть выражена полиномом некоторой степени от значений независимых переменных X_1, X_2, X_3 , где X_i – количество i -го компонента в смеси. Число экспериментальных точек в планах Шеффе может быть:

d – минимальная доля в смеси	q – количество компонентов в смеси		
	3	4	5
3 (1/3 или 33,3 %)	10	20	35
4 (1/4 или 25,0 %)	15	35	75

План Шеффе третьего порядка, $q=3, d=3$

X_1	X_2	X_3	Y_i	X_1	X_2	X_3	Y_i
1	0	0	y_1	2/3	0	1/3	y_6
0	1	0	y_2	1/3	0	2/3	y_7
0	0	1	y_3	0	2/3	1/3	y_8
2/3	1/3	0	y_4	0	1/3	2/3	y_9
1/3	2/3	0	y_5	1/3	1/3	1/3	y_{10}

Уравнение аппроксимирующего полинома плана Шеффе третьего порядка

имеет следующий вид: $y = \sum_{i=1}^3 b_i x_i + \sum_{i \leq 1 < j}^3 b_{ij} x_i x_j + \sum_{i \leq 1 < j}^3 c_{ij} x_i x_j (x_i - x_j) + \sum_{i \leq 1 < j < k}^3 b_{ijk} x_i x_j x_k$.

Формулы расчетных коэффициентов:

$$b_1 = y_1; b_2 = y_2; b_3 = y_3; b_{12} = 9/4 * (y_4 + y_5 - y_1 - y_2); b_{13} = 9/4 * (y_6 + y_7 - y_1 - y_3);$$

$$b_{23} = 9/4 * (y_8 + y_9 - y_2 - y_3); c_{12} = 9/4 * (3y_4 - 3y_5 - y_1 + y_2); c_{13} = 9/4 * (3y_6 - 3y_7 - y_1 + y_3);$$

$$c_{23} = 9/4 * (3y_8 - 3y_9 - y_2 + y_3); b_{123} = 27 * y_{10} - 27/4 * (y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9) + 9/2 * (y_1 + y_2 + y_3).$$

План Шеффе четвертого порядка, q=3, d=4

X ₁	X ₂	X ₃	Y _i	X ₁	X ₂	X ₃	Y _i	X ₁	X ₂	X ₃	Y _i
1	0	0	y ₁	0,75	0,25	0	y ₆	0	0,75	0,25	y ₁₁
0	1	0	y ₂	0,5	0	0,5	y ₇	0	0,25	0,75	y ₁₂
0	0	1	y ₃	0,75	0	0,25	y ₈	0,5	0,25	0,25	y ₁₃
0,5	0,5	0	y ₄	0,25	0	0,75	y ₉	0,25	0,5	0,25	y ₁₄
0,25	0,75	0	y ₅	0	0,5	0,5	y ₁₀	0,25	0,25	0,5	y ₁₅

Уравнение аппроксимирующего полинома плана Шеффе четвертого порядка имеет следующий вид:

$$y = \sum_{i=1}^3 b_i x_i + \sum_{i \leq 1 < j}^3 b_{ij} x_i x_j + \sum_{i \leq 1 < j}^3 c_{ij} x_i x_j (x_i - x_j) + \sum_{i \leq 1 < j}^3 h_{ij} x_i x_j (x_i - x_j)^2 + b_{1123} x_1^2 x_2 x_3 + b_{1223} x_1 x_2^2 x_3 + b_{1233} x_1 x_2 x_3^2.$$

Формулы расчетных коэффициентов:

$$\begin{aligned} b_1 &= y_1; b_2 = y_2; b_3 = y_3; b_{12} = 4y_4 - 2y_1 - 2y_2; b_{13} = 4y_5 - 2y_1 - 2y_3; b_{23} = 4y_6 - 2y_2 - 2y_3; \\ c_{12} &= 8/3 * (-y_1 + y_2 + 2y_7 - 2y_8); c_{13} = 8/3 * (-y_1 + y_3 + 2y_9 - 2y_{10}); c_{23} = 8/3 * (-y_2 + y_3 + 2y_{11} - 2y_{12}); \\ h_{12} &= 8/3 * (-y_1 - y_2 - 6y_4 + 4y_7 + 4y_8); h_{13} = 8/3 * (-y_1 - y_3 - 6y_5 + 4y_9 + 4y_{10}); h_{23} = 8/3 * (-y_2 - y_3 - \\ &6y_6 + 4y_{11} + 4y_{12}); b_{1123} = 32 * (3y_{13} - y_{14} - y_{15}) + 8/3 * (6y_1 - y_2 - y_3) - 16(y_4 + y_5) - 16/3 * (5y_7 + 5y_9 - \\ &3y_8 - 3y_{10} - y_{11} - y_{12}); b_{1223} = 32 * (3y_{14} - y_{13} - y_{15}) + 8/3 * (6y_2 - y_1 - y_3) - 16(y_4 + y_6) - \\ &16/3 * (5y_8 + 5y_{11} - 3y_7 - 3y_{12} - y_9 - y_{10}); b_{1233} = 32 * (3y_{15} - y_{13} - y_{14}) + 8/3 * (6y_3 - y_1 - y_2) - \\ &16(y_5 + y_6) - 16/3 * (5y_{10} + 5y_{12} - 3y_9 - 3y_{11} - y_7 - y_8). \end{aligned}$$

