

А. В. Синчук

**ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРЫ
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ**

Учебно-методическое пособие

**Санкт-Петербург
2025**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики

А. В. Синчук

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРЫ
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Учебно-методическое пособие

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД

Санкт-Петербург
2025

УДК 676.038.2

ББК 37.22

С 387

Рецензенты:

доктор технических наук, заведующий кафедрой процессов и аппаратов
Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного
университета промышленных технологий и дизайна

Н. П. Мидуков:

доктор технических наук, профессор кафедры целлюлозно-бумажных
и лесохимических производства САФУ

Я. В. Казаков

Синчук, А. В.

С 387 Технология переработки макулатуры. Лабораторные работы: учебно-методическое пособие / А. В. Синчук. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2025. — 35 с.

Учебно-методическое пособие соответствует программам и учебным планам дисциплины «Технология переработки макулатуры» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология», профиль «Химическая и биотехнология переработки растительного сырья».

В учебно-методическом пособии представлена классификация макулатуры, описана теория приготовления макулатурной массы, а также методики выполнения лабораторных работ на основе современных методов анализа макулатуры, продуктов из нее. Приведен раздел по технологии локальной очистки оборотной воды при переработке макулатуры.

Учебно-методическое пособие предназначено для подготовки бакалавров очной и заочной форм обучения. Отдельные разделы пособия могут быть полезны аспирантам и специалистам целлюлозно-бумажной промышленности.

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2025
© Синчук А. В., 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Составление композиции бумажной массы из вторичного волокна	6
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. Оценка прочностных и деформационных характеристик бумаги и картона на примере тарного картона	21
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Изготовление образцов бумажной продукции из макулатуры, роспуск макулатуры, определение степени помола и других необходимых анализов.....	25
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. Очистка макулатурной массы методом флотации.....	27
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	35

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

БФ – бумажная фабрика
БПК – биологическое потребление кислорода
ВВ – взвешенные вещества
ГРВ – гидроразбиватель вертикальный
ДВФ – длинноволокнистая фракция
КВФ – коротковолокнистая фракция
ЛО – локальная очистка
НИР – научно-исследовательская работа
РПО – размольно-подготовительный отдел
РФ – Российская Федерация
СГБ – санитарно-гигиеническая бумага
СГИ – санитарно-гигиенические изделия
ТБО – твердые бытовые отходы
ТДО – термодисперсионная обработка
ТДУ – термодисперсионная установка
УРЭ – удельный расход электроэнергии
ФМП – физико-механические показатели
ЦБП – целлюлозно-бумажная промышленность
ХВВ – химические вспомогательные вещества
ХПК – химическое потребление кислорода

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие разработано в рамках дисциплины «Технология переработки макулатуры» и предназначено для бакалавров 4-го курса. При выполнении лабораторных работ студенты получат практические навыки по подготовке бумажной массы из макулатуры, научаться определять марку вторичного сырья, освоят технологические приемы, применяемые для повышения бумагообразующих свойств вторичного волокна. На практике изучат способы определения характеристик бумажной массы и методы измерения качественных показателей различных видов бумаги и картона, полученных из макулатурной массы.

Перед началом работ студенты должны пройти инструктаж по технике безопасности работы в лаборатории ЦБП. Без указанного инструктажа и соответствующего контрольного опроса студент не может быть допущен к выполнению работ.

Представленные в настоящем учебно-методическом пособии работы во многом моделируют реальные процессы, осуществляемые на производственных предприятиях отрасли. Работы разнообразные по своему содержанию, трудоемкие, многооперационные и длительные по времени выполнения.

Учебно-методическое пособие предусматривает несколько вариантов выполнения практических работ.

В процессе подготовки лабораторной работы студент в рабочем журнале кратко описывает предстоящую работу, приводит схему лабораторного прибора и расчёт необходимых количеств химических реагентов. В ходе выполнения работы записывает в журнал наблюдения и результаты исследований, выполняет необходимые расчёты и осуществляет построение графиков.

После завершения работы оформляется отчет с обобщением результатов и выводами.

Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ позволит в рамках учебной программы направленно организовать самостоятельную работу для углубленной проработки дисциплины.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Составление композиции бумажной массы из вторичного волокна

Общие сведения о макулатуре

Вторичное волокно является незаменимым сырьем для бумажной промышленности, которое отличается меньшей стоимостью по сравнению с соответствующими сортами товарной целлюлозы, и пригодно для выработки широкого спектра продукции. Использование макулатурного сырья стало общей практикой ресурсосбережения и переработки отходов во многих странах.

В настоящее время основным документом, классифицирующим макулатуру и определяющим технические требования к ней, является ГОСТ 10700-97.

Рассматриваемый ГОСТ 10700-97 является международным стандартом, принятым практически всеми государствами на постсоветском пространстве, взамен ГОСТ 10700-89.

Согласно этому ГОСТу, вся макулатура разделяется на три группы:

- группа А – высокого качества;
- группа Б – среднего качества;
- группа В – низкого качества.

В группу А входят следующие 4 марки:

- МС-1А – отходы производства белой бумаги (кроме газетной); бумага для печати, писчая, чертежная, рисовальная и другие виды белой бумаги;
- МС-2А – отходы производства всех видов белой бумаги в виде обрезков с линовкой и черно-белой или цветной полосой, бумага для печати, писчая, диаграммная, рисовальная;
- МС-3А – отходы производства бумаги из сульфатной небеленой целлюлозы: упаковочной, шпагатной, электроизоляционной, патронной, мешочной, отходы производства электроизоляционного картона;
- МС-4А – использованные мешки бумажные, не влагопрочные (без пропитки, прослойки и армирования слоев).

Особенностью этой группы макулатуры является то, что это, за исключением МС-4А, отходы производства, незапечатанные и не цветные. Марки МС-3А и МС-4А содержат волокна сульфатной небеленой целлюлозы, обладающей максимальным потенциалом переработки.

В группу Б входят следующие 3 марки:

- МС-5Б – отходы производства и потребления гофрированного картона и его компонентов;

- МС-6Б – отходы производства и потребления всех видов картона (кроме электроизоляционного, кровельного, обувного) с черно-белой и цветной печатью;

- МС-7Б – использованные книги, журналы, брошюры, проспекты, каталоги, блокноты, тетради, записные книжки, плакаты и другие виды каллиграфической продукции и бумажно-беловых товаров с однокрасочной и цветной печатью, без переплетов, обложек, корешков, изданные на белой бумаге.

Особенностью этой группы макулатуры является то, что в нее включены не только отходы производства, но и отходы потребления картона, а также бумажная продукция, основой которой является белая бумага.

В группу В входят следующие 6 марок:

- МС-8В – отходы производства и потребления газет и газетной бумаги;

- МС-9В – бумажные гильзы, шпули (без стержней и пробок), втулки (без покрытия и пропитки);

- МС-10В – литые изделия из бумажной массы;

- МС-11В – отходы производства и потребления бумаги и картона с пропиткой и покрытием: влагопрочные, битумированные, ламинированные;

- МС-12В – отходы производства и потребления бумаги и картона черного и коричневого цветов, бумага с копировальным слоем, бумага - подложка с нанесенным дисперсным красителем, кровельный картон;

- МС-13В – отходы производства и потребления различных видов картона, белой и цветной бумаги, в том числе изделия, не включенные в другие марки макулатуры (за исключением продукции марки МС-11В).

Особенностью этой группы макулатуры является широкий ассортимент бумажно-картонной продукции, в том числе влагопрочной и содержащей древесную массу.

Данная классификация видов макулатуры базируется на тех же принципах, что и европейская, но недостаточно дифференцирована и в этом направлении нуждается в доработке.

Кроме перечисленных выше марок макулатуры, существует большое количество отходов упаковки ТЕТРАПАК, которая в настоящее время не относится ни к одной марке, но уже довольно активно перерабатывается различными способами. Мы пока будем называть этот тип макулатуры «проблемная».

