

**М.В. ВАНЧАКОВ, А.В. КУЛЕШОВ  
А.В. АЛЕКСАНДРОВ, А.А. ГАУЗЕ**

**ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ  
ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРЫ**

**Часть III**

**Учебное пособие**

**Санкт-Петербург  
2019**

**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**

**М.В. ВАНЧАКОВ, А.В. КУЛЕШОВ  
А.В. АЛЕКСАНДРОВ, А.А. ГАУЗЕ**

**ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ  
ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРЫ**

**Часть III**

**Учебное пособие**

**Санкт-Петербург  
2019**

УДК 676.038.2 (075)

ББК 35.77я7

В 176

Ванчаков М.В., Кулешов А.В., Александров А.В., Гаузе А.А.  
Технология и оборудование переработки макулатуры: учебное пособие/  
ВШТЭ СПбГУПТД. - СПб., 2019. Часть III. - 139 с.: ил. 44. - ISBN 978-5-91646-190-9

В части III пособия рассмотрены процессы облагораживания и отбелики макулатурной массы и соответствующие технологии и оборудование. Приведены анализ и описания потреблений и эмиссий при работе предприятий, перерабатывающих макулатуру. Рассмотрены вопросы, связанные с водопользованием на указанных предприятиях и пути обработки и утилизации отходов производства. Приведены различные схемы переработки макулатуры для производства отдельных (массовых) видов продукции. В конце пособия даны специфические методики для оценки основных свойств макулатурной массы.

Пособие содержит расчетные формулы, таблицы, схемы и рисунки. Имеется библиографический список рекомендуемой литературы.

Пособие предназначено для студентов (бакалавров и магистрантов) направлений 15.03.02 и 15.04.02 «Технологические машины и оборудование», а также направления 18.03.01 «Химическая технология». Может быть использовано в системах послевузовского и дистанционного обучения.

Рецензенты:

Б.Е. Борилкевич – директор ООО «Р-центр»;

В.С. Куров – заместитель директора по научной работе ВШТЭ СПбГУПТД, д-р техн. наук, профессор.

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД в качестве учебного пособия.

ISBN 978-5-91646-190-9

© Высшая школа технологии  
и энергетики СПбГУПТД, 2019

© Ванчаков М.В., Кулешов А.В.,  
Александров А.В., Гаузе А.А., 2019

## 9. ОБЛАГОРАЖИВАНИЕ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Комплекс технологических процессов обработки макулатурного сырья, обеспечивающих максимальное отделение и удаление частиц печатной краски, зольных и клеевых элементов из ММ, а также обесцвечивание и повышение степени белизны вторичных волокон, называют облагораживанием (deinking). Облагораживание позволяет получить высококачественный волокнистый полуфабрикат для производства писче-печатных, санитарно-бытовых и других видов бумаги. На рис. 9.1. приведена диаграмма влияния размеров частиц различных веществ на белизну и сорность ММ.

Основная цель процесса облагораживания массы вторичных волокон из запечатанной макулатуры – восстановление ее белизны и чистоты до уровня, обеспечивающего возможность замены ими первичного беленого целлюлозного волокна. Основными процессами при облагораживании ММ являются промывка и флотация. К ним примыкает и процесс отбели ММ. Эти процессы требуют дополнительного оборудования и использования вспомогательных химических веществ, что заметно повышает себестоимость получаемой массы.

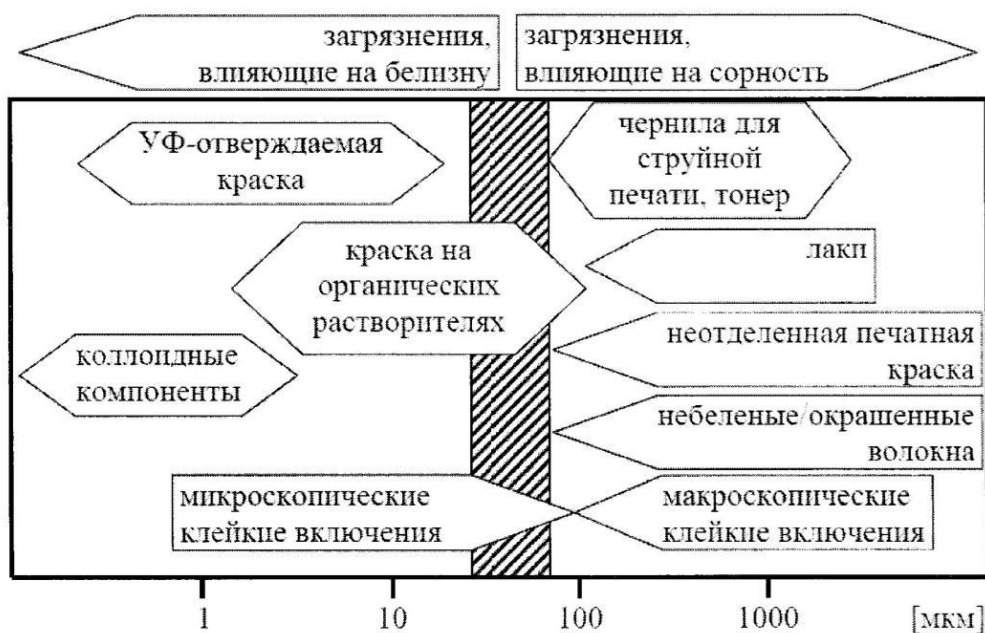


Рис. 9.1. Влияние размеров инородных частиц на белизну и сорность ММ

Основными требованиями к качеству облагороженной ММ являются:

➤ улучшение оптических свойств (нейтральная окраска, белизна на уровне 65÷72 %). При исходной белизне сырья 62÷67 % в оптимальных условиях облагораживания можно добиться белизны ММ 85÷86 %;

➤ прочностные свойства продукции должны занимать промежуточное положение между продукцией из ТММ и сульфатной целлюлозой;

➤ минимальное содержание загрязняющих веществ (соринок) и липких частичек.

Процесс облагораживания ММ путем удаления из нее частиц типографской краски обычно производится в две стадии:

➤ отделение частиц типографской краски от волокон суспензии и перевод ее в водную фазу;

➤ удаление частиц типографской краски из водной фазы суспензии и получение чистого волокна. Этот процесс осуществляется двумя способами: *промывкой* или *флотацией*.

Первую стадию процесса облагораживания ММ проводят в щелочной среде, при одновременном механическом и тепловом воздействии. Под действием щелочи происходит омыление связующих веществ типографской краски, волокна набухают, частицы краски трескаются и отделяются от волокон. Образуется водная суспензия из волокон и частиц типографской краски. Эта стадия, как правило, протекает в процессе подготовки ММ.

Удаление печатной краски обычно осуществляется при переработке газетной (МС-8В) и книжно-журнальной (МС-7Б) макулатуры с механической древесной массой (МДМ), а также из офисной макулатуры без содержания МДМ. Наличие макулатуры из упаковочной бумаги и картона темных оттенков для облагораживания нежелательно, поскольку при этом будет понижаться общая белизна ММ.

Критерием достаточного уровня белизны, получаемой в результате облагораживания ММ, обычно является белизна незапечатанных участков поверхности бумаги, использованной в качестве макулатурного сырья. Кроме того, для оценки эффективности облагораживания ММ используют коэффициент удаления печатной краски (от 0 до 100 %) или величину остаточной концентрации печатной краски. Для оценки оптических свойств облагороженной ММ используют коэффициент спектрального отражения, который определяют с помощью спектрофотометра.

## **9.1. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССОВ ОБЛАГОРАЖИВАНИЯ И ОТБЕЛКИ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ**

### **9.1.1. Виды и составы краски, содержащейся в макулатурном сырье**

Запечатанная макулатура – нестабильный вид сырья не только по своему композиционному составу, но и по способу нанесения печати, по количеству и составу краски, по условиям высыхания и закрепления краски. Все это оказывает влияние как на отделение краски с поверхности волокна, так и на удаление ее из ММ.

Для правильного выбора метода удаления типографских красок, присутствующих в макулатуре, важно определить их вид. Так, например, макулатура из газетной бумаги (МС-8В) содержит краски, обработка которых весьма проста. Основным их компонентом является сажа, суспендированная в масле. В процессе печати масло впитывается в бумагу, оставляя сажу в виде настила шрифта. Отделение такой краски достигается использованием щелочей и ПАВ в процессе роспуска, которые высвобождают частицы сажи и удаляют масло. Краски, которые применяются в лазерной и струйной печати, стандартными ПАВ удалить довольно сложно. Определенный успех достигается применением коллоидного кремнезема или стабилизированного полиэтилена с ПАВ в композициях с отбеливателями типа хлора или пероксида водорода.

Сегодня происходит постоянный процесс создания новых красок, среди которых можно назвать:

- водосовместимые краски для применения в высокой и глубокой печати;
- влагозакрепляемые краски для печатания на крафт-бумагах и картоне способами высокой и офсетной печати;
- краски для высокоскоростной ротационной печати с использованием термопластичных смол;
- краски для глубокой и флексографической печати на спиртовой основе;
- краски для плоской офсетной печати, не требующие применения сушильных устройств и др.

В связи с широким распространением множительной техники используются новые технологии для передачи и фиксации изображений на основе электрической и световой энергии. Проявление изображений в фотоэлектрических процессах производится с помощью электрически заряженных красящих веществ в виде порошков или жидкостей.

Главными факторами эффективности процесса обесцвечивания являются состав печатной краски и способ нанесения печати. Большинство типографских красок состоит из пигмента или тонера (15÷30 %), связующих веществ (80÷65 %) и различных добавок. В зависимости от вида типографской краски и способа нанесения, содержание ее в бумаге от книг составляет 0,5÷1,0 %; в бумаге от газет – 0,5÷5,0 %; в бумаге от иллюстрированных журналов – 1÷7 %, а толщина нанесенного слоя краски 1,5÷3,0 мкм.

Пигменты (тонеры) – это плохо растворимые неорганические или органические вещества. Тонирующие пигменты, или красители используют для придания краске определенного оттенка. Одновременно, пигменты определяют такие характеристики печатной продукции, как светостойкость, влагостойкость и устойчивость к воздействию щелочей, кислот и растворителей.

Связующие вещества (носители и связующие реагенты) формируют пленку печатной краски, прочно закрепляя пигменты на поверхности бумаги в процессе сушки. В качестве связующих веществ используется целый ряд химических реагентов, как правило, полимерного характера. К ним следует отнести соединения следующих видов: крахмал и его производные, карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) и другие эфиры целлюлозы, полиакриламиды различных видов, поливиниловый спирт, поливинилацетаты, полиэксилен, полиакрилаты, полимины, полиамидные смолы с эпихлоргидрином, поливиниламины, полиэлектролитные комплексы. Основой связующих реагентов являются растительные масла, канифоль, асфальт, битумы и другие синтетические вещества. Для печатных красок на основе воды используют акриловые дисперсии, акриловые или малеиновые смолы. Использование модифицированных связующих смол, растворяющихся в щелочной среде, способствует отделению тонера в процессе роспуска макулатуры.

Носители (растворители) растворяют твердые связующие реагенты и поддерживают печатную краску в жидком состоянии. После нанесения печатной краски носители испаряются или абсорбируются на поверхности бумаги с образованием пленки. В качестве носителей применяют спирты, эфиры, гликоли и их производные, ацетон, углеводороды и воду.

Состав связующего реагента и носителя определяет способ сушки печатной краски и, в дальнейшем, оказывает решающее влияние на выбор технологии облагораживания ММ. Способы сушки печатной краски подразделяют на физические – абсорбция на поверхности полотна или испарение растворителя и химические – окисление или сушка под действием излучения энергии. При химических способах сушки связующий реагент подвергается окислению или полимеризации. Сушка краски под действием излучения энергии – ультрафиолетовое излучение или пучок электронов – происходит в течение долей секунды.

Размер частиц печатной краски (см. рис. 9.1) является существенным фактором для выбора технологии облагораживания ММ. Так, например, после разволокнения макулатуры частицы флексографической краски имеют меньшие размеры, чем частицы краски для высокой, офсетной и глубокой печати. Кроме того, на размеры частиц краски в заметной степени влияет величина рН на различных стадиях технологического процесса переработки макулатуры. Например, степень измельчения печатной краски при разволокнении газетной макулатуры (МС-8В) уменьшается при достижении величины рН нейтрального значения. Поэтому вместо гидроксида или силиката натрия возможно применение сульфита натрия для интенсификации разволокнения такой макулатуры в нейтральной среде. Следует учитывать и то, что при интенсивном диспергировании и размоле ММ может происходить частичное обратное осаждение на волокна отделенных ранее частиц краски. В связи с этим несколько снижается белизна ММ.



Внедрение новых типов связующих, красок и современных процессов печати требует от переработчиков макулатурного сырья непрерывного совершенствования технологии облагораживания. В настоящее время отсутствует какой-либо универсальный способ удаления любых красок при облагораживании ММ. Поэтому используются технологии, основанные на разных принципах действия.

Одна из таких технологий состоит в холодном роспуске макулатуры с последующим холодным диспергированием. При этом температура ММ поддерживается ниже уровня стеклования связующего, что дает возможность, используя относительно хрупкую его природу, избежать разрушения частиц тонера с образованием из них агломератов. Последующая флотация в несколько ступеней позволяет достаточно полно очистить массу от трудноудаляемой краски.

Другим направлением, дающим возможность нейтрализовать свойства тонера, препятствующие освобождению от него целлюлозных волокон при облагораживании массы из офисной макулатуры, является использование полимеров, придающих смоле тонера слабокислые свойства. В результате облегчается дезинтеграция частиц тонера, что делает более эффективным их удаление из массы методом промывки. В качестве примера таких полимеров можно назвать полиимид и полиэфиримид. Для облегчения отделения тонера от волокон при переработке офисной макулатуры предлагается включать в состав тонера некоторые энзимы (ферменты), способствующие этому процессу.

С увеличением продолжительности хранения (старения) печатной продукции эффективность удаления из нее печатной краски, как правило, снижается. Кроме длительности хранения, на процесс старения бумаги и краски оказывают влияние такие внешние факторы, как температура, влажность и ультрафиолетовое излучение. Так, например, белизна ММ с офсетной печатью снижается с увеличением продолжительности хранения макулатуры. Это особенно характерно для ММ с низким содержанием наполнителя. В противоположность этому, продолжительность хранения макулатурного сырья мало влияет на эффективность облагораживания ММ из газетной бумаги с высокой печатью.

Наличие мелованного покрытия, в основном, негативно влияет на эффективность удаления печатной краски из ММ, полученной после длительного хранения макулатуры. Однако частицы офсетной краски и краски для глубокой печати достаточно легко отделяются от волокон мелованной бумаги и после продолжительного хранения.

По инициативе Европейской ассоциации производителей обесцвеченной макулатурной массы с участием печатников и изготовителей печатных красок разрабатываются экологические проекты создания и использования таких технологий печати, которые позволяют успешно использовать макулатуру для получения облагороженного волокна.

### 9.1.2. Факторы, влияющие на процессы отбели и белизну ММ

Отбелка вторичного целлюлозного волокна основана на тех же принципах, что и отбелка первичного волокна. При использовании макулатуры, содержащей беленое целлюлозное волокно, кроме традиционной обработки также можно отнести к процессам «отбели» вторичного волокна процессы диспергирования, промывки и флотации, а также биохимической (ферментной) обработки, приводящие к увеличению показателя белизны массы. Кроме того, в процессе роспуска макулатурного сырья, который проводят в щелочной среде, во избежание пожелтения массы, в гидроразбиватель вводят отбеливающий раствор, состоящий из пероксида водорода, силиката натрия и гидроксида натрия. При ТДО запечатанной макулатуры в массу иногда добавляют отбеливающий раствор – дитионит натрия. Во многих случаях отбелку пероксидом водорода и дитионитом натрия можно считать достаточной для обеспечения требуемой белизны массы.

Степень прироста значения показателя белизны массы, независимо от типа процесса отбели, определяется множеством различных факторов, действующих как по отдельности, так и в комплексе. К ним относятся:

- вид и состав перерабатываемой макулатуры;
- показатель общей щелочности массы ( $\text{ОЩ} = \text{NaOH} + 0,112 \text{Na}_2\text{SiO}_3$ , % к массе а.с. волокна);
- рН массы;
- жесткость воды;
- количество, вид и соотношение ХВВ, место их введения в массу по технологической цепочке;
- технологические режимы процесса отбели (продолжительность, концентрация массы, температура, давление и т.п.).

Необходимый уровень белизны массы определяется требованиями к готовой продукции. В связи с тенденцией ухудшения качества собираемой макулатуры, системы облагораживания и отбели ММ постоянно совершенствуются и развиваются.

## 9.2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЦЕССАХ ОБЛАГОРАЖИВАНИЯ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Облагораживание, т.е. удаление предварительно отделенных от волокна частиц краски из ММ, производят следующими способами: промывкой волокна (физико-механический процесс), флотацией и адсорбцией (физико-химический процесс) или последовательным сочетанием этих процессов. Дополнительное повышение значения показателя белизны основано на химических процессах обесцвечивания или отбели вторичного волокна.

Облагораживание макулатурного волокна фактически начинается с отделения частичек краски от волокна при роспуске в гидроразбивателе. Механизм отделения частиц печатной краски от волокон включает: набухание волокон при увлажнении макулатуры, ослабление химических связей между волокном и частицами краски и механическое воздействие на волокна.

Отделение частичек краски от волокна улучшается с повышением концентрации массы при роспуске в периодическом режиме и в гидроразбивателях барабанного типа, при роспуске в непрерывном режиме. С целью более полного отделения частиц краски в массу при роспуске добавляют химические вещества и осуществляют нагрев массы. Под воздействием щелочных реагентов, тепла связующие вещества омыляются, и краски теряют вяжущую способность. В процессе разволокнения макулатуры рН массы поддерживают на уровне 9÷10 за счет подачи едкого натра.

Волокна в щелочной среде интенсивно набухают, что приводит к образованию трещин в пленке печатной краски и ее разрушению. Это также способствует отрыву частиц краски с их поверхности. В случае избытка щелочи повышается абсорбционная способность набухшего волокна, что может сопровождаться частичным повторным осаждением частиц краски на его поверхность. Во избежание повторного осаждения в роли буфера рН используют жидкое стекло (силикат натрия).

Механическая обработка ММ способствует отделению печатной краски за счет трения между волокнами и воздействия на них рабочих элементов диспергатора. Следует учитывать, что при диспергировании несколько снижается потенциальная белизна ММ вследствие частичной адсорбции на волокнах измельченных частиц печатной краски.

Эффективность отделения и последующего удаления частиц краски зависит от способа нанесения ее на поверхность бумаги и картона. Так, краски для высокой и глубокой печати сравнительно легко отделяются от волокна по сравнению с офсетной печатью. Краска для офсетной печати может вызывать проблемы отделения ее при «старении» печатного изделия в связи с отверждением алкидных связующих.

Для отделения прочно закрепленных частиц печатной краски используют процесс ТДО с применением различного диспергирующего оборудования. Дисковые высокоскоростные диспергаторы используют для переработки макулатуры, содержащей частицы краски для офсетной и глубокой печати. Растирающие низкоскоростные диспергаторы более эффективны для обработки ММ, содержащей частицы краски лазерных принтеров.

Для более полного отделения частиц краски от волокон рекомендуется использование поверхностно-активных веществ (ПАВ), улучшающих смачиваемость краски водой за счет снижения поверхностного натяжения. Краска становится гидрофильнее, что интенсифицирует процесс ее отделения и диспергирования.

Вещества, применяемые для удаления краски и отбеливания ММ, а также их ориентировочные расходы приведены в табл. 9.1.

Химикаты для удаления краски плохо удерживаются клетчаткой волокон, и считается, что они, в основном, попадают в шлам, образующийся в процессе удаления краски, который вывозится на свалки или сжигается.

Применение обработки ММ различными ферментами (ферментативная обработка) способствует отделению частиц печатной краски, уменьшению их размеров, а также препятствует их повторному осаждению на волокнах. Соответствующие ферменты можно разделить на две группы. Действие первой группы ферментов (целлюлазы и гемицеллюлазы) базируется на деградации компонентов волокна, связанных с краской. Процесс сопровождается частичными потерями волокна. Действие второй группы ферментов (липазы, эстеразы, пектиназы) заключается в разрушении связующих компонентов типографских краски, изготовленных на основе растительных масел.

Реакции фермента включают ограниченный гидролиз, протекающий в верхних слоях волокон, к которым прикрепляется печатная краска в процессе печати. На эффективность ферментативного облагораживания ММ влияет продолжительность процесса, рН среды, температура и концентрация массы. Довольно часто ферменты добавляют в начале процесса подготовки массы, заменяя ими традиционные химикаты.

Таблица 9.1

Расходы ХВВ для удаления типографской краски и отбели

Химикат	Расход (кг/т)
Гидроксид натрия	10÷20
Силикат натрия	20÷30
Мыло	5÷8
Тальк	10÷15
Пероксид водорода	5÷25
Хелатирующие агенты (ДТПК) <sup>1</sup>	2÷3
Дитионит натрия	6÷10
Серная кислота	8÷10
<sup>1</sup> Обычно хелатирующие агенты не используются при переработке/отбелике макулатуры, если нет слишком высоких концентраций Fe- и Mn- ионов.	

Сразу после ферментативной или щелочной обработки ММ очищают методом флотации во избежание повторного сорбирования микрочастиц краски волокном. В промышленных условиях весь процесс такого облагораживания (ропуск – ферментативная обработка – флотация)

осуществляется при температуре  $50 \div 55$  °С, продолжительность процесса составляет  $1,0 \div 1,5$  мин.

На рис. 9.2 приведены примерные данные по изменению белизны ММ и площади поверхности сгустков загрязнений (соринок) на различных стадиях технологии переработки макулатуры. Площадь поверхности сгустков загрязнений обычно выражают в  $\text{мм}^2$  на  $1 \text{ м}^2$  поверхности образца бумаги или на  $1 \text{ г}$  а. с. массы.

По мере уменьшения площади поверхности сгустков увеличивается и белизна ММ. Наибольшее повышение белизны ММ и, соответственно, уменьшение площади поверхности сгустков загрязнений происходит при флотации массы. После диспергирования наблюдается некоторое снижение белизны из-за того, что происходит измельчение и распределение частиц печатной краски в ММ.

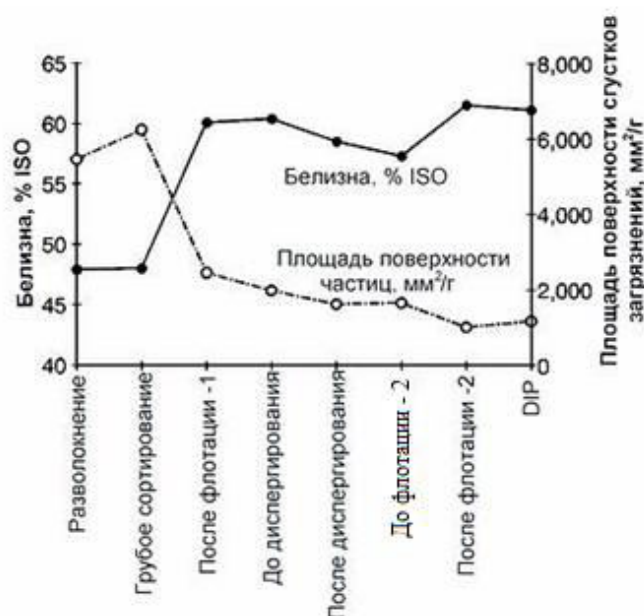


Рис. 9.2. Изменение белизны и размера сгустков загрязнений на различных стадиях переработки ММ (с промывкой)

### 9.3. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОМЫВКИ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

#### 9.3.1. Общие сведения о процессах промывки ММ

Промывка ММ – это технологическая операция удаления из суспензии определенных фракций твердых веществ – частиц примесей размером менее  $30 \text{ мкм}$ . Хорошо диспергированные частицы краски, содержащиеся в волокнистой суспензии, могут свободно проходить через фильтрующую перегородку из волокон, имеющую отверстия с размерами около  $10 \div 100 \text{ мкм}$ , не осаждаясь на этих волокнах. Это обусловлено тем, что размеры пор в

сетке волокон, образующейся на фильтрующей перегородке, больше, чем размеры частиц диспергированной краски и наполнителей.

При промывке происходит фильтрация волокнистой суспензии с целью удаления из нее тонкодисперсных частиц примесей, а также растворенных и коллоидных веществ, которые отрицательно влияют на процесс изготовления бумаги и/или качество готовой продукции. В фильтрате от промывки ММ содержатся частицы печатной краски, наполнителей и меловальных покрытий, обрывки волокон, микрочастицы липких загрязнений. К растворенным и коллоидным веществам относятся различные неорганические и органические соединения, которые могут повысить ХПК оборотной и сточной воды, а также увеличить анионное загрязнение ММ.

Промывку осуществляют путем предварительного разбавления ММ водой и ее последующего обезвоживания, схожего с процессом сгущения. Промывка отличается от обычного сгущения ММ тем, что при обычном сгущении фильтрат практически без дополнительной очистки может быть использован в качестве технологической (оборотной) воды. После промывки ММ необходима обязательная очистка фильтрата, используемого в дальнейшем для разбавления массы, с целью предотвращения потери белизны волокнистого полуфабриката.

Содержание мелких примесей в ММ и их компонентный состав зависят от марки макулатурного сырья, технологии его переработки и требований, предъявляемых к конечной продукции. При отделении примесей иногда необходимо сохранение части веществ, используемых для производства некоторых видов продукции, например, наполнителей и мелкого волокна.

В табл. 9.2 представлены задачи промывки ММ при переработке макулатуры в зависимости от вида получаемой из нее продукции. Локальная очистка фильтрата от промывки позволяет сократить потери волокна и наполнителя. Регулирование содержания твердых веществ в фильтрате может быть осуществлено непосредственно в промывных аппаратах.

Таблица 9.2

Требования, предъявляемые к ММ по содержанию нежелательных примесей, удаляемых при промывке

Конечный продукт	Необходимо удалить		
	минеральные компоненты	обрывки волокон	частицы печатной краски
Газетная бумага	-	-	+
Суперкаландрированная бумага	частично	частично	+
Легкомелованная бумага	+	частично	+
Санитарно-гигиеническая бумага	+	частично	+

Промывку ММ производят, как правило, в несколько ступеней. Когда частицы краски достаточно диспергированы, на одной ступени промывки можно удалить до 85 % частиц, а при использовании трех и более ступеней промывки (в условиях эксперимента) до 99 %. Практически добиться такой степени удаления частиц краски невозможно, поскольку отдельные частицы краски вновь (повторно) осаждаются на волокнах.

Эффективность промывки ММ косвенно определяется соотношением концентраций поступающей и промытой волокнистой суспензии. Уменьшение концентрации массы, поступающей на промывку, как и повышение концентрации промытой массы, способствует более эффективному удалению из нее тонкодисперсных твердых частиц. Однако фактическая эффективность промывки будет несколько ниже, так как происходит частичное осаждение дисперсных частиц примесей в фильтрующем слое волокон на сите промывного аппарата.

Наиболее важными показателями массы, от которых зависит производительность промывного оборудования, являются степень помола, концентрация, температура, фракционный состав и вид массы. Для получения высокого эффекта промывки частички краски должны быть хорошо диспергированы. Этого можно добиться с помощью ТДО и размолы массы, а также использованием специальных реагентов – диспергаторов. Так, диспергаторами для макулатурной массы, содержащей древесную массу, могут служить жидкое стекло, перекись водорода и едкий натр. Для других видов макулатуры чаще используют смесь синтетических ПАВ.

При выборе диспергирующего агента следует учитывать следующие условия:

- диспергатор должен способствовать отделению краски от волокна;
- частицы краски должны оставаться диспергированными, т.е. не коагулировать;
- не должно быть пенообразования в массе и фильтрате;
- диспергатор не должен препятствовать очистке фильтрата;
- диспергатор должен быть легко разлагаем микроорганизмами (при биологической очистке стоков).

При выборе диспергатора необходимо найти разумный компромисс между эффективностью диспергирования печатной краски и возможностью достижения требуемой степени очистки фильтрата. Очистка фильтрата необходима, так как является единственным средством выведения краски из системы водооборота. Фильтрат от промывки обычно подвергается очистке на специальных установках, оборудованных устройствами для микрофлотации (см. п. 11.3.2).

При подготовке ММ для производства санитарно-бытовых видов бумаги следует обращать особое внимание на экономическую эффективность процесса переработки макулатуры марки МС-7Б. Так как количество наполнителя и мелкого волокна в данной макулатуре может достигать 50 %, то выход готового волокна в ММ может снизиться до 60 % и менее. Кроме

того, включение промывки в технологическую линию переработки макулатуры приведет к повышению УРЭ при том, что для достижения требуемой минимальной зольности в ММ ( $2\div 3\%$ ) необходимо использовать не менее двух ступеней промывки. При высоком содержании частиц зольных элементов (наполнителя) в фильтрате от промывки увеличивается нагрузка на оборудование локальной очистки производственной воды.

Операцию промывки используют в технологических схемах получения ММ для производства писче-печатных видов бумаги высокого качества, для достижения оптимальной белизны ММ и удаления излишних зольных элементов. При этом следует контролировать степень удаления мелкого волокна и наполнителя. Одна ступень промывки повышает белизну ММ на  $4\div 5\%$  при потере  $10\div 15\%$  волокна и наполнителя. Достижение белизны ММ уровня  $68\div 72\%$ , необходимой для производства писче-печатных видов бумаги высокого качества, возможно только в несколько ступеней промывки при потере мелкого волокна и наполнителей до  $30\%$  массы твердого вещества в ММ.

Недостатками процесса промывки являются:

- большой расход свежей воды ( $160\div 180\text{ м}^3$  на тонну облагороженной массы) и, соответственно, образование большого количества загрязненных вод;
- большие потери волокна и наполнителя. При использовании процесса промывки потери волокна и наполнителей могут составлять до  $30\%$ , а при переработке макулатуры, содержащей сильно мелованную бумагу, потери могут достигать  $50\%$ .

### **9.3.2. Оборудование установок для промывки ММ**

Удаление печатной краски из массы методом промывки, фактически, базируется на процессе ее сгущения в определенных условиях. Процесс сгущения сводится к разделению волокнистой суспензии при помощи фильтрующей перегородки на влажный осадок и жидкую фазу - фильтрат. Фильтрат с определенным количеством диспергированной краски, наполнителя и мелких волокон проходит сквозь фильтрующую перегородку, а сгустившаяся масса откладывается на рабочей поверхности, образуя слой волокна, часть которого непрерывно удаляется.

Движущая сила процесса сгущения – разность давлений по обеим сторонам фильтрующей перегородки. Скорость истечения фильтрата через перегородку прямо пропорциональна перепаду давлений и обратно пропорциональна сопротивлению перегородки и отложившегося слоя волокна. Сопротивление волокнистого осадка значительно выше сопротивления фильтрующей сетки или сита.

Для промывки (сгущения) массы используют различные виды оборудования. На рис. 9.3 приведены данные по эффективности промывки



ММ, содержащей 15÷17 % наполнителя при использовании различного типа промывного оборудования.



Рис. 9.3. Сравнение эффективности промывки для различного промывного оборудования

Традиционные аппараты для промывки – это сгустители барабанного типа. К ним относятся шаберные сгустители и сгустители двухбарабанного типа (см. п. 8.3.1). Первые способны повышать концентрацию массы до 7 %, а вторые – до 20÷35 %. Широкое распространение в технологических линиях промывки с целью сокращения потерь волокна получили различные конструкции ленточных прессов (см. рис. 8.6, включая двухсеточный пресс, представленный на рис. 8.7, ч. II).

Аппарат типа OptiThick GAP-Washer фирмы Valmet относится к группе ленточных прессов и позволяет регулировать степень обезвоживания ММ и удаление мелких волокон. Технология GAP-Former обеспечивает высокое качество промывки ММ при высокой производительности. Концентрация поступающей массы 0,7÷1,4 %. Производительность аппарата от 115 до 400 т/сут по волокну.