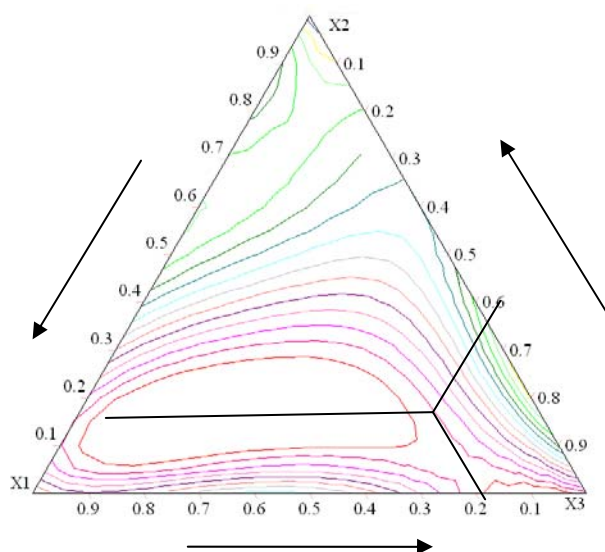


Рис. 29. Диаграмма «свойство – композиция» трехкомпонентной системы

Предпочтительнее использование плана Шеффе четвертого порядка, поскольку для его составления используется больше данных.

Графически данные представляются в виде диаграмм Гиббса «свойство-композиция» при помощи программы Triangle 1.0. Запускают программу и выбирают на панели закладок раздел «Data» или заходят в пункт меню «Edit» - «Data Parameters», далее подставляют коэффициенты регрессии, при необходимости изменяют само уравнение регрессии. Затем

вводят значения своей переменной Y «Add in list» в разделе «Levels list» для построения изолиний, заменяя «Delete from list» их на указанные в примере (последнее значение не удаляется, пока не будет введено первое новое значение переменной Y). После введения своих переменных выбирают подходящий цвет изолиний, например, минимальное значение – желтый, максимальное – красный из палитры «Change color» или выбирают цвет по умолчанию «All default». Затем - «Ок», и после получения диаграммы возвращаются обратно в раздел «Data» и редактируют название осей координат (рис. 29).

Для интерпретации полученной диаграммы находят область оптимальных значений переменной, соединяя в центре параллельные осям координат линии, как показано стрелками на рис. 29.

Библиографический список

1. Дубовый В.К. и др. Лабораторный практикум по технологии бумаги и картона: учебное пособие. - СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2006. - 230 с.
2. ГОСТ 53636-2009. Целлюлоза. Бумага Картон. Термины и определения. - М.: Стандартиформ, 2011. - 64 с.
3. Ванчаков М.В. и др. Технология и оборудование для переработки макулатуры: учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2010. - 182 с.
4. ГОСТ 10700-97. Макулатура бумажная и картонная. Технические условия. - Минск: Госстандарт, 2003. - 7 с.
5. Кулешов А.В., Смолин А.С. Влияние цикличности использования макулатурного волокна на бумагообразующие свойства // Лесной журнал. 2008. № 4. - С. 131–138.
6. Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Комаров В.И. Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги. - Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. - 1118 с.
7. Кларк Д. Технология целлюлозы (наука о целлюлозной массе и бумаге, подготовка массы, переработка её на бумагу, методы испытаний) / под ред. Г.А. Пазухиной; пер. с англ. А.В. Оболенской. - М.: Лесная промышленность, 1983. - 456 с.
8. Recycled Fibre and Deinking // Papermak. Sci. Technol. / ed. Götttsching L., Pakarinen H. Jyväskylä: Fapet, 1999 (электрон. опт. диск (CD–ROOM)).
9. Марончук Е.Ю. Современные приборы для контроля качества поверхностных свойств бумаги и картона с целью оценки их пригодности к переработке: междунар. науч.-практич. конф. "Современные системы контроля и управления качеством бумаги" / СПбГТУРП. - СПб., 2007. - С. 30–36.
10. Оболенская А. В., Ельницкая З. П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: учебное пособие для вузов. - М.: Экология, 1991. - 320 с.

Дополнительная литература:

Иванов С. Н. Технология бумаги. - 3-е изд. – М. : Школа бумаги, 2006. 696 с.

Фляте Д. М. Свойства бумаги. - 5-е. изд. – М. : Лань, 2012. – 680 с.

ГОСТ 23646-79. Полуфабрикаты волокнистые целлюлозно-бумажного производства и их показатели качества. Термины и определения. - М.: Госстандарт, 1989. – 29 с.

Papermaking science and technology / Gullichsen J. (series ed.), Paulapuro H. (series ed.). Book 8. Papermaking pt. 1, Stock preparation and wet end / H. Paulapuro (book ed.), 2000. Jyväskylä : Fapet (электрон. опт. диск (CD-ROM)).

Каталог компании Сигма Микрон, СПб., 2012.

Учебное издание

Руслан Олегович Шабиев
Александр Семенович Смолин
Людмила Леонидовна Парамонова

**Изготовление и испытание лабораторных образцов бумаги и картона
из вторичного сырья**

Учебно-методическое пособие

Редактор и корректор Н.П. Новикова

Техн. редактор Л.Я. Титова Темплан 2012/2013 гг., поз. 108/105

Подп. к печати 25.12.2012. Формат 60×84/16. Бумага тип. №1.

Печать офсетная. 4,25 уч.-изд. л.; 4,25 усл. печ. л.

Тираж 50 экз. Изд. № 108/105 Цена «С». Заказ

Ризограф Санкт-Петербургского государственного технологического
университета растительных полимеров, 198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.