Входной контроль макулатуры

ГОСТ 10700-97 нормирует правила контроля макулатуры только для предприятий-заготовителей и поставщиков. Однако эти же правила контроля применимы, в случае возникновения конфликтов, и для потребителей. Наличие этих правил способствует разрешению возможных противоречий между поставщиками и потребителями.

Соответствие той или иной марке и состава макулатурного сырья диктуется, прежде всего, необходимостью получения из нее качественной продукции

определенного вида. Также макулатура должна соответствовать определенным критериям качества. Основными критериями качества макулатуры согласно ГОСТ 10700-97 являются:

- влажность (не более 15 %);
- массовая доля примесей макулатуры других марок (5–10 %);
- массовая доля загрязнений (группа А – 0,5 %, группа Б – 1,0 %, группа В – 1,5 %).

Еще одним требованием к макулатуре является отсутствие в ней примесей других марок. Массовая доля этих примесей макулатуры других марок должна быть не более:

- для марки МС-2А – 5 % марки МС-7Б (использованные книги и журналы);
- для марки МС-7Б – 5 % марок МС-8В и МС-13В (газеты и другие виды несортированной макулатуры);
- для марки МС-4А – 10 % марки МС-5Б (гофрокартон).

По согласованию с потребителем, допускаются примеси макулатуры более высоких марок с массовой долей не более 10 %.

Для оценки количества примесей производят отбор проб и подготовку проб в следующем порядке. Из разных мест партии отбирают пробу: 5 % от партии до 10 т и 3 % от партии свыше 10 т, но не менее одной кипы. Партией называют количество макулатуры одной марки, оформленное одним сопроводительным документом. Из каждой кипы, отобранный в качестве пробы, отбирают не менее 20 кг макулатуры, взвешивают, перемешивают и помещают на сеточный стол, снабженный металлической сеткой с ячейками площадью 1 см² и выдвижными ящиками для загрязнений. Объединенную пробу макулатуры необходимо перетрясти и перебрать на столе, рассортировав ее по составу, отделяя примеси, а также загрязнения в специальные емкости.

По составу отсортированных бумаги и картона визуально определяют марку макулатуры, с учетом массовой доли примесей.

Для оценки массовой доли примесей собранные в отдельную тару примеси взвешивают на весах. Массовую долю примесей макулатуры других марок (Δ) в процентах вычисляют по формуле:

$$\Delta = \frac{M_{\text{пр}} * 100}{M_{\text{пр}}},$$

где $M_{\text{пр}}$ – масса примесей, кг;

$M_{\text{пр}}$ – масса объединенной пробы, кг.

Результат округляют до первого десятичного знака.

В состав примесей не относят виды бумаги и картона, перечисленные в приложении А к ГОСТ 10700-97. Эти виды примесей относят в разряд загрязнений (кроме марки МС-11В). Допускается формирование партии из макулатуры не более трех марок (за исключением МС-11В), при этом макулатура классифицируется как марка МС-13В.

Описанный метод, как правило, не дает точных результатов. Достаточную точность может дать накопление большого объема информации, то есть в распоряжении проверяющего должны иметься данные за значительный срок. При этом необходимо, чтобы все партии поступали от одного источника (поставщика).

На многих предприятиях отрасли в качестве дополнительного критерия качества применяют средневзвешенную длину волокна, которая оказывает значительное влияние на ФМП бумаги и картона.

В большинстве случаев для быстрого определения длины волокон, образующих бумажную массу, на отечественных предприятиях используют метод, предложенный в 1946 г. С. Н. Ивановым. В основе метода лежит расчетная зависимость между длиной волокна и весовым показателем, который определяется на специальном приборе.

Средняя длина волокна может быть определена и другими методами:

- микроскопическим, с использованием окулярной линейки или масштабной сетки;
- с использованием современных автоматизированных приборов – KAJAANI, FAIBER TESTER, MorFi.

Более подробнее остановимся на измерениях на приборе MorFi COMPACT.

Прибор позволяет измерить морфологические характеристики волокон в суспензии. Измерения осуществляются камерой высокого разрешения в специальной измерительной ячейке. В процессе измерения возможно получить следующую информацию о волокнах, содержащихся в пробе:

- Длина волокон (средневзвешенная арифметическая) – параметры длины волокна в диапазоне 200–10 000 (мкм).
- Ширина (в диапазоне 5–75 мкм).
- Изгиб, скручиваемость, грубыстость волокон.
- Процент мелочи.

Изгибы (изломы) – это локальные деформации, которые определяются как грубые изменения в направлении главных осей волокон в пределах определенной длины.

Скручиваемость (фактор формы) и грубыстость являются расчетными величинами.

Грубыстость определяют, как вес на единицу длины волокна.

Скручиваемость определяют, как отношение проекционной длины волокна к истинной длине волокна (вдоль контура волокна).

Мелочь – это любой обнаруживаемый объект в волокнистой суспензии, чьи размеры меньше размеров волокна.

- длина мелочи < 200 мкм.
- ширина мелочи < 5 мкм.

Следует отметить, что длина волокна измеряется по структуре волокна, т. е. измеренная длина представляет собой истинную длину. Ширина измеряется во всех точках структуры волокна.

Контроль качества и количества загрязнений в макулатуре

Контроль загрязненности макулатуры – необходимое условие безаварийной работы оборудования и получения из макулатуры продукции требуемого качества.

В ГОСТе отсутствует определение понятия «загрязнения». Однако из текста следует, что к загрязнениям относятся только те посторонние включения, извлечение которых возможно путем разделения в процессе подготовки макулатурной массы в РПО. Фактически, подразумеваются не «загрязнения», а «мусор». Это подтверждает и рекомендуемая методика оценки количества загрязнений.

Согласно ГОСТ, массовая доля таких загрязнений (мусора) должна быть не более:

- для макулатуры группы А – 0,5 %;
- для макулатуры группы Б – 1,0 %;
- для макулатуры группы В – 1,5 %.

Одновременно, в приложении А к ГОСТу содержится перечень загрязнений, наличие которых в макулатуре не допускается. К ним относят загрязнения на бумажной (картонной) основе, а именно:

- пергамент и пергаментная бумага;
- чертежная калька;
- металлизированная бумага (картон) и изделия из нее;
- бумага (картон), покрытая (-ый) лаками, красками и синтетическими материалами;
- бумага (картон), пропитанная (-ый) синтетическими смолами;
- бумага (картон), пропитанная (-ый) синтетическими жирами;
- фотобумага;
- многослойная бумага с тканью (например, с марлей);
- бумага со вставками из вискозной ткани или пергаментной бумаги;
- обложки из макулатурного картона с полотном, фольгой и синтетическими материалами;
- окрашенные водостойкие виды бумаг (картона).

В этот перечень включены, в частности, виды продукции, входящие в состав макулатуры марки МС-11В. Следовательно, их наличие в составе макулатуры других марок не допускается.

В отмеченный перечень загрязнений, которых не должно быть в макулатуре, включены также химические и другие загрязнения:

- краски типографские флуоресцентные, магнитные, металлические, жирные печатные надписи;
- толстые металлические соединения (например, замки для папок), проволока, металлическая лента, скрепки;
- строительные материалы: цемент, гипс, гравий, формовочные массы, камни, кирпичи и др.;
- минералы (мел и др.);
- химикаты (удобрения, краски, детергенты, и др.);

- остатки пищевых продуктов и кормов;
- песок, пыль, грязь, земля;
- остатки табака.

Приведенный перечень загрязнений практически не дает возможности его расширения.

Контроль влажности и массы партии макулатуры

Необходимость контроля влажности макулатуры обусловлена, прежде всего, потребностью производства в оценке количества израсходованного сырья при выпуске продукции. Чем выше влажность макулатуры, тем выше будет ее удельный расход.