К ленточным прессам относятся также аппараты VarioSplit и Double Nip Tickener фирмы Voith. Данные аппараты отличаются высокой производительностью, простотой обслуживания и регулировки степени удаления наполнителя и частиц краски. Обезвоживание массы осуществляется с помощью сетки, которая прижимает фильтрующий слой к поверхности одного или двух валов. Конструкция данного аппарата отличается наличием двух валов для обезвоживания. Аппарат VarioSplit эксплуатируется на скорости 300÷1000 м/мин при концентрации поступающей массы 0,7÷1,5 %. Производительность аппарата составляет 120÷500 т/сут. Суспензия для обезвоживания подается через сопла в зазор между сеткой и закрытым валом. Концентрация промытой массы составляет 5÷10 %.

Оригинальной конструкцией аппарата для промывки макулатурной массы является промыватель DNT фирмы Kadant Lamort (рис. 9.4).

Промыватель состоит из распределяющего массу напорного ящика, грудного вала, гауч-вала, синтетической сетки, шнекового конвейера. Промываемая масса через напорный ящик подается в зазор между грудным валом и сеткой. Высокая скорость подачи массы в зазор способствует эффективному обезвоживанию и высокой производительности промывки при сравнительно небольших габаритах установки. После подачи слой массы дополнительно обезвоживается между сеткой и гауч-валом и подается на шнековый конвейер, который удаляет из аппарата сгущенную до концентрации  $8 \div 12$  % ММ. Аппарат закрыт кожухом, защищающим его от разбрызгивания воды и массы. Фильтрат собирается и выводится через нижнюю секцию. Неподвижное устройство spryska низкого давления и вибрационное устройство spryska высокого давления обеспечивают постоянную очистку сетки после разгрузки продукта.

Промывной аппарат Dynamic Washer фирмы GL&V представляет собой сортировку, работающую под давлением. Ротор аппарата выполнен в виде цилиндра с многочисленными полусферическими выпуклостями. Сито сортировки имеет такие мелкие отверстия, что через них могут проходить только частицы наполнителя, печатной краски и обрывки волокон. В отличие от обычных сортировок, в данном аппарате волокна удерживаются на сите, а отделенный от суспензии фильтрат отводится для дальнейшей обработки или использования.

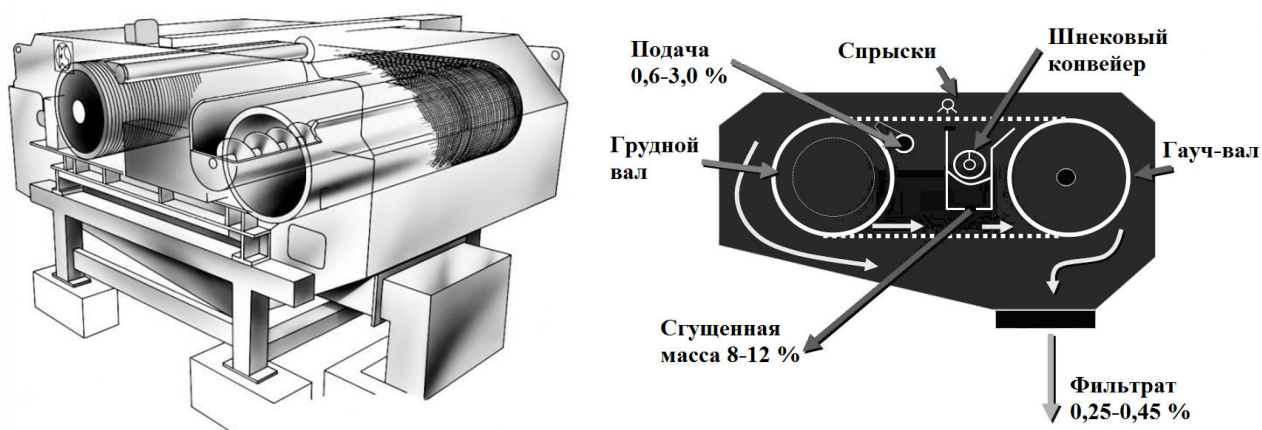


Рис. 9.4. Внешний вид и схема работы установки для промывки массы DNT

В качестве аппарата для промывки ММ может быть использован сгуститель OptiThick GT фирмы Valmet (рис. 9.5). Производительность аппарата  $100 \div 200$  т/сут по волокну. Эффективная площадь фильтрации барабана составляет 80 %, концентрация поступающей массы от 0,1 %, промытой суспензии – до 5%.

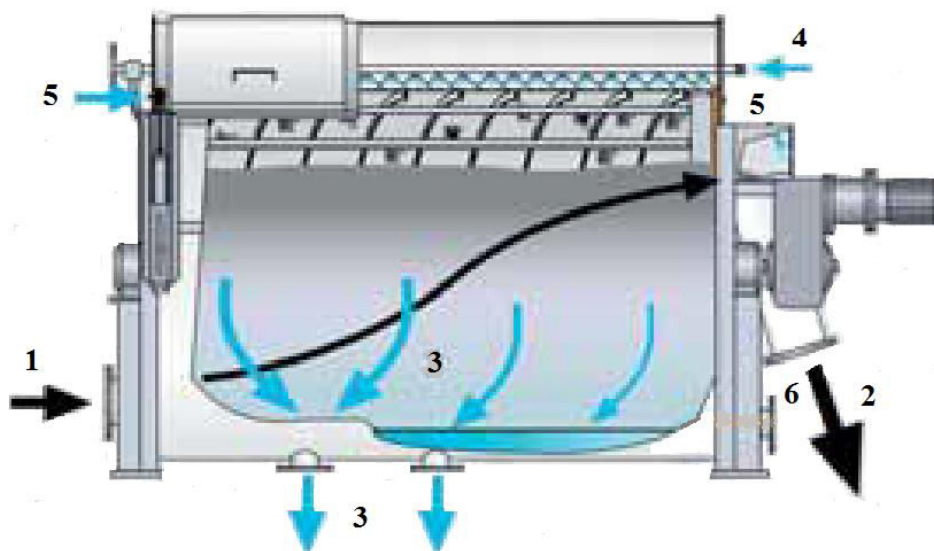


Рис.9.5. Сгуститель типа OptiThick GT:

1 – подача массы; 2 – выход массы; 3 – фильтрат; 4 – спрыски;  
5 – смотровое окно; 6 – дренаж

В качестве промывного оборудования используют и обезвоживающие устройства типа винтовых прессов или винтовых экстракторов. Принцип действия таких прессов аналогичен принципу действия сгустителей для ТДО (см. п. 8.3.1, ч. II). Так, винтовой пресс типа CHS представляет собой шнек, вращающийся внутри перфорированного цилиндра, один конец которого сопряжен с конусом, образующим зону компрессии. Здесь давление на массу постепенно увеличивается, и фильтрат, вместе с частицами краски и наполнителя, вытесняется из массы. Из зоны компрессии материал попадает в зону выгрузки, где достигается окончательная степень обезвоживания. Ее можно регулировать за счет изменения диаметра выходного отверстия. Фильтрат собирается в коллекторе, расположенном в основании пресса. Концентрация ММ на входе от 2 до 10 %, концентрация на выходе – 20÷35 %. Производительность до 100 т/сут в.с. волокна. Близкие характеристики имеют винтовые presses типа СДС-22 и SDPP.

Фирма Cellesco предлагала промывной барабан FDW со струйным нанесением суспензии (рис. 9.6). Он многофункционален, может быть использован для промывки, фракционирования и сгущения волокнистой массы и обладает высокой эффективностью удаления зольных элементов, частиц краски (до 90 %) и микрочастиц клейких включений. Концентрация шлама в отходящем потоке фильтрата может достигать 20÷30 %. Принципиальной особенностью работы фильтра FDW является способ подачи массы на цилиндр. Вместо традиционной ванны масса подается на сетку вращающегося цилиндра в виде струй из питающих головок и форсунок. Мелочь, зола, частички краски и другие вымываемые компоненты массы «проталкиваются» через сетку из очищаемой массы за счет напора струй и отправляются в сток. Поскольку работа FDW основана

на принципе «проталкивания», разрежения внутри барабана не требуется. При изменении характеристик очищаемой ММ в процессе работы можно регулировать скорость вращения цилиндра, давление на каждой питающей головке, зону уплотнения, уровень фильтрата в ванне, расход и давление спрысковой воды.

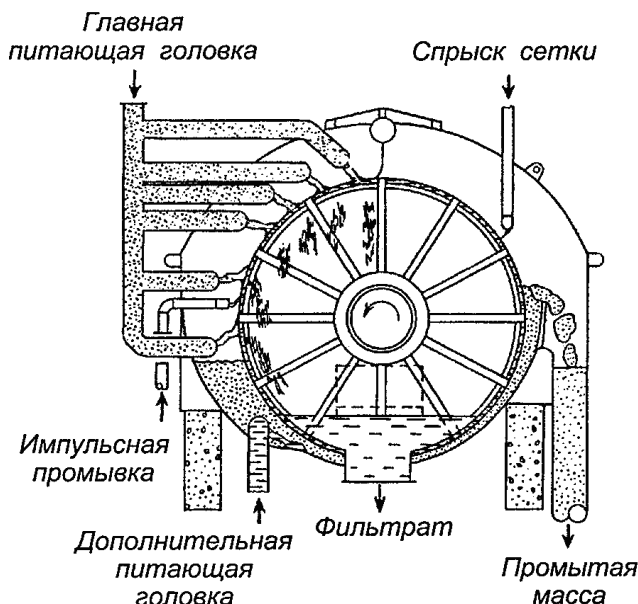


Рис. 9.6. Схема работы промывного барабана типа FDW

Дисковые фильтры обладают малой эффективностью промывки волокнистого полуфабриката, поэтому чаще используются при промывке отходов очистки и сортирования ММ, которые содержат небольшое количество волокон, а также для улавливания волокна из оборотной воды в технологических линиях переработки макулатуры.

## 9.4. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ УСТАНОВОК ДЛЯ ФЛОТАЦИИ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

### 9.4.1. Технологические принципы процессов флотации ММ

#### *Общие сведения*

Флотация представляет собой метод удаления загрязнений, основанный на способности гидрофобных частиц загрязнений прикрепляться к пузырькам воздуха и перемещаться вместе с ними к поверхности суспензии. В разбавленную массу подают воздух, который, поднимаясь на поверхность в виде пузырьков, попутно захватывает гидрофобные частицы краски, меловальных покрытий, наполнителей, липких загрязнений, а гидрофильные волокна остаются в суспензии. Смесь пузырьков воздуха и гидрофобных частиц с водными прослойками образует пену, которую удаляют с поверхности массы с помощью скребков, перелива или вакуумного отсоса.

На поверхности вторичного волокна (макулатуры) возможно наличие частично не отделенных, как гидрофобных примесей (частиц краски), так и гидрофильных частиц (например, зольных элементов, адсорбированных из воды на гидрофобной поверхности частиц краски), что может несколько сблизать их по уровню смачиваемости. Поэтому перед флотацией необходимо осуществлять как можно более тщательное отделение частиц загрязнений от волокон. В свою очередь, поверхность мелких (в диапазоне размеров  $1\div 10$  мкм), отделенных от волокон частиц может покрываться гидратной пленкой, и они могут стать вполне смачиваемыми и, соответственно, не способными к флотации. Для агломерации таких частиц в более крупные агрегаты используют химические вещества – собиратели.

При флотации очень важно соблюдение определенного уровня концентрации массы. Завышение уровня концентрации затрудняет подъем загрязнений, уносимых пузырьками воздуха. Занижение уровня концентрации приводит к тому, что вместе с пузырьками воздуха в слой пены могут попадать и целлюлозные волокна, усиливается турбулентность потока.

Чем выше гидрофобность частиц примесей, тем прочнее их связь с пузырьками воздуха и тем устойчивее пена. Для повышения стабильности пены применяются флотационные реагенты (флотореагенты): эмульсии неионогенных поверхностно-активных веществ (ПАВ) (акриловые эфиры оксида полиэтилена), модифицированные жирные кислоты, натриевое мыло и др. Вследствие этого может происходить агломерация мелких частиц печатной краски и изменяться природа частиц наполнителей, вследствие чего повышается способность частиц прикрепляться к пузырькам воздуха.

При удалении печатной краски методом флотации обеспечивается эффективное удаление частиц размером от 10 до 250 мкм при сохранении обрывков волокон и части наполнителя. Размеры частиц печатной краски в суспензии (сажа и пигменты) –  $0,02\div 0,1$  мкм, агломератов флексографической краски –  $1\div 5$  мкм, офсетной краски – 100 мкм. Размеры агломератов окисленной печатной краски, которые прочно скреплены с волокнами, могут достигать 500 мкм и более. Для повышения эффективности флотации необходимо обеспечить уменьшение размеров крупных частиц краски, а частицы малых размеров должны быть укрупнены.

Скорость флотации определяется, в основном, гидродинамическим взаимодействием частицы и пузырька воздуха, возникающим при их сближении. Это взаимодействие можно определить как дальнее и ближнее. Первое из них обусловлено возмущением, которое вносит пузырек воздуха в набегающий на него однородный поток жидкости, а второе – возмущением, обусловленным существованием в поле пузырька частицы, которая обычно намного меньше пузырька. Ближнее взаимодействие в значительной степени определяется действием тонкой смачивающей пленки, формирующейся между частицей и пузырьком при их сближении; дальнее взаимодействие

всего зависит от гидродинамического поля пузырька и, следовательно, от режима всплывания пузырька и состояния его поверхности.

Компонентный состав макулатурного сырья определяет уровень эффективности процесса флотации и белизну вторичного волокнистого полуфабриката. Так, например, возможное повышение белизны ММ из мелованной и немелованной макулатуры без содержания механической древесной массы после флотации составляет 17÷22 %, а из макулатуры с содержанием механической древесной массы – только около 8 %. Это объясняется тем, что лигнин древесной массы может взаимодействовать с компонентами печатной краски, в результате чего они более прочно прикрепляются к волокнам. Поэтому при отделении краски образуется большое количество частиц размером менее 30 мкм, что и приводит к снижению эффекта флотации.

### ***Основные факторы эффективности процесса флотации ММ***

Эффективность флотации зависит от ряда факторов:

- концентрации, температуры и величины рН волокнистой суспензии;
- степени гидрофобности и размера частиц, отделенных от волокна;
- объемного расхода подаваемого воздуха;
- размера и скорости перемещения пузырьков;
- вида и свойств флотационного реагента.

Типичными параметрами эксплуатации флотационных камер являются: концентрация массы 0,8÷1,5 %, температура 40÷70 °С, величина рН 7÷9. Отношение объемного расхода воздуха к объемному расходу суспензии составляет 300 %, иногда до 1000 %. Оптимальный размер частиц загрязнений для флотации находится в пределах 20÷200 мкм. В некоторых случаях удается обеспечить удаление частиц размером до 500 мкм.

Для повышения эффективности процесса флотации используют гидроксид натрия (каустик), способствующий, как известно, набуханию волокон, что сопровождается отделением краски от волокна и интенсифицирует роспуск макулатуры в гидроразбивателе.

Чаще всего химикаты вводят в массу при разволокнении или непосредственно перед флотацией. В регионах с «жесткой» водой (при содержании более 100 мг СаО на литр) широко распространено применение натриевого мыла. Оно реагирует в массе с ионами кальция, формируя нерастворимое кальциевое мыло, которое осаждается на поверхности частиц краски, сообщая им более гидрофобный характер, с одновременной агломерацией этих частиц в более крупные агрегаты. В регионах с «мягкой» водой (при содержании менее 100 мг СаО на литр) процесс флотации требует добавления гидроксида или хлорида кальция. Недостатками использования натриевого мыла являются необходимость высокой дозировки и, в итоге – вероятность кальциевых отложений на рабочих частях БДМ.

Избежать этих недостатков позволяет применение специальных флотореагентов, например, синтетических и полусинтетических собирателей (эмульсий), полученных на основе жирных кислот. Их реакционная способность не зависит от жесткости воды. Для обеспечения диспергирования печатной краски многие рецептуры для облагораживания ММ в качестве эмульгатора содержат 0,05÷0,2 % моюще-активных ПАВ. Используют также комбинации собирателей (флотореагентов) в различной композиции. Соотношение компонентов выбирают в зависимости от решаемых задач. Если приоритетом является высокая белизна, желателно использовать больше мыла, если – минимальные отложения на БДМ, то увеличивают долю эмульсии.

Большое значение имеют размеры пузырьков воздуха и скорость их перемещения в суспензии. Размеры пузырьков зависят от типа смесителя и приложенной энергии смешения, а также от концентрации массы и от вида используемого флотореагента. Так, с увеличением размеров пузырьков усиливается турбулентность потоков при их движении во флотационных камерах. Это приводит к перемешиванию массы и ухудшению процесса разделения. Процесс флотации идет оптимально при диаметре пузырьков воздуха 1,0÷1,5 мм и скорости подъема около 0,2 м/с. При увеличении диаметра до 3 мм скорость их всплывания доходит до 0,3 м/с и более. Интенсивная аэрация суспензии может вызвать образование скоплений (кластеров) пузырьков, которые могут переносить больше частиц загрязнений, но при этом вызывают интенсивную циркуляцию потоков внутри суспензии, нарушение оптимального режима флотации и стабильности пены.

Для повышения эффективности флотации рекомендуется использовать инъекционные сопла особой конструкции для подачи воздуха во флотационные ячейки, обеспечивающие равномерное распределение воздуха в ячейке и оптимальный размер пузырьков.

### ***Особенности технологических схем флотации ММ***

Технологические линии подготовки ММ для производства бумаги часто включает две ступени флотации: предварительную флотацию и постфлотацию. Данные термины определяют место этих ступеней по отношению к термодисперсионной обработке. На ступени предварительной флотации удаляется до 90 % частиц печатной краски, что повышает белизну суспензии на 6÷12 %, в зависимости от состава макулатурного сырья. Вторая ступень флотации (постфлотация) применяется для повышения чистоты волокнистого полуфабриката, и прирост степени белизны в ней не превышает 2 %. Постфлотацию производят без использования химических реагентов, что позволяет удалить из волокнистой суспензии часть химических веществ, например, ПАВ.



В процессе флотации вторичного волокна, содержащего древесную массу, используют, например, следующие реагенты, %:

пероксид водорода ( $H_2O_2$ )	0,5-1,5
гидроксид натрия (NaOH)	1,0-1,5
силикат натрия ( $Na_2SiO_3$ )	2,0
ПАВ (мыло или жирные кислоты)	0,7-1,0

На современных предприятиях, использующих книжно-журнальную макулатуру, бумагу производят при нейтральном значении pH, поэтому предварительная флотация осуществляется при величине pH 7,5÷9,5, а постфлотация – при величине pH 6,0÷7,5. Даже при таком небольшом изменении pH наблюдается агломерация частиц органических веществ. Полученные агломераты могут быть удалены на ступени постфлотации ММ.

Интенсивное удаление печатной краски методом флотации суспензии, содержащей древесную массу с флексографической печатью, происходит при величине pH 5,5÷7,0. При использовании двухступенчатой флотации возможно повышение белизны полуфабриката до 55 %. Химические реагенты (флотоагенты) подают в гидроразбиватель, а предварительная флотация производится в кислой среде. После сгущения и отбеливания ММ пероксидом водорода осуществляется постфлотация в щелочной среде.

Эффективность удаления флексографической печатной краски при флотации можно повысить при использовании ПАВ. Это особенно важно в условиях щелочной среды, когда отрицательно заряженные частицы краски не могут прикрепиться к пузырькам воздуха. В зависимости от величины pH применяют различные ПАВ. Использование катионных ПАВ при величине pH 7÷9 позволяет повысить белизну ММ на 8÷9 %.

Твердые вещества, удаляемые из массы при флотации, собираются в пене, образуя флотошлам. Количество флотошлама составляет 1,5÷3,0 % от массы твердого вещества в суспензии. Основная доля твердых веществ флотошлама – частицы печатной краски. Так как волокна макулатуры недостаточно гидрофильны, флотошлам от обработки ММ содержит количество их, не превышающее 10 %. Поэтому способ флотации, по сравнению с промывкой, отличается более высоким выходом облагороженного волокна – около 85÷95 % от поступающего на обработку, поскольку практически не удаляются мелкое волокно и значительная часть наполнителя.

Удаление частиц печатной краски связано с неизбежными потерями волокна, которые зависят от степени удаления зольных элементов. Так, снижение количества зольных элементов на 50 % сопровождается общими потерями твердых веществ на 16 % и потерями мелких волокон до 3÷4 %. Для сокращения потерь твердых веществ при флотации необходимо более тщательное предварительное отделение частиц печатной краски и зольных элементов от волокон (в особенности мелких) в процессах роспуска макулатуры и диспергирования ММ. Потери твердых веществ можно уменьшить за счет вторичной флотации полученного флотошлама.



Значительная часть флотошлама представлена зольными (неорганическими) элементами (60÷65%) и смесью мелкого волокна с частицами печатной краски (30÷35 %).

В бумажной промышленности применяют два типа флотации. Для удаления частиц печатной краски из волокнистой суспензии используется флотация – облагораживание, о которой излагается в этом разделе. Кроме нее, используют микрофлотацию, или флотацию производственной оборотной воды с помощью растворенного в ней воздуха, которая используется для очистки воды, улавливания волокна и удаления примесей, способных к флотации (см.разд.11).

#### **9.4.2. Оборудование установок для флотации ММ**

Как отмечалось выше, метод флотации для удаления частиц краски из массы основан на различии в уровне смачиваемости разделяемых компонентов (волокна и загрязнений).

Флотационные установки различаются способами образования пузырьков воздуха. При подаче воздуха в суспензию через проницаемые тела, такие как перфорированный листовый материал или пористая керамика, размер пузырьков воздуха зависит от поверхностного натяжения суспензии, размера отверстий для подачи воздуха и объема подаваемого воздуха. Другим способом образования пузырьков воздуха является применения специальных смесителей, представляющих собой инжекционные сопла особой конструкции для подачи воздуха во флотационные ячейки, обеспечивающие равномерное распределение воздуха в ячейке и оптимальный размер пузырьков.

Флотационные установки различаются по конструкции, по габаритам и принципу действия. Рассмотрим некоторые из них.

Для проведения процесса флотации АО «Петрозаводскмаш» выпускал флотационные установки типа ФМ-1 (рис. 9.7).

Установка состояла из трех (двух) блоков флотации, соединенных между собой системой трубопроводов с необходимой аппаратурой. Каждый блок флотации включает в себя две флотационные камеры, установленные вертикально (одна под другой), и систему удаления отходов, состоящую из вентилятора, воздухопроводов и пеноотделителей. Разбавленная до требуемой концентрации масса последовательно проходит через три (два) блока. Внутри каждого блока флотации масса поочередно проходит через обе флотационные камеры. Перед входом в каждую из них происходит смешение массы с воздухом. Внутри флотационных камер происходит образование пузырьков воздуха и адсорбция на их поверхности частиц краски. Пена, образующаяся на поверхности массы внутри флотационной камеры, непрерывно отводится с помощью пеноотделителя. Очищенная масса из установки отбирается насосом. Производительность установки 60÷120 т в.с. волокна/сут, установленная мощность 138÷342 кВт.

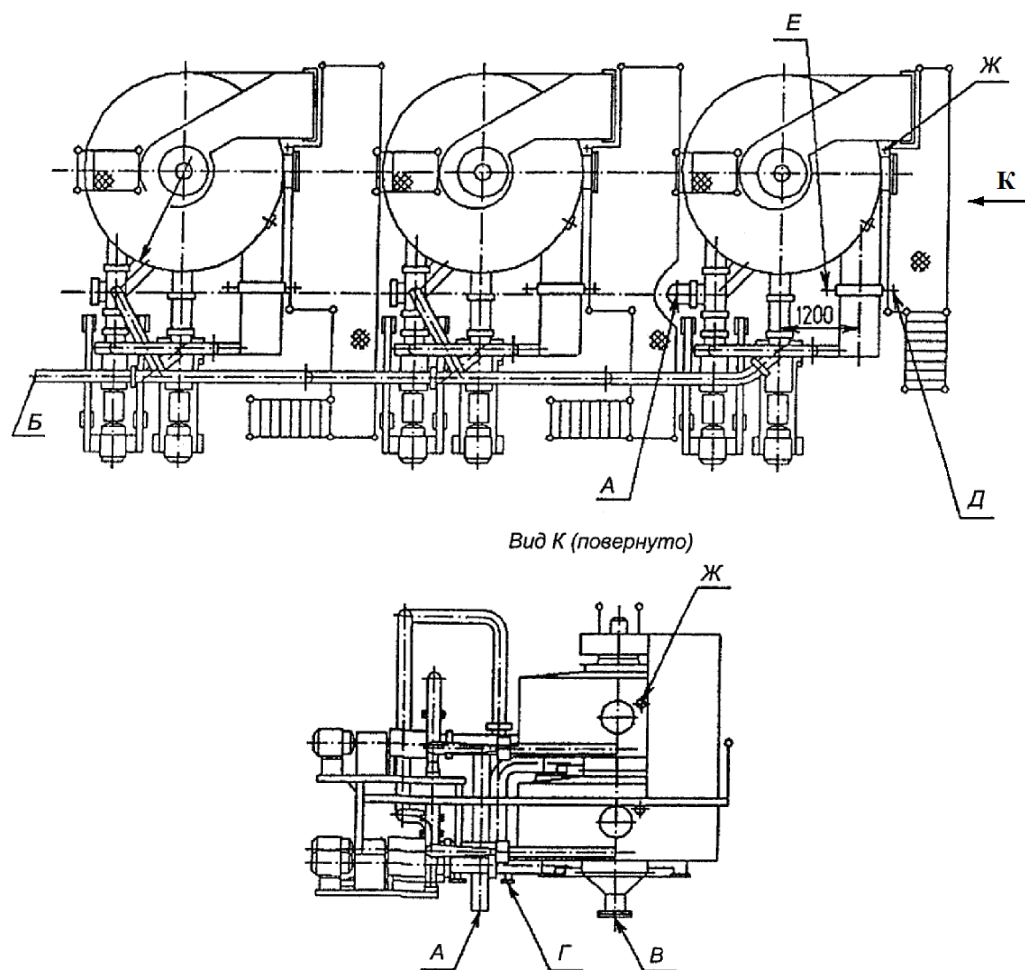


Рис. 9.7. Схема флотационной установки ФМ-1:

А – подвод массы; Б – отвод массы; В – отвод отходов;  
 Г – слив массы; Д – подвод воздуха; Е – вода на промывку;  
 Ж – вода на спрыск

Фирма Kadant Lamort выпускает многозонный флотатор типа MacCell. Основной частью установки является флотационная камера, состоящая из трех-пяти флотационных ячеек, установленных одна над другой (рис. 9.8). Работа флотационной камеры происходит следующим образом.

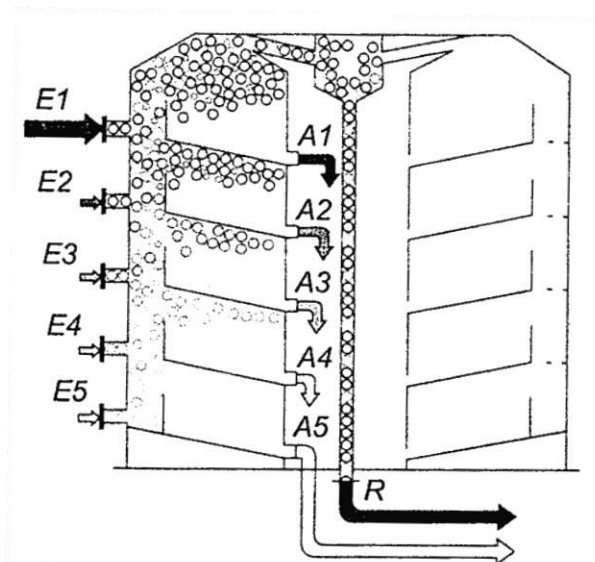


Рис. 9.8. Схема флотационной камеры Мас-5А, содержащей 5 ячеек

Неочищенная масса после насыщения воздухом инжектором подается в верхнюю камеру через патрубок E1. Масса, выходящая из верхней ячейки через патрубок A1, насосом подается на вход E2, перед которым вновь насыщается воздухом. Из патрубка A2 масса подается на вход E3 и т.д. до самой нижней ячейки, откуда через патрубок A5 отводится очищенная масса. Отходы собираются в верхней части камеры и отводятся по центральному каналу R. Воздух подается в волокнистую суспензию через специальные смесительные устройства с инжекторами, которые расположены снаружи камеры. Это позволяет, в случае необходимости, регулировать количество подаваемого воздуха. Флотационная камера закрыта и внутри нее происходит рециркуляция воздуха.

Удаление отходов происходит при небольшом избыточном давлении, его можно регулировать для предотвращения уноса волокна вместе с пеной. Благодаря этому в большинстве случаев нет необходимости в обработке массы во вторичных флотационных установках. Производительность таких установок составляет от 75 до 240 т/сут по волокну.

Флотационная камера типа EcoCell фирмы Voith (рис. 9.9) выполнена в виде эллиптической трубы с отдельными ячейками, оснащена инжектором типа CF со ступенчатым диффузором и имеет вторую ступень флотации для уменьшения потерь волокна. Эта камера позволяет: эффективно удалять частицы краски, липких загрязнений и наполнителей размером 5÷500 мкм; использовать ее в широком диапазоне нагрузок; удалять зольные элементы благодаря двухступенчатой конструкции.

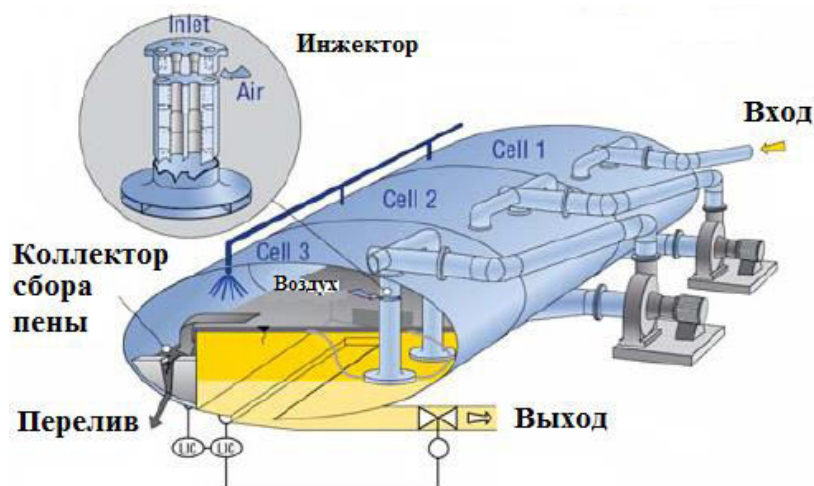


Рис. 9.9. Принципиальная схема флотационной камеры типа EcoCell фирмы Voith (типоразмер ЕСС3/38)

Флотационная камера типа SelectaFlot фирмы Andritz имеет две ступени в одном аппарате. Мультиинжектор обеспечивает оптимальное формирование и распределение пузырьков воздуха в суспензии. Удаление частиц печатной краски и других (анионных) примесей осуществляется при минимальной потере волокна. УРЭ такой камеры на 20 % ниже, чем в аналогичных аппаратах за счет оптимальной аэрации массы по всему объему камеры. Производительность камеры составляет от 20 до 1200 т/сут по волокну в зависимости от модификации аппарата. Камера оснащена простой системой управления узлом аэрации, удобна для технического обслуживания.

Флотационная камера типа OptiBright фирмы Valmet имеет несколько ячеек. Преимуществами аппарата являются низкие УРЭ и расход свежей воды, многоступенчатая обработка суспензии или флотошлама. Принцип действия камеры базируется на разности плотности массы в различных отделениях ячейки камеры (аэрационном – суспензия с воздухом) и сепарационном (просто суспензия), за счет которой происходит движение массы без помощи насоса. Поступив в ячейку, масса попадает в сепарационную зону и движется вниз в зону аэрации, в которую вводится воздух с помощью ротора специальной конструкции. Гидрофобные частицы прикрепляются к пузырькам воздуха в зоне высокой турбулентности вокруг ротора и увлекаются ими в верхнюю часть ячейки. Далее поток массы направляется в сепарационную зону следующей ячейки и вновь движется по спиральной траектории.

Особенностью данной камеры являются широкие возможности регулирования параметров флотации: отношение объемов воздуха и волокнистой суспензии; средний размер пузырьков воздуха; прирост белизны ММ, эффективность удаления зольных элементов при сохранении волокна. Эксплуатационные характеристики камеры: производительность одной ячейки – 7000÷8000 л/мин, концентрация массы – 1,0÷1,2 %,

содержание зольных элементов на входе – 16÷18 %, степень удаления зольных элементов – 30÷50 %, температура – 45 °С, повышение белизны – на 10÷12 единиц.

Фирма Valmet разработала флотационный аппарат MuST Flotation Cell (рис. 9.10), в котором диспергирование и перемешивание воздуха в суспензии осуществляются в специальном роторном устройстве.

Преимуществами такого конструктивного решения являются:

- совмещение нескольких ступеней флотации в одной камере;
- отсутствие насосов для перекачки суспензии на следующие ступени, вследствие чего расход энергии производится только на аэрирование ММ;
- высокая концентрация отходов (более 4 %);
- возможность регулирования соотношения расходов суспензии и воздуха.

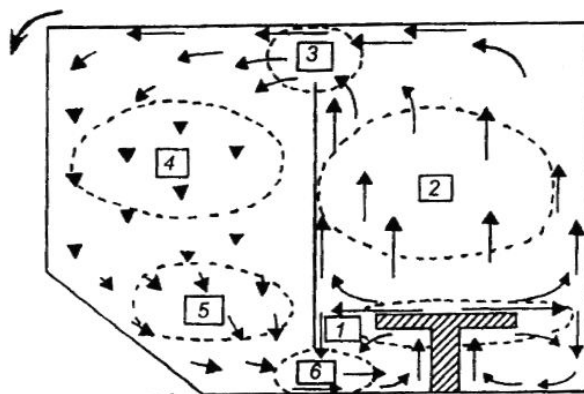


Рис. 9.10. Схема движения потоков ММ во флотационной камере MuST Flotation Cell:

- 1 – зона высоких турбулентности и скорости потока;
- 2 – зона низкой турбулентности и высокой скорости потока;
- 3 – зона отделения воздуха и уменьшения скорости потока;
- 4 – зона отделения воздуха и низкой скорости потока;
- 5,6 – зона быстрого увеличения скорости потока

Результаты испытания этого аппарата показали, что обрабатываемая суспензия может иметь более высокую исходную концентрацию – 1,5 % против 1,1 % для существующего флотационного оборудования. Данное устройство позволяет сократить площади, занимаемые флотационными установками, расходы на транспортировку отходов, а также уменьшить расход свежей воды.

На рис. 9.11 показана схема включения этих флотационных установок в технологический поток облагораживания ММ. Концентрация волокнистой суспензии, поступающей на флотационную обработку, составляет не более 1,5 %.

В настоящее время ведется активный поиск и разработка новых конструкций флотационных установок. Одновременно исследуются

эффективность и области возможного применения различных активизирующих процесс флотации реагентов.

Помимо рассмотренных способов облагораживания имеются сведения о распространении среди переработчиков макулатуры адсорбционного способа облагораживания. Достоинством этого способа является проведение процесса при высокой концентрации массы, что позволяет снизить энергозатраты на перекачку массы. Механизм процесса адсорбционного облагораживания связан с переходом печатной краски с волокна на поверхность специального адсорбента. В качестве такой адсорбирующей поверхности используются различные полимерные материалы в виде гранул или рабочих органов аппаратов.

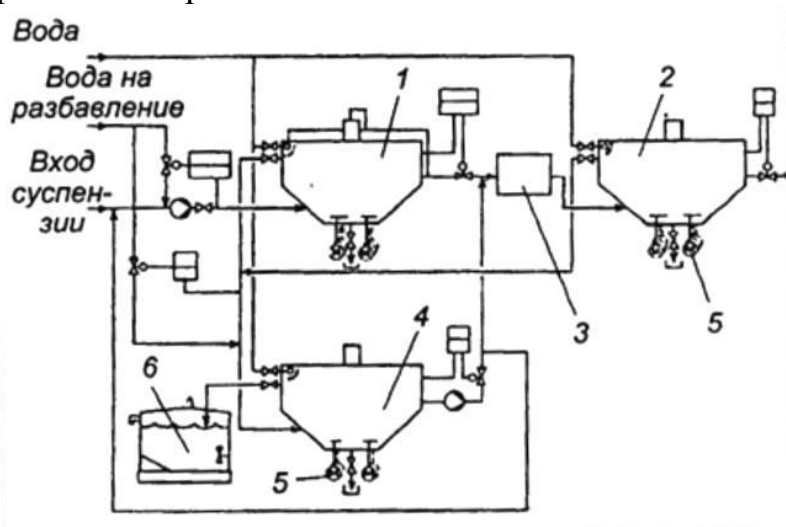


Рис. 9.11. Схема включения флотационного аппарата MuST Flotation Cell в технологический поток облагораживания ММ:  
1 – первичная камера; 2 – завершающая ступень флотации;  
3 – сортировка, очистка, диспергирование; 4 – вторичная камера;  
5 – перемешивающие устройства; 6 – бак отходов

Согласно результатам проведенных исследований, существует возможность повышения белизны ММ с 45 до 70 %, в зависимости от вида макулатуры, вида химических реагентов и продолжительности обработки. Основным недостатком этого способа является необходимость очистки поглощающей поверхности или удаления полимерных адсорбентов из волокнистой массы, что требует дополнительных затрат воды и химикатов.

## 9.5. ОТБЕЛКА МАКУЛАТУРНОГО ВОЛОКНА

### 9.5.1. Общие сведения о процессах отбеливания ММ

Так как основным отличием массы из вторичного волокна является неоднородность ее состава по волокну и по массовой доле зольных компонентов, то при разработке технологических режимов отбеливания макулатурного волокна следует учитывать это отличие для создания

оптимальных условий максимального воздействия основного отбеливающего компонента на волокно.

Важной операцией технологического процесса переработки макулатуры в высококачественный волокнистый полуфабрикат является отбелка, которая осуществляется в тех случаях, когда предъявляются повышенные требования к белизне ММ.

Следует отметить, что процесс отбелки является обязательным при использовании ММ для производства писче-печатных видов бумаги, бумаги премиум класса, для санитарно-гигиенических изделий, верхних белых слоев тест-лайнера. Для производства газетной бумаги на основе писче-печатной макулатуры достаточно многоступенчатого флотационного облагораживания и обесцвечивания с удалением большей части наполнителя. Для получения высоких сортов газетной бумаги, в частности легкомелованной, необходимым элементом технологии является отбелка пероксидом водорода либо дитионитом натрия.

Среди факторов, влияющих на эффективность процесса отбелки, особое значение имеет показатель общей щелочности (ОЩ) массы. Величина ОЩ определяется количеством щелочных элементов, добавляемых в массу, в основном, для интенсификации процесса роспуска макулатуры. Для сохранения или увеличения показателя белизны массы оптимальным считается  $\text{ОЩ} = 0,5 \div 1,0 \%$ , а величина рН – около 9,0. Превышение этого уровня обычно приводит к пожелтению массы. Если в качестве регулятора показателя ОЩ в указанных пределах используют силикат натрия в количестве до 5 %, то в результате отбелки можно получить прирост белизны массы до 15 % ISO. При этих же условиях дополнительное добавление в ванну гидроразбивателя 2 % пероксида водорода позволяет получить прирост белизны массы до 22 % ISO.

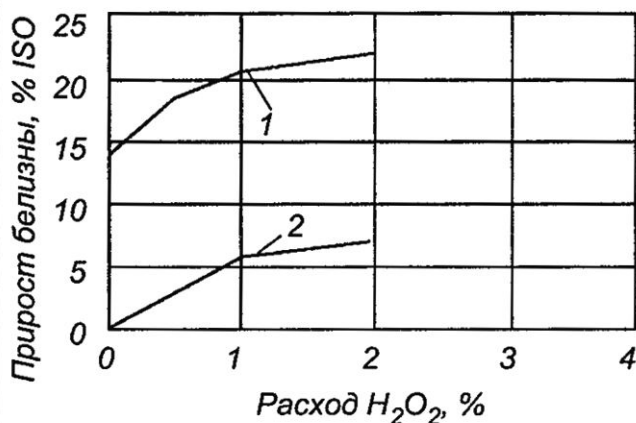


Рис. 9.12. Зависимость прироста белизны масс, полученных из запечатанной (1) и незапечатанной (2) макулатуры, от расхода пероксида водорода

На рис. 9.12 приведен график прироста белизны массы, полученной из запечатанной и незапечатанной макулатуры, в зависимости от расхода

пероксида водорода, подаваемого в гидроразбиватель при оптимальной величине ОЩ и расходе силиката натрия 2,5 %.

Связь между показателем рН, или ОЩ массы и приростом белизны при добавлении пероксида водорода представлена на рис. 9.13. На рисунке видно, что при расходе пероксида водорода в пределах 1÷2 % прирост степени белизны массы из запечатанной макулатуры практически стабилизируется на уровне 20÷22 % ISO, независимо от величины показателя ОЩ массы. Эта стабильность сохраняется достаточно долго при некотором остатке пероксида водорода в массе после роспуска.

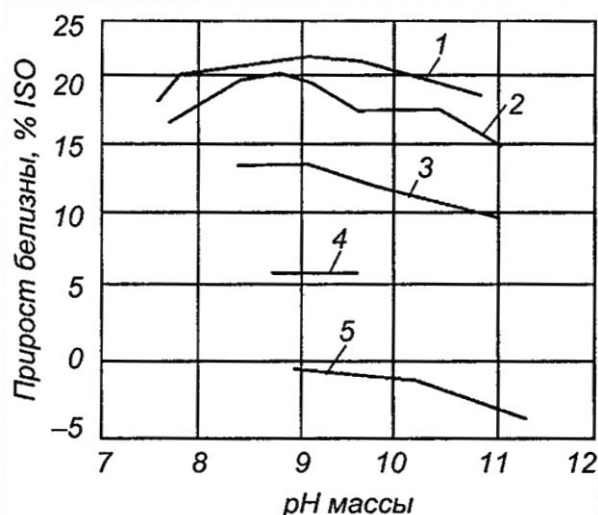


Рис. 9.13. Зависимость прироста белизны масс, полученных из запечатанной (1-3) и незапечатанной (4,5) макулатуры от значения рН при фиксированном расходе  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , равном 2,5 %, и различном расходе пероксида водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$ : 1 - 2 %; 2 - 1 %; 3 - 0 %; 4 - 1...2 %; 5 - 0 %

Во многих случаях отбелку проводят уже на стадии роспуска макулатуры. Однако условия процесса роспуска макулатуры в гидроразбивателе не оптимальны для проведения отбелки, которую, при наличии возможности, следует проводить как самостоятельную ступень технологии. При сравнении результатов использования пероксида водорода, подаваемого в ванну гидроразбивателя при роспуске и непосредственно на ступень отбелки массы, установлено, что подача его, при прочих равных условиях, на ступень отбелки обеспечивает более высокий прирост белизны. Небольшое количество (0,5-1,0 %  $\text{H}_2\text{O}_2$  к а.с.в.) рекомендуется добавлять в гидроразбиватель для обеспечения стабильности исходной белизны массы на фоне возможных изменений показателя ОЩ.

Выбор конкретных отбеливающих реагентов зависит от качества вторичного волокнистого сырья, особенностей технологии его переработки, а также от требований к качеству ММ. Например, для отбелки могут быть использованы как химические реагенты, обеспечивающие сохранение остаточного лигнина (пероксид водорода, дитионит натрия, FAS), так и



реагенты, удаляющие лигнин (гипохлорид натрия, диоксид хлора, кислород, озон).

Обесцвечивание ММ, состоящей преимущественно из волокон механической древесной массы (МДМ), производят с сохранением лигнина. В этом случае отбелка происходит за счет превращения цветных органических молекул в бесцветные с помощью различных отбеливающих реагентов, среди которых известны пероксид водорода, дитионит натрия, формамидин сульффиновой кислоты (FAS).

Для обесцвечивания вторичных волокон возможно применение двухступенчатой отбелки. На первой ступени обычно производят отбелку с использованием пероксида водорода и/или кислорода при повышенном давлении, а на второй – применяют дитионит натрия или FAS.

Ниже кратко рассмотрены основные технологические принципы отбелки макулатурного волокна.

### **9.5.2. Особенности различных способов отбелки макулатурного волокна**

#### ***Отбелка ММ пероксидом водорода***

Применяется для повышения белизны ММ после удаления из нее частиц печатной краски. Используется в системе подготовки массы на последних ступенях после стадий отбелки гипохлоритом или диоксидом для повышения (на 2÷3 %) и стабилизации белизны целлюлозного волокна.

На эффективность отбелки перекисью водорода влияет расход гидроксида натрия (см. рис.9.13). При малом расходе гидроксида натрия отбеливающий раствор будет недостаточно активен, а при избыточном – белизна ММ может снизиться вследствие усиления реакции гидроксида натрия с лигнином волокна. Это особенно заметно при отбелке древесной массы. Повышение расхода  $H_2O_2$  обеспечивает прирост белизны ММ (см. рис 9.12), но при этом требуется и повышение расхода NaOH.

Оптимальные условия отбелки ММ пероксидом водорода: температура – 40÷70 °С; продолжительность – 1÷3 часа; концентрация массы – 15÷40 %; величина pH – 10÷11; расход отбеливающего реагента – 1,5÷3 % к а.с.в. В качестве вспомогательных реагентов используются NaOH,  $Na_2SiO_3$ ,  $MgSO_4$  и комплексообразователи DPTA или EDTA, которые служат для снижения отрицательного влияния на отбелку наличия в массе воздуха и посторонних загрязнений.

Использование при отбелке силиката натрия дает прирост белизны, а также позволяет повысить эффективность последующей (после отбелки) флотации ММ для удаления оставшихся частиц печатной краски. Введение силиката натрия в массу дает и дополнительные эффекты.

Во-первых, он является флотореагентом-коллектором (собирателем) мелких частиц краски в агломераты, что повышает эффективность процесса

дальнейшей флотации массы. Во-вторых, использование силиката натрия при отбелке макулатуры из целлюлозных волокон приводит к стабилизации пероксида водорода, склонного к разложению. Побочным эффектом применения силиката натрия является возможное образование отложений на оборудовании, а также снижение эффективности действия вспомогательных химических реагентов, добавляемых в бумажную массу. Поэтому расход силиката натрия следует ограничивать до 2÷3 % от ММ.

Обработка ММ пероксидом водорода совместно с молекулярным кислородом повышает эффективность отбелки. Однако использование молекулярного кислорода или озона целесообразно только тогда, когда ММ содержит минимальное количество древесной массы.

### ***Отбелка ММ дитионитом натрия***

Отбелка с использованием дитионита натрия ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ) характеризуется более высокой скоростью протекания реакции по сравнению с отбелкой пероксидом водорода. Эффективная отбелка ММ дитионитом натрия осуществляется обычно при температуре 40÷95 °С. Повышение температуры отбелки ММ потребует увеличения расхода отбеливающего реагента.

Повышение степени белизны ММ, содержащей МДМ, на 4÷7 % достигается при расходе дитионита натрия 0,5÷1,0 % в условиях нейтральной или слабощелочной среды. Эффективность отбелки повышается при удалении воздуха из массы.

Оптимальным режимом отбелки ММ дитионитом натрия считается: температура – 60 °С; продолжительность – 15÷60 мин; концентрация массы – 3÷6 %; величина рН – 7÷8; расход отбеливающего реагента – 1÷2 % от массы а.с.в.; комплексообразователи в количестве 0,2÷0,5 % от массы а.с.в. Выход ММ при отбелке дитионитом натрия составляет 98÷100 %.

Следует отметить, что замыкание системы водопользования при отбелке ММ дитионитом натрия приводит к накоплению твердых малорастворимых загрязнений в производственной воде, что отрицательно влияет на белизну волокнистых полуфабрикатов.

### ***Отбелка ММ с использованием FAS***

Формамидинсульфиновая кислота, или двуокись тиомочевины (FAS), совместно с гидроксидом натрия успешно применяется для отбелки ММ, полученной из цветной и писче-печатной макулатуры. FAS окисляется кислородом воздуха, но он менее чувствителен к нему, по сравнению с дитионитом натрия. Несмотря на высокую стоимость, он является наиболее эффективным реагентом для обесцвечивания окрашивающих веществ в ММ.

В условиях отбелки ММ с применением FAS величина рН массы может быть снижена до 7÷8. Оптимальное соотношение расходов гидроксида

натрия к FAS составляет 0,5 к 1,0. При большем расходе FAS возможно пожелтение содержащихся в макулатуре волокон МДМ.

Оптимальный эффект отбели ММ может быть достигнут при небольшом расходе FAS. При температуре 80 °С достаточно расхода FAS 0,2 % для достижения значения белизны массы, которого можно достигнуть при расходе FAS в три раза большем, чем при температуре 50 °С.

Растворы FAS и гидроксида натрия часто подают в гидроразбиватель, что позволяет эффективно обесцвечивать ММ из цветной и запечатанной макулатуры уже в процессе роспуска. Недостатками отбели при роспуске макулатуры являются присутствие в массе воздуха и низкая (до 50 °С) температура. Отбелика ММ в отдельной башне позволяет избежать контакта воздуха с волокнистой суспензией и обеспечить оптимальный режим процесса.

Оптимальные условия отбели с применением FAS имеют место и при термодисперсионной обработке ММ, когда сочетание интенсивного перемешивания при повышенной температуре и концентрации массы обеспечивает эффективный контакт волокна с отбеливающим реагентом.

### ***Отбелика ММ по способу NACO***

Способ NACO, разработанный итальянской компанией Nardi Company, является экологически и экономически оправданным для получения из низких сортов макулатуры высококачественной белевой массы, которая может быть использована для производства писчих, печатных, документных, санитарно-гигиенических видов бумаг и, что особенно важно, бумаг и картонов для упаковки пищевых продуктов, при выработке которых, исходя из санитарных требований, обычно используется только первичное волокно.

К низким, а потому наиболее дешевым, сортам макулатуры относится смешанная, загрязненная макулатура, содержащая преимущественно бумагу и картон, изготовленные из небеленой целлюлозы. Большой сектор на рынке такой макулатуры занимает использованная тара из гофрированного картона.

Специфика этого способа состоит в предварительном удалении лигнина и химическом облагораживании волокна методом кислородно-щелочной (КЩ) делигнификации. Она проводится в турбопульпере специальной конструкции, после которого для получения полубеленой массы с белизной до 72÷75 % ISO достаточно только одной ступени пероксидной отбелики. Такой уровень белизны вполне достаточен для производства многих указанных выше высококачественных сортов бумаги и картона. При желании получить более высокую белизну массы можно добавить еще одну ступень отбелики.

Турбопульпер представляет собой стационарный реактор шаровой формы, снабженный специальным ротором для эффективного массообмена фаз во всем объеме аппарата, необходимого при КЩ делигнификации волокнистого сырья. В верхней части турбопульпера имеется небольшое

пространство, заполненное кислородом. В нижней его части под ротором расположено экстракционное заборное сито, через которое проходят только уже делигнифицированные, хорошо разработанные волокна. Для нагрева содержимого реактора служит наружная паровая рубашка.

Интенсивное перемешивание массы способствует выравниванию температуры и концентрации компонентов по всему его объему, а также самоочищению внутренней поверхности нагрева. Волокнистую массу и раствор химикатов подают снизу через общий штуцер, расположенный над экстракционным ситом. Кислород также подают снизу через отдельный штуцер. Делигнифицированная масса из турбопульпера выдувается через гидравлический затвор (для снижения потерь кислорода) в циклон, где происходит отделение от нее пара и газа. Гидропульпер работает в непрерывном режиме. После завершения КЩ делигнификации в турбопульпере масса тщательно промывается и направляется на отбелку.

Концентрация массы в турбопульпере составляет  $6\div 8\%$ ; температура обработки равна  $125\div 130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; давление, избыточное по отношению к давлению водяных паров при данной температуре, создается кислородом и составляет около  $0,6\text{ МПа}$ ; продолжительность процесса в реакторе – около 1 ч. Для КЩ делигнификации макулатуры из использованных картонных ящиков обычно устанавливают последовательно два реактора с добавлением части общего расхода щелочи в массный насос перед вторым реактором. При этом белизна волокна повышается с  $18\div 20\%$  в исходной макулатуре до  $40\div 50\%$  ISO. Основным щелочным реагентом служит сода (карбонат натрия) с добавлением небольшого количества каустика.

В результате делигнификации массы происходит:

- частичное восстановление степени набухания и фибриллирования вторичного волокна, способствующее повышению прочностных характеристик продукции;
- частичное растворение мелкого сора (0-фракции волокна и др.);
- облегчение отделения и удаления клейких (липких) компонентов макулатуры;
- агломерация расплавов, частичек отделенной типографской краски и других пластичных загрязнителей, что существенно облегчает их выделение при очистке массы на последующих стадиях облагораживания;
- обеззараживание волокнистой суспензии под действием сильного окислителя (кислорода) при высокой температуре обработки;
- обработка массы с получением легко белимого волокна.

Недостатком этой технологии является то, что турбопульпер пока сконструирован только для производительности до  $100\text{ т/сут.}$ , т.е. в том виде, как этот способ существует сегодня, он может быть рекомендован только для малых и средних предприятий по производству облагороженной ММ.

Кроме рассмотренных выше химикатов, для отбелки используют также **энзимы (ферменты)** – липазу, эстеразу, пектиназу, целлюлазу и др. Они экологически безопасны, позволяют значительно сократить объемы

потребляемого при отбелке мыла и жидкого стекла и, кроме того, дают заметную экономию электроэнергии и химикатов. Применение энзимов способствует отделению частиц печатной краски и уменьшению их размеров.

### 9.5.3. Технологические схемы отбелки ММ

Любые процессы технологии переработки макулатуры, сопровождающиеся повышением показателя белизны массы, можно рассматривать как процессы отбелки.

Для обесцвечивания вторичных волокон чаще всего применяют двухступенчатую отбелку. На первой ступени производят отбелку с использованием пероксида водорода и/или кислорода при повышенном давлении. Использование молекулярного кислорода или озона возможно тогда, когда макулатурное сырье содержит минимальное количество древесной массы. Обработка массы пероксидом водорода совместно с молекулярным кислородом намного повышает эффективность отбелки.

На второй ступени отбелку ведут в восстановительной среде, где в качестве реагентов применяются дитионит натрия или формамидинсульфиновая кислота (FAS). Условия проведения процесса обесцвечивания выбирают в зависимости от содержания волокон древесной массы в макулатуре. Для повышения эффективности процесса обработку дитионитом натрия проводят при температуре  $80 \div 100$  °С и рН 7 и выше. Отбелка макулатуры с повышенным содержанием древесной массы (МС-8В) проводится дитионитом натрия при рН  $5,5 \div 7,5$ , температуре  $50$  °С и концентрации массы  $3 \div 4$  %. При расходе дитионита натрия  $0,2 \div 1,0$  % к массе волокна прирост белизны составляет от 4 до 6 % ISO.

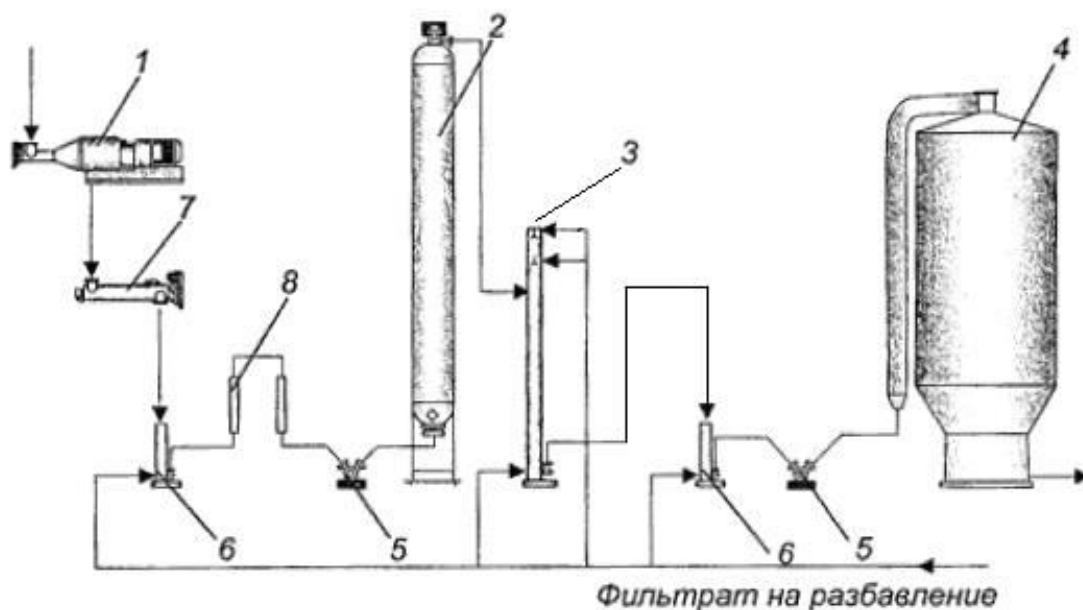


Рис. 9.14. Схема двухступенчатой отбели ММ из смешанной офисной макулатуры: 1 – диспергатор;

2 – башня для отбели  $H_2O_2$  при высокой температуре (первая ступень);

3 – питающая труба; 4 – башня хранения (вторая ступень);

5 – смесители; 6 – МС-насосы; 7 – винтовой конвейер; 8 – нагреватель

На рис. 9.14 представлена схема отбели смешанной офисной макулатуры, предложенная фирмой Valmet. Здесь первая ступень – высокотемпературная отбелика пероксидом водорода под давлением – позволяет обесцвечивать макулатурное волокно и повышать степень его белизны. В этих условиях хорошо обесцвечивается также окрашенное небеленое целлюлозное волокно. Вторая ступень – отбелика FAS или дитионитом натрия – обеспечивает максимальное повышение степени белизны вторичного волокна.

После стадии ТДО масса разбавляется до средней концентрации в питающей трубе и насосом через подогреватель и смеситель под давлением подается в нижнюю часть отбельной башни. После отбели пероксидом водорода масса поступает на ступень отбели восстановительного характера. Этот процесс обычно производится в башне хранения массы.

Та же фирма разработала технологию пероксидной отбели макулатурного волокна при высокой концентрации массы (рис. 9.15). Такая технология отбели дает следующие преимущества:

- возможность повышения концентрации отбеливающих реагентов;
- увеличение скорости реакций в аппаратах;
- усиление процессов окислительной деструкции окрашивающих веществ, содержащихся в небеленой целлюлозе (обесцвечивание).

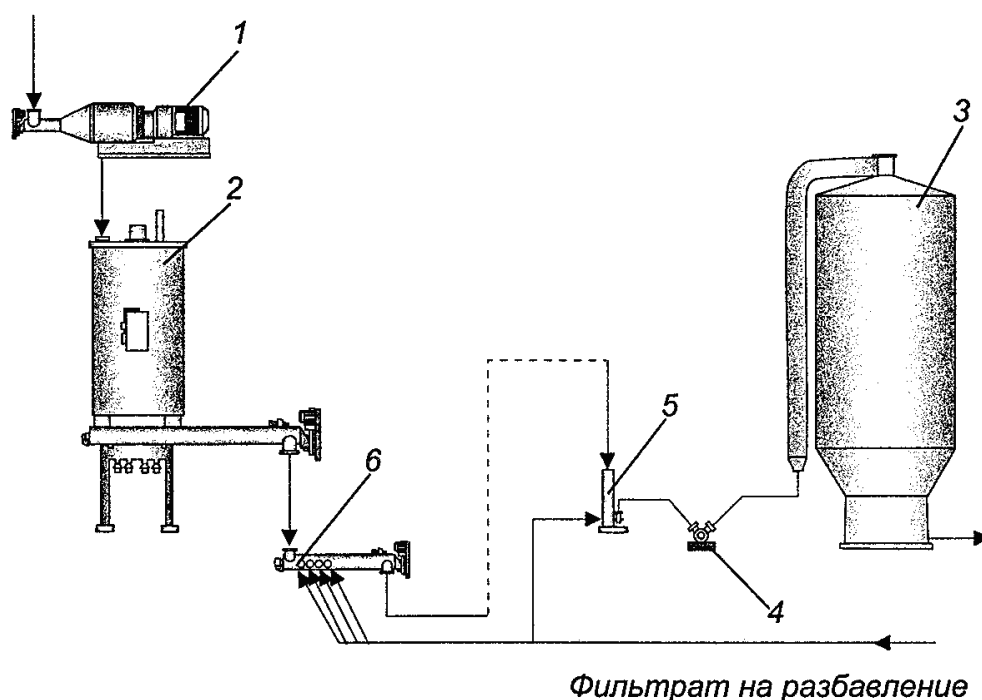


Рис. 9.15. Технологическая схема пероксидной отбели ММ:

- 1 – диспергатор; 2 – башня для отбелики  $H_2O_2$ ;
- 3 – башня для хранения массы; 4 – смеситель;
- 5 – МС-насос; 6 – винтовой конвейер

При отсутствии отдельной ступени отбелики в системе облагораживания макулатурного волокна для отбелики можно использовать ступень ТДО. Возможный вариант схемы облагораживания в этом случае предусматривает (после проведения роспуска, сортирования и очистки) ступень флотации массы, а затем ТДО и повторную флотацию. Добавка дитионита натрия на ступень ТДО дает возможность получить более высокую белизну массы после второй ступени флотации.

## **9.6. ЛИПКИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В МАКУЛАТУРНОЙ МАССЕ**

Содержание липких загрязнений в ММ является важным показателем ее качества. Присутствие липких загрязнений в значительной степени снижает оптические свойства и чистоту ММ, а также, из-за способности к оседанию на частях оборудования, влияет на стабильность работы БДМ. Можно считать, что процессы удаления из ММ липких веществ примыкают к процессам ее дополнительного облагораживания.

### **9.6.1. Характеристика липких загрязнений в ММ**

Липкие вещества – это гидрофобные пластичные вещества различной степени клейкости. В их состав входят компоненты связующих печатных красок, частицы влагопрочных смол, воска, парафина, клеевые частицы, латексы и другие адгезивные вещества. Эти частицы представляют определенную проблему при сортировании, так как не имеют стабильной формы, т.е. могут легко деформироваться при наличии повышенного давления, и склонны к измельчению при интенсивных сдвиговых усилиях. Диапазон размеров липких частиц составляет от 0,1 мкм до 1,0 см.

Основными характеристиками липких загрязнений являются их размер, тип и особенности поведения. Липкие загрязнения, задерживаемые ситом сортировки при ширине щелей 0,1÷0,15 мм, называют макрочастицами, а прошедшие через сито – микрочастицами.

Липкие загрязнения могут быть первичными и вторичными. Первичные липкие загрязнения присутствуют в массе с самого начала переработки макулатуры и могут состоять из макро- и микрочастиц. Вторичные липкие загрязнения (макрочастицы) образуются в процессе подготовки массы или при производстве бумаги на БДМ за счет агломерации микрочастиц. Этому способствуют увеличение рН и температуры ММ, повышенные усилия сдвига при обработке массы и замыкание контуров водопользования.

Применение в качестве макулатурного сырья использованных книг, журналов, офисной бумаги и т.п. продукции без надлежащей подготовки снижает оптические свойства и чистоту получаемой продукции, но, прежде всего, ухудшает стабильность работы БДМ. Дело в том, что наличие в массе липких (клеевых) частиц приводит к налипанию их на валы и цилиндры машины, забиванию сеток и сукон, что в итоге служит причиной обрывов полотна и вынужденных остановов БДМ.

Дополнительным источником мелких липких частиц являются оборотные воды производства. Эти частицы попадают в фильтрат при сгущении или промывке ММ. Повторное использование такой воды, например, для разбавления массы, приводит к возврату частиц липких включений в основной технологический поток. Эти частицы способны образовывать агломераты в аккумулирующих бассейнах воды. При замкнутом водообороте происходит постепенное накапливание в воде липких частиц до критических концентраций, когда они неожиданно оседают на «одежде» и валах БДМ.

Для возможности вывода липких микрочастиц с бумажным полотном необходимо поддерживать их в диспергированном состоянии (например, ТДО) и дать им возможность связываться с волокнами ММ.