Подготовка макулатурной массы для производства различных видов продукции

Системы переработки макулатуры отличаются, в зависимости от вида производимой из нее бумаги и картона. Обычно процессы производства регенерируемого волокна (РВ) делятся на две основные категории:

- процессы, в которых используется исключительно механическая очистка, без удаления типографской краски, для производства такой продукции, как коробочный или тарный картон;
- процессы с использованием механической очистки и удалением чернил и типографской краски для производства такой продукции, как тонкая санитарно-гигиеническая, газетная, бумага для упаковки пищевых продуктов, мелованный и упаковочный картон и товарная макулатурная масса, освобожденная от типографской краски.

На бумажных фабриках применяют различные системы переработки макулатуры. Процессы направлены на разволокнение перерабатываемой макулатуры, доволокнение (разволокнение пучков волокон) и удаление различных включений. Схемы установок по производству макулатурной массы имеют схожие блоки, которые используются для компоновки заданной технологической схемы. Типичная схема процесса производства макулатурной массы состоит из следующих элементов:

- транспортировка и хранение макулатуры;
- раскиповка (распаковка плотно спрессованной в кипы макулатуры);
- роспуск и доволокнения;
- очистка и сортирование;
- фракционирование;
- облагораживание – удаление чернил (тиографской краски) путем последовательного выполнения процессов флотации, промывки и отбелки массы (для высокосортной продукции);
- очистка оборотной воды;
- утилизация отходов.

Качество макулатуры влияет на выбор технологии ее переработки в зависимости от требований, предъявляемых к качеству волокнистого сырья для конечной продукции.

В процессах подготовки макулатурного волокна необходимо не только эффективно удалять посторонние включения, но и создавать условия, способствующие восстановлению физических параметров и механических свойств вторичных целлюлозных волокон, т. е. восстановлению их бумагообразующих свойств.

Требования к качеству подготовки вторичного волокна для производства «темных» сортов бумажной продукции – упаковочной и оберточной бумаги, тарного и коробочного картона отличаются от требований к качеству макулатурного волокна, направляемого в производство высококачественных санитарно-гигиенических бумаг и печатных видов бумаг.

При использовании макулатурного волокна для получения санитарно-гигиенических бумаг, которым необходимо придать мягкость, максимально снизить содержание золы в массе и удалить частицы краски, т. е. провести облагораживание макулатуры.

Вторичное волокно, которое может быть использовано в производстве печатных видов бумаги, должно иметь белизну порядка 85 % ИСО, а допустимое содержание клейких частиц – не более 5 мг/кг. Для достижения таких требований необходимо организовать не только облагораживание, но и термодисперсионную обработку, а в некоторых случаях и отбелку волокна, причем для достижения необходимого результата отбелка может выполняться в несколько ступеней.

Последовательное выполнение вышеперечисленных операций приводит к потерям волокна. При подготовке макулатурной массы количество отходов может достигать 20 %, поэтому для снижения потерь годного волокна перед утилизацией осуществляется дополнительная обработка отходов сортирования, цель – смыть с неволокнистых включений волокно и вернуть его в технологический поток.

Кроме того, важным элементом подготовки макулатурной массы является ЛО оборотной воды.

Ниже кратко рассмотрены основные технологические процессы подготовки макулатурной массы.

Транспортировка и хранение

Требования к транспортировке макулатуры сформулированы в ГОСТ 10700-97. При организации хранения необходимо помнить, что главными врагами макулатуры являются дождь и солнце, поэтому идеальными условиями для хранения макулатуры является хранение в закрытом складе в плотно спрессованных кипах массой около 1 т каждая. В этом случае мы имеем минимальные потери макулатуры при внутренних перемещениях и высокую производительность погрузчиков, подающих макулатуру на роспуск, – для подачи в технологию одной тонны сырья требуется одна поездка погрузчика.

В реальных условиях ситуация несколько хуже. Вес средней кипы макулатуры в настоящее время не превышает 400–450 кг. Российские БФ, как правило, не имеют не только закрытых складов, но и складов с твердым покрытием. Причем асфальтовое покрытие площади склада для хранения макулатуры совсем не идеальный вариант, т. к. в жаркую погоду на макулатуре остаются частички битума. Лучшим решением при организации покрытия складских помещений будет укладка дорожных плит.

Поэтому предприятия при организации хранения макулатуры на складах должны руководствоваться целым рядом факторов:

- Определить оптимальный объем хранения – найти золотую середину между снижением потерь при хранении и недопущению остановки фабрики из-за отсутствия сырья.

- Чем дольше макулатура хранится на складе, тем выше риск повышения влажности, и, как следствие, гниение и разрушения ее упаковки – превращения кипы в так называемую «россыпь». При попадании дождя эта «россыпь» превращается в макулатурную массу на полу слада, тем самым увеличивает объем потерь.

- Далеко не всегда снабженцам удается поставлять на предприятие макулатуру одинакового качества, даже при отнесении макулатуры, например, к марке МС-5Б, макулатура, поставленная от ритейлера, и макулатура, поставленная с полигона ТБО, отличается по своим бумагообразующим свойствам. Поэтому технологии вынуждены применять дополнительную классификацию, что приводит к необходимости увеличивать производственные запасы.

- Макулатура обладает свойством «старения», при длительном хранении этот фактор тоже способствует увеличению потерь.

Раскиповка

Под этим термином подразумевается необходимость разрушения плотно спрессованной кипы на отдельные фрагменты.

На предприятиях с производительностью до 300 т продукции в сутки с этой задачей справляются специальные операторы путем разрезания проволоки или лент обвязки кип. На предприятиях с большей производительностью такую задачу выполняет специальное оборудование.

Роспуск (разволокнение) и доволокнение

Разволокнение макулатуры – технологическая операция, при которой макулатура превращается в водную суспензию.

Процесс осуществляется в гидроразбивателях различного типа. В результате путем механического и гидравлического воздействия на отдельные фрагменты макулатуры получается суспензия с размерами частиц, позволяющими транспортировать массу с помощью насосов на последующие стадии подготовки.

Для осуществления данной операции на предприятиях используют гидроразбиватели непрерывного и периодического действия различных типов. В зависимости от конструкции, работающие при низкой (4–6 %), средней (7–15 %) и высокой (15–20 %) концентрации массы.

Роспуск макулатуры в гидроразбивателе происходит благодаря комплексному воздействию на фрагменты макулатуры различных сил, возникающих вследствие вращения лопастей ротора, которые превращают макулатуру в суспензию вторичных волокон и благодаря сортирующему ситу на дне ванны удаляют из нее крупные посторонние включения.

По существу, разволокнение макулатуры осуществляется в две ступени: на первой производится только грубое разволокнение макулатуры и удаление крупных неволокнистых включений в гидроразбивателе, на второй – доволокнение – тщательное разволокнение с целью роспуска сгустков и пучков волокна. Доволокнение осуществляется на специальном оборудовании: вторичных гидроразбивателях, турбосепараторах, пульсационных мельницах, сортировках различной конструкции и т. п.

Суспензия макулатуры после роспуска имеет заданную концентрацию и представляет собой волокнистый полуфабрикат, потенциально способный к значительному улучшению бумагообразующих свойств в процессе дальнейшей подготовки.

Отходы роспуска – крупные частицы неволокнистых включений и неразволокненные фрагменты влагопрочных волокнистых включений, которые удаляются через перфорированное дно гидроразбивателя, подаются в систему удаления отходов, где промываются, прессуются и отправляются на утилизацию.

Вода, используемая для роспуска макулатуры, циркулирует в системе оборотного водоснабжения.

Очистка и сортирование

Уровень сложности технологической схемы отдела очистки и сортирования зависит от используемой марки макулатурного сырья, сорта производимой бумаги/картона, композиции по волокну.

Удаление примесей основано на различиях в физических свойствах волокон и загрязняющих веществ. Основные стадии очистки и сортирования макулатурной суспензии являются обязательными для всех видов макулатурного сырья и могут включать ступени предварительной, грубой и тонкой очистки. Для снижения потерь волокна сортирование и очистка макулатурной массы осуществляются в несколько стадий и ступеней.