Для определения содержания липких загрязнений изготавливают отливки и подсчитывают в них количество частиц загрязнений и занимаемую ими площадь. Однако такая оценка носит субъективный характер и требует больших затрат времени. Более перспективным является использование метода фирмы Mondo Minerals.

Исследования показывают, что после стадии грубой очистки содержание липких веществ в ММ может составлять более 20000 мм<sup>2</sup>/кг. Обработка ММ в сортировках с шириной щелей сит 0,15 мм позволяет заметно уменьшить содержание липких веществ. Так, площадь поверхности липких веществ в коротковолокнистой фракции волокон при фракционировании ММ снижается до 700÷800 мм<sup>2</sup>/кг. Многоступенчатое сортирование длиноволокнистой фракции на сортировках с шириной щелей сит 0,25 мм уменьшает площадь поверхности липких веществ до 1800 мм<sup>2</sup>/кг, тогда как суспензия из ДВФ, поступающая на сортирование, может содержать липкие вещества в количестве более чем 11000 мм<sup>2</sup>/кг.

Используют следующие способы уменьшения содержания липких загрязнений при подготовке ММ и производстве продукции:

- удаление грубодисперсных липких включений путем эффективного сортирования ММ;
- предварительная нейтрализация свойств липких включений с помощью химических добавок и ферментов с последующим их удалением путем сортирования;
- диспергирование липких загрязнений;



➤ удаление тонкодисперсных липких включений флотацией ММ и очисткой оборотной воды путем микрофлотации с использованием соответствующих реагентов.

Рекомендуется применять сочетание этих способов, так как ни один из них отдельно не способен радикально решить проблему удаления из массы всех видов липких веществ, встречающихся в макулатуре. При этом профилактика и механические способы (сортирование) должны предшествовать химической обработке массы.

При подаче на БДМ содержание липких веществ в ММ должно составлять менее 1000 мм<sup>2</sup>/кг. Непременным условием удаления клеевых частиц является высокая степень их отделения от волокна, которое должно происходить в процессе разволокнения макулатуры и диспергирования ММ.

К методам, предупреждающим отложения липких загрязнений, относится использование специальных химических реагентов для защиты оборудования и «одежды» БДМ. Обычно для создания защитного слоя на сетку БДМ распыляют катионный полимер (расход – 5÷15 мл на один метр ширины сетки). Чистка «одежды» БДМ с помощью растворителей – один способ предотвращения формирования отложений липких загрязнений.

### **9.6.2. Удаление липких частиц сортированием ММ**

Крупные частицы липких веществ обычно удаляются при очистке и сортировании ММ. Значительное уменьшение площади липких веществ – от 2000 до 1000 мм<sup>2</sup>/кг происходит, в основном, при сортировании на щелевых ситах при средней и низкой концентрации ММ. Термодисперсионная обработка ММ обеспечивает отделение частиц печатной краски и липких загрязнений от волокна и их измельчение. Размол ММ может способствовать образованию агломератов липких загрязнений.

Решение проблем удаления этих частиц сортированием обеспечивают проведением различных мероприятий, благоприятствующих выделению их из массы. Рассмотрим некоторые из них.

Так как максимальные размеры отделенных от волокна клеевых частиц достигают величины в 1 см, для удаления их можно использовать круглые и щелевые отверстия сит. Сортирование на ситах с круглыми отверстиями диаметром от 1,2 до 1,4 мм осуществляется на машинах с цилиндрическим ситом в области средних и низких концентраций массы (менее 3 %). Используют многоступенчатое сортирование, причем отсортированная масса с первой, второй и последующих ступеней объединяются. Объем отходов от сортировок должен быть таким, чтобы поддерживать минимально необходимую скорость движения отходов и, тем самым, предотвращать засорение сита. На этих ситах эффективно удаляются частицы клея больших размеров, например, от корешков книг, каталогов и других изданий.

Подаваемая на сортирование масса содержит, кроме крупных, большое количество мелких и измельченных частиц клея. Поэтому рекомендуется

ограничивать окружную скорость ротора сортировки, концентрацию массы, а также скорость прохождения ее сквозь сито. Наибольшую эффективность выделения липких загрязнений обеспечивают сортировки с ротором, снабженным гидропланками, и с кулачковыми роторами. Уровень выделения клеевых частиц зависит от степени роспуска макулатуры, степени отделения частиц от волокна, происхождения и природы клея и, прежде всего, от распределения его частиц по размерам. Эффективность удаления 40÷45 % клеевых частиц для комплекта сортировок с круглыми отверстиями является очень хорошим результатом.

Удаление мелких клеевых загрязнений производят на шлицевых ситах при концентрации массы 0,8÷1,0 % (тонкое сортирование). Эффективность удаления клеевых частиц из массы такой концентрации приблизительно в два раза выше, чем из массы средней концентрации при прочих равных условиях. Для такого сортирования используют сита с узкими щелями и специальным профилем поверхности. Минимальная ширина щелей обычно составляет около 0,15 мм. Такие сортировки позволяют уменьшить содержания липких частиц в коротковолокнистой фракции до 700÷800 мм<sup>2</sup>/кг. Ступенчатое сортирование длиноволокнистой фракции на сортировках с шириной щелей 0,25 мм уменьшает площадь частиц липких загрязнений до 1800 мм<sup>2</sup>/кг при исходном содержании их более 11000 мм<sup>2</sup>/кг. Если древесные волокна в массе отсутствуют, возможно использование профилированных сит с шириной щели до 0,1 мм. Рекомендуется на каждой ступени сортирования использовать минимум две последовательно установленные сортировки. В этом случае может быть достигнуто удаление до 90 % клеевых частиц.

Для сортирования суспензии, содержащей древесную или термомеханическую массу, нижний предел ширины щели сортировки может составлять 0,12 мм.

Благоприятными факторами для удаления липких частиц из ММ с помощью сортировок являются:

- использование сит с узкими щелями и специальным профилем поверхности;
- оснащение сортировок ротором специальной формы с низкой окружной скоростью вращения, обеспечивающей равномерную скорость прохождения массы через сито;
- сортирование при пониженной концентрации ММ;
- пониженная и равномерная скорость прохождения сортируемой массы сквозь сито за счет увеличения площади его живого сечения.

### **9.6.3. Физико-химическая нейтрализация и стабилизация липких частиц в ММ**

Для химической нейтрализации липких частиц, содержащихся в ММ, используют ряд близких по эффективности технологий, базирующихся на применении довольно широкого спектра различных химикатов –

диспергентов, полимеров, адсорбентов. Причем наиболее эффективно действуют не отдельные вещества, а их композиции.

Химическое диспергирование с помощью анионных и неионных ПАВ способствует стабилизации тонкодисперсных липких загрязнений. За счет адсорбции анионного диспергента отрицательный заряд на поверхности частицы липкого вещества увеличивается. При этом возрастают силы отталкивания между гидрофобными частицами липких включений. Неионные диспергенты образуют защитный слой вокруг частиц липких загрязнений.

Адсорбция минеральных веществ на поверхности липких частиц снижает их липкость и способствует их выведению из системы с готовой продукцией. В качестве такой минеральной добавки обычно применяется тальк. При адсорбции талька на поверхности липких макрочастиц их плотность увеличивается, и они могут быть удалены из системы методами очистки массы. Расход талька составляет от 5 до 20 кг на тонну бумаги.

Следует учитывать, что по окончании процессов диспергирования и химической нейтрализации липкие частицы могут в дальнейшем снова восстановиться или агломерироваться в большие по размеру комплексы благодаря их повышенной активности либо из-за присутствия веществ, выступающих в качестве коллекторов. Образованию агломератов клеевых частиц и повторному сорбированию их волокном могут способствовать такие процессы, как размол.

#### **9.6.4. Использование обработки ММ энзимами (ферментами)**

Перспективной технологией обработки массы является использование веществ из группы энзимов (ферментов) типа эстераза для уменьшения липких свойств клеевых частиц. Действие энзимов заключается в ограниченном гидролизе, протекающем в поверхностных слоях волокон (гидролизация эфирных связей), к которым прикрепляется печатная краска в процессе печати. Гидролиз эфирных связей снижает липкость и размеры этих частиц. Это превращает макрочастицы липких загрязнений в микрочастицы. Кроме того, одновременно происходит интенсификация процессов отделения клеевых частиц от волокон, что создает дополнительные возможности их удаления в дальнейшем.

Гидролиз поверхностных слоев волокон, как и удаление покровного материала и наполнителей, может облегчить отделение и диспергирование также и вкраплений тонера. В качестве побочного эффекта возможно даже некоторое повышение белизны массы.

Регулирование интенсивности ферментативной обработки производят с помощью рН, концентрации энзима, температуры, времени воздействия. Оптимальными условиями эффективности действия ферментов для этих целей являются: рН среды – в интервале 6,5÷10; температура массы в пределах 25-60 °С; расход – порядка 90 г/т ММ; продолжительность

обработки массы – 45 мин. Для того, чтобы обеспечить большую продолжительность обработки рекомендуется вводить энзимы на начальной стадии подготовки ММ, т.е. в гидроразбиватель или в бассейн перед грубым сортированием.

Ферменты могут и негативно воздействовать на целлюлозное волокно, поэтому их качество и количество необходимо тщательно подбирать с учетом вида макулатуры и характера действия самого фермента. В зависимости от вида используемой макулатуры, фирмами предлагаются разные микробиологические системы ферментов.

#### **9.6.5. Удаление липких включений в ММ методами флотации и микрофлотации**

Частицы липких загрязнений обладают определенной степенью гидрофобности. После завершения ферментативной и (или) щелочной обработки ММ и предварительного сортирования ММ можно очищать от липких включений методом первичной флотации. Дополнительную флотацию (постфлотацию) производят уже после диспергирования массы (ТДО). На этой стадии удаляются микрочастицы липких загрязнений. Удаление оставшихся микрочастиц липких загрязнений возможно при последующей промывке ММ.

Флотация позволяет оперативно удалить макро- и микрочастицы клея после химической и ферментативной обработки, препятствуя возможности массового повторного сорбирования их волокном. Одновременно с липкими частицами при флотации удаляются и частицы пигментов.

Эффективность удаления частиц липких загрязнений путем флотации составляет 50÷60 %, а при использовании современной флотационной установки с вторичной ячейкой устраняется 30 % макрочастиц. При этом степень удаления липких загрязнений может достигать 80÷90 %.

Одним из способов радикального удаления мелких частиц липких включений из оборотной воды, находящим все более широкое распространение благодаря высокой степени очистки воды при относительно небольших затратах и габаритах установок, является микрофлотация (напорная флотация) с применением растворенного воздуха (технология DAF). Использование при микрофлотации флокулянтов способствует удалению из оборотной воды как твердых липких частиц, так и растворенных или коллоидных липких загрязнений. Как показывает практика, шлам, удаляемый от установки микрофлотации, содержит липкие загрязнения. Более подробная информация представлена в п. 11.3.2.

#### **9.6.6. Общие рекомендации по удалению липких частиц из ММ**

При наличии в системе подготовки процесса фракционирования массы может быть предложена следующая схема удаления мелких клеевых

включений: ферментативная обработка → сортирование ДВФ на ситах с круглыми отверстиями → сортирование КВФ на ситах со щелевыми отверстиями → совместная или раздельная флотационная обработка фракций массы.

В случае наличия в системе подготовки фракционирования и ТДО массы логично подвергать ТДО только ДВФ. В этом случае может быть использована следующая схема: ферментативная обработка всей массы и предварительное сортирование ее на ситах с круглыми отверстиями → фракционирование массы → сортирование КВФ на щелевых ситах и флотационная обработка ДВФ перед ТДО → раздельная или совместная постфлотация КВФ и ДВФ массы (рис. 9.16).

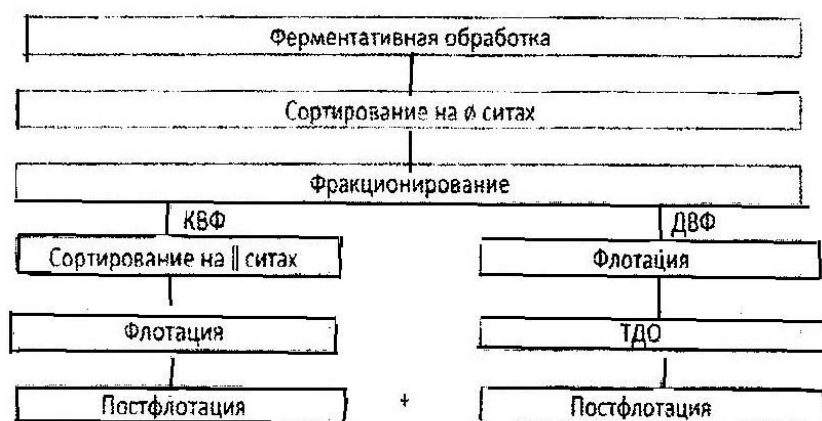


Рис. 9.16. Этапы обработки ММ с фракционированием и ТДО

С помощью предварительного тщательного сортирования сырья можно значительно сократить содержание потенциально липких загрязнений в системе переработки макулатуры.

## 10. ПОТРЕБЛЕНИЯ И ЭМИССИИ ПРИ РАБОТЕ ПРЕДПРИЯТИЙ, ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ МАКУЛАТУРУ

Производство картонно-бумажной продукции с использованием макулатуры обычно включает три этапа: подготовку ММ, изготовление бумаги и картона на БДМ и КДМ, улучшение свойств продукции (каландрирование, мелование и т.п.). В настоящем разделе рассматриваются потребления и эмиссии, в основном, для первых двух этапов производства. Исключение сделано для потоков воды, поскольку водные системы подготовки ММ и БДМ (КДМ) обычно взаимосвязаны. При выборе технологических схем подготовки ММ следует учитывать экономические и экологические аспекты, т.е. расход сырья, энергии и свежей воды, объем сточных вод, количество и качество образующихся отходов, ориентировочные данные о которых приведены в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Показатели расходов и эмиссий при подготовке ММ  
для различных видов продукции

Виды продукции	Упаковочная бумага и картон	Санитарно-гигиеническая бумага	Газетная бумага
Вид макулатуры	Бумага и картон из магазинов	Газетно-журнальная и офисная бумага	Газетная и журнальная бумага (50:50 %)
Количество макулатуры, т/т бумаги	1100	1500-1600	1000-1270
Потребление: – электроэнергии, кВт·ч/т	150-250	400-500	300-400
– теплоэнергии, МДж/т (т пара/т)	-	650-1100 (0,3-0,5)	450-900 (0,2-0,4)
– свежей воды, min, м <sup>3</sup> /т	2-4	8-16	8-16
Отходы: – твердые отходы, кг/т а.с.в.	50-100	300-500	170-190
– содержание органики, %	70-80	40-50	35-45

В зависимости от используемых методов переработки и марки макулатуры выход вторичного полуфабриката составляет от 60 до 95 %. Отходы переработки макулатуры подвергаются обезвоживанию и могут быть использованы для получения энергии (сжиганием) и материальных ресурсов для других производств. Общие технологические схемы производств, перерабатывающих макулатуру, обязательно должны включать системы обработки отходов и оборотной воды.

## **10.1. ПОТРЕБЛЕНИЯ (РАСХОДЫ)**

Рассматриваются потребления (расходы): макулатуры, воды, химических веществ, энергоресурсов.

### **10.1.1. Потребление макулатуры**

Для производства отдельных видов картонно-бумажной продукции требуется различное количество и качество макулатуры. Так, для производства 1 т продукции (см. табл. 10.1) используется от 1100 (производство бумаги для флутинга) до 1600 кг макулатуры (производство санитарно-гигиенических бумаг и товарной ММ с удалением печатной краски).

Различие в потребности макулатуры, при прочих равных условиях, зависит от ее качества (марки). Так, макулатуры низкого качества, содержащей большое количество загрязнений, требуется больше, чем макулатуры высокого качества. Макулатура высокого качества используется для производства графических и санитарно-гигиенических бумаг. Для обеспечения стабильности свойств ММ желательнее, чтобы качественные и количественные различия в составе загрязняющих веществ и инородных включений в макулатуре были минимальными. Поэтому способы сбора и сортировки макулатуры по маркам могут оказаться более важными, чем поиски новых процессов обработки вторичного волокна.

Ожидается, что доля посторонних включений в макулатуре будет со временем возрастать из-за непрерывно растущего объема ее переработки и из-за возрастающего использования различных химических добавок при производстве продукции. Это приведет к повышению расхода макулатуры и затрат на очистку и дополнительную обработку ММ. Одновременно это приведет к росту объема твердых отходов предприятий, перерабатывающих макулатуру.

### **10.1.2. Потребление воды**

Основные проблемы водопользования предприятий, перерабатывающих макулатуру в картонно-бумажную продукцию,

рассмотрены далее в разд. 11. Поэтому здесь будут приведены только принципиальные выводы и рекомендации по этому вопросу.

Задача оптимизации систем водопользования на предприятиях состоит в определении путей количественного уменьшения потока сточных вод, возможности его разделения на характерные потоки, а также в поиске путей вторичного использования каждого из них.

При создании малоотходных систем водопотребления и водоотведения предельный расход свежей воды ограничивается необходимостью поддержания такого уровня показателей производственной воды, при котором не возникает серьезных проблем для проведения технологических процессов. При повышенном «замыкании» систем водооборота происходит накапливание в воде растворенных и дисперсных веществ, образующих сложные системы. Такие системы состоят из пригодного для использования волокна, отработанного наполнителя, коллоидных частиц и слизееобразующих микроорганизмов. Это вызывает комплекс негативных последствий в производственных процессах.

Анализ систем водопользования предприятий, перерабатывающих макулатуру, показал, что среднее удельное потребление воды на технологические нужды составляет до  $50 \text{ м}^3$  на тонну продукции при коэффициенте повторного (оборотного) использования  $74\div 82 \%$ . Отдельные предприятия имеют показатели по расходу свежей воды, равные  $8\div 16 \text{ м}^3/\text{т}$  и  $94 \%$  соответственно.

Основными источниками образования стоков являются сгустители, прессы ТДУ, вихревые очистители отдела подготовки ММ. В постоянной части БДМ сточная вода образуется при тонкой очистке массы на центрифугах, сопровождающейся потерями волокна. Высокая концентрация взвесей типична также для отходов напорных сортировок. Источниками образования стоков являются также воды после мытья сеток и сукон.

Внутренние водопотоки производства продукции из макулатурного сырья отличаются высоким содержанием взвешенных частиц. Первичные взвешенные вещества попадают в воду вследствие промывки волокна и наполнителей. Вторичные – образуются вследствие химических и биохимических процессов, протекающих в водной среде. Появление вторичных взвесей связано с накапливанием растворимых органических и минеральных веществ и с изменением теплового режима, а также с нарушением условий химической очистки воды. Поэтому особое значение приобретают вопросы рационального использования оборотных вод и внутрицеховой (локальной) очистки их.

Рациональная система организации потоков водоотведения основана на том, что в каждом отдельном потоке объединяются сточные воды, содержащие загрязнения, близкие по фазово-дисперсному состоянию и по способности к очистке тем или иным методом. Так, на начальных этапах подготовки ММ в оборотные воды попадают преимущественно органические вещества низкой массы, легко поддающиеся биоокислению. Организация



отдельного контура циркуляции оборотной воды размольно-подготовительного отдела позволяет вывести эти загрязнения вместе с избыточными оборотными водами непосредственно на биологическую очистку. В свою очередь, загрязнения, содержащиеся в избыточных водах отдела отлива бумаги (картона), обычно хорошо удаляются физико-химическими способами.

Важное значение имеет регулирование в воде количества микроорганизмов, поскольку многие их виды способны образовывать слизь, приводящую к ухудшению качества выпускаемой продукции.

### 10.1.3. Входящие и вспомогательные химические вещества

Входящие химические вещества (ВХВ) это вещества, введенные в состав макулатуры в процессе предыдущих циклов производства картонно-бумажной продукции. Химические вспомогательные вещества (ХВВ) – это вещества, используемые в процессах подготовки ММ для их интенсификации и улучшения качества получаемой из макулатуры продукции, а также для придания ей специфических свойств. Основные ХВВ, используемые для повышения эффективности процессов подготовки ММ, были уже рассмотрены выше, в предыдущих разделах пособия (см. разд. 4, 7, 9).

Количество и типы соответствующих химических веществ зависят от марки и свойств макулатуры, а также от вида выпускаемой из нее продукции. Значительная часть ВХВ, оставшихся в продукции, поступающая в производство вместе с макулатурой, обычно повышает, а иногда понижает требуемый уровень потребления ХВВ в технологических процессах производства продукции.

Определенное количество ВХВ и ХВВ сбрасывается со сточной водой, а также удаляется из системы с отходами и осадком. Некоторые из ВХВ и ХВВ могут иметь негативное влияние на работу очистных сооружений и/или на качество очищенной воды, если они не разлагаются или не удаляются во время ее очистки.

***ВХВ и ХВВ, используемые для переработки и производства продукции из макулатуры.*** Химические вещества для производства бумаги и картона можно применять только тогда, когда они прошли экспертную оценку и результаты были положительными. В соответствии с этим и следует понимать примечания в правой колонке табл. 10.2.

Использование макулатуры, тенденция к замкнутости оборотных вод (для сокращения расхода свежей воды) и применение крахмалов для проклейки в нейтральной среде приводят к тому, что в массе и оборотной воде накапливается много растворенных и взвешенных загрязняющих веществ. При этом создаются благоприятные условия для развития бактерий и других микроорганизмов, способствующих порче и дальнейшему повышению степени загрязненности волокнистой массы продуктами

биодеструкции. Подавляющее большинство этих веществ несут анионный заряд и объединяются термином «анионные загрязнения».

Отдельным и весьма перспективным направлением улучшения эффективности процесса подготовки ММ, а также качества получаемой продукции является использование ферментов (энзимов).

Таблица 10.2

Основные ВХВ и ХВВ, применяемые в производстве бумаги и картона из макулатуры

Добавки	Назначение	Примеры	Примечание
Наполнители	Улучшить печатные свойства, непрозрачность и белизну; сэкономить волокно	Мел, каолин, тальк, гипс, пигмент, двуокись титана	—
Проклеивающие вещества (проклейка поверхностная)	Улучшить поверхностные свойства листа; сделать поверхность листа гидрофобной	Модифицированный крахмал, смолы, восковые эмульсии, синтетические средства	Некоторые катионные соединения токсичны для бактерий
Средства для улучшения прочности во влажном состоянии (проклейка в массе)	Улучшить прочностные свойства во влажном состоянии	Мочевинно-формальдегидная смола, меламин-формальдегидная или эпихлорогидриновая смола	Токсичны для бактерий, некоторые увеличивают адсорбируемый органический хлор (АОХ)
Закрепители	Улучшить адсорбцию ХВВ волокнами	Сульфат алюминия	Катионные продукты могут быть токсичны для бактерий
Средства для улучшения прочности в сухом состоянии	Улучшить прочностные свойства в сухом состоянии	Модифицированный крахмал	Некоторые катионные вещества могут быть токсичными для бактерий
Красители	Придать бумаге определенный цвет, подцветку и/или белизну	Основные, кислотные, минеральные пигменты, азотосоединения,	Трудноудаляемы, некоторые токсичны, могут содержать тяжелые металлы

		четвертичные соединения аммония	
Оптические отбеливатели	Придать бумаге белизну	Химикаты на основе 4,4-диамино-стильбен-2,2-дисульфокислоты	Некоторые катионные вещества могут быть токсичны

Продолжение табл. 10.2

Добавки	Назначение	Примеры	Примечание
Химикаты покровного слоя	Придать бумаге (картону) определенные поверхностные свойства	Пигменты, связующие вещества, диспергирующие и смазывающие вещества, пеногасители, средства для борьбы со слизееобразованием	Связующие вещества необходимо диспергировать до того, как они попадут в сточные воды. Иначе они могут нарушить процесс очистки
Добавки для удержания	Повысить удержание волокон, мелочи и наполнителя; повысить скорость обезвоживания; уменьшить эмиссии загрязняющих веществ	Квасцы, алюминат натрия, полихлорид алюминия, крахмал, смолы, анионные полиакриламиды, неионогенные полиакриламиды, катионные полимеры, КМЦ	В основном, катионные продукты
Химикаты для удаления типографской краски и для отбеливания (см. табл. 9.1)	Удалить краски из волокон; диспергировать частицы краски; повысить белизну	Каустик, жирные кислоты, перекись водорода, гидросульфит, формамидсульфокислота, комплексообразующие реагенты, силикат натрия	Осаждение осадка в отстойниках последней ступени может быть затруднено

СПАВ	Очищать сукна, сетки и оборудование; промывать водную систему; диспергировать загрязняющие вещества	Кислотные и щелочные ПАВ	Могут привести к образованию отходов в виде пены
Добавки для комплексообразования	Удалять ионы металлов комплексообразованием во избежание разложения отбельных химикатов	ДТПК или ЭДТК	Трудно поддаются (не поддаются) биологической очистке

Окончание табл. 10.2

Добавки	Назначение	Примеры	Примечание
Пеногасители	Предотвращать образование и ускорить разрушение пены	Этоксилаты жирных кислот, полиоксиэтилен, производные жирных кислот, высокомолекулярные спирты, простые эфиры фосфорной кислоты, растительные масла	Могут способствовать уменьшению расхода кислорода на очистных сооружениях
Биоциды (средства для борьбы со слизеобразованием)	Предотвращать рост микроорганизмов	Органические соединения брома, серы или азота, четверичные аммонийные соединения	Некоторые содержат АОХ, некоторые токсичны, если поступают на ОС в больших концентрациях
Примечания относятся к собственным веществам и не отражают того факта, что они обычно разбавлены и в некоторой степени удерживаются в бумаге (картоне)			

Используются три способа введения ХВВ для улучшения качества продукции из ММ:

- добавки ХВВ непосредственно в массу;
- поверхностное нанесение ХВВ на клеильном прессе БДМ;
- разбрызгивание ХВВ на увлажненное бумажное полотно.

Наименьшие затраты имеет метод добавки ХВВ в массу, так как, по сравнению с другими способами, он не требует особых приспособлений и устройств. Недостатком этого метода является возможность увеличения степени загрязненности сточных вод. В связи с этим необходимо уделять особое внимание к таким загрязняющим воду ХВВ, как, например, добавки, способствующие удержанию наполнителей.

Отдельной, помимо крахмальной, группой ХВВ для повышения прочности (жесткости) продукции, являются различные вытяжки, изготавливаемые на основе лигниновых препаратов. Их можно наносить с помощью клейного пресса или распылковыми устройствами на влажное полотно. Значительного улучшения жесткости можно также достичь при нанесении клеевым прессом жидкого стекла до  $18 \text{ г/м}^2$ .

**Красители.** Для придания продукции определенного цвета используют различные красители, подаваемые в массу. Применяют основные, кислые и комбинированные красители, сажу и бурый сок.

Основные красители являются наиболее эффективными. Они осаждаются на волокнах без вспомогательных веществ и образуют с ними нерастворимые связи. Это обеспечивает малое содержание краски в сточных водах. Чаще всего их применяют для придания продукции, склонной к пожелтению, светлых оттенков. Кислые красители, в принципе, используют так же, как и основные. Применение комбинации из основных и кислых красителей дает возможность расширения палитры тонов при одновременном улучшении равномерности окрашивания.

Сажа используется для окрашивания светонепроницаемых упаковочных бумаг и черного картона. Она вводится в массу в виде пасты (около 50 % красителя) или дисперсии (около 33 % твердого вещества). Равномерное черное окрашивание достигается комбинацией кислых и основных черных красителей с пигментом сажи.

Бурый сок (ореховый закрепитель, ореховый бурый или дубильно-бурый) применяют довольно часто для придания продукции из макулатуры цвета сульфатной небеленой целлюлозы (коричневатый оттенок). Основой для бурого сока является бурый уголь в виде гранул или чешуек. Он имеет относительно малую удерживаемость волокном и, вследствие этого, дает окрашивание сточных вод.

Имеются сведения о том, что небольшие (до 1 %) добавки в композицию массы из макулатуры марки МС-5Б минеральных пигментов позволяют повысить качественные (механические) показатели готовой продукции, но они требуют дальнейших исследований и уточнений.

ХВВ, применяемые для удаления краски из ММ, приведены в табл. 9.1. Химикаты для удаления красок плохо удерживаются клетчаткой волокон. Считается, что они, в основном, содержатся в шламе от процесса удаления краски, который вывозится на свалки или сжигается.

**Крахмалы в переработке макулатуры.** Макулатурное сырье, особенно макулатура марки МС-5Б, характеризуется повышенным

содержанием в своем составе различных крахмалопродуктов. В макулатуре может содержаться:

- катионный крахмал, который вводится в массу в качестве связующего для повышения прочности – 6÷20 кг/т бумаги;
- окисленный крахмал для поверхностной проклейки – 30 кг/т бумаги;
- нативный крахмал для склейки слоев гофрокартона – 40 кг/т гофрокартона;
- окисленный крахмал в составе мелованного покрытия – 20 кг/т бумаги;
- деградированный крахмал с предыдущих циклов переработки.

Итого в 1 т макулатуры может содержаться более 90 кг крахмалопродуктов.

Практика переработки такой макулатуры показывает, что процесс подготовки бумажной массы сопровождается существенными технологическими трудностями, обусловленными присутствием различных видов крахмала в макулатурной массе. Это выражается в ухудшении обезвоживания макулатурной массы при формовании на сеточном столе, что объясняется наличием большого количества коллоидных частиц, увеличивающих вязкость макулатурной массы. Из-за присутствия деградированного крахмала макулатурная масса характеризуется повышенной степенью помола (в литературе встречаются такие термины, как «псевдопомол», «кажущаяся степень помола», «нетехнологическая степень помола» и т.д.), что обусловлено способностью крахмала набухать в водной среде. Кроме этого, крахмалопродукты, содержащиеся в макулатурной массе, являются хорошей питательной средой для различных видов микроорганизмов, способствующих образованию слизи в технологическом потоке машины. Наличие крахмала в оборотной воде снижает эффективность работы очистного оборудования, в результате чего снижается качество очистки оборотной воды.

Крахмалы в кислой или слабощелочной среде способны коагулировать с образованием слипшихся мелких агрегатов темного цвета. Эти агрегаты, образованные гидрофобными компонентами макулатурной массы в составе клеев, латексов и клейких веществ, представляют собой липкие частички. Данные липкие загрязнения не удаляются на стадии сортирования и вызывают проблемы, связанные с образованием отложений на оборудовании, ухудшением внешнего вида вырабатываемой продукции, обрывами бумажного полотна, снижением срока службы сеток и сукон, необходимостью частых остановов для чистки одежды машины, валов и прочего оборудования. Кроме вышеперечисленных технологических трудностей, остро стоит проблема снижения прочностных характеристик продукции, вырабатываемой на основе макулатуры, содержащей значительные количества крахмала.

Фрагменты деградированного крахмала наряду с другими компонентами макулатурной массы при повторной переработке приобретают

отрицательный заряд, становясь источником анионных загрязнений («анионный мусор»). Наличие анионных загрязнений приводит к увеличению катионной потребности бумажной массы и снижению эффективности дорогостоящих химических вспомогательных веществ, проклеивающих реагентов, «свежего» катионного крахмала.

Анионные загрязнения из-за малого (коллоидного) размера частиц имеют очень развитую поверхность. Они окружают волокна и создают вокруг них барьер из коллоидных частиц. Этот барьер препятствует образованию полноценных водородных связей между волокнами и осаждению на них частиц проклеивающих и вспомогательных химикатов. Кроме того, имея развитую поверхность, коллоидные и взвешенные частицы адсорбируют часть вспомогательных упрочняющих и проклеивающих химикатов.

Количество анионных загрязнений принято характеризовать так называемой катионной потребностью массы. Катионная потребность определяется как количество (мг) стандартного катионного полимера, необходимого для нейтрализации общего анионного коллоидного заряда в единице объема (литр) бумажной массы (точнее воды в массе).

Анализ ММ нескольких предприятий, перерабатывающих макулатуру, показал, что катионная потребность колеблется от 90 до 170 мг-экв/л, в то время как оптимальной величиной этой потребности считается 30÷40 мг-экв/л, что соответствует слабому отрицательному заряду массы.

Для снижения содержания анионных загрязнений в технологическом потоке массы (снижения катионной потребности массы) используют, например, фиксатор «Ультрафикс-127» или катионную смолу «Ультрарез DS». Фиксатор «Ультрафикс Р-127» является водным раствором синтетического катионного полимера с высокой плотностью заряда. Он применяется с целью фиксации анионных загрязнений, присутствующих в ММ. При добавлении фиксатора происходит коагуляция растворенных и взвешенных анионных веществ, снижение катионной потребности ММ, улучшаются процессы удержания и проклейки в производстве бумаги и картона. Это происходит в результате устранения отмеченных барьеров вокруг волокон, очищения межволоконных пространств от анионного мусора, что позволяет вспомогательным химикатам получать доступ к волокнам и усиливает их действие.

Фиксатор анионных загрязнений «Ультрафикс Р-127» следует подавать либо в предварительно очищенную массу после роспуска макулатуры, либо в массу после размола, либо перед смесительным насосом композиционного бассейна. Расход его по товарному продукту составляет 1,0÷1,2 кг/т продукции.

***Ферментативная обработка ММ с целью повышения прочности готовой продукции.*** Составителями настоящего учебного пособия были проведены исследования влияния ферментативной обработки макулатурной массы на показатели прочности образцов лабораторного изготовления.

Макулатура марки МС-5Б размалывалась до 35 °ШР, затем полученную макулатурную суспензию обрабатывали при помощи фермента – препаратом  $\alpha$ -амилазы «Aquazyme 120L» с расходом 5 кг/т а.с. волокна. Обработка проводилась при температуре 50 °С в течение 3 ч. Кроме этого, в исходную макулатурную массу и в массу после ферментативной обработки вводился катионный крахмал «Perlcore B35» со степенью замещения 0,04 и расходом 10 кг/т волокна. Затем на листоотливном аппарате ЛА-4 изготавливались лабораторные образцы с массой 1 м<sup>2</sup> – 100 г. У полученных отливок определяли прочностные и деформационные характеристики. Результаты представлены в табл. 10.3.

Как следует из представленных данных, ферментативная обработка макулатурной массы позволяет значительно повысить прочностные и деформационные характеристики изготавливаемых образцов. Кроме этого, повышается эффективность катионного крахмала, вводимого в качестве связующего, значительно снижается отрицательное влияние крахмала, содержащегося в макулатуре. Так, рост показателей прочности макулатурной массы, прошедшей ферментативную обработку, по сравнению с образцами из исходной массы, составил: по разрывной длине и сопротивлению продавливанию – 9 %, по сопротивлению раздиранию – 17 %, а рост прочности на излом при многократных перегибах составил почти 60 %. Это объясняется следующим образом. При повторной переработке деградированный крахмал переходит в разряд анионных загрязнений, повышая катионную потребность бумажной массы. При этом снижается эффективность действия вводимого в массу «свежего» крахмала. Ферментативная обработка позволяет ускорить гидролиз и деполимеризацию деградированного крахмала, в результате чего он сравнительно легко отделяется от волокон, переходит в суспензию или растворяется и может быть удален из технологического потока, например, при помощи промывки или сгущения.

Таблица 10.3

Результаты определения прочностных и деформационных характеристик образцов лабораторного изготовления

№ композиции	Вариант обработки исходной макулатурной массы на основе МС-5Б	Прочностные и деформационные характеристики						
		разрушающее усилие, Н	разрывная длина, м	деформация, %	Т.Е.А., Дж/м <sup>2</sup>	сопротивление продавливанию, кПа	сопротивление раздиранию, мН	прочность на излом при многократных перегибах, ч.д.п.
1	Без обработки и добавок	84	5700	2,1	80	230	700	220



2	После ферментативной обработки $\alpha$ -амилазой (5 кг/т)	91	6200	2,2	96	250	820	270
3	С добавлением катионного крахмала (10 кг/т)	101	6850	2,4	104	280	950	350
4	После ферментативной обработки $\alpha$ -амилазой (5 кг/т) и с добавлением катионного крахмала (10 кг/т)	109	7400	2,5	119	340	1090	540

#### 10.1.4. Потребление энергии

В целом, бумажные и картонные предприятия, использующих макулатуру, требуют затрат значительного количества энергии для получения пара, для подогрева воды, массы, воздуха и подготовки химикатов, и, прежде всего, для сушки бумаги и картона. Одновременно требуется большое количество электроэнергии для работы основного и вспомогательного оборудования, насосов, для создания вакуума, для вентиляции, для очистки сточных вод. Системы подготовки и подачи ММ потребляют от 20 до 40 % от общего расхода электроэнергии в процессе переработки макулатуры (без удаления печатной краски). Поэтому при оптимизации работы установок по подготовке массы целесообразно принять меры по экономии энергии. Кроме того, снижение расхода энергии позволяет снизить количество выбросов в атмосферу, которые, в свою очередь, зависят от вида используемого топлива. Перечисленные расходы энергии составляют значительную долю производственных расходов.

Поскольку вторичные волокна уже были ранее обработаны при подготовке массы для изготовления первичной продукции, производство массы на основе макулатуры требует сравнительно меньшего расхода энергии, чем при производстве массы из исходной целлюлозы или механической массы.

На предприятиях, использующих макулатуру, пар обычно вырабатывается на месте. Электроэнергию также можно закупать из общей энергосистемы. Обычно картонно-бумажные предприятия имеют сбалансированные потребности в паре и электроэнергии, что делает логичным наличие в составе предприятий теплоэнергетических цехов (ТЭЦ) для совместной выработки тепловой и электрической энергии. ТЭЦ обладают значительно более высоким КПД (80÷95 %) по сравнению с выработкой только тепловой энергии (пара) в сочетании с закупкой электроэнергии (КПД около 40 %). В принципе, ТЭЦ могут производить избыток энергии, который поставляется в общегородскую энергосистему.

В табл. 10.4 в качестве иллюстрации приведены ориентировочные данные об УРЭ для различных видов продукции из макулатуры при разных режимах процессов технологии подготовки массы.

Критериями оценки экономической эффективности технологической стадии переработки служат показатели удельного расхода энергии и концентрации массы. Значения этих величин имеют широкий диапазон, что объясняется особенностями применяемой технологии переработки и зависит от марки макулатуры. УРЭ в значительной степени зависит от расхода энергии на роспуск макулатуры и удаление примесей при сортировании, очистке, флотации и/или промывке ММ.

Таблица 10.4  
УРЭ для подготовки массы для различной продукции (кВт·ч/т)

Вид продукции	Роспуск, очистка, сгущение (разбавление) и сортирование	Размол	Технологические особенности подготовки
Бумага для гофрирования и плоских слоев ГК	250 ÷ 280	100	Многоступенчатое сортирование
	150 ÷ 190	80	Простое сортирование
Однослойный картон	120 ÷ 140	35 max	Простое сортирование
	200 ÷ 230	35 max	Горячий роспуск
Покровные слои многослойного картона и улучшенный картон	240 ÷ 270	35 max	Роспуск при концентрации $\geq 5\%$
	250 ÷ 300	35 max	Горячий роспуск

Окончание табл. 10.4

Вид продукции	Роспуск, очистка, сгущение (разбавление) и сортирование	Размол	Технологические особенности подготовки
Влагопрочная крафт бумага	300 ÷ 350	100	Горячий роспуск
	360 ÷ 450	150 ÷ 180	Горячий роспуск и многоступенчатое сортирование

В табл. 10.5, 10.6 и приведены ориентировочные данные о расходе электроэнергии и пара на процессы подготовки ММ для производства санитарно-гигиенической и газетной бумаги, а также для производства флютинга и тестлайнера. Все данные в таблицах относятся к работе

современного оборудования для подготовки массы. В таблицы не включены расходы энергии на транспортировку волокнистой суспензии при выполнении технологических процессов переработки макулатуры.

Таблица 10.5

Примерное энергопотребление предприятий, производящих санитарно-гигиеническую и газетную бумагу из облагороженной макулатуры

Операции	Производство санитарно-гигиенической бумаги (200 т/сут)	Производство газетной бумаги (1000 т/сут)
Сырье	Старые журналы, смешанная офисная бумага	Старые газеты и журналы
Энергетический КПД	55÷60 %	80 %
Общее удельное расчетное энергопотребление	230 кВт·ч/т ОМ <sup>1</sup>	300 кВт·ч/т ОМ <sup>2</sup>
Общий удельный расход пара низкого давления	0,3 т пара/т ОМ	0,3 т пара/т ОМ
Удельный расход энергии основным производственным оборудованием		
Загрузка конвейером	1 кВт·ч/т ОМ	0,4 кВт·ч/т ОМ
Производство ММ при высокой концентрации	39 кВт·ч/т ОМ (включая грубое сортирование)	16 кВт·ч/т (барабан для очистки макулатуры)
Отделение длинно-волокнистой фракции	Не требуется	18,5 кВт·ч/т ОМ
Сортирование при средней концентрации, удаление песка (фортрап)	Энергия насоса	Энергия насоса
Отделение мелкой фракции (тонкое сортирование)	17 кВт·ч/т ОМ	22 кВт·ч/т ОМ

Окончание табл. 10.5

Операции	Производство санитарно-гигиенической бумаги (200 т/сут)	Производство газетной бумаги (1000 т/сут)
Флотация 1	18 кВт·ч/т ОМ	33 кВт·ч/т ОМ
Промывка 1	8 кВт·ч/т ОМ	Нет промывки
Дисковый фильтр (сгущение)	Не требуется	1 кВт·ч/т ОМ
Диспергирование, включая	55 кВт·ч/т ОМ	67 кВт·ч/т <sup>3</sup>

сгущение		
Флотация 2	5 кВт·ч/т ОМ	19 кВт·ч/т ОМ
Промывка 2	10 кВт·ч/т ОМ	Нет промывки
Все насосы	Не включено <sup>4</sup>	91 кВт·ч/т ОМ <sup>5</sup>
Примечания: <sup>1</sup> ОМ – облагороженная макулатура. <sup>2</sup> Непрерывное производство ММ при высокой концентрации. На многих предприятиях используются стандартные бассейны высокой концентрации массы. <sup>3</sup> Эти цифры представляют значения ниже среднего. Для получения повышенного качества расход составляет до 70÷80 кВт·ч/т. Обычно для сгущения и диспергирования требуется от 85 до 90 кВт·ч/т. <sup>4</sup> В оборудование для производства массы, идущей на изготовление санитарно-гигиенических бумаг, не включены насосы и мешалки. <sup>5</sup> Включены все насосы и мешалки, кроме насосов системы флотации.		

Когда оцениваются данные по расходу энергии, необходимо учитывать следующие обстоятельства:

1) выход конечной продукции зависит, главным образом, от используемого сырья, в т.ч. марки макулатуры. Качество сырья в значительной степени зависит от того, из каких источников собирается макулатура. Из-за плохого качества макулатуры некоторым предприятиям может потребоваться дополнительная обработка сырья, а, следовательно, и дополнительный расход энергии на стадии подготовки массы;

2) обычно, когда рассматривается вопрос энергопотребления, то имеется в виду только работа основного оборудования, т.е. расходы энергии на работу насосов и мешалок не учитываются. Это оборудование прямо не влияет на качество массы, но, тем не менее, потребляет электроэнергию. Доля насосов и мешалок в общем потреблении энергии на подготовку ММ может колебаться в пределах от 20 до 30 %. Поэтому для экономии энергии, существенно возможное сокращение количества используемых насосов и мешалок;

3) вспомогательные системы для обработки воды, осадка и отходов, такие, как флотоловушки, шнек-прессы для отходов или прессы для шламов не включаются, поскольку их не считают основным оборудованием. Поэтому потребляемая ими электроэнергия должна учитываться отдельно и добавляться к приведенным общим затратам энергии;

4) существует разница между установленной мощностью (основное оборудование) и средним фактическим энергопотреблением. В действительности потребляется 70÷75 % от установленной мощности. Это соотношение меняется в зависимости от режима работы системы и типа применяемого оборудования.

Таблица 10.6

УРЭ и концентрация ММ на основных операциях переработки макулатуры для производства бумаги для гофрирования и тестлайнера

Операции технологического процесса	УРЭ, кВт·ч/т	Концентрация массы, %
Разволокнение в гидроразбивателе	10÷40	3÷18
Разволокнение (и сортирование) в барабанном гидроразбивателе	15÷20	15÷20 (3,5÷6,0)
Дефлокуляция ММ	20÷60	3÷6
Очистка ММ (грубая и тонкая)	4÷8	0,5÷4,5
Сортирование ММ (грубое и тонкое)	5÷20	0,5÷4,0
Сортирование отходов сортирования	20÷40	1÷4
Фракционирование ММ	5÷20	3÷4
Промывка ММ	5÷20	0,7÷12,0
Напорная флотация ММ	10÷20	1,0÷1,3
Микрофлотация оборотной воды (DAF)	10÷20	0,01÷0,3
Сгущение	1÷10	0,5...5÷10
Обезвоживание ММ: – винтовой пресс	10÷15	4÷10...25÷50
– двухсеточный пресс	2÷4	3÷10...25÷50
Диспергирование ММ	30÷80	22÷32
Размол при низкой концентрации	5÷25(на 1 <sup>0</sup> ШР)	3÷6
Размол при высокой концентрации	10÷60(на 1 <sup>0</sup> ШР)	25÷35
Хранение и перемешивание ММ	0,02÷0,1	3,0÷5,5
Смешение	0,2÷0,5	3,5÷4,5

Данные по энергопотреблению отдельных этапов процесса показывают, что примерно одна треть энергии потребляется на этапе сгущения и диспергирования ММ.

Кроме приведенных данных, имеются следующие усредненные данные для установок для подготовки ММ:

- обычный гидроразбиватель макулатуры – 25÷80 кВт·ч/т;
- барабанный гидроразбиватель макулатуры – 15÷20 кВт·ч/т;
- вторичный гидроразбиватель макулатуры – 15÷40 кВт·ч/т;
- сгущение перед диспергированием – 30 кВт·ч/т;
- нагрев массы до 90 °С и работа диспергатора – 60÷100 кВт·ч/т;
- на флотацию – 27÷33 кВт·ч/т;
- сеточные и шнековые прессы – 10 кВт·ч/т.

Существует много различных мер для энергосбережения на отдельных этапах производственного процесса. Обычно эти меры связаны с капитальными затратами на замену или модернизацию технологического оборудования. Малые предприятия имеют меньше возможностей для инвестирования средств в энергосберегающие технологии. Необходимо

отметить, что меры, способствующие энергосбережению, как правило, приводят и к другим положительным эффектам: повышению производительности предприятия и качества продукции, к уменьшению общих расходов. Для снижения расхода энергии рекомендуются следующие мероприятия:

- внедрение системы постоянного контроля расхода энергии и КПД ее использования. На основе достоверных данных о работе оборудования и потребления им энергии могут быть приняты соответствующие меры. Управление энергосистемами должно включать установку приборов, контроль и корректировку поставленных целей;

- модернизация или замена оборудования. При этом следует устанавливать менее энергоемкое оборудование с автоматическим контролем вместо ручного управления. Такие меры позволят облегчить управление, выдерживать заданные параметры процессов и экономить энергию;

- применение анаэробной очистки сточных вод, для которой расход энергии в 10 раз меньше, чем для аэробной, а образующийся при этом метан можно использовать как топливо. Однако анаэробная очистка не всегда возможна, так как качество сточных вод должно удовлетворять определенным требованиям.

## **10.2. ЭМИССИИ**

В данном разделе рассматриваются следующие виды эмиссий: сточные воды, твердые отходы, выбросы в атмосферу от энергоустановок и сжигания отходов, шум от установок, запах от паров и очистных сооружений. В состав эмиссий не включена готовая продукция предприятий, использующих макулатуру.

### **10.2.1. Сточные воды (их характеристики)**

Сточные воды на предприятиях, производящих бумагу и картон на основе макулатуры (см. также разд. 11.3) образуются в максимальных количествах на этапах очистки, сортирования и облагораживания (промывки) ММ, т.е. там, где производственная вода существенно загрязняется. Наиболее загрязненная вода образуется в процессах удаления печатной краски. Поток сточной воды на предприятиях, использующих макулатуру, включает:

- воду с этапа отделения отходов на сортировках и очистителях;
- фильтрат от установок промывки, сгущения и обработки осадка;
- избыточную оборотную воду в зависимости от степени рециркуляции.

Сточная вода от предприятий, перерабатывающих макулатуру, в основном, после первичной и биологической очистки на месте образования, сбрасывается непосредственно в открытые водоемы или, после первичной

очистки от взвешенных веществ, подается на муниципальные очистные сооружения. Оптимальные величины объемов сбросов сточных вод составляют:

- при использовании системы удаления печатной краски  $10 \div 50 \text{ м}^3/\text{т}$ ;
- без использования системы удаления печатной краски  $5 \div 16 \text{ м}^3/\text{т}$ .

К основным, существенным показателям загрязнений сточных вод относят: химическое и биологическое потребление кислорода, биогенные и взвешенные вещества, тяжелые металлы, АОХ и другие органические микрозагрязнения, соли.

### ***Химическое потребление кислорода (ХПК)***

Загрязнения, измеряемые как ХПК, выделяются из сырья (ВХВ) и ХВВ. Удаление краски и отбелка дают значительную часть показателя ХПК сточных вод от переработки макулатуры. Процессы, связанные с удалением печатной краски из макулатуры, приводят к более высоким значениям ХПК стоков, чем в тех случаях, когда печатная краска из ММ не удаляется. В этих случаях большая часть загрязнений, приводящих к росту ХПК, задерживается и уходит с продукцией. После первичной очистки (до поступления на очистные сооружения) значения ХПК стоков могут составлять от 1100 до 3800 мг/л, в зависимости от принятой технологии.

### ***Биологическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>)***

Данные о БПК<sub>5</sub> в сбросах после биологической очистки свидетельствуют о несущественной разнице в значениях этого показателя при переработке макулатуры с удалением печатной краски и без него. На хорошо работающих очистных сооружениях величина БПК<sub>5</sub> после очистки стоков составляет менее 20 мг/л, независимо от того, какой она была до очистных сооружений.

### ***Биогенные вещества***

Стоки после очистных сооружений в основном содержат низкие концентрации таких биогенных веществ, как азот и фосфор. Эти соединения добавляют в воду для более эффективной работы сооружений биологической очистки, в примерном массовом соотношении БПК<sub>5</sub>: N: P=100: 5: 1.

### ***Взвешенные вещества***

Прежде всего, следует отметить, что наибольшие величины взвешенных веществ в сточных водах наблюдаются на тех предприятиях, перерабатывающих макулатуру, где плохо работают очистные сооружения. Определенная часть взвешенных веществ образуется за счет роста количества избыточного активного ила на биологических очистных

сооружениях. Это связано с видом органических загрязняющих веществ в сточной воде предприятия.

Содержание взвешенных веществ в сточной воде, сбрасываемой во внешние водные объекты после внутризаводской первичной и биологической очистки (на производствах без удаления печатной краски) составляет обычно 17÷40 мг/л.

### ***Тяжелые металлы***

Концентрации соединений тяжелых металлов в сточных водах бумажных предприятий, перерабатывающих макулатуру, в обычных условиях невелики. Источниками их могут являться каолин и карбонат кальция, применяемые в качестве наполнителей и компонентов меловальной пасты. Основным же источником появления тяжелых металлов считаются типографские краски, содержащиеся в макулатуре. Тяжелые металлы находятся в форме стабильных органических комплексов. Обычно содержание соединений цинка в продукции из ММ выше, чем в продукции из первичных волокон. Это происходит за счет цинковых смол, используемых как связующее в печатной краске и меловальной пасте.

Включение в технологическую схему процессов флотации и промывки ММ способствует снижению содержания соединений тяжелых металлов в получаемой продукции, а сточные воды и шлам могут содержать значительные количества их.

### ***Адсорбируемый органический хлор (АОХ) и другие органические микро-загрязнения***

Источниками АОХ соединений, такими как диоксины, фураны, полихлорированные бифенолы и другие, являются некоторые химические добавки (особенно средства для повышения прочности полотна во влажном состоянии), макулатура из целлюлозы, беленой хлором, и, в некоторой степени, краски для печати. Поскольку отбелка хлором теперь практически не применяется, то поступление соединений, содержащих АОХ, из макулатуры в последние годы заметно сократилось. Периодические заборы проб сточной воды на предприятиях, использующих макулатуру, показывают уровень концентрации АОХ не более 200 мг/л. Около 70 % АОХ удаляется из ММ при флотации и промывке.

### ***Соли***

Соли, преимущественно сульфаты и хлориды, поступают в сточную воду в основном из макулатуры и из некоторых ХВВ, типа квасцов. В зависимости от вида макулатуры, используемой в качестве сырья, и степени замкнутости системы водопользования, концентрация сульфатов может



достигать 1000 мг/л даже и в том случае, когда в основном процессе сульфат алюминия не используется.

Сокращения расхода свежей воды и, тем самым, объема сточных вод можно достичь за счет применения комбинации следующих различных технологий (см. также разд. 11.4):

- разделение потоков менее загрязненной и более загрязненной технологической воды с рециркуляцией. Мерами по снижению расхода по снижению свежей воды являются отделение и повторное использование чистой охлаждающей воды, а также рециркуляция уплотнительной и охлаждающей воды из насосов для создания вакуума;

- оптимизация схем использования производственной воды. Очистка ее путем осаждения, флотации или фильтрации и вторичное использование технологической воды для различных целей;

- сокращение расхода свежей воды за счет разделения водных циклов и противоточных систем водооборота;

- получение очищенной воды из стоков установок для удаления печатной краски (флотации);

- аэробная биологическая очистка. Это предпочтительный вариант очистки при производстве продукции, требующей удаления печатной краски из ММ. Выбор режимов технологии аэробной очистки зависит от требований к вырабатываемым видам бумаг. Комбинированная анаэробная и аэробная биологическая очистка стоков является предпочтительной при производстве бумаг из запечатанной макулатуры. Она позволяет существенно снизить объем избыточного ила;

- частичное использование в производстве воды, прошедшей биологическую очистку. Степень рециркуляции ее зависит от вида и сорта производимой продукции;

- локальная очистка (избыточной) оборотной воды. Обычно только часть потока оборотной воды, содержащая определенные загрязнения, нуждается в локальной очистке.

Эти технологии в той или иной мере применяются на многих бумажных предприятиях. Они необходимы для стабильной работы очистных сооружений.

### **10.2.2. Твердые отходы (их особенности)**

Большую часть отходов от переработки макулатуры в конечном итоге составляют твердые отходы. К твердым отходам относятся посторонние включения, различные типы осадков и, в случае внутризаводского сжигания отходов, зола. Основными технологическими операциями, на которых происходит образование твердых отходов на предприятиях, использующих макулатуру, являются подготовка ММ и очистка технологической и сточной воды.

В зависимости от используемого сырья, технологических схем процессов, а также от способа очистки сточной воды, образуются разные виды отходов (твердые отходы, шлам). Отходы (сгущенные и обезвоженные) необходимо по возможности перерабатывать, чтобы получить в них высокое содержание сухих веществ и утилизировать.

В первом приближении отходы можно подразделить на отходы от подготовки ММ (тяжелые, легкие, мелкие, крупные) и на шлам. В свою очередь, шламы, в зависимости от происхождения и характера, могут подразделяться на осадок от удаления краски, осадок от установок микрофлотации, осадок от процесса осветления воды и осадок очистных сооружений (первичный осадок, избыточный активный ил). Достижимые значения содержания сухого вещества после сгущения и обезвоживания твердых отходов составляют 60÷80 % для крупных отходов, 50÷60 % для мелких отходов и около 60 % для шламов.

Отходы с различных стадий процесса должны собираться отдельно друг от друга и использоваться в разных целях. Например, отходы, содержащие много пластмассы, можно сжигать и получать при этом значительное количество тепловой энергии, поскольку пластмасса имеет высокую теплотворную способность. Отходы с высоким содержанием волокна, не пригодного для производства продукции, могут использоваться для компостирования. Отходы с высокой удельной массой, а также отходы из гидроразбивателя макулатуры обычно вывозятся на свалки из-за высокого содержания в них неорганического материала.

Количество отходов на предприятиях, использующих макулатуру, зависит от ее качества и от усилий и средств, затраченных на подготовку вторичного волокна для производства определенной продукции. Основные виды продукции и качество макулатуры, требуемой для их производства, а также средние количества отходов были приведены в табл. 1.2, ч. I.

### ***Отходы подготовки ММ***

Выделенные при подготовке ММ посторонние включения состоят в основном из скрепок, пружинных переплетов, песка, стекла, пластика, пучков волокон. Они удаляются как можно более полно и на как можно более ранних стадиях подготовки ММ. При производстве бумаги для гофрирования и тестлайнера потери материала составляют примерно 4÷8 % от массы закупаемой макулатуры и не могут быть возвращены в волокнистый поток. Поэтому их вывозят на свалки или сжигают. Если обезвоженный материал сжигается, то образующаяся зола может быть использована в строительной промышленности или захоронена. Внутриводское сжигание отходов возможно только на крупных предприятиях, где образуется большое количество твердых отходов. Типичный состав отходов подготовки ММ представлен в табл. 10.7 и 10.8.

Таблица 10.7

Состав отходов переработки макулатуры для производства средних слоев гофрокартона (флютинга)

Параметр	Доля
Содержание влаги	45 %
Пластик	25,9 %
Волокно	27 %
Стекло, камни, песок	0,11 %
Металл	0,88 %
Органические вещества	1,11 %
Хлоросодержащий пластик	5,45 %
Хлоросодержащее топливо	1,43 %

Таблица 10.8

Теплотворная способность

Масса сухого вещества	кДж/кг
100 % сух. веществ	23800
55 % сух. веществ	11991

***Шлам от очистки производственной воды  
(волокнистые отходы)***

Этот тип шлама образуется на этапе регенерации волокна, содержащегося в оборотной воде, и при механической очистке сточных вод. Волокнистые отходы состоят преимущественно из коротких волокон и наполнителей (вместе около 50 %) в зависимости от того, какая макулатура используется. При производстве картона и бумаги для гофрирования эти отходы часто снова используются в производстве. Регенерация волокна позволяет снизить количество отходов. При выработке продукции высокого качества волокнистые отходы ухудшают показатели продукции и потому не годятся для вторичного использования. Их сжигают или вывозят на свалку.

***Шлам от удаления типографской краски***

Этот шлам содержит в основном короткие волокна, частицы наполнителя, краски, экстрагируемые вещества и химикаты для удаления краски. Частицы краски являются потенциальным источником тяжелых металлов. Типичный состав загрязняющих веществ в таком шламе подобен осадку от биологических очистных сооружений при несколько большем содержании отдельных веществ, таких как медь и цинк.

### *Шлам от очистных сооружений*

Шлам, образующийся в виде избыточного ила на сооружениях биологической очистки, может быть утилизирован для производства некоторых видов продукции (бумага для гофрирования и картон). В других случаях он сгущается, обезвоживается и затем сжигается или компостируется и вывозится на свалку. Чтобы снизить объем твердых отходов, вывозимых на свалки, рекомендуется применять следующие меры:

- Минимизировать образование твердых отходов и максимально повысить их регенерацию за счет вторичного использования и переработки отдельных видов материалов.

- Организовать отдельный сбор разных отходов в местах их образования и временное хранение их, чтобы обеспечить максимальную утилизацию или переработку, а не захоронение на полигонах.

- Оптимизировать регенерацию волокна за счет модернизации установок для подготовки массы.

- Оптимизировать число ступеней очистки и сортирования на этапе подготовки массы.

- Применять напорную флотацию для регенерации волокна и наполнителей при очистке технологической оборотной воды. При проектировании установок для подготовки массы необходимо найти баланс между степенью очистки массы, потерями волокна, качеством продукции, энергопотреблением и затратами.

- Использовать предварительную анаэробную очистку сточных вод. По сравнению с только аэробной очисткой, комбинация анаэробная и аэробная – позволяет получить значительно меньше избыточного ила.

- Проводить внутрицеховую обработку и обезвоживание отходов и осадка с целью увеличения доли содержания в них сухих веществ и, тем самым, улучшения их горючих свойств. Содержание сухого вещества зависит от исходных характеристик осадка и технологического оборудования, используемого для его обезвоживания. Более высокое содержание сухих веществ означает снижение расходов на транспортирование и более высокую теплотворную способность при сжигании.

- Сократить объемы захораниваемых отходов. Оценить возможности переработки отходов и, если возможно, их утилизации путем сжигания с

рекуперацией энергии. Получаемая зола может использоваться в производстве строительных материалов.

Существуют различные варианты сжигания отходов и осадка от переработки макулатуры. В некоторых случаях (например, на предприятиях, выпускающих санитарно-гигиеническую бумагу), для того чтобы уменьшить объем вывозимых на свалку отходов путем их сжигания, требуется вспомогательное топливо или добавка отходов с более высокой теплотворной способностью (например, кора и отходы древесины),

Во многих странах ЕС правительства не поощряют захоронение отходов с высоким содержанием органических веществ, и скоро такая практика будет запрещена. Директивы ЕС относительно захоронения отходов на свалках будут способствовать этому и установят лимиты на количество биоразлагаемых отходов, вывозимых на свалки.

### **10.2.3. Выбросы в атмосферу и шум**

Основная часть выбросов в атмосферу от бумажных и картонных предприятий – это выбросы, связанные с производством энергии, а не от технологических процессов.

#### ***Выбросы в атмосферу от сжигания шлама или отходов***

В процессе переработки макулатуры и производства бумаги и картона образуется ряд отходов с высоким содержанием органических веществ. Сейчас все большее число предприятий сжигает эти отходы и производят пар, который используется в технологических процессах. Для сжигания характерны выбросы в атмосферу. Анализ выбросов от сжигания отходов показывает заметное содержание пыли, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, HCl, HF, C<sub>общ</sub> и другие. Наблюдаются следы диоксинов и фуранов в границах предельно допустимых концентраций.

#### ***Запах от испарений и очистных сооружений***

Локальные проблемы, связанные с атмосферным воздухом, могут иметь место из-за запаха и грубой пыли. Запахи, вызванные низшими органическими кислотами и сероводородом, могут чувствоваться возле предприятия, особенно в случае минимального сброса. Однако и на предприятиях с менее замкнутым водооборотом могут быть неприятные запахи. Они могут иметь место из-за того, что вода слишком долго находится в системе или из-за отложений осадка, приводящих к образованию сероводорода.

Очистные сооружения на фабриках, использующих макулатуру, также могут испускать неприятный запах. Если очистные сооружения

спроектированы правильно и работают стабильно, неприятные запахи практически отсутствуют.

### ***Пыль в процессе обработки сырья***

Макулатура иногда доставляется предприятиям в свободно насыпанном виде в больших контейнерах или в самосвалах. Хранение ее часто производят на специальных открытых площадках, которые находятся на территории предприятия. В этих случаях при погрузке-разгрузке, хранении и подаче макулатуры в цех подготовки массы может образовываться пыль. Меры, направленные на снижение пыления, являются в большей степени заботой органов охраны труда, чем мерами по защите окружающей среды.

### ***Шум***

Основным источником шума на предприятиях отрасли является бумагоделательные машины. Шум обычно ощущается внутри предприятия или поблизости от него. Кроме того, спектр шума, вызванный низкочастотными вибрациями оборудования, может быть проблемой на местном уровне.

## **10.3. ПРИМЕР РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ПОДГОТОВКИ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДВУХСЛОЙНОГО ТЕСТЛАЙНЕРА**

Пути развития систем подготовки ММ зависят от выбора определяющих приоритетов производства. Ими могут быть, например:

- упрощение системы подготовки массы для экономии энергии;
- улучшение качества продукции;
- увеличение производительности основного оборудования;
- повышение степени регенерации волокон из отходов с целью уменьшения их потерь;
- сокращение производственных площадей под оборудование и т.п.

В общем случае, развитие или оптимизация схем подготовки – это поиск разумного баланса между количеством перерабатываемой макулатуры, потерями волокна, энергопотреблением и другими расходами с учетом обеспечения требуемого качества продукции.

В качестве примера такого развития рассмотрим возможные варианты организации систем подготовки ММ для производства двухслойного тестлайнера.