Предварительная очистка массы – удаления тяжелых (металл, стекло) и легких (пластик, пленка) включений осуществляется непосредственно в гидроразбивателе в процессе роспуска.

Грубое сортирование массы осуществляется на напорных сортировках различной конструкции, работающих при концентрации 3–5 %. Такие сортировки оснащены ситами с круглыми отверстиями диаметром 1,4–4,0 мм.

Размер отверстий сит зависит от марки макулатуры и требований к качеству готовой продукции.

Целью грубого сортирования является снижение содержания в массе крупных грубодисперсных неразволокненных фрагментов макулатурного сырья. Для повышения эффективности процесса грубое сортирование может осуществляться в несколько ступеней, в этом случае отходы сортирования первой ступени подаются на следующую сортировку, оборудованную ситом с отверстиями меньшего диаметра. Годная масса сортировки второй ступени подается на вход сортировки первой ступени, а отходы – в систему утилизации отходов.

Отходы грубого сортирования макулатурной массы направляются на сортировку конечной ступени, которая работает без давления и осуществляет промывку отходов с целью сокращения потери волокна.

Тонкая очистка массы производится при более низкой концентрации – 0,7–1,0 %, в несколько ступеней осуществляется с целью удаления мелких абразивных и легких включений. Осуществляется в аналогичных по конструкции напорных сортировках, используемых для грубого сортирования. Отличием является использование сит как с круглыми отверстиями, так и щелевых. Но с меньшими размерами отверстий сита или шириной щелей, чем при грубом сортировании.

Фракционирование

Фракционирование массы – технологическая операция по разделению волокнистой суспензии на фракции, отличающиеся по средней длине волокна. Цель фракционирования – отделение коротковолокнистой от длинноволокнистой фракции с последующей переработкой.

Фракционный состав макулатурной массы зависит от марки макулатуры. Коротковолокнистая фракция (КВФ) состоит из коротких волокон, обладающих высокой степенью помола и низкими бумагообразующими свойствами. В процессе подготовки макулатуры в массе доля мелкого волокна нарастает.

Длинноволокнистая фракция (ДВФ) – из относительно грубых длинных волокон, имеет низкую степень помола и потенциально высокие бумагообразующие свойства. Но эти свойства еще необходимо достичь.

Фракционирование чаще применяют в схемах подготовки макулатуры марок МС-5Б, МС-6Б при производстве тарного и коробочного картонов.

Процесс фракционирования осуществляется в напорных сортировках различного типа с цилиндрическими ситами, имеющими, как правило, щелевые отверстия – шириной от 0,1 до 0,25 мм при низкой концентрации массы от 1,5 до 2,5 %. Оптимальные результаты фракционирования макулатурной массы достигаются при обработке очищенной макулатуры с повышенным содержанием длинных волокон. Ширина щели сита фракционатора подбирается с учетом условий достижения высокой чистоты ДВФ. Далее ДВФ подается на сгущение и размол, после чего либо аккумулируется в специальных бассейнах, либо сразу направляется в композиционный бассейн.

КВФ, как правило, содержит большее количество неволокнистых включений и поэтому требует дополнительной очистки, которая осуществляется в гидроциклонах примесей, пучков волокон и, возможно, неразволокненных фрагментов макулатуры.

КВФ после сгущения может направляться в термодисперсионную установку (ТДУ). При отсутствии на предприятии ТДУ КВФ может быть направлена на пульсационную мельницу и далее либо в аккумуляторный бассейн, либо в композиционный. Массному размолу подвергать КВФ нецелесообразно.

Фракционирование макулатурной массы позволяет на 8–10 % увеличить основные ФМП продукции и на 15–20 % снизить УРЭ на подготовку макулатуры по сравнению с традиционным способом, так как дополнительному размолу подвергается лишь длинноволокнистая фракция.

Облагораживание макулатурной массы

Под облагораживанием макулатурной массы понимается целый ряд технологических процессов, направленных на более глубокую очистку массы от посторонних включений. ТДО, промывка, отбелка массы для производства газетной и печатной бумаг, а также санитарно-гигиенической бумаги.

Макулатура содержит включения, способные при повышении температуры пластифицироваться, – битум, воск, парафин, латекс, смолы и печатные краски. На этом свойстве базируется процесс ТДО массы.

ТДО – многофункциональный процесс,ключающий ряд последовательных операций:

- Сгущение массы до 30–35 % и нагрев до 95–130 °C – на данном этапе обеспечивается первичная стерилизация массы, необходимая для производства некоторых видов продукции.

- Диспергирование включений до размеров, не видимых человеческим взглядом.

- Доволокнение неразволокненных пучков массы.

- Отделение печатной краски от поверхности волокна.

В процессе термодисперсионной обработки (ТДО) масса гомогенизируется, что позволяет отделить от волокон частицы печатной краски и распределить в волокнистой суспензии остаточные частицы липких веществ.

Высокая концентрация массы в сочетании с нагревом дает возможность совмещения ТДО и отбелки вторичного волокна.

Если ТДО массы проводится при атмосферном давлении и температуре до 95 °C, то процесс называют «холодным», если обработка проводится при повышенном давлении (0,2–0,5 МПа) и температуре выше 95 °C, то его называют «горячим».

Необходимость повышения концентрации обрабатываемой массы до 25–35 % продиктована стремлением к экономии расхода пара на ее прогрев.

ТДО – энергоемкий процесс, расход энергии колеблется от 30 до 140 кВт*ч/т. В связи с этим представляется целесообразным поиск новых технологических решений.

Основной целью облагораживания массы является повышение яркости и белизны волокнистого полуфабриката. Для различных типов сырья и продукции могут использоваться разнообразные технологические реагенты.

Для удаления типографской краски используется раствор каустика (NaOH), дозированный в ванну гидроразбивателя на этапе роспуска макулатуры, при этом для предотвращения повторного осаждения типографской краски в качестве буфера используется жидкое стекло (Na_2SiO_3).

При использовании макулатуры, содержащей механическую массу для компенсации пожелтения волокон, вызываемого гидроксидом натрия, используется пероксид водорода. Эффективность работы пероксида водорода повышается при высокой температуре. Для предотвращения разложения пероксида водорода в присутствии металлов переменной валентности используются органические комплексообразователи (хелаты).

Дальнейшей операцией облагораживания макулатурной массы является удаление диспергированных частиц краски из водной суспензии путем промывки или флотации. Для повышения эффективности удаления частиц краски и повышения белизны массы комбинируют оба способа с последующей отбелкой и тонким сортированием массы.

Промывка бумажной массы производится на ленточных, дисковых, наклонных, дуговых фильтрах и применяется в основном при производстве низкозольных печатных и СГБ.

Эффективное удаление частиц краски достигается на установках флотационного типа различной конструкции. Чернильная пена и отходы обезвоживаются отдельно с последующей утилизацией осадка.

Отбелку массы после удаления печатной краски используют при производстве высококачественных белых видов бумаги и картона различного назначения. Технология отбелки и количество стадий определяются количеством и характером примесей, присутствующими в макулатурной массе.

Для отбелки используют различные химические реагенты – H_2O_2 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$, формамидин сульфоновой кислоты (FAS) и прочие.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Цель работы и ее содержание

Определить какой вид продукции можно изготовить из полученного у преподавателя образца макулатуры, предложить композицию и обосновать решение.

Определить к какой марки макулатуры в соответствии с ГОСТ 10700-97 относится выданный преподавателем образец, обосновать свое решение.

Выполнить необходимые для обоснования анализы образца макулатуры.

В процессе приемки макулатуры на предприятии определяется влажность макулатуры, ее зольность и средняя длина волокна, также осуществляется оценка содержания в полуфабрикате неволокнистых включений.

Кроме оценки вышеперечисленных свойств макулатуры, студенту предлагается определить марку полученного для исследования образца и определить количество примесей, содержащихся в выданном образце.

Также необходимо перечислить виды бумажной продукции, которые возможно производить из представленного образца и рассчитать удельный расход этого образца макулатуры на тонну продукции. Данные занести в таблицу 1.