### Пример 1

Схема, включающая минимальное сортирование и очистку при подготовке массы без фракционирования, без диспергирования, без дополнительной очистки и сортирования (рис. 10.1). «Сокращенная» система подготовки массы может быть усилена степенями сортирования и очистки в цикле БДМ. После подготовки поток массы в цикле БДМ разделяется без фракционирования на два потока для отдельной очистки и сортирования каждого из них. Отходы потока верхнего слоя направляются в поток волокна нижнего слоя для дальнейшей обработки. В потоке нижнего слоя происходит роспуск пучков волокон путем дефлокуляции (размола), что облегчает процесс сортирования и уменьшает количество отходов. Существующих сортировок в системе цикла БДМ может оказаться недостаточно из-за их ограниченной производительности. Поэтому могут понадобиться дополнительные средства для установки современных напорных сортировок. УРЭ для работы такой схемы составляет  $45 \div 75$  кВт·ч/т.

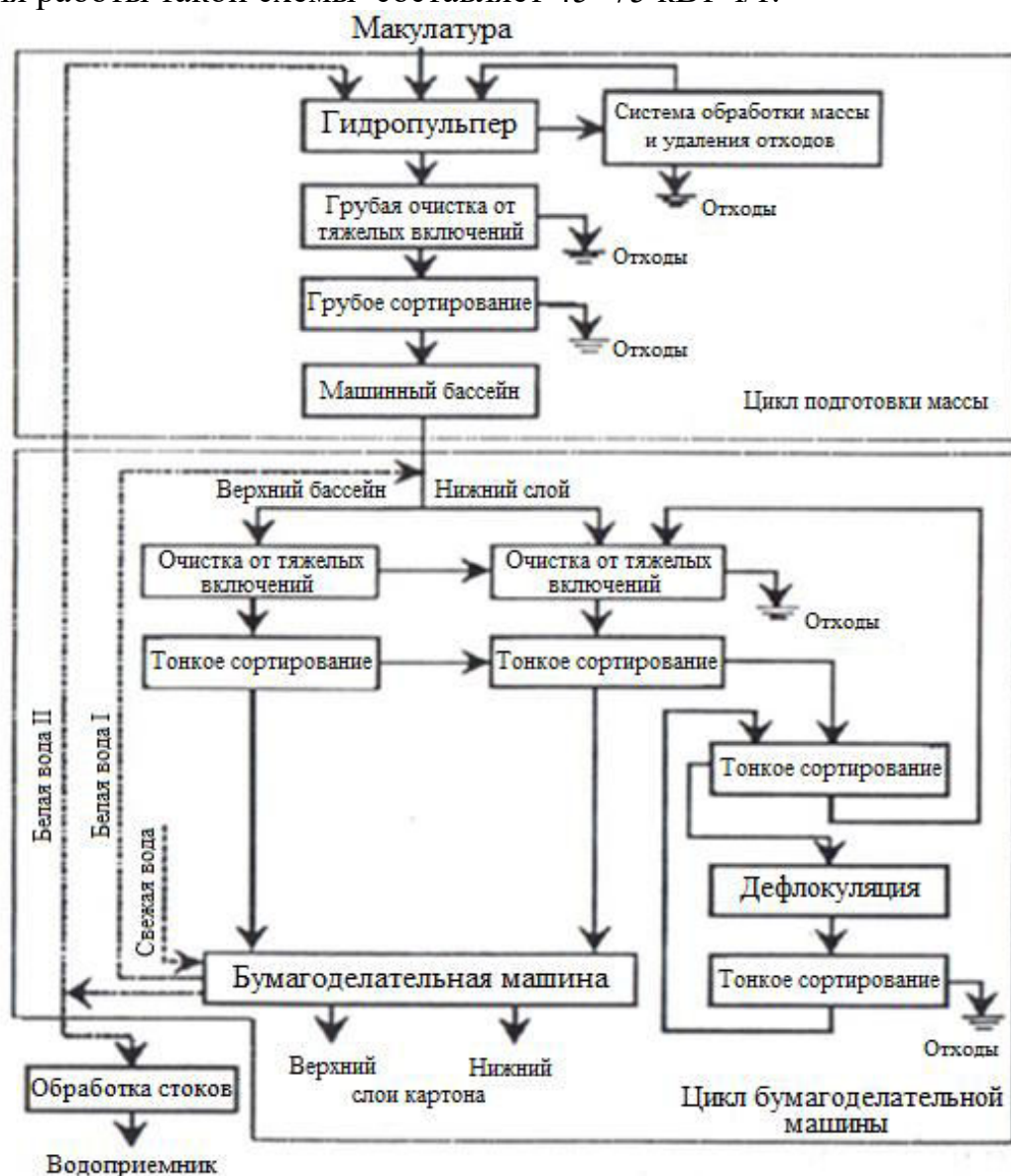


Рис. 10.1. Сокращенная система подготовки ММ

## Пример 2

Схема, представленная на рис. 10.2 предусматривает фракционирование общего потока массы на длинноволокнистую и коротковолокнистую фракции. Очистка от тяжелых и легких включений после фракционирования не проводится. Диспергированию подвергается только ДВФ. Очистка и сортировка массы полностью переносится в цикл БДМ. Сортировка и очистка в цикле БДМ обычно имеет низкую потребность в техобслуживании, так как, в основном, является страховкой против случайных загрязнений. Однако следует помнить, что при использовании в машинных сортировках сит с очень мелкими отверстиями (с шириной щелей 0,15 мм) для их эффективной работы требуется постоянное техобслуживание и очистка сит. Это приводит к остановкам БДМ и к снижению ее производительности.

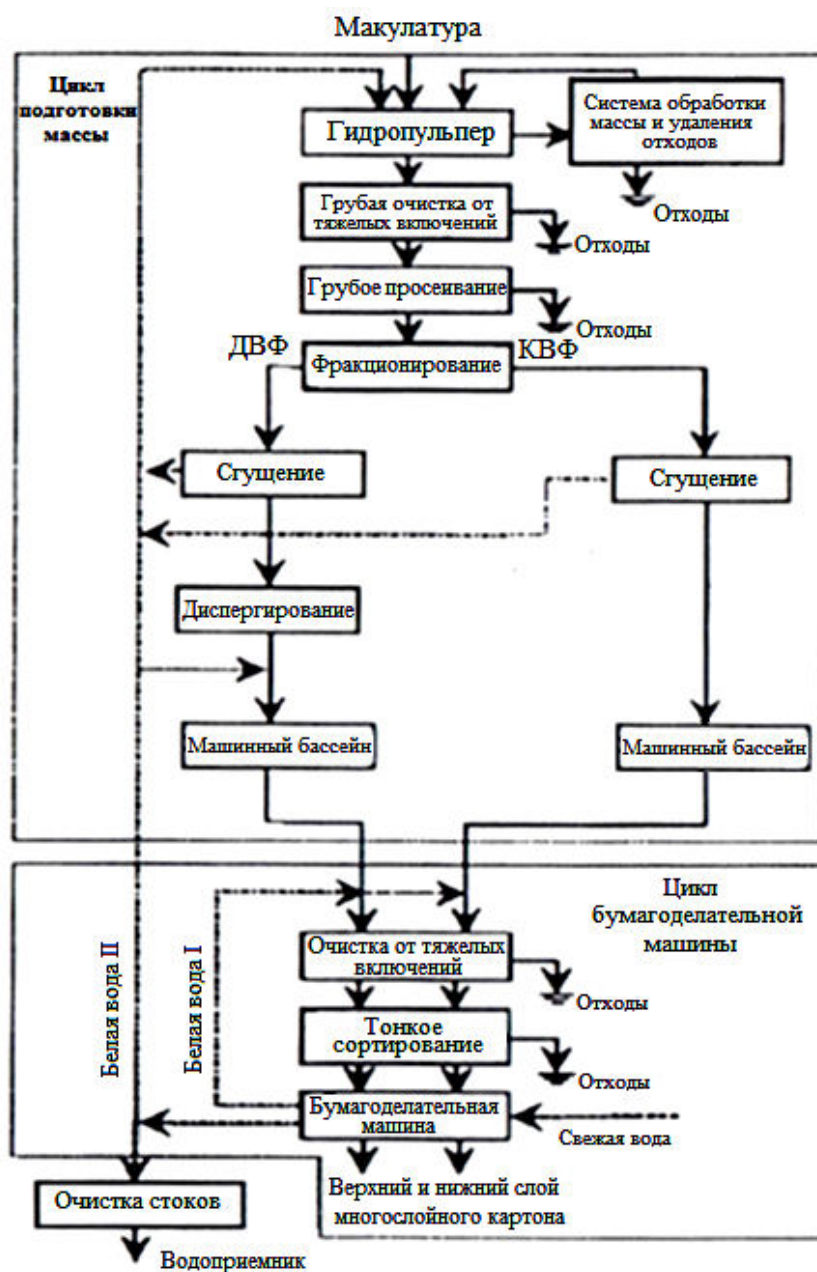




Рис. 10.2. Система подготовки ММ с операцией фракционирования

Данная схема применяется в целях экономии энергии за счет отсутствия ступени диспергирования (ТДО) для КВФ и за счет отсутствия очистки ДВФ массы. Эта схема – компромисс между минимальным расходом энергии на подготовку ММ за счет меньшего количества используемого оборудования и требованиями к качеству конечной продукции. УРЭ для работы такой схемы составляет  $65 \div 175$  кВт·ч/т.

### Пример 3

В дополнение к примеру 2, в этой схеме подготовки массы применяется сортирование и очистка от легких и тяжелых включений после фракционирования только ДВФ (рис. 10.3). УРЭ для работы такой схемы составляет  $75 \div 175$  кВт·ч/т.

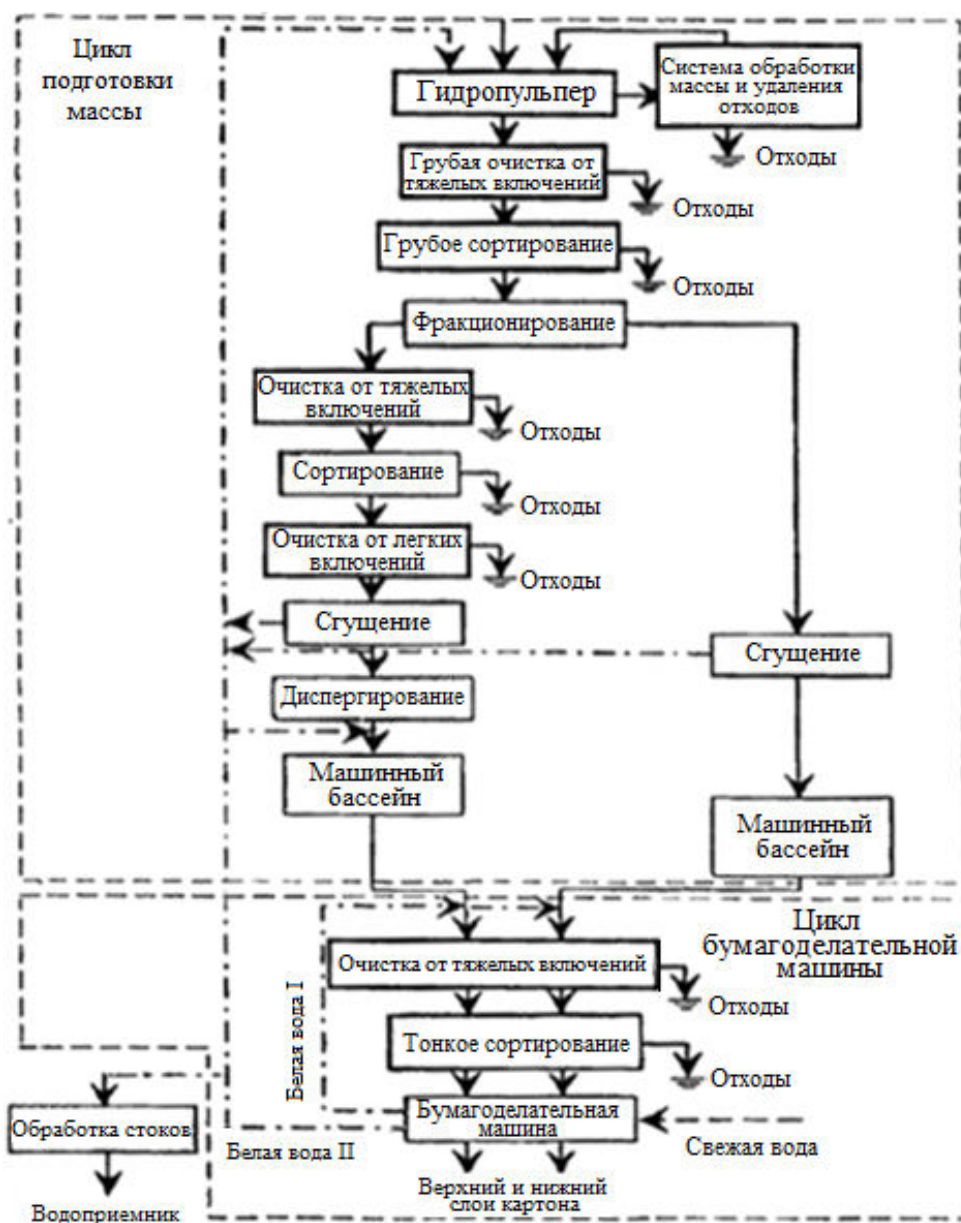


Рис. 10.3. Система подготовки ММ с очисткой и сортированием ДВФ  
**Пример 4**

В дополнение к примеру 3, к фракционированию, диспергированию, очистке и сортированию ДВФ в данной схеме добавляется рафинирование (размол) ДВФ, промывка КВФ и напорные флотаторы для обработки части фильтрата от промывки КВФ (рис. 10.4). Промывка в комбинации с частичным удалением мелкой фракции волокна и наполнителей в системе флотации растворенным воздухом, как и рафинирование (размол) ДВФ, позволяет регулировать содержание мелкого волокна и наполнителя в бумаге или картоне и служит для повышения прочностных характеристик готовой продукции. УРЭ для работы такой схемы составляет 110÷270 кВт·ч/т.

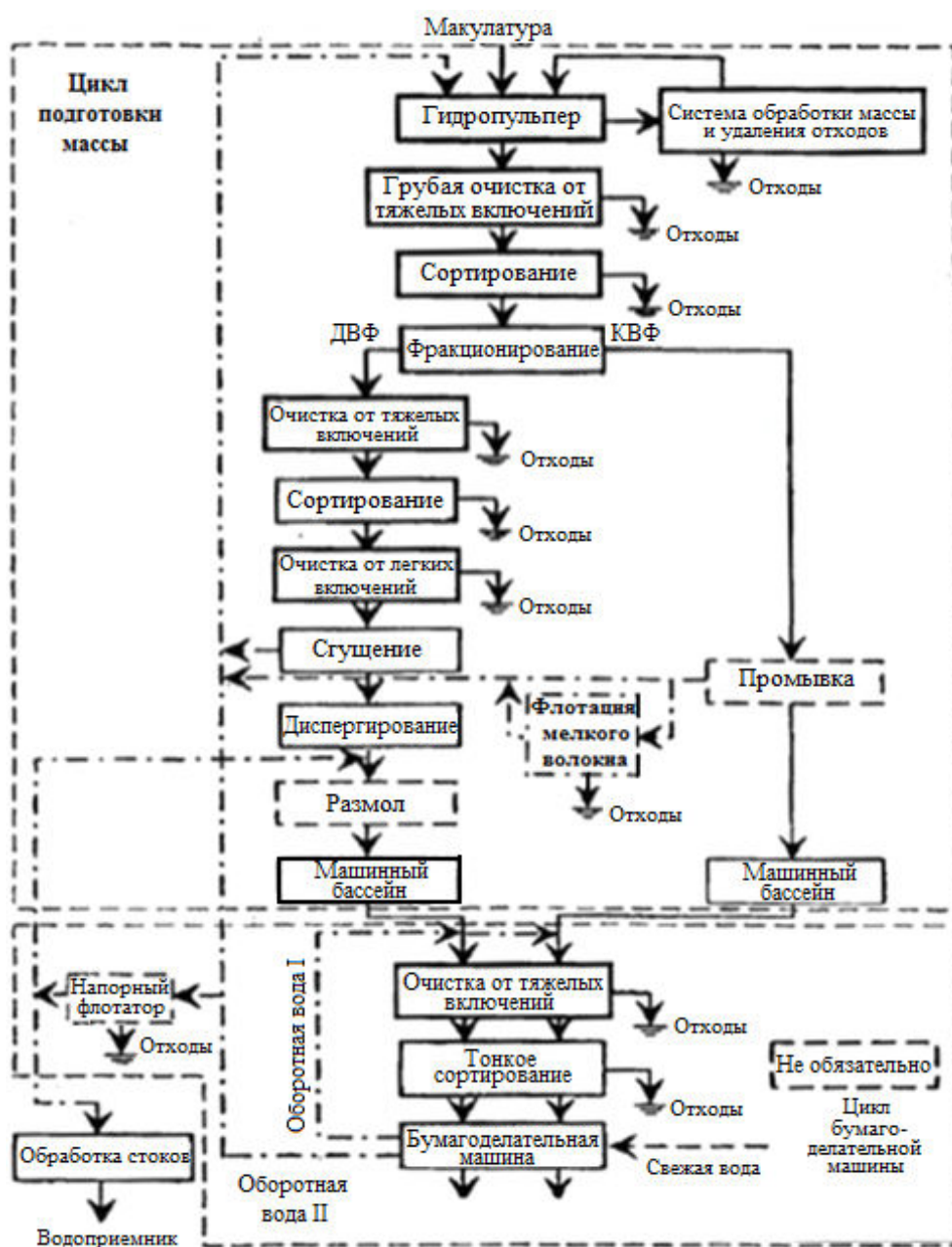


Рис. 10.4. Система подготовки ММ с рафинированием ДВФ и промывкой КВФ

Основным положительным эффектом в данной схеме подготовки является возможность повышения производительности БДМ в результате использования хорошо очищенной массы с улучшенными прочностными свойствами.

Следует отметить, что увеличение производительности БДМ за счет использования хорошо очищенной массы позволяет снизить УРЭ и расход пара на производство продукции, поскольку во время вынужденных остановок по причине работы на низкокачественной массе БДМ все еще потребляет электроэнергию и пар.

# 11. ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ, ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ МАКУЛАТУРУ. ПЕРЕРАБОТКА ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ

## 11.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Все процессы подготовки ММ и производства из нее бумаги и картона происходят в водной среде. Поэтому для объективной оценки работы предприятия требуется составление баланса воды, который включает потери воды на сброс и необходимое добавление ее, компенсирующее производственные потери. Для этого составляют подробную схему производства, цехов, отдельных операций и по ним проводятся расчеты водных потоков технологического цикла и систем отвода отработанных стоков.

При этих расчетах следует учитывать, что поступление воды в систему осуществляется не только из источников водоснабжения и после повторного ее использования, но также и с сырьем и со вспомогательными веществами (реагентами). Общий дефицит воды в системах водопользования складывается из расходов на безвозвратное потребление (унос с продуктом и отходами), испарение в сушильных частях БДМ и в охладительных системах, при мытье полов и оборудования, на полив территории и т.д. Для уменьшения количества сбросов и снижения расхода свежей воды значительная часть ее используется повторно за счет рециркуляции в системе производства.

Эффективность использования воды в производстве оценивается тремя показателями:

➤ Доля оборотной воды в общем объеме  $P_{об}$  показывает технологическое совершенство системы водопользования и долю оборотной воды в этой системе:

$$P_{об} = \frac{Q_{об}}{Q_{об} + Q_{ист} + Q_c} \cdot 100, \%,$$

где  $Q_{об}$ ,  $Q_{ист}$ ,  $Q_c$  – количество воды, используемой в обороте, забираемой из внешних источников и поступающей в систему с сырьем.

➤ Коэффициент использования воды,  $K_{ис}$ , оценивает рациональность использования воды, забираемой из внешних источников:

$$K_{ис} = \frac{Q_{ист} + Q_c - Q_{сбр}}{Q_{ист} + Q_c} < 1,$$

где  $Q_{сбр}$  – количество воды, сбрасываемой вонне предприятия.

➤ Доля потерь воды:

$$P_{\text{пот}} = \frac{Q_{\text{ист}} + Q_{\text{с}} - Q_{\text{сбр}}}{Q_{\text{ист}} + Q_{\text{с}} + Q_{\text{посл}} + Q_{\text{об}}} 100, \%$$

где  $Q_{\text{посл}}$  – количество воды, используемой в производстве последовательно.

Типовая блок-схема водных потоков в производстве бумаги и картона представлена на рис. 11.1.

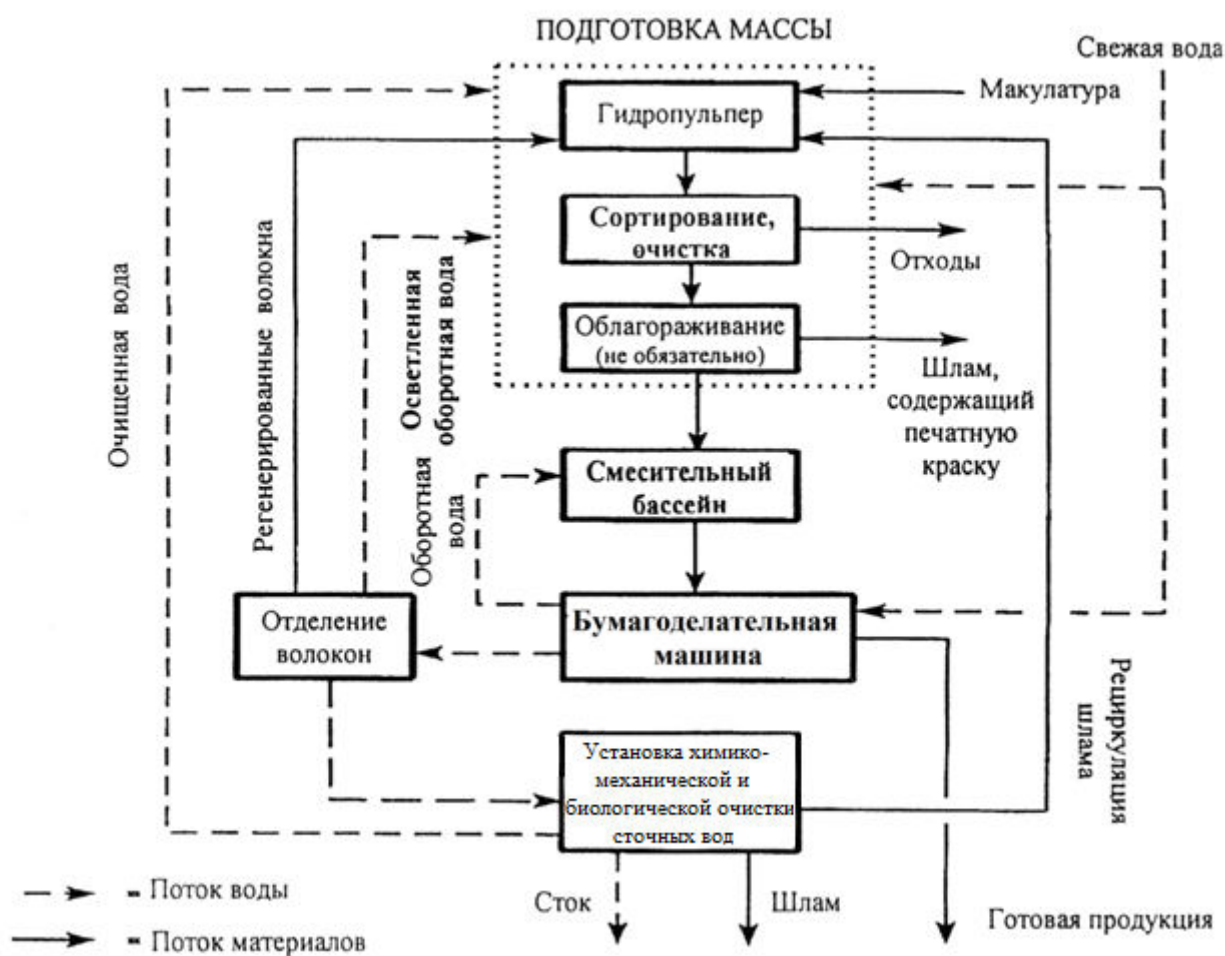


Рис.11.1. Блок-схема водных потоков в производстве бумаги и картона

Согласно схеме, на осветление (отделение волокон) подают избыточную подсеточную воду от БДМ после отбора части ее в короткую циркуляцию. Из осветлителя поток уловленного волокна возвращается в отдел подготовки массы. Часть осветленной воды поступает в тот же отдел, а избыток – на установку для очистки стоков. Основной объем воды после очистки стоков также направляется в отдел подготовки массы, а небольшая часть очищенной воды сбрасывается в сток для выведения из системы и поддержания ее водного баланса. В отдельных случаях шлам от очистных

сооружений в небольших количествах используется в производстве, но чаще всего, его обезвоживают и удаляют из системы (см. п.11.5).

Основные цели совершенствования систем водопользования состоят в минимизации расхода свежей воды и максимальной степени очистки сточных вод при экономически оправданных затратах. Минимальное количество потребляемой свежей воды и максимальная степень очистки стоков должны отвечать установленным требованиям по воздействию производственной деятельности на окружающую среду. К примеру, для производства лайнера и бумаги для гофрирования некоторые предприятия имеют практически полностью замкнутые системы водопользования. Системы с замкнутым водооборотом возможны в условиях предприятия, производящего качественную продукцию, если около  $3\div 4$  м<sup>3</sup> технологической воды на тонну готовой массы постоянно очищаются в системах биологической очистки.

Количество производственной воды, направляемой для выведения из системы, обычно примерно равно количеству свежей воды, получаемой производством из внешних источников (с учетом безвозвратных потерь). Снижение количества стоков, а значит и потребления свежей воды, возможно только за счет максимального использования циркулирующей в системе производства (оборотной) воды. Степень рециркуляции воды ограничивается установленными требованиями к качеству готовой продукции и качеству стоков.

Использование воды в технологическом потоке сопровождается попаданием в нее отдельных компонентов сырья (макулатурного волокна, наполнителей, химикатов), а также химических вспомогательных веществ (ХВВ), применяемых в технологических процессах. В силу нестабильности свойств макулатурного сырья количество и характер этих веществ не всегда предсказуемы. Наличие этих веществ в циркулирующей воде вызывает серьезные проблемы на отдельных этапах подготовки ММ.

Для решения этих проблем используют внутрицеховые системы очистки волоконсодержащих вод, назначение которых состоит в улавливании волокна и обеспечении требуемого качества повторно используемой воды. Особенность системы внутрицеховой очистки сточных вод производства, перерабатывающего макулатуру, состоит в том, что из очищаемой воды желательнее извлечь в основном только волокнистую составляющую, а не всю массу взвешенных веществ.

Все многообразие систем водоотведения, очистки и возврата повторно используемой воды может быть сведено к двум основным вариантам.

По первому варианту отведение всех сточных вод на очистку (механическую или биологическую) осуществляется одним общим потоком. Недостатком этого варианта является то, что в один поток смешиваются сточные воды с различными по характеру компонентами загрязнений, что не позволяет в полной мере использовать возможности различных методов очистки.

По второму варианту отведение сточных вод на очистные сооружения организовано двумя потоками. В один из них собираются стоки от стадии подготовки ММ, а во второй – избыточные оборотные воды от БДМ или КДМ. При этом первый поток, содержащий преимущественно органические вещества с низкомолекулярной массой, легко поддающиеся биоокислению, направляется на сооружения биологической очистки. Вторым потоком, содержащим преимущественно высокомолекулярные хорошо коагулируемые вещества, подвергают механохимической и/или, при необходимости, биологической очистке.

Раздельное отведение сточных вод позволяет снизить нагрузку на систему биологической очистки, уменьшить объем стоков, подвергаемых механохимической очистке и повысить эффективность каждого метода очистки.

## **11.2. ПОДГОТОВКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕЖЕЙ ВОДЫ**

Как уже отмечалось, удельный расход свежей воды определяется необходимым минимумом, вводимым в систему для поддержания показателей воды на уровне, при котором не возникает серьезных затруднений для проведения технологических процессов. Этот уровень зависит от вида и количества используемой макулатуры, применяемых ХВВ, степени удержания этих веществ готовой продукцией, параметров технологического процесса и т.п.

Свежая вода должна быть подготовлена таким образом, чтобы отвечать требованиям технологического процесса. Обычно из нее удаляются железо, марганец, а иногда – водоросли и мутность. Для этого используются флокуляция, обработка комплексонами и/или фильтрация ее через песочные фильтры. Кроме того, свежую воду следует проверять на загрязненность микроорганизмами.

Из общего объема потребляемой свежей воды обычно не более 30 % расходуется непосредственно на технологические нужды (спрыски БДМ и КДМ, приготовление химикатов и др.) и контактирует с волокнистой массой. Остальная ее часть расходуется на обслуживание оборудования (уплотнение, охлаждение, создание водяного кольца вакуум-насосов, обслуживание систем теплообмена и др.) и с массой не контактирует. Опыт работы ряда предприятий показывает, что значительная часть свежей воды, при определенных условиях, может быть заменена водой, повторно используемой после механохимической или биологической очистки.

Важным резервом сокращения расхода свежей воды является сбор и рациональное использование охлаждающей и уплотняющей воды, а также возвращение в технологический процесс свежей воды от всевозможных переливов и утечек. Такая вода содержит, в основном, механические загрязнения, вследствие чего ее целесообразно не смешивать с загрязненными волокном и химикатами сточными водами, а использовать



повторно отдельно от них. Свежая вода, после использования в качестве охлаждающей, может накапливаться в сборнике и затем, после фильтрации, направляться на промывку одежды машин, в спрысковые системы, а также для питания уплотнений оборудования.

Основное требование, предъявляемое к качеству воды для уплотнения насосов и перемешивающих устройств, – это отсутствие в ней абразивных частиц типа песка, железа и др. Для выполнения этого требования уплотнительная вода после обычной очистки должна пройти ступень микрофильтрации. Систему уплотнений оборудования (насосов, мешалок) следует строить таким образом, чтобы уплотнительная вода только частично попадала в массу, поскольку накопление ее в бассейнах для массы приводит к переполнению их (особенно во время остановов БДМ) и попаданию воды и массы в канализацию.

Главным условием, позволяющим экономить свежую воду на создание уплотнений вакуум-насосов, является использование водоотделителей для каждого или для группы насосов, работающих под одинаковым вакуумом. Использование водоотделителей позволяет изолировать отсасываемую из бумажного полотна и сукон мокровоздушную смесь, содержащую волокно и наполнитель, от чистой уплотнительной воды, возвращаемой в систему уплотнения. При этом расход свежей воды для вакуум-системы можно снизить на 50 % и более.

## 11.3. ОБРАБОТКА ОБОРОТНЫХ ВОД

### 11.3.1. Общие сведения

Согласно блок-схеме (см. рис.11.1), все виды оборотной воды можно разделить на:

- подсеточную (регистрающую) оборотную воду от формирующей части БДМ, используемую, в основном, без обработки для разбавления массы в машинном бассейне (короткая циркуляция);
- осветленную оборотную воду, после внутрицеховой локальной очистки от волокна, используемую для подготовки массы (длинная циркуляция);
- очищенную оборотную воду после установок для химико-механической и биологической очистки сточных вод, используемую для подготовки массы и частично сбрасываемую в сток.

Важным условием, от которого зависит возможность создания малоотходных систем водооборота, является стабильность качества оборотной воды.

Наибольшую степень загрязнения при производстве бумаги и картона из макулатуры имеет вода, контактирующая с сырьем и продукцией на протяжении всего технологического процесса. При этом концентрация загрязнений в этой воде возрастает со снижением удельного потребления



свежей воды. С повышением степени замкнутости системы концентрация загрязняющих веществ в оборотной воде может достичь таких значений, при которых резко возрастает скорость процессов коррозии и слизееобразования оборудования, а также резко ухудшается качество продукции. Для обеспечения нормальной работы предприятия целесообразно не превышать некоторый уровень замкнутости водооборота, за которым начинается интенсивное развитие указанных явлений. Этот уровень может быть повышен при использовании современных методов очистки оборотной воды.

Значительная часть оборотной воды от стадии отлива бумаги и картона (подсеточная вода) используется для разбавления массы в смесительных насосах (короткая циркуляция), после ТДО, а также для роспуска оборотного брака.