Определение влажности (ГОСТ 50316-92)

Предварительно взвешенный образец бумаги (2–3 г в.с.в) разрезают на небольшие кусочки и помещают в высушеннюю до постоянной массы фарфоровую чашку.

Параллельно до постоянного веса высушивается еще одна чашка для определения зольности.

Вес чашек заносится в таблицу 1.

Далее образец макулатуры высушивается до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 120 °С.

В процессе выполнения работы сделать не менее трех контрольных взвешиваний, первое взвешивание выполняется через 30 мин, последующие – не менее чем через 15 минут.

Перед взвешиванием чашку с образцом бумаги остудить в эксикаторе.

Влажность определить по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} (\%),$$

где m – масса чашки, г;

m_1 – масса чашки и образца до высушивания, г;

m_2 – масса чашки и образца после высушивания, г.

Полученные значения занести в таблицу 1.

Определение зольности (ГОСТ 7629-93)

Образец макулатуры (2–3 г в.с.в) разрезают (разрывают) на небольшие кусочки и помещают в предварительно подготовленную фарфоровую чашку, сжигают в муфельной печи и прокаливают до постоянной массы при температуре 800 °С.

Зольность определяют по формуле:

$$A = \frac{(m_2 - m_1) * 100}{m * (100 - W)} (\%),$$

где m – масса образца макулатуры (г в.с.в.);

m_1 – масса чашки (г);

m_2 – масса чашки с золой (г);

W – влажность макулатуры, %.

Определение средневзвешенной длины волокна на приборе Иванова

Метод, предложенный профессором С. Н. Ивановым в 1946 г., основанный на расчетной зависимости между длиной волокна и весовым показателем, фиксируемым на специальном приборе.

6 г а.с.в. распускают на дезинтеграторе в 1,5 л дистиллированной воды, затем объем суспензии доводят до 2 л, тщательно перемешивают и выливают в аппарат Иванова при закрытом клапане. Далее в аппарат устанавливают рамку (100*100 мм, расстояние м/у лезвиями 10 мм). Затем открывается клапан, суспензия сливается в кружку, рамка взвешивается, значения в (дг) заносятся в таблицу 1.

Далее по эмпирической формуле (3) рассчитывается средневзвешенная длина волокна (мм) и также заносится в таблицу 1.

$$I = 0,965 * \ln I - 2,455 ,$$

где I – средневзвешенная длина волокна (г);

I – средневзвешенная длина волокна (дг).

Определение средневзвешенной длины волокна на приборе MorFi

Приготовление пробы волокна для измерений готовится на дистиллированной воде:

- Подготовить пробу исследуемой макулатуры – 4 г а.с.в.
- Распустить в дезинтеграторе до полного разволокнения (5–7 мин).
- Довести объем волокнистой суспензии до 1 л.
- Взять 100 мл суспензии в измерительный стакан, довести объем до 1 л.
- Тщательно перемешать и вновь взять 100 мл перемешанной суспензии, довести объем до 1 л.

Концентрация пробы будет соответствовать 30 мг/л.

Полученную пробу перенести в лабораторию Б-216. Анализ пробы выполняется под руководством учебного персонала кафедры технологии целлюлозы и композиционных материалов.

Таблица 1

Определение влажности			
m (г)	m_1 (г)	m_2 (г)	W (%)
Определение зольности			
m (г)	m_1 (г)	m_2 (г)	A (%)
Определение средневзвешенной длины волокна			
I (дг)	I (г)		
Виды продукции		Удельный расход т/т	

ВОПРОСЫ К КОЛЛОКВИУМУ

1. Классификация макулатуры, основные требования, нормируемые ГОСТ 10700-97.
2. Специфические свойства макулатурных волокон, удельный расход макулатуры при производстве продукции.
3. Источники поступления макулатуры, способы сортирования.
4. Способы контроля качества макулатуры на предприятиях отрасли, контролируемые показатели.
5. Роллаж макулатуры, задачи, технология и оборудование, режимы работы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Оценка прочностных и деформационных характеристик бумаги и картона на примере тарного картона

Термин тарный картон объединяет в себе полуфабрикаты для изготовления гофрированного картона: бумага для гофрирования, которая также называется флютинг, и картон для плоских слоев гофрокартона, или лайнер.

И флютинг (бумага для гофрирования), и лайнер (картон для плоских слоев гофрокартона) могут производиться как из первичных, так и из вторичных волокон. В настоящее время в РФ для флютинга отсутствуют специальные названия, определяющие полуфабрикат, из которого был произведен этот продукт: как правило, говорят макулатурный флютинг или просто флютинг.

Для лайнера установлены специальные названия: крафт-лайнер – продукт, изготовленный из первичного волокна, тест-лайнер – из макулатуры, топ-лайнер – картон с белым поверхностным слоем.

Плоские слои гофрированного картона обеспечивают сопротивление тары ударной нагрузке и разрушению, что необходимо для защиты содержимого тары.

Картон для плоских слоев (тест-лайнер) характеризуется следующими основными показателями:

- Масса, м².
- Сопротивление торцевому сжатию по торцу в поперечном направлении – разрушающее усилие при сжатии кольца (RCT – Ring Crush Test).
- Сопротивление сжатию короткого образца (SCT – Shot Compression Test).
- Абсолютное сопротивление продавливанию.
- Впитывающая способность при одностороннем смачивании (Метод Кобба).
- Влажность.

Задача лайнера – обеспечить высокую жесткость тары и необходимые барьерные свойства. Наиболее информативным показателем качества лайнера является сопротивление сжатию на коротком образце.

Бумага для гофрирования (флютинг) обеспечивает гофрированному картону жесткую структуру с достаточным сопротивлением продавливанию.

Флютинг должен обладать определенной устойчивостью к динамическим нагрузкам – прочностью на разрыв, а также жесткостью при сжатии и изгибе.

Требования к флютингу определяются следующими показателями:

- Массой, м².
- Сопротивлением плоскостному сжатию гофрированного образца – выполняется на приборе Конкора, отсюда и название характеристики (CMT – Concora Medium Test).
- Сопротивлением сжатию короткого образца (SCT – Shot Compression Test).
- Абсолютным сопротивлением продавливанию.
- Впитывающей способностью при одностороннем смачивании в среднем по двум сторонам за 30 сек.
- Влажностью.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

В процессе выполнения работы должно быть изготовлено не менее 10-ти отливок заданного типа тарного картона, испытания проводятся в соответствии с требованиями соответствующего ГОСТ.

В процессе выполнения работы необходимо:

Получить задание на вид продукции для изготовления (варианты – в таблице 2), рассчитать необходимое количество макулатуры и ХВВ для изготовления образцов.

Набрать необходимое количество макулатуры нужной марки.

Запросить и получить у преподавателя необходимые ХВВ и приготовить соответствующие эмульсии или растворы.

Приготовить композицию бумажной массы и изготовить отливки, выполнить необходимые испытания, предусмотренные соответствующим ГОСТ (табл. 3), полученные данные внести в таблицу 4.

Определение поверхностной впитываемости при одностороннем смачивании верхней стороны

Сущность метода Кобба 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.

Подготовка образцов к испытаниям:

- Листы проб кондиционируют по ГОСТ 13523-78.
- Вырезают испытуемый образец при помощи шаблона по одному образцу с размерами 125×125 мм.
- Испытания проводят на 3-х образцах (гладкая сторона).

Порядок выполнения работы:

Наполнить цилиндр 100 мл дистиллированной водой комнатной температуры (для каждого эксперимента используют воду одинаковой температуры). Избегать просачивания воды между цилиндром и испытываемой поверхностью образца.

Поместить на выдвижной столик 9 листов фильтровальной бумаги.

Испытуемый образец взвесить на весах (m_1). К испытуемой поверхности образца не следует прикасаться руками.

Образцом закрывают сосуд испытуемой поверхностью вниз (для отливок – гладкой стороной).

Цилиндр закрывают герметически крышкой, переворачивают на 180° и включают секундомер.

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.

Удаляют избыточную воду с поверхности прокатыванием подвижного валика под отжимным валиком дважды (вперед и назад). Большие капли можно стряхивать с поверхности образца.

Сразу после промокания испытуемый образец складывают мокрой стороной внутрь и немедленно взвешивают (m_1), чтобы предотвратить потерю влаги за счет испарения.

Перед следующим испытанием заменить намокшие листы фильтровальной бумаги сухими. (Примечание: мокрые листы отложить в сторону для высыхания.)

Для смены воды в цилиндре воспользоваться пипеткой.

Продолжительность испытания – 40 с.

Поверхностную впитываемость воды при одностороннем смачивании Кобб₄₀, для каждого испытуемого образца бумаги или картона вычисляют по формуле:

$$\text{Кобб} = 104 * (m_2 - m_1) * A, \text{ г/м}^2,$$

где m_2 – масса образца после испытания, г;

m_1 – масса образца до испытания, г;

A – площадь испытуемой поверхности образца, см².

Результат округляют до 0,5 г/м². Продолжительность испытания определяют, как время между моментом контакта воды с испытуемым образцом и началом удаления избытка воды бумагой промоканием.

Варианты задания

Таблица 2

Вид продукции	ГОСТ	m, г/м ²		
Бумага для гофрирования	53206-2008	100	112	125
Картон для плоских слоев гофрокартона	53207-2008	150	175	200

Показатели качества

Таблица 3

Показатели	Лайнер	Флютинг
Сопротивление плоскостному сжатию гофрированного образца (СМТ ₁₅), ширина полоски 15 мм (Н)	-	+
Сопротивлением сжатию короткого образца (SCT, кН/м)	+	+
Абсолютное сопротивление продавливанию, КПа (кгс/см ²)	+	+
Поверхностная впитываемость воды при одностороннем смачивании верхней стороны (Кобб ₄₀), г/см ²	+	+
Разрушающее усилие при сжатии кольца (CRT) в поперечном направлении Н (кгс), не менее	+	-
Удельное сопротивление разрыву в машинном направлении, кН/м	-	+
Влажность	+	+

Результаты работы

Полученные в результате работы значения качественных показателей поместить в таблицу 4, на основании соответствующего ГОСТ сделать вывод по марке полученной продукции.

Таблица 4

Качественные показатели	Значения

ВОПРОСЫ К КОЛЛОКВИУМУ

1. Типы гидроразбивателей, технологическая схема работы установки непрерывного роспуска «Вертикальный ГРВ».
2. Сортирование макулатурной массы.
3. Размол макулатуры, особенности, типы размалывающего оборудования.
4. Технологическая схема производства тарного картона.
5. Технологический режим изготовления заданных отливок.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Изготовление образцов бумажной продукции из макулатуры, роспуск макулатуры, определение степени помола и других необходимых анализов

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

В процессе выполнения работы должно быть изготовлено не менее 10-ти отливок заданного типа бумажной продукции, испытания проводятся в соответствии с требованиями соответствующего ГОСТ.

В процессе выполнения работы необходимо:

Получить задание на вид продукции для изготовления (варианты – в таблице 5), рассчитать необходимое количество макулатуры и ХВВ для изготовления образцов.

Набрать необходимое количество макулатуры нужной марки.

Запросить и получить у преподавателя необходимые ХВВ и приготовить соответствующие эмульсии или растворы.

Приготовить композицию бумажной массы и изготовить отливки, выполнить необходимые испытания (табл. 6), полученные данные внести в таблицу 7.

Варианты заданий

Таблица 5

Вид продукции	Технические требования	m, г/м ²		
		80	60	40 _{вп}
Бумага оберточная для упаковки пищевой продукции	Материалы лекций	80	60	40 _{вп}
Бумага-основа СГИ не влагопрочная		18	20	22
Бумага-основа СГИ влагопрочная		22	30	35

Показатели качества

Таблица 6

Показатели	Оберточная	Основа СГИ
Влагопрочность (%)	+	+
Степень крепирования (%)		+
Абсолютное сопротивление продавливанию Н (кгс/см ²)	+	
Степень проклейки	+	
Разрушающее усилие	+	+

Результаты работы

Полученные в результате работы значения качественных показателей поместить в таблицу 7, на основании соответствующего ГОСТ сделать вывод по марке полученной продукции.

Таблица 7

Качественные показатели	Значения

ВОПРОСЫ К КОЛЛОКВИУМУ

1. Установка для роспуска проблемной макулатуры.
2. Фракционирование, особенности технологии подготовки фракций макулатуры.
3. Облагораживание макулатуры, способы, достоинства, недостатки.
4. Технологическая схема изготовления основы СГИ.
5. Технологический режим изготовления заданных отливок.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Очистка макулатурной массы методом флотации

Роспуск макулатурной массы осуществляется в оборотной воде. Одним из способов чистки макулатурной массы осуществляется через очистку оборотной воды методом флотации.

Оборотная вода переработки макулатуры

Оборотная вода макулатурного производства содержит в себе массу различных органических загрязнений – взвешенные вещества, свежие ХВВ, добавляемые в процессе подготовки массы, отработанные ХВВ, поступившие в воду в процессе роспуска, печатные краски, различные биологические остатки и остатки пластика, также поступившие в оборотную воду в процессе роспуска.

Качество оборотной воды характеризуется двумя основными показателями: ХПК, мг O_2 /л и концентрацией ВВ, мг/л.

ХПК является общепринятым, важным и достаточно быстро определяемым показателем для характеристики загрязнения технологической и сточной воды органическими соединениями.

Необходимо отметить, что с каждой тонной макулатуры в технологический поток поступает до 70 кг ХПК и если эту органику не выводить из потока, то происходит ее накопление, что приводит к различным неприятным последствиям – микробиологическому обрастанию оборудования (слизь, бактерии и грибы), неприятному запаху, попаданию в полотно бумаги, налипанию на сушильных цилиндрах и даже к снижению ФМП производимой на потоке продукции. Критической концентрацией ХПК, которая вызывает снижение ФМП продукции, является 4–4,5 г O_2 /л.

Для повышения эффективности работы технологического потока необходима локальная очистка (ЛО) оборотной воды. В качестве основного процесса локальной очистки используют флотацию. Процесс позволяет снизить концентрацию ВВ до 100 мг/л, если не применять коагулянты и флокулянты, и до 30 мг/л, если использовать реагенты.

Если же в процессе ЛО требуется получить более низкую концентрацию ВВ, то применяют доочистку на песчаных фильтрах, в этом случае концентрация ВВ может быть снижена до 3 мг/л.

Флотация в технологии макулатуры

В технологии переработки макулатуры флотация используется в двух направлениях: при облагораживании макулатуры, в составе станций локальной очистки оборотной воды, а также на этапе физико-химической ступени очистки сточных вод.

Флотация – гидродинамический процесс разделения мелких частиц, основанный на различном смачивании их жидкостью и избирательном

прилипании к поверхности раздела фаз (как правило, «жидкость–газ») за счёт сил поверхностного натяжения.

Движущей силой процесса флотации являются воздушные пузырьки, которые формируются путем подачи пересыщенного раствора воздуха в воде во флотатор из специальной установки – сатуратора. В этом случае насыщение пузырьками воздуха всего объема флотатора происходит равномерно.

Всплывающие пузырьки прилипают к плохо смачиваемым частицам ВВ и выносят их на поверхность, образуя флотошлам, который механическим методом удаляется с поверхности воды из флотатора.

Пересыщенный раствор воздуха в воде формируется в сатураторе следующим образом: осветленная во флотаторе вода насосом подается в сатуратор, туда же компрессором под давлением до 8 атм. закачивается сжатый воздух, далее образовавшийся раствор воздуха в воде выпускается в емкость флотатора.

Флотация – наиболее эффективный и скоротечный процесс выделения из очищаемой воды ВВ, нефтепродуктов, жиров, масел и других нерастворенных загрязнений.