Растворенные в воде вещества имеют различное происхождение: некоторые поступают со свежей водой, другие – с полуфабрикатами. Значительное влияние на состав и свойства оборотной воды оказывают растворенные вещества, содержащиеся в макулатурном сырье. Это, в первую очередь, различные растворимые ХВВ, использованные в производстве и обработке бумаги и картона.

При анализе состава накапливаемых загрязнений, попадающих в водные потоки в результате их замыкания, помимо волокнистой составляющей и взвешенных дисперсных веществ, отмечают наличие следующих растворимых компонентов:

- накапливаемые в водных потоках растворенные минеральные компоненты, в частности, анионы, вызывающие коррозию оборудования. Повышение концентрации сульфат-ионов при сокращении расхода свежей воды наблюдается на предприятиях, где в качестве основного сырья используется макулатура;

- накапливаемые растворенные вещества органического происхождения. Они вызывают изменения свойств воды и могут оказывать отрицательное влияние на качество готовой продукции, на технологический процесс и оборудование. Степень такого влияния зависит от уровня содержания в воде комплекса органических соединений, экстрагируемых из сырья (углеводородов, органических кислот, ароматических соединений и др.). Эти вещества, наряду с минеральными солями, являются основным источником питания микроорганизмов, в том числе и слизееобразующих. Они же являются причиной появления вторичных взвесей.

В процессе анаэробного разложения органических и минеральных веществ образуется дополнительное количество органических кислот и сероводорода. Это способствует созданию агрессивной среды, обуславливающей интенсификацию коррозионных процессов.

Для удаления растворимых органических веществ, помимо механохимических методов, могут быть рекомендованы биохимические методы очистки.

Избыточная оборотная вода размольно-подготовительного отдела и отлива бумаги и картона собирается в соответствующих сборниках и направляется на аппараты внутрицехового осветления для улавливания волокна. Фильтрат от прессов, вода от промывки сеток и сукон, как и стоки из нерегулируемых источников (переливы), поступают на внутрицеховую очистку.

Обычно контуры водопользования современной технологической линии переработки макулатуры максимально замкнуты, поскольку оборотная вода циркулирует через систему локальной очистки непосредственно на производстве бумаги или картона. Обратная вода производства содержит растворимые и нерастворимые вещества органического и неорганического характера (хлорорганические соединения, азот, фосфор, соли, взвешенные вещества, окрашенные вещества и др.).

С замыканием водооборота возникают проблемы, связанные с неприятным запахом готовой продукции, обусловленным образованием летучих жирных кислот. Эти кислоты попадают в систему из внешних источников – с макулатурой и химикатами, а также в результате жизнедеятельности бактерий. С повышением степени замкнутости водооборота количество бактерий в воде увеличивается, в связи с чем проблема запахов обостряется.

Содержащиеся в ММ частицы липких веществ могут образовывать агломераты в аккумулирующих бассейнах или в замкнутых контурах водопользования. Липкие частицы небольшого размера могут поступать в фильтрат при промывке и сгущении ММ. Использование неочищенного фильтрата для разбавления ММ приводит к возврату частиц липких веществ в основной технологический поток переработки макулатуры.

### **11.3.2. Способы обработки оборотных вод**

Удаление нерастворимых веществ из оборотной воды, таких как мелкое волокно, минеральные частицы наполнителей и меловальных покрытий, осуществляется на различных очистных аппаратах.

На большинстве предприятий для улавливания волокна при переработке макулатуры используют дисковые фильтры различных систем, флотоловушки, осветлители со взвешенным слоем и отделители волокна (фракционаторы). Одним из вариантов устройства для регенерации волокна из фильтратов является фракционатор Spray Filter фирмы Krofta (рис.11.2). Диапазон допустимой концентрации взвешенных веществ в обрабатываемых потоках составляет от 20 до 5000 мг/л. В качестве фильтрующего элемента для отделения волокна от наполнителя применяют набор тонких сеток с отверстиями от 50 до 500 мкм. Фракционатор оборудован специальным промывным спрыском, который увеличивает срок службы сетки.

Схема включения установки в технологический поток представлена на указанном рисунке. Фильтрат (подсеточная вода с БДМ или с установки

облагораживания массы) по трубопроводу поступает в бак-усреднитель 3, откуда насосом через патрубок 2 под давлением около 800 кПа подается на фракционирование в аппарат Spray Filter 1.

Через специальные отверстия (сопла) фильтрат равномерно распыляется на тонкую эластичную сетку, натянутую на барабан. Барабан приводится во вращение электродвигателем. Фракция, содержащая волокно, стекает вниз по внутренней стороне сеточного цилиндра и отводится через трубу 4 в бассейн для повторного использования. Фракция, содержащая различную мелочь, проходит через сетку и отводится через трубу 5 в резервуар для повторной очистки. Импульсный спрыск промывает сетку отфильтрованной водой. В зависимости от модификации аппарата, его производительность составляет от 60 до 360 м<sup>3</sup>/ч.

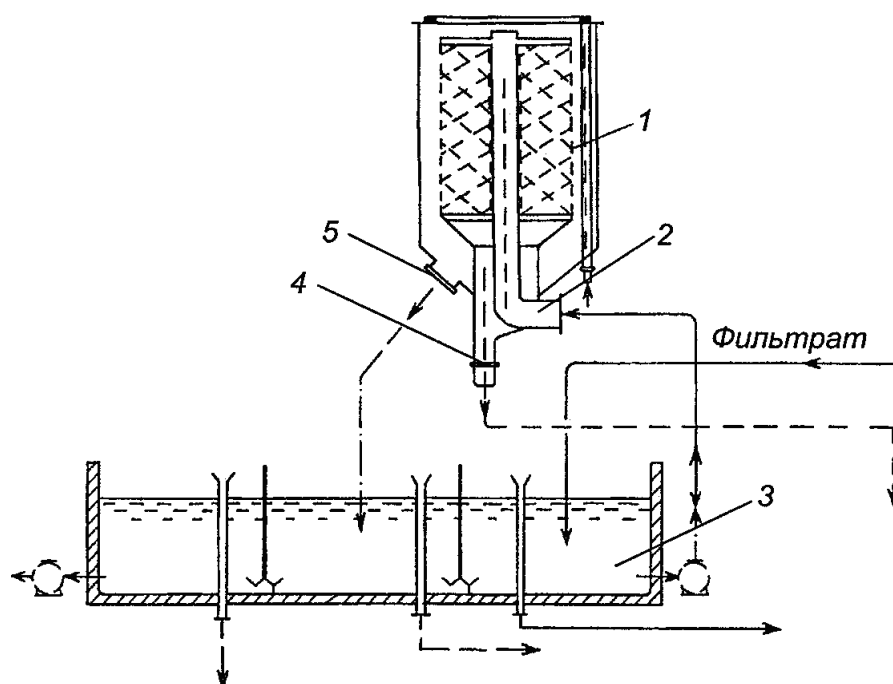


Рис. 11.2. Схема включения фракционатора Spray Filter в технологическом потоке:

- 1 – фракционатор;
- 2 – патрубок подачи фильтрата на осветление;
- 3 – бак-усреднитель; 4 – отводящий патрубок волокна;
- 5 – осветленная вода

Выведение дисперсных и коллоидных веществ из оборотной воды производится методами механохимической очистки: коагуляцией электролитами, фракционированием либо фильтрацией. Механохимические методы могут обеспечить извлечение 94÷96 % взвесей, а также снижение количества микроорганизмов на 1÷2 порядка.

Опыт эксплуатации аппаратов-осветлителей показал, что они не всегда обеспечивают требуемое качество повторно используемой воды. В этих

случаях, перед подачей такой воды в производство, она должна пройти дополнительную механохимическую очистку с целью удаления волокнистой мелочи, не пригодной для повторного использования в продукции, отработанного наполнителя, коллоидных и субколлоидных веществ. Как правило, такая очистка производится с помощью коагулянтов.

Значительные объемы загрязненной воды образуются при облагораживании массы методом флотации (флотационный шлам), тонкой очистки на вихревых очистителях (отходы очистки), а также при сгущении облагороженной массы (фильтрат сгустителя). Использованные воды после процессов облагораживания ММ загрязнены значительно больше, чем при ее чисто механической обработке, поскольку в них, наряду с мелким волокном и наполнителем, попадают красители, щелочь, пероксид водорода, ПАВ и другие химикаты, используемые при облагораживании (см. разд. 9), а также вещества, переходящие в растворенное состояние под воздействием химикатов. Для возможности повторного использования осветленной после облагораживания массы воды в технологическом процессе, кроме максимального удаления из нее взвесей, необходимо обеспечить ее прозрачность и низкую цветность во избежание понижения белизны облагороженного полуфабриката.

Исходя из характера загрязнений в водах после облагораживания макулатурной массы (высокая концентрация взвешенных веществ с одной стороны, и наличие ПАВ – с другой), лучшим для их осветления мог бы быть аппарат, совмещающий принципы очистки седиментацией и флотацией («седифлот»). В качестве альтернативы может быть рекомендована технология осветления воды, представленная на рис. 11.3.

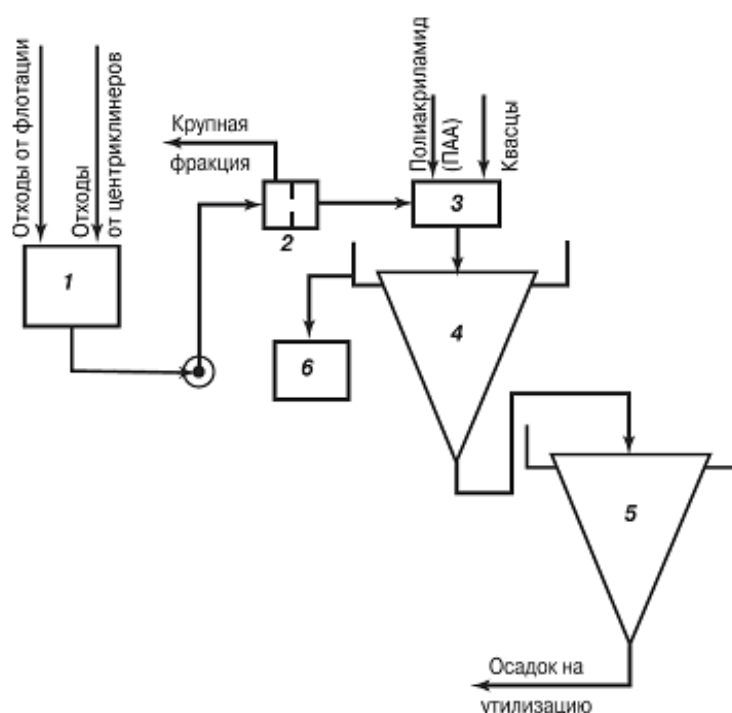


Рис. 11.3. Схема установки для очистки сточных вод линии облагораживания макулатуры:

1, 6 – бассейны; 2 – фракционер; 3 – смеситель;  
4 – деаэратор; 5 – конусная ловушка

На первой ступени очистки установлен фракционер струйного типа. Применение его на потоке отходов флотации позволяет уловить до 10 % волокна и вернуть его в технологический поток. Поток воды, прошедший фракционер, через деаэратор направляется в конусную ловушку для реагентной очистки.

Большие объемы фильтрата, получаемые при облагораживании ММ методом промывки, перед подачей его в оборот необходимо очищать (осветлять). Системы осветления воды, используемые в бумажной промышленности, основаны, как известно, на осаждении в отстойниках, фильтрации (дисковые фильтры) и флотации. Одним из способов обработки таких стоков, находящим все более широкое распространение благодаря высокой степени очистки при небольших габаритах, является микрофлотация (напорная флотация) с применением пузырьков растворенного воздуха (технология DAF).

Примером установки, осуществляющей принцип напорной микрофлотации, является установка типа PPM Poseidon, разработанная фирмой Kadant Lamort (рис. 11.4). Этот аппарат многофункционален.

Он используется для улавливания волокна, для обработки оборотной воды и фильтрата от промывных установок, для удаления из фильтрата клеевых и парафиновых микрочастиц. Принцип его действия заключается в следующем. В воду, подлежащую очистке, подаются коагулянт и флокулянт. В качестве флокулянта используют высокомолекулярные соединения, растворимые в воде полимеры или неорганические электролиты. На входе в установку очищаемая вода смешивается с рециркулирующим потоком осветленной воды (10÷20 % от общего объема, поступающего в аппарат), насыщенным растворенными мельчайшими пузырьками воздуха, получаемыми в специальном устройстве Poseirump.

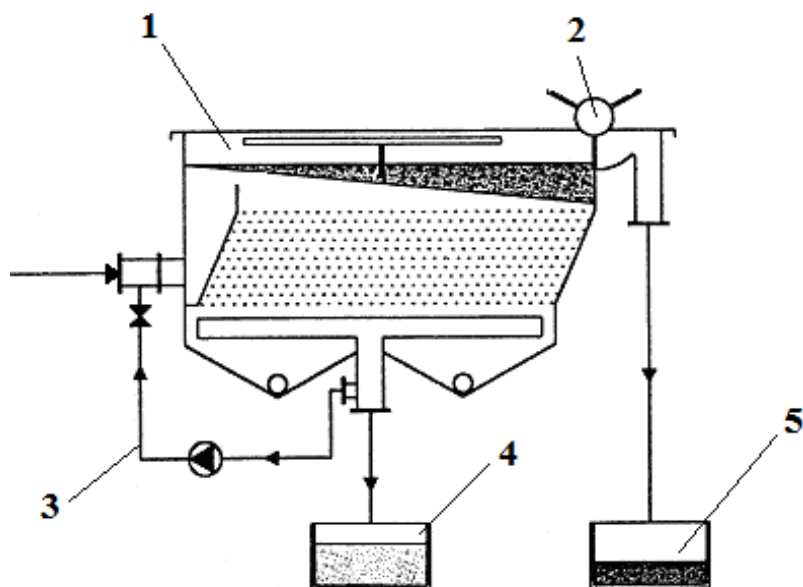


Рис. 11.4. Схема установки микрофлотации типа Poseidon:

- 1 – реактор; 2 – устройство для сбора скопа;
- 3 – рециркуляция; 4 – бак осветленной воды;
- 5 – бак отходов

Для удерживания пузырьков воздуха в воде контур рециркуляции находится под давлением  $0,5 \div 0,7$  МПа. Микроразмеры воздушных пузырьков способствуют равномерному увеличению плавучести частиц всех размеров, что обеспечивает устойчивый режим работы установки. При выходе из зоны высокого давления в зону атмосферного в смеси образуются мелкие пузырьки воздуха (диаметром  $10 \div 70$  мкм). Легкие частицы удаляются в два этапа. Частицы, сорбирующие мельчайшие пузырьки воздуха, быстро поднимаются к поверхности, образуя на ней слой скопа (шлама).

Флотационный шлам сгущается с помощью специальной системы, снижающей содержание в нем воды (типичная концентрация шлама – 12 %). Устройство для сбора шлама с поверхности осветлителя удаляет его в сгущенном виде в бункер скопа (шлама). Осветленная вода, часть которой отбирается для насыщения воздухом и рециркуляции, собирается в бак осветленной воды и используется повторно в технологических целях.

Установка состоит из отдельных модулей, что упрощает повышение производительности простым увеличением числа модулей, а также обеспечивает гибкость при эксплуатации. Минимальная производительность этих осветлителей составляет  $50 \div 70$  м<sup>3</sup>/час, максимальная – 900 м<sup>3</sup>/час, степень удаления из воды взвешенных частиц – 95 % и выше.

Разновидностью этого аппарата является осветлитель типа Saturn. Его основное отличие заключается в том, что он имеет конструкцию в виде легко монтируемой вертикальной колонны. Это позволяет лучше использовать площадь производственного помещения.

### 11.3.3. Бактериальные загрязнения оборотных вод

Источниками поступления микроорганизмов являются макулатурное сырье и свежая вода. Так как содержание микроорганизмов в макулатуре не поддается контролю, рекомендуется особое внимание уделять бактериальному контролю свежей воды. Кроме того, в бумажном производстве в массу вносят много разных добавок, которые являются питательной средой для микроорганизмов и способствуют их неконтролируемому росту. Это приводит к порче ХВВ и меловальных паст. Серьезной проблемой является попадание спор микроорганизмов в конечную продукцию, особенно при производстве санитарно-гигиенической бумаги и бумаги для упаковки пищевых продуктов. Известно, что некоторые споры не погибают даже при воздействии высоких температур в сушильной части БДМ.

В табл. 11.1 обобщены основные нежелательные последствия от увеличения массы микроорганизмов в бумажном производстве. С повышением степени замкнутости водооборота на фабриках, использующих макулатуру, наблюдается увеличение отложений в бассейнах и машинах. Эти отложения представляют собой пленку из смеси шлама, волокон и других добавок. В такой пленке активно развиваются множество микроорганизмов, причем некоторые анаэробные бактерии могут выделять летучие жирные кислоты и сульфид водорода ( $H_2S$ ), который является дурнопахнущим, высокотоксичным и, в смеси с водородом воздуха, взрывоопасным газом.

Таблица 11.1

Последствия увеличения массы микроорганизмов в ММ

Наименование		Источники проблем	
		био пленк и	свободные бактерии
Пятна, дыры и комочки слизи в бумаги		X	
Обрывы бумажного полотна		X	
Запах	в процессе производства:		
	бумаги	X	X
	сточных вод осадка	X X	X X
Забивание	сеток	X	X
	фильтров	X	X
	мембран	X	X
	датчиков	X	
Проблемы прочности		X	X
Микробное индуцирование коррозии		X	
Низкая эффективность обезвоживания			X
Слишком высокое содержание			X

микроорганизмов в бумаге		
Порча сырья и ХВВ в бумажном производстве		X

Если слой образовавшегося шлама достаточно толстый, его куски могут отрываться, попадать в бумажное полотно и служить причиной его обрывов. Кроме того, развитие микроорганизмов в оборотной воде снижает качество продукции и повышает потребность в технологических химикатах. Такие нежелательные явления, как появление запаха, слизи, обрастание, повышенная коррозия оборудования, могут возникать при работе предприятия с расходом свежей воды менее 20 м<sup>3</sup> на тонну вырабатываемой продукции, при некачественной обработке оборотной воды.

Особенно актуальными эти проблемы стали в связи с повсеместным переходом на производство бумаги и картона с проклейкой в нейтральной среде, особенно с применением катионного крахмала. Крахмал – питательная среда для бактерий в технологической воде. Изменился состав химикатов и в макулатуре. Так, в макулатуре из гофрокартона содержится до 25÷50 кг/т натурального крахмала, который, попадая в поток ММ, в сочетании с повышением замкнутости водооборота, превращает оборотную воду в крахмальный кисель. В результате этих тенденций получаем достаточно загрязненное макулатурное волокно, малообновляемую оборотную воду, избыток усваиваемой бактериями питательной среды (крахмал), комфортную температуру (около 40 °С) и нейтральное значение рН. Все эти факторы благоприятствуют развитию бактерий и прочих микроорганизмов.

Следует отметить, что ферменты, выделяемые микроорганизмами, расщепляют крахмал и превращают его в слабое связующее. Помимо этого, расщепленный крахмал повышает вязкость воды и ММ, что приводит к ухудшению процессов обезвоживания, прессования и сушки бумаги и картона, т.е. к снижению производительности БДМ. Наконец, продукты биодеструкции крахмала и попутной деструкции поверхности самого волокна препятствуют осаждению частиц клея на волокна, и расход клея при этом может возрасти на 20÷30 %.

Рассматривая влияние микроорганизмов на ММ, можно отметить следующие моменты:

- действие микроорганизмов, содержащихся в технологических средах бумажных фабрик, отрицательно влияет на физико-механические свойства продукции;
- оборотная вода, ММ, рабочий раствор крахмала являются благоприятными средами для развития микроорганизмов (мезофильных, аэробных и факультативно-анаэробных) в процессе их длительного выдерживания (в период остановов производства);
- действие микроорганизмов способно привести к снижению содержания органических веществ, росту кислотности, увеличению



концентрации электропроводящих веществ и повышению электрокинетического потенциала массы;

– в условиях длительного хранения и повышенной температуры ММ крахмал в ней подвергается биодеструкции в результате жизнедеятельности микроорганизмов;

– снижение рН среды в результате действия микроорганизмов способствует диссоциации карбоната кальция, что приводит к изменению электрокинетического потенциала массы;

– в ММ, хранившейся в условиях, благоприятных для жизнедеятельности микроорганизмов, наблюдается снижение эффективности действия химических вспомогательных веществ.

Для подавления процесса размножения и действия микроорганизмов необходимо вносить в воду предохраняющие вещества – биоциды и принимать меры для повышения эффективности их применения. В качестве биоцидов рекомендуется использовать окисляющие химические реагенты, содержащие, например, надуксусную кислоту, дополненную небольшим количеством галогенов (хлор, гипохлорит, бром).

Известно, что биоциды только снижают скорость размножения микрофлоры, но не уничтожают ее. Поэтому микрофлора способна привыкать к биоцидам. Чтобы уменьшить такое привыкание, целесообразно менять вид биоцида каждые 2÷4 недели. Следует помнить, что снижение общевещной загрязненности может приводить к ускоренному росту грибов и дрожжей, препятствующих снижению слизиобразования от воздействия биоцидов. Кроме того, при подаче слабого биоцида или подаче биоцида при низкой концентрации бактерии начинают вырабатывать защитные коллоиды, которые, вместо снижения способствуют повышению отложений слизи на оборудовании.

Российская фирма ООО «СКИФ Спешиал Кемикалз» предлагает различные виды биоцидов типа «Ультрацид». Норма расхода биоцида типа «Ультрацид 50МСТ» колеблется от 150 до 400 г/т бумаги. Биоциды рекомендуется подавать в ММ периодически, большими дозами, например, 1 раз в течение 30 мин. каждые 4 ч. В этот период при повышенной концентрации биоцида в массе рост микроорганизмов активно подавляется, так как период восстановления их роста составляет несколько часов.

Применение биоцидов при производстве тарного картона из макулатуры с целью регулирования содержания микроорганизмов в технологических средах бумажных фабрик позволяет повысить качество готовой продукции.

Отдельно следует отметить, что длительное выдерживание ММ (в период остановов производства) при достаточно высокой температуре приводит к снижению физико-механических характеристик готовой продукции. Это объясняется снижением агрегативной устойчивости (расслоением) ММ, вызванным негативным влиянием микроорганизмов на электрокинетические свойства волокнистой массы.

#### 11.3.4. Пенообразование оборотных вод

Высокая степень замыкания водооборота может вызывать значительное пенообразование. Причиной пенообразования является накопление в воде растворимых минеральных и органических веществ, экстрагируемых из используемого сырья, а также взвешенных мелкодисперсных частиц, стабилизирующих пену. Высокое содержание воздуха в оборотной воде также является одной из причин формирования пены.

Основной характеристикой пены является стабильность, или прочность ее пленок, которая зависит как от вида пенообразователя, так и от наличия стабилизаторов пены. Стабилизаторами пены являются электролиты и дисперсные твердые частицы (см. также п. 9.4.1). Наиболее устойчивую и обильную пену дает макулатура, содержащая остатки затаренной в мешки продукции (каолин, мел, цемент, сода и др.), а также коробки от моющих средств. Остаточное количество затаренных продуктов либо способствует пенообразованию (сода, латекс и др.), либо, адсорбируясь на поверхности пузырьков пены, способствует ее стабилизации (тальк, асбест, мука и др.). Применение макулатуры из использованной гофротары может приводить к пенообразованию из-за наличия в ней силикатного клея, иногда еще используемого для проклейки компонентов гофрокартона.

Пенообразование в массе затрудняет процесс формования бумажного полотна, снижает производительность машин, а переливы пены через стенки напорных ящиков, бассейнов и ванн приводят к потерям волокна и химикатов, загрязняют промышленные стоки и снижают санитарную культуру производства.

Для предупреждения негативных эффектов, связанных с пенообразованием, используют различные пеногасители. Активные компоненты их состава – это обычно жирные кислоты, длинноцепные спирты и сложные эфиры. Также используют парафинированный воск и водные дисперсии ПАВ на основе кремния. К использованию в производственных условиях рекомендуются пеногасители типа ЭАП-40 (однородная силиконовая эмульсия, хорошо разбавляемая водой во всех соотношениях), Неопол В1020-2 (продукт оксиэтилирования вторичных спиртов фракции C<sub>10</sub>-C<sub>20</sub>) и др. Эти пеногасители обладают пониженной токсичностью и высокой экологичностью. Пеногасители и деаэраторы марок Vandefoam фирмы «Банмарк» способствуют снижению уровня пенообразования в оборотных водах.

Тип, место подачи и эффективный расход пеногасителя необходимо подбирать для каждого производства отдельно в зависимости от технологической схемы производства, используемого сырья, химикатов, конструкции БДМ и других особенностей.

Наличие очистных сооружений на предприятиях обеспечивает возможность повторного использования сточной воды после очистки в тех процессах технологического потока, где часто используют исключительно свежую воду. Современные очистные сооружения обеспечивают достаточно высокую степень очистки по взвешенным веществам. Поэтому использование очищенной воды взамен свежей не повлечет за собой забивания sprays и засорения одежды машин дисперсными веществами. Для sprays стусителей, сортировок, сеточных цилиндров, наружных sprays пресовых валов, промывки пресовых сукон и уплотнения сальников оборудования может успешно использоваться сточная вода, прошедшая механохимическую и/или биологическую очистку. В отдельных случаях для этих целей может использоваться фильтрат от стусителей и дисковых фильтров и уплотнительная вода вакуумной системы БДМ.

#### **11.4. СТОЧНЫЕ ВОДЫ (ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ)**

Сбросы сточных вод бумажного предприятия и образование отходов тесно связаны с качеством макулатуры, требованиями, предъявляемыми к производимой продукции, и с используемыми технологиями. Применяемые химические добавки, управляемость производственными процессами и техническое состояние оборудования также влияют на уровень загрязнения сточных вод. Сточные воды от бумажно-картонного производства сбрасываются после первичной (химико-механической) и биологической очистки на месте образования непосредственно в открытые водоемы или, после первичной очистки от взвешенных частиц, на муниципальные очистные сооружения.

Сточные воды на предприятиях, производящих продукцию на основе макулатуры, в основном образуются на стадиях очистки, сортирования и облагораживания макулатурной массы. Общей практикой является сброс сточных вод там, где производственная вода загрязняется в наибольшей степени. Места образования таких вод различны на разных предприятиях. Так, наиболее грязная вода образуется во время промывки ММ, удаления печатной краски и регенерации волокон. В сточные воды на предприятиях, использующих макулатуру, попадают:

- вода с этапа отделения отходов на сортировках и очистителях;
- фильтрат от установок промывки, сгущения ММ и обработки осадка;
- избыток оборотной воды в системе рециркуляции.
- вода от постоянной части БДМ, образующаяся при тонкой очистке массы в центрифугах;
- дополнительная вода после мытья сеток и сукон.

Состав загрязнений сточных вод характеризуется показателями ХПК и БПК<sub>5</sub>, биогенными и взвешенными веществами, содержанием тяжелых

металлов, абсорбируемого органического хлора (АОХ), различных солей и т.д. (см. п. 10.2.1).

Для характеристики загрязнений сточных вод можно использовать отношение показателей химического поглощения кислорода (ХПК) и количества растворенных органических веществ (РОВ). Если отношение ХПК/РОВ сточной воды меньше единицы, то можно утверждать, что в ней находятся преимущественно растворенные органические вещества. Если отношение ХПК/РОВ больше единицы, то преимущественно – грубодисперсные вещества и коллоиды. Основная масса РОВ удаляется на первой ступени биологической очистки.

При подготовке ММ с применением ТДО образующаяся сточная вода может иметь большую цветность при небольшой мутности. Это свидетельствует о наличии в ней достаточного количества растворенных органических веществ при минимальном содержании дисперсных взвешенных и коллоидных веществ. Сточные воды, полученные при обработке массы без термического воздействия, характеризуются незначительной цветностью и высокой мутностью, что говорит о повышенном содержании грубодисперсных взвешенных и коллоидных веществ.

Коагуляция грубодисперсных взвешенных и коллоидных веществ на очистных сооружениях требует большего расхода коагулянта (сульфата алюминия и/или полиакриламида), чем коагуляция РОВ. Применение предварительной реагентной обработки (коагуляции) сточной воды перед биологической очисткой позволяет снизить концентрацию взвешенных частиц в 2÷2,5 раза. Это дает возможность получить максимальный эффект осветления сточной воды после биологической очистки.

Основными способами очистки сточных вод являются механические, биологические (биохимические) и физико-химические. Для ликвидации бактериального загрязнения применяется обеззараживание сточных вод (дезинфекция).

Механический – наиболее доступный – метод применяется главным образом для удаления из сточных вод нерастворенных и коллоидных частиц органического или минерального происхождения путем простого отстаивания. К приспособлениям для механической очистки относятся песколовушки, применяемые для задержания частиц минерального происхождения, и отстойники, необходимые для задержания загрязнений органического происхождения, находящихся во взвешенном состоянии. Такой очисткой достигается выделение из производственных сточных вод до 95 % нерастворенных примесей. Часто механическая очистка является предварительной стадией перед биологической очисткой.

Биохимические методы очистки основаны на использовании жизнедеятельности микроорганизмов, которые, размножаясь, перерабатывают и преобразуют сложные органические соединения в простые, безвредные минеральные вещества. Таким образом удается практически полностью

освободиться от органических загрязнителей, остающихся в воде после механической очистки. Сооружения для биологической очистки сточных вод разделяются на два основных типа. Сооружения, в которых биохимическая очистка происходит в условиях, близких к естественным (биологические пруды, поля фильтрации, поля орошения), и сооружения, в которых очистка осуществляется в искусственно созданных условиях (биологические фильтры, аэротенки – специальные емкости).

К физико-химическим методам очистки сточных вод относятся: электрохимический в электрических полях; электрокоагуляция; электрофлотация; ионный обмен; кристаллизация и др.

Все перечисленные способы очистки сточных вод имеют две конечные цели: регенерацию – извлечение из сточных вод ценных веществ, например, волокна, и деструкцию – разрушение загрязняющих веществ и удаление продуктов распада из воды.

## **11.5. ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ, ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ МАКУЛАТУРУ**

Совершенствование систем водопользования направлено на улучшение экономических и экологических показателей производства. Соответствующие технологии относятся как к внутрицеховым мероприятиям, так и к технологиям очистки воды «на конце трубы». Рассмотренные ниже варианты совершенствования систем водопользования не исчерпывают всех возможных вариантов решений в этой области, и поэтому, список их может быть расширен.

### **11.5.1. Разделение потоков менее и более загрязненных вод с их рециркуляцией**

Основной эффект от данной технологии заключается в заметном снижении расхода свежей воды, затрат на ее подготовку и уменьшении объемов сброса сточных вод.

Как отмечалось выше, отделение чистой охлаждающей воды от производственных стоков и ее повторное использование для других нужд позволяет заметно снизить расход свежей воды. Если вода для охлаждения сбрасывается в систему канализации, то не следует ее смешивать с загрязненной технологической водой, чтобы процесс очистки сточных вод был более эффективным и затраты на очистку были меньше.

Для создания вакуума в отсасывающей части БДМ используются водокольцевые вакуум-насосы, потребляющие воду для уплотнения и перекачки в количестве приблизительно 1 л/мин на 1 кВт установленной мощности. Уплотнительная вода водокольцевого насоса может быть в

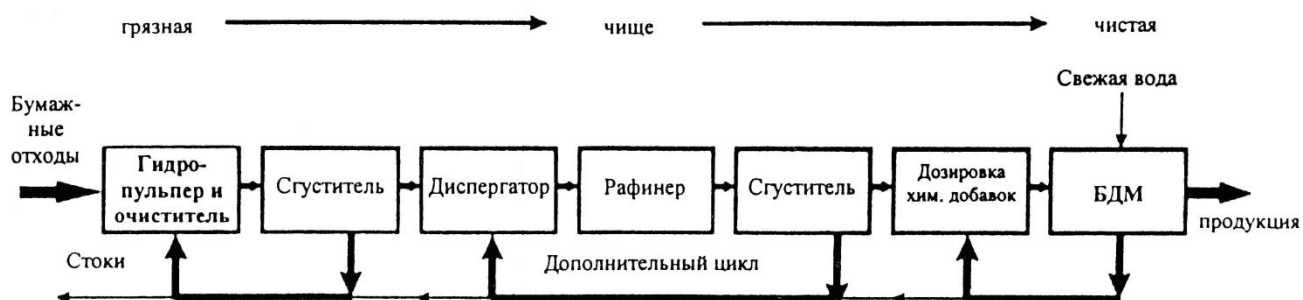
некоторой степени загрязнена волокном. Одновременно увеличивается ее температура. Необходимость в свежей воде для работы такого насоса можно значительно уменьшить, если осуществить рециркуляцию воды от него через теплообменники или градирни. Иногда эту воду до поступления в теплообменник очищают при помощи, например, специальных сит.