Для повышения эффективности флотации применяются химические реагенты – коагулянты и флокулянты. Процессы ввода этих реагентов называются коагуляция и флокуляция.

Задача этих процессов – сдвинуть равновесие системы вода–ВВ в сторону укрупнения частиц. Таким образом у коагуляции и флокуляции общая цель, но физико-химическая природа различна.

Коагуляция – от латинского *coagulation* – свертывание, сгущение, процесс обработки воды солями многовалентных металлов в результате которого, за счет действия сил молекулярного притяжения, происходит укрупнение мельчайших частиц. Тонкодисперсные загрязнения обладают небольшим зарядом, при добавлении коагулянтов несколько зарядов увеличиваются, что усиливает их взаимное притяжение и вызывает агломерацию частиц.

Для каждого коагулянта существует определенный диапазон значений pH, при котором происходит эффективная коагуляция.

Доза коагулянта подбирается экспериментально и зависит от состава сточных вод, концентрации загрязняющих веществ и интенсивности перемешивания. В среднем для водоподготовки расход коагулянта составляет 5–10 мг/л, для сточных вод, в зависимости от концентрации загрязнений, расход коагулянта составляет от 20 до 100 мг/л.

Время коагуляции также зависит от качества воды. При подготовки питьевой воды время составляет 2–3 мин при интенсивном перемешивании (120 оборотов в мин). Для очистки стоков – 10–15 мин. Причем для достижения высокого эффекта процесса используют специальные камеры коагуляции, оборудованные механическими мешалками.

Флокуляция – от латинского *floccule* – клочья, хлопья, процесс, при котором образуются более крупные агрегаты. Применяется для повышения эффективности процесса коагуляции. Флокулянты – высокомолекулярные полиэлектролиты, которые в водной среде образуют агрегаты, которые

адсорбируют гидроксиды коагулянтов, связывая их вместе с примесями в крупные хлопья.

Скорость и эффективность процесса флокуляции зависит от состава стоков и эффективности перемешивания. Расход флокулянтов в пределах 0,5–1 мг/л, позволяет увеличить гидравлическую нагрузку на флотатор в 1,5–2 раза.

Краткие сведения о химическом потреблении кислорода

Химическое потребление кислорода (ХПК) – общий показатель уровня загрязнения воды, он применяется для оценки загрязнения и природных водных систем (реки, озера, пруды), и сточных вод, и технологической воды.

ХПК – это количество кислорода, расходуемого на окисление содержащихся в воде органических и неорганических веществ сильными окислителями. В зависимости от природы окислителя различают перманганатную бихроматную, иодатную и цериевую окисляемость. Если устранить влияние неорганических веществ или внести поправку на их содержание, то величина ХПК характеризует суммарную концентрацию в воде органических веществ, окисляемых в условиях анализа данным окислителем.

Наиболее высокая степень окисления достигается в кипящем кислом растворе бихромата калия $K_2Cr_2O_7$, содержащем катализатор. Количество кислорода в миллиграммах на кубический дециметр, эквивалентное расходу бихромата на окисление органических веществ, называют «бихроматной окисляемостью». Чаще всего при использовании термина «ХПК» имеют в виду именно величину бихроматной окисляемости.

Величины ХПК (бихроматной окисляемости) воды в зависимости от степени ее загрязнения, а также от содержания органических веществ естественного и искусственного происхождения, колеблются от единиц до тысяч миллиграммов в литре.

Окисляемость незагрязненных поверхностных вод суши проявляет отчетливую физико-географическую зональность. Для горных районов характерна малая окисляемость – до 5 мг O_2 /л; средняя окисляемость (от 5 до 10 мг/л) встречается в зонах широколиственных лесов, лесостепи, полупустыни, пустыни, тундры; повышенная (от 15 до 20 мг O_2 /л) – в зоне северной и южной тайги.

Концентрация ХПК в сточных водах может достигать существенных величин, например, концентрация ХПК в стоках переработки молока достигает 30 000 мг O_2 /л. Концентрация ХПК макулатурного производства редко превышает 4 000 мг O_2 /л.

Различают ХПК для проб фильтрованных и нефильтрованных. Фильтрованные пробы свидетельствуют о содержании растворенных органических веществ, а нефильтрованные указывают на общее содержание органических веществ.

При контроле качества сточных вод величину БПК, как правило, не определяют, для оценки БПК используют ХПК, т. к. для всех отраслей

промышленности существует нормативное соотношение этих двух показателей, в частности, для ЦБП соотношение на входе в очистные сооружения – ХПК/БПК = 2,5.

Существуют два основных метода определения ХПК – арбитражный и ускоренный.

Арбитражный метод. Определение основано на окислении органических веществ избытком бихромата калия в растворе серной кислоты (1:1) при нагревании в течение 2-х часов в присутствии катализатора – сульфата серебра, далее раствор охлаждают и титруют раствором соли Мора, таким же образом выполняют анализ холостой пробы.

Концентрацию ХПК определяют по формуле:

$$ХПК = \frac{(V_{МХ} - V_{МП}) * H * Эк * 1000}{V_{П}} \text{ мгO}_2/\text{л},$$

где $V_{МХ}$ – объем соли Мора на титровании холостой пробы, мл;

$V_{МП}$ – объем соли Мора на титрование пробы сточной соды, мл;

$V_{П}$ – объем пробы сточной воды, мл;

H – титр соли Мора, моль-эквивалент/л;

$Э$ – эквивалент кислорода (8), г/моль-экв;

1000 – коэффициент для перехода от граммов в миллиграммы.

Ускоренный метод определения ХПК предназначен для постоянных ежедневных анализов, проводимых с целью контроля технологического процесса. Главная особенность метода – использование концентрированной серной кислоты. Поэтому не требуется нагревания извне, температура повышается за счет тепла, выделяющегося при смешении воды и серной кислоты и, соответственно, охлаждения реакционной смеси. Основное преимущество ускоренного метода – быстрота выполнения. Но следует отметить, что результаты, как правило, получаются несколько ниже, чем при арбитражном методе. Поэтому на предприятиях для понимания реальных результатов периодически выполняют анализы и арбитражным методом тоже.

В работе мы будем пользоваться ускоренным методом.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Задание:

1. Выполнить локальную очистку оборотной воды производства тарного картона из макулатуры методом напорной флотации.
2. Определить концентрацию взвешенных веществ (ВВ) и ХПК в оборотной воде до и после ЛО.

Для моделирования процесса флотации используется лабораторный сатуратор Gloria 405T, далее сатуратор.

Подготовка сатуратора к работе:

1. Убедиться по показанию манометра на крышке, что давление в сатураторе равно «0», если давление выше, сбросить давление путем нажатия на красную кнопку на корпусе сатуратора рядом с манометром.
2. Открутить верхний клапан сатуратора и извлечь его из корпуса.
3. Заполнить сатуратор дистиллированной водой, количество воды не менее 1 и не более 5 литров, объем воды согласовать с преподавателем.
4. Вставить обратно верхний клапан в корпус сатуратора и плотно его закрутить.
5. Накачать сатуратор воздухом до давления по манометру – 6 атм., затем необходимо хорошо потрясти сатуратор, действие позволяет обеспечить качественное растворение воздуха в воде.
6. Далее стравить небольшое количество водовоздушной смеси из сатуратора в стакан, при этом давление в сатураторе упадет на 0,2–0,3 атм., что показывает достижение необходимого растворения воздуха в воде. Стравливание воды осуществляется до образования появления смеси молочного цвета, что означает, что произошло образование водовоздушной смеси необходимой для моделирования процесса флотации.
7. Сатуратор готов к работе.

Проведение экспериментов

Провести два эксперимента по ЛО:

Без применения химических вспомогательных веществ (ХВВ – флокулянта и коагулянта).

С применением ХВВ, реагенты и требования к приготовлению растворов определяет и выдает преподаватель.

По результатам экспериментов определить концентрацию ХПК и взвешенных веществ (ВВ) до и после очистки оборотной воды, результаты занести в таблицу 8.

Методика ЛО

Эксперимент 1

Отобрать пробу оборотной воды, выполнить измерение концентрации ХПК и ВВ.

В делительную воронку поместить 700 мл оборотной воды, далее из сатуратора добавить 300 мл водовоздушной смеси.

Подача смеси осуществляется следующим образом: подающая головка сатуратора опускается до самого дна делительной воронки, затем открыть кран подачи водовоздушной смеси.

После подачи сатурированной смеси замерить время до полного всплытия и уплотнения шлама ВВ. Далее выдерживаем разделенную смесь не менее

1,5–2,0 мин, до полного исчезновения пузырьков воздуха и аккуратно разделяем на осветленную воду и флотошлам.

Затем определить концентрацию ХПК и ВВ в осветленной воде, а также количество полученного флотошлама.

Эксперимент 2

Получить у преподавателя образцы коагулянта и флокулянта, приготовить их растворы в соответствии с полученным заданием.

Далее 700 мл оборотной воды поместить в стакан и при тщательном перемешивании внести в нее сначала коагулянт, потом флокулянт.

Затем оборотную воду поместить в делительную воронку и выполнить действия по методике эксперимента 1.

Методика определения ХПК

Для выполнения анализа потребуется:

Аппаратура

1. Колбы конические на 250 мл, 12 шт.
2. Набор стеклянных пипеток.

Реактивы

1. Бихромат калия 0,25 Н раствор.
2. Концентрированная серная кислота.
3. N-фенилантраниловая кислота.
4. Анализируемая вода.
5. Соль Мора 0,25 Н свежеприготовленный раствор.

Порядок анализа

Установить титр приготовленного раствора соли Мора: 25 мл 0,25 Н раствора бихромата калия разбавить дистиллированной водой до 250 мл, прилить 20 мл концентрированной серной кислоты. Перемешать и после охлаждения оттитровать раствором соли Мора, прибавив несколько капель индикатора N-фенилантраниловой кислоты до изумрудной окраски раствора. Количество соли Мора, пошедшее на титрование, составило 25 мл, следовательно, титр соли Мора $k = 1$.

К исследуемой пробе объемом 5 мл прибавить 2,5 мл 0,25 Н раствора бихромата калия, затем при перемешивании добавить 15 мл концентрированной серной кислоты. После охлаждения полученного раствора прилить 100 мл концентрированной серной кислоты и несколько капель индикатора. Затем оттитровать избыток бихромата калия раствором соли Мора до изумрудной окраски раствора. Титрование необходимо выполнить 3 раза и рассчитать погрешность эксперимента (среднеквадратическое отклонение).

Аналогично выполнить анализ холостой пробы.

Расчет.

Бихроматную окисляемость определяют по формуле:

$$ХПК = \frac{2000(Схп - Сип)k}{V_{\Pi}},$$

где Схп – объем соли Мора, израсходованный на холостой опыт, мл;

Сип – объем соли Мора, израсходованный на исследуемую пробу, мл;

к – титр соли Мора (в расчете принимаем за единицу);

V – объем исследуемой пробы, взятой для определения, мл.

После выполнения работы полученные результаты занести в таблицу.

Методика определения концентрации ВВ

Взвешенные вещества являются постоянным компонентом воды в водных системах. Представлены они в виде примесей органического и неорганического происхождения.

Принцип метода основан на выделении механических веществ путем фильтрации определенного объема пробы воды.

Материалы и оборудование

1. Емкость для отбора пробы воды.
2. Мерный цилиндр.
3. Воронки.
4. Колбы емкостью 100–500 мл.
5. Фарфоровые чашечки
6. Фильтры.
7. Сушильный шкаф.
- 8.Аналитические весы.

Порядок анализа

Для определения концентрации ВВ берут бумажные фильтры и фарфоровую чашечку, предварительно высушенные в сушильном шкафу в течение одного часа при $t = 105^{\circ}\text{C}$, чашечку и фильтр взвешивают на аналитических весах.

Отобранныю пробу воды тщательно взбалтывают, отмеряют мерным цилиндром 200 мл воды, фильтруют через взвешенный фильтр. Затем фильтр с осадком переносят в фарфоровую чашечку и помещают в сушильный шкаф, где высушивают при температуре $t = 150^{\circ}\text{C}$ около 2 часов, далее чашечку с фильтром охлаждают в эксикаторе, затем взвешивают на аналитических весах.

Обработка результатов. Содержание примесей рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{M_0 - M_{\text{чф}}}{V} \cdot 1000 \text{ (мг/л)},$$

где M_0 – вес осадка с чашечкой и фильтром, мг;

$M_{\text{чф}}$ – вес чашечки и фильтра, мг;

V – объем фильтровальной жидкости, мл.

Полученные данные занести в таблицу 8 и сделать вывод о влиянии коагулянта и флокулянта на результаты флотации.

Таблица 8

Качественные показатели,	Ед. изм.	Исходная суспензия	Флотация без ХВВ	Флотация с ХВВ
Концентрация ХПК	мгО ₂ /л			
Концентрация ВВ	мг/л			
Объем флотошлама	мл	-		
Объем осветленной воды	мл			
Время флотации	сек	-		

ВОПРОСЫ К КОЛЛОКВИУМУ

1. ТДО технология, стадии, эффект. Достоинства и недостатки.
2. Облагораживание макулатуры. Задачи, краткая характеристика процессов.
3. Сточные воды макулатурных производств, особенности состава. Классическая схема очистки стоков.
4. Очистка стоков на базе SBR, достоинства и недостатки.
5. Технология очистки стоков BIOFLOT, достоинства и недостатки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фляте, Д. М. Бумагообразующие свойства волокнистых материалов / Д. М. Фляте. – М. Лесная промышленность, 1990. – 132 с.
2. Лабораторный практикум по технологии бумаги и картона: учеб. пособие / В. К. Дубовый, А. В. Гурьев, Я. В. Казаков, В. И. Комаров, Г. Н. Коновалова, А. С. Смолин, В. В. Хованский; под ред. проф. В. И. Комарова, проф. А. С. Смолина. – СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2006. – 230 с.
3. Технология гофрокартона: учеб. пособие / А. С. Смолин, В. К. Дубовый, В. И. Комаров, Я. В. Казаков, В. И. Белоглазов. – Изд. 2-е, испр. и доп. – СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2019. – 412 с.
4. Формирование свойств тест-лайнера в процессе производства / В. И. Комаров, Н. И. Яблочкин, Д. А. Дулькин, И. Н. Ковернинский. – Архангельск, 2005. – 161 с.
5. Особенности технологии бумаги для гофрирования из макулатуры и требования к ее потребительским свойствам / Л. А. Южанинова, Д. А. Дулькин, В. А. Спиридонов, В. И. Комаров. – Архангельск, 2007. – 102 с.
6. Воюцкий, С. С. Курс коллоидной химии / С. С. Воюцкий. – М.: Химия, 1975. – 512 с.
7. Селезнев, В. Н. Основы полиграфии. Выполнение лабораторных работ: методические рекомендации для студентов всех форм обучения / В. Н. Селезnev, В. Н. Сунайт. – Санкт-Петербург, 2021. – 36 с.
8. Технология переработки макулатуры: учеб. пособие / М. В. Ванчаков, А. В. Кулешов, Е. В. Дубовой, Я. В. Казаков, В. К. Дубовый – 3-е изд., испр. и доп. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 322 с.

Учебное издание

Синчук Александр Владимирович

**Технология переработки макулатуры
Лабораторные работы**

Учебно-методическое пособие

Редактор и корректор М. Д. Баранова
Техн. ред. Д. А. Романова

Темплан 2025 г., поз. 5013

Подписано к печати 20.11.2025. Формат 60x84/16. Бумага тип № 1.
Печать офсетная. Печ.л. 2,8. Уч.-изд. л. 2,8.
Тираж 30 экз. Изд. № 112. Цена «С». Заказ №

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД,
198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4