Повторное использование отделенной более чистой воды в технологических процессах подготовки массы может потребовать увеличения объема технологических бассейнов. Это позволит избежать перелива оборотной воды во время остановов. Увеличение объема емкостей означает необходимость установки дополнительных баков, трубопроводов и насосов.

### 11.5.2. Снижение расхода свежей воды путем разделения водных потоков в сочетании с использованием противотока

Основным принципом этого мероприятия является организация противотока оборотной воды от бумажного производства, подаваемой в систему подготовки массы, с направлением движения ее в производстве вплоть до изготовления продукции. Таким образом избыточная оборотная вода от данного этапа поступает на предыдущий этап подготовки массы, где требования к качеству воды не столь высоки. Очень важно, чтобы как можно меньше оборотной воды поступало в том же направлении, что и поток волокна, т.е. из отдела подготовки массы на БДМ. Это достигается путем сокращения количества воды в потоке волокнистой массы (повышением ее концентрации) при поступлении ее в машинный бассейн, т.е. до поступления ее на БДМ. Таким образом снижается степень переноса загрязняющих веществ в систему относительно чистой технологической воды.

На рис. 11.5 приведена принципиальная блок-схема организации самостоятельных водных циклов. Использование в данной схеме дополнительного сгустителя позволяет улучшить разделение «грязной» воды системы подготовки массы и «чистой» воды системы БДМ и таким образом значительно снизить содержание органических веществ, которые могут попасть в систему БДМ. Четкое разделение потоков воды создает хорошую возможность для внутрицеховой очистки, предназначенной для удаления загрязняющих веществ («эффект почки»).



## Рис. 11.5. Схема организации циклов по воде

Разделение потоков воды посредством сгущения массы приводит к значительным положительным изменениям в составе воды цикла водоснабжения БДМ в части содержания в ней органических и неорганических веществ. Это влияет на изменение режима введения химических добавок, что в свою очередь влияет на уровень ХПК воды. В некоторых случаях создание дополнительного водного цикла может привести к снижению температуры воды в цикле БДМ, например, когда этот цикл отделен от диспергатора и мельниц, при работе которых происходит основной нагрев технологической воды.

### 11.5.3. Оптимальное использование воды и ее очистки

В современных системах водооборота технологическая вода используется несколько раз, как это показано на рис. 11.6.

Повторное использование технологической воды заключается в возврате ее в систему и использовании в волокнистой массе. Все бумажные предприятия используют неочищенную оборотную воду с большим содержанием волокна, которая поступает от БДМ, для разбавления массы из машинного бассейна, расположенного до поступления композиции в БДМ (короткая циркуляция, или первичный цикл), и на этапе подготовки массы (длинная циркуляция, или вторичный цикл).

Оставшаяся (избыточная) часть оборотной воды очищается от волокна (осветление) фильтрацией (дисковые или барабанные фильтры), флотацией или осаждением (отстойники). Осветленная вода повторно используется в качестве замены свежей воды, например, для промывки одежды машин (сетки, сукна). Избыточная осветленная вода поступает на очистные сооружения. В отдельных случаях осветленная вода частично используется снова в качестве технологической воды, например, при производстве бумаги для гофрирования и картона тестлайнера из макулатуры. Таким образом расход свежей воды при производстве тонны такой продукции можно снизить до  $4\div 7 \text{ м}^3$ .

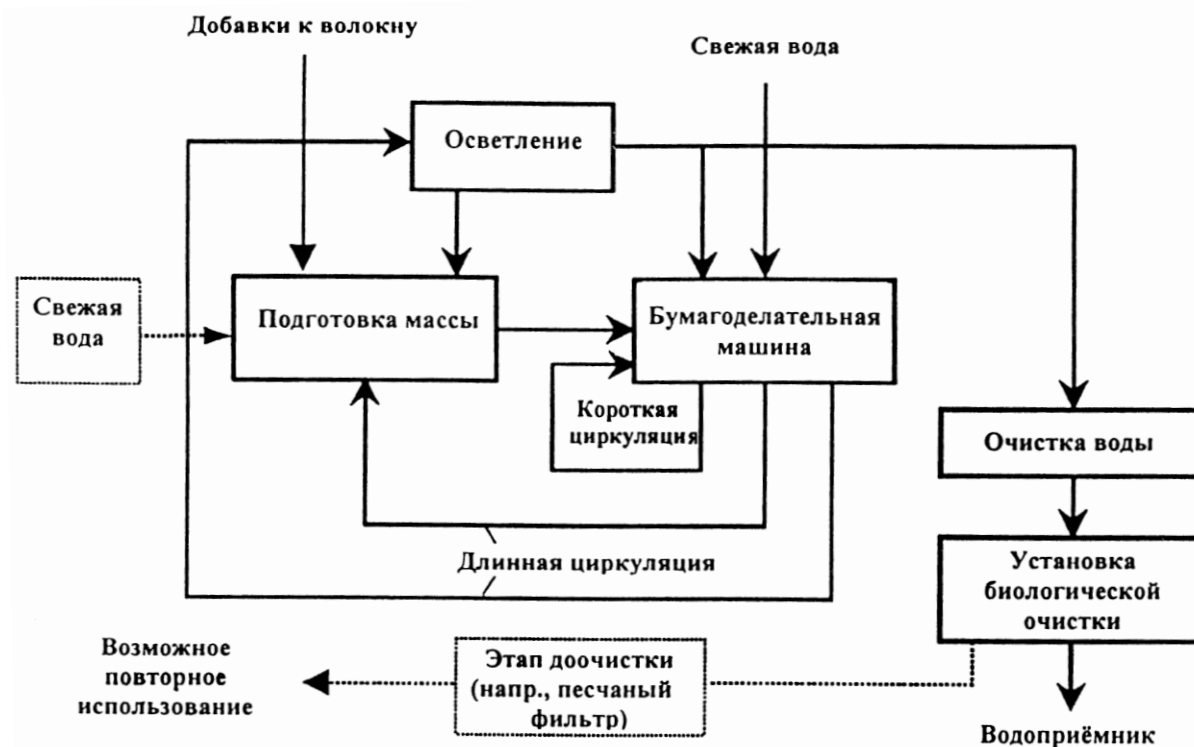


Рис. 11.6. Схема водоснабжения бумажного предприятия с разделением водных циклов и системой противотока

На многих бумажных предприятиях свежую воду используют только для разведения химикатов и в тех частях БДМ, где требуется качественная вода без взвешенных веществ, например, на спрысках. Замыкание водооборота имеет как преимущества, так и недостатки, сводка которых приведена в табл. 11.2.

Таблица 11.2  
Некоторые преимущества и недостатки замкнутого водооборота на бумажных предприятиях

Преимущества	Недостатки
<p>Меньший расход свежей воды;  Меньше затрат на водоподготовку;  Меньше стоков;  Увеличение объема производства не препятствует обработке воды на «конце трубы»;  Снижение потерь волокна и наполнителя;</p>	<p>Накопление взвешенных веществ;  Накопление органических и неорганических веществ;  Коррозия оборудования;  Увеличение расхода вспомогательных веществ;  Засорение оборудования;  Проблемы с качеством продукции;</p>

Окончание табл. 11.2

Преимущества	Недостатки
--------------	------------



<p>Повышение температуры воды улучшает обезвоживание полотна на сеточной части БДМ; Экономия энергии</p>	<p>Образование накипи и минеральных отложений; Повышение температуры технологической воды (может быть и преимуществом, см. левую колонку)</p>
--	---

При высоком уровне замкнутости водных систем в производстве тестлайнера и бумаги для гофрирования из макулатуры наблюдаются дополнительные проблемы, с которыми необходимо бороться:

- значительное снижение содержания кислорода в технологической воде, что приводит к микробиологическому восстановлению сульфатов в сероводорода и образованию дурнопахнущих низкомолекулярных жирных кислот;
- интенсивный рост микроорганизмов;
- сильная коррозия оборудования, вызванная повышенными температурами и высоким содержанием хлоридов, сульфатов и органических кислот;
- сильные запахи в сушильной части БДМ;
- снижение качества производимой продукции и наличие у нее запаха;
- большой расход химикатов для борьбы со слизееобразованием.

Для решения этих проблем необходимо:

- устанавливать внутризаводские системы очистки технологической воды от органических веществ;
- поддерживать расход свежей воды не менее 4÷7 м<sup>3</sup> на тонну производимой продукции;
- использовать для сточной воды комбинацию анаэробной и аэробной очистки или только аэробную очистку;
- оптимизировать работу очистных сооружений.

## **11.6. ОБРАБОТКА И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРЫ**

### **11.6.1. Общие сведения**

Основную часть отходов от переработки макулатуры, в конечном итоге, составляют твердые отходы. Это целая группа отходов. К ним относятся твердые загрязнения, различные типы осадка (шламы) и, в случае внутризаводского сжигания отходов, – зола. Шламы – это, как правило, достаточно однородные осадки от предварительного осветления оборотной воды, систем облагораживания массы, очистки сточных вод. В отличие от них, твердые загрязнения – неоднородны по своей структуре. Обычно разделяют грубые и тонкие отходы. Грубые отходы образуются при роспуске макулатуры, грубой очистке и сортировании. Тонкие – на последующих

стадиях тонкой очистки и сортирования, а также после машинного бассейна перед напускным устройством БДМ. Основные характеристики отходов переработки макулатуры приведены в п. 10.2.2.

Отходы подготовки (очистки и сортирования) массы состоят из пучков волокон, песка, металла, стекла, пластика и других органических веществ. Они составляют от 4 до 8 % от количества закупаемой макулатуры и не могут быть утилизированы. Поэтому их, после отделения металла, песка, стекла, вывозят на свалки или, после отделения металла, песка, стекла и др. – сжигают. Внутриводное сжигание отходов возможно только на крупных предприятиях, где образуется большое количество отходов.

Шлам от очистки производственной воды (волокнистые отходы) образуется на этапе регенерации волокна, содержащегося в оборотной воде, и при механической очистке сточных вод. Эти отходы преимущественно состоят из коротких волокон и частиц наполнителя. При производстве картона и бумаги для средних слоев гофрокартона такие отходы иногда вновь используются в производстве. При выработке продукции высокого качества волокнистые отходы не обеспечивают установленных требований к ней и потому не пригодны для повторного использования. В этом случае их вывозят на свалку или сжигают.

Шлам от удаления типографской краски содержит короткие волокна, частицы наполнителя, краски, экстрагируемые вещества и химикаты, используемые для удаления краски. Частицы краски могут являться потенциальными источниками тяжелых металлов.

Шлам (избыточный ил), образующийся на биологических очистных сооружениях, или сгущается обезвоживанием и затем сжигается (внутри или вне предприятия), или вывозится на свалку. В отдельных случаях, например, при производстве бумаги для внутренних слоев гофрокартона, шлам может частично утилизироваться в ее производстве.

### **11.6.2. Оборудование для обезвоживания шлама**

Для предварительного обезвоживания шлам (осадков) используются различные технологии и оборудование. Самые простые из них – гравитационные уплотнители, представляющие собой радиальные отстойники диаметром 11÷12 м и глубиной 3÷4 м. Их преимущества: простота устройства, надежность в работе, низкие эксплуатационные затраты и способность хранить большое количество осадка в течение некоторого времени. Недостатки: – малая степень сгущения осадков (концентрация менее 3 %), большая занимаемая площадь и выделение неприятных запахов.

Барабанные сгустители, представляющие собой сетчатый вращающийся цилиндр, способны повышать концентрацию осадка до 4÷10 % в зависимости от его состава. К другим устройствам для предварительного обезвоживания осадков относятся обезвоживающие столы (достижимая

концентрация также  $4 \div 10$  %), флотационные осветлители с растворенным воздухом (достижимая концентрация  $3 \div 6$  %), дисковые фильтры. Для этих же целей служат гравитационные наклонные установки (экстракторы) с обезвоживающим шнеком, схема которых представлена на рис. 11.7а.

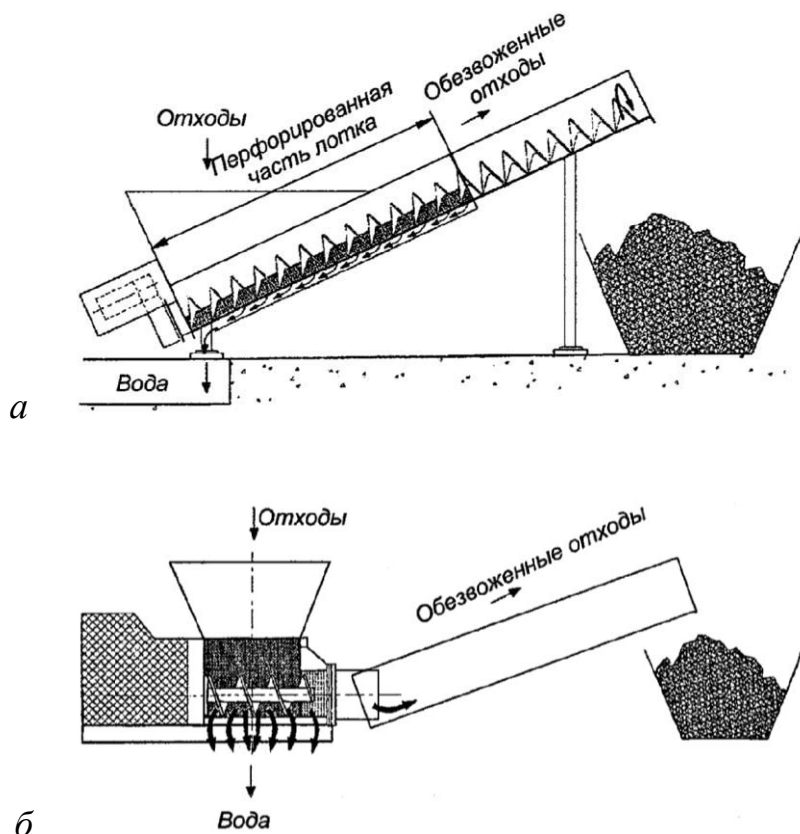


Рис.11.7. Принципиальная схема работы оборудования для обезвоживания отходов переработки макулатуры:

- а – с обезвоживающим шнеком (экстрактор);
- б – со шнек-прессом Comractor EWM 360

Наиболее распространенными видами оборудования для высокой степени обезвоживания шламов являются шнек-прессы, ленточные прессы и центрифуги.

Ленточные прессы обычно используются в тех случаях, когда не требуется очень высокая концентрация осадка на выходе. В сочетании с гравитационными уплотнителями ленточные прессы обеспечивают концентрацию осадка до 25 %, а при высоком содержании избыточного ила – не более 20 %.

Надежность и пригодность для решения многих производственных задач, простоту устройства и обслуживания показали, например, шнековые пресс-компакторы типа «Компакс». В мировой ЦБП успешно эксплуатируется несколько сот разновидностей таких аппаратов. Помимо них используется множество шнековых прессов других типов. Шнек-прессы

(рис. 11.7б) чувствительны к содержанию избыточного биологического ила в смешанном осадке, в зависимости от чего концентрация осадка после обработки может колебаться от 21 до 45 %. К проблемам эксплуатации шнек-прессов относятся: забивание мелких отверстий в сетчатом кожухе у разгрузочного конца шнека, износ витков шнека и высокое содержание взвешенных веществ в фильтрате (1000÷9000 мг/л).

Практически достижимые уровни содержания сухого вещества в осадке и требуемый для этого удельный расход энергии при различной зольности (для сравнения) представлены в табл. 11.3.

Таблица 11.3

Достижимые уровни содержания сухого вещества в осадке

Характеристики	Применяемое оборудование	
	сеточный пресс, включая предварительное сгущение	шнек-пресс, включая предварительное сгущение
Достижимый уровень содержания сухого вещества при зольности: более 50 % менее 50 %	до 60 % до 55 %	до 70 % до 65 %
Расход энергии, кВт·ч/т	10÷15	18÷20

На рис. 11.8 показана схема узла обезвоживания отходов от флотации со ступени обесцвечивания массы или шлама от очистки оборотных вод, поставляемого фирмой Celleco, с использованием обезвоживающей центрифуги Alfa-Laval Sharples. Такие центрифуги имеют производительность от 0,1 до 150,0 м<sup>3</sup>/ч и обезвоживают осадок до 50 % сухости.

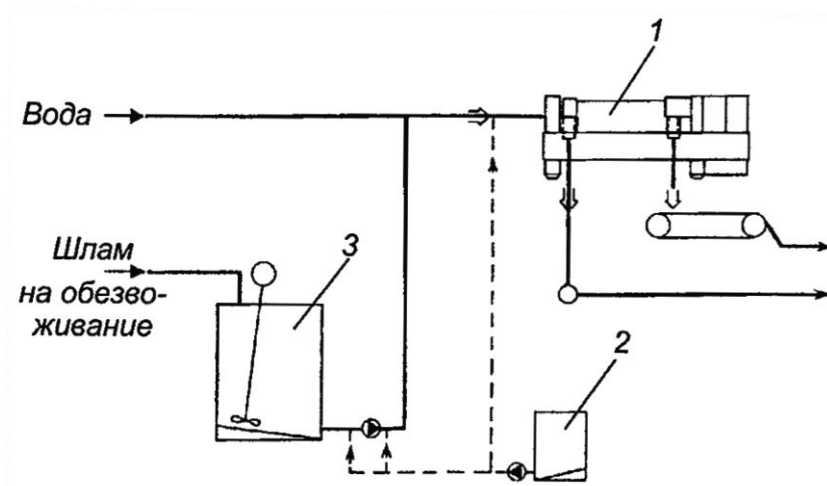


Рис. 11.8. Схема узла обезвоживания отходов с использованием центрифуги Alfa-Laval Sharples:

1 – центрифуга; 2 – емкость для флокулянта; 3 – расходный бак

По мнению разработчиков, для предприятия, производящего около 100000 т продукции в год из макулатуры, 3÷4 обезвоживающие центрифуги среднего типоразмера могут решить проблему подготовки осадка для его экономичной утилизации.

Схема центрифуги шнекового типа представлена на рис. 11.9. Сгущаемый материал подается через питающую трубу 1, расположенную по оси цилиндро-конического корпуса, в конический барабан центрифуги, где шнековым устройством плавно разгоняется во вращение и распределяется внутри барабанного пространства. В результате действия центробежных сил на внутренней поверхности барабана, вращающегося с высокой частотой (2500÷3000 об/мин), происходит разделение (зона разделения 4) осветленной воды и загрязнений (мелкое волокно, частицы краски и наполнителя).

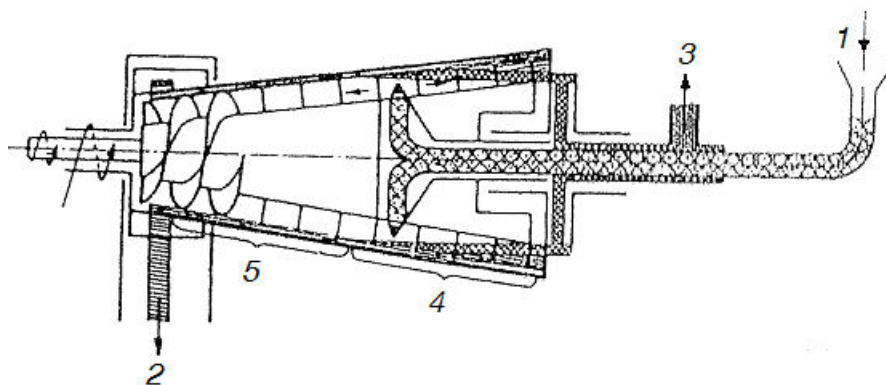


Рис. 11.9. Шнековая центрифуга:

1 – питающая труба; 2 – выпускное отверстие;  
3 – отводящий патрубок для осветленной воды;  
4 – зона разделения; 5 – зона обезвоживания

Шнек, вращающийся медленнее барабана, перемещает и уплотняет шлам в сторону меньшего диаметра барабана (зона обезвоживания 5) и выводит его через выпускное отверстие 2. Осветленная вода уходит в кольцевую камеру и под действием давления удаляется через отводящий патрубок 3.

В процессе обезвоживания осадков широко используются коагулянты и флокулянты. Коагулянты применяют для предварительного связывания частиц осадка перед обезвоживанием, а флокулянты вводятся в обезвоживающее устройство для образования флокул в осадке.

### 11.6 3. Утилизация сгущенного шлама

Наиболее распространенным способом утилизации обезвоженного осадка (шлама) является его сжигание. Одна из существенных проблем, возникающих при этом, заключается в большом количестве золы (особенно при сжигании осадка, получаемого при облагораживании макулатуры методом промывки). Золу можно вывозить в отвал либо использовать в композиции таких строительных материалов, как кирпич, цемент и пр. Сжигание осадка наиболее целесообразно на предприятиях, где имеются корьевые котлы для сжигания древесной коры. Это позволяет не только получать тепло за счет органической составляющей, но также и утилизировать неорганические вещества (золу). Установлено, что при сжигании избыточного активного ила в содорегенерационных котлах особых проблем в цикле регенерации щелоков не возникает.

Среди экологически целесообразных технологий использования и утилизации твердых отходов в производственных энергоустановках можно выделить следующие:

1. Энергетическое использование отходов предприятий, перерабатывающих макулатуру без удаления краски, путем сжигания в специальных многополочных печах. После измельчения и отделения металлических включений с помощью магнитной сепарации, отходы поступают в верхнюю часть печи, где происходит их сушка поднимающимися топочными газами. Затем подсушенные отходы с помощью гребков передаются на ближайшую нижнюю полку. Гребки перемещают отходы через все зоны сжигания (полки) сверху вниз. Газы, выходящие из верхней части печи, возвращаются в топку и снова нагреваются. Так как топочный газ полностью сгорает только при температуре  $800\div 900$  °С, то для экономической целесообразности сжигания отходов требуется дополнительная отдельная камера для его сгорания.

2. Совместное сжигание отходов предприятий, перерабатывающих макулатуру без удаления краски, в энергоустановках, работающих на ископаемых видах топлива (уголь, солярка, природный газ). Для этого необходима установка камер сушки и газификации отходов, соединенных с топкой энергоустановки. В камерах сушки и газификации отходы сначала подсушивают, а затем переводят в газообразное состояние посредством окисления содержащихся в них углеродосодержащих материалов кислородом воздуха. Полученный таким образом газ сжигают в камере сгорания энергоустановок. До сушки и газификации крупные отходы необходимо измельчить и освободить от присутствующего в них металла. Подача отходов на сушку и газификацию производится движущейся колосниковой решеткой.

3. Сжигание отходов и осадка предприятий, перерабатывающих макулатуру с удалением из нее печатной краски с комбинированной выработкой электроэнергии и пара. В отличие от технологий 1 и 2, данная технология относится к предприятиям, использующим ММ с удаленной печатной краской, или к тем, которые одновременно используют макулатурную и древесную массу.

Как показывает практика, не всю имеющуюся в наличии макулатуру возможно и целесообразно перерабатывать в макулатурную массу. В первую очередь, это относится к макулатуре марки МС-11В. Альтернативой регенерации является сжигание такой макулатуры, т.е. использование ее в качестве топлива (см. п. 3.4.1). Перед сжиганием эту макулатуру измельчают. На предприятиях Финляндии, Германии и США доля измельченной макулатуры в топливной смеси для печей кипящего слоя достигает 20 %. Некоторые предприятия предлагают прессовать трудно перерабатываемую макулатуру (парафинированную, битумированную и т.п.) вместе с осадком для приготовления топливных брикетов. Практика показала, что содержание загрязняющих веществ (соединений серы, азота и хлора) в воздушных выбросах из энергетических установок снижается в том случае, если для сжигания используется только макулатура.

Альтернативой сжиганию является широко распространенная вывозка осадка на поля в качестве удобрений, в отвалы и для заполнения участков, не пригодных для растениеводства. Известна практика получения из скопа строительных плит для внутренней отделки помещений.

## 12. СИСТЕМЫ ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРЫ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ПРОДУКЦИИ

Требования, предъявляемые к качеству и показателям готовой продукции, диктуют выбор вида макулатурного сырья и характеристик ММ. К этим характеристикам относятся: механические показатели, внешний вид, чистота, белизна массы и др.

Так, качественные показатели ММ из волокон небеленой целлюлозы и древесной массы (коричневой ММ) для производства темных (коричневых) видов бумаги и картона связаны с наличием в массе недораспущенных фрагментов исходного сырья, мелкого волокна, частиц липких веществ и зольных элементов. Основные свойства санитарно-гигиенических видов бумаги (СГБ) – мягкость и впитываемость – требуют минимального наличия в ММ зольных элементов, печатной краски и липких веществ. Требования к качеству ММ из волокон беленой целлюлозы и древесной массы для производства писче-печатных видов бумаги предусматривают повышенные оптические свойства, минимальное количество частиц печатной краски и липких веществ.

Современные схемы подготовки массы из макулатуры весьма разнообразны и могут быть условно разделены на схемы подготовки массы для изготовления белых видов бумаги и картона (санитарно-гигиенических, печатных, упаковочных и др.) и схемы подготовки массы для изготовления темных видов бумаги и картона (тестлайнер, флютинг и др.). В первом случае обязательным условием подготовки ММ является облагораживание макулатуры, в частности, удаление из массы типографской краски и других загрязнений, а во втором – максимально возможное сохранение и повышение бумагообразующих и прочностных свойств.

В связи с этим технологические схемы подготовки массы отличаются друг от друга структурой, степенью сложности, выбором типа оборудования. При всем их фактическом многообразии, их можно условно подразделить на три группы:

- 1) схемы подготовки массы для производства упаковочных (коричневых) видов бумаги и картона;
- 2) схемы подготовки массы для производства санитарно-гигиенических видов бумаг (СГБ);
- 3) схемы подготовки массы для производства писче-печатных и газетных видов бумаги.

Характерная общая тенденция: схемы производства высококачественного картона требуют большего количества операций и оборудования, чем схемы производства обычного картона-лайнера, а производство лайнера – большего количества операций, и оборудования, чем для производства бумаги для гофрирования.

В настоящее время аппаратное оформление схем подготовки ММ на предприятиях России состоит, в основном, из морально устаревшего



оборудования, технические возможности которого уже не в состоянии обеспечить возрастающие требования производства. Поэтому решение проблем с качеством ММ следует начинать с наведения порядка в приемке, контроле и качественной оценке поступающей макулатуры, ужесточении отбора поставщиков и т.п. Одновременно с этим, для повышения качества продукции из макулатуры приходится широко использовать различные вспомогательные химические вещества, например, катионный крахмал.

Следует учитывать, что использование той или иной схемы переработки макулатуры обусловлено экономической, технологической и экологической целесообразностью для каждого конкретного предприятия. В дополнение к указанному, в разд. 5.4, ч. II приведены технологические схемы подготовки ММ с использованием операции фракционирования (рис. 5.20 и 5.21, ч. II). Ниже рассмотрены особенности систем переработки макулатуры для изготовления отдельных видов продукции.

## **12.1. ПОДГОТОВКА МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КАРТОНА И КОМПОНЕНТОВ ГОФРОКАРТОНА**

Гофрированный картон – наиболее массовый вид упаковочной продукции из макулатуры состоит из сочетания плоских слоев – лайнера и гофрированных слоев – флютинга. В соответствии с их назначением в гофрокартоне к ним предъявляются особые требования.

К бумаге для гофрирования (флютинга) в качестве требований включают следующие характеристики:

- сопротивление плоскостному сжатию гофрированного образца;
- сопротивление торцевому сжатию в поперечном направлении (разрушающее усилие при сжатии кольца).

Потребительские свойства включают: впитывающую способность материала, воздухопроницаемость и равномерность влажности полотна по ширине и длине.

К картону для плоских слоев (лайнеру) в качестве требований включают следующие характеристики:

- сопротивление продавливанию, определяющее устойчивость картона к проколу (пробою);
- прочность поверхности к выщипыванию;
- впитываемость при одностороннем смачивании;
- гладкость.

Потребительские свойства лайнера включают равномерность влажности по ширине и длине полотна, а также сопротивление двойным перегибам. Для этих видов продукции используют как смешанную макулатуру (МС-13В), так и отходы производства и потребления картона (МС-5Б, МС-6Б), а также мешочную макулатуру (МС-3А, МС-4А).

Схемы процессов подготовки ММ для производства бумаги для гофрирования довольно просты, так как данный полуфабрикат может иметь, помимо жесткости, относительно низкие показатели механической прочности и чистоты, по сравнению с ММ для производства лайнера. Для технологических потоков производств компонентов гофрокартона средней и малой мощности схемы переработки, включающие сложные системы сортирования, очистки, фракционирования, диспергирования и облагораживания массы, а также многоконтурные системы водопользования, становятся нерентабельными.

Для получения качественного флютинга необходимо включать все основные операции по подготовке ММ: роспуск, грубую очистку, дополнительные дороспуск и сортирование, тонкую очистку и тонкое сортирование. Отсутствие в технологической линии двух последних операций тонкой очистки и сортирования упрощает схему (рис.12.1), но несколько снижает показатели механической прочности и качество бумаги.

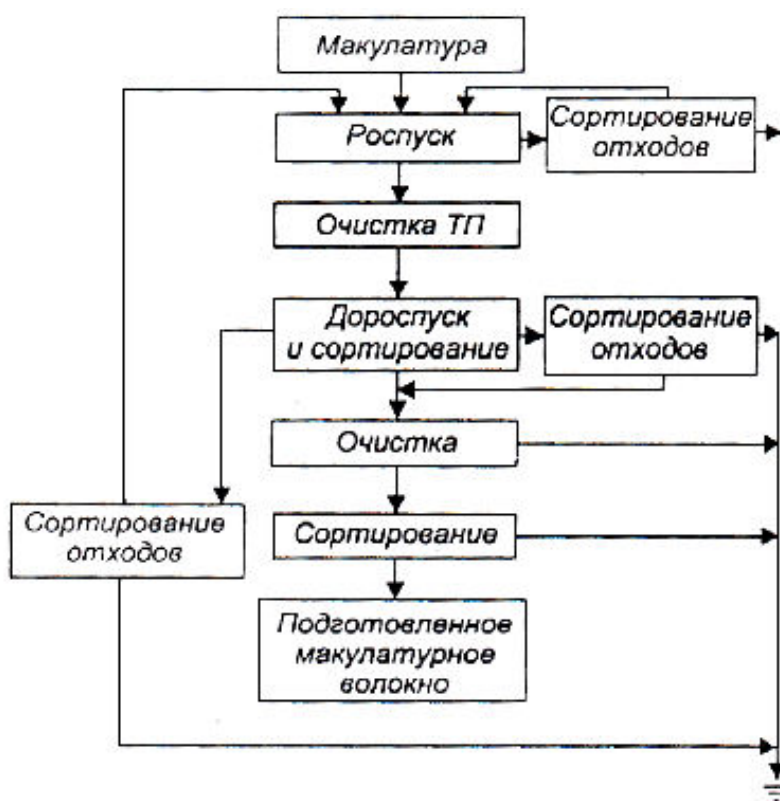


Рис. 12.1. Блок-схема подготовки ММ для производства упаковочных видов бумаги и бумаги для гофрирования

Компоненты гофрокартона изготавливаются, как правило, на одних и тех же машинах. Достаточно простая блок-схема подготовки ММ для них (рис. 12.2) включает минимальный набор операций. Поэтому гибкость технологии подготовки минимальна, а достижение требуемого качества продукции может обеспечиваться только за счет хорошего качества сырья.

Для надежной работы БДМ в схему включается операция термодисперсионной обработки ММ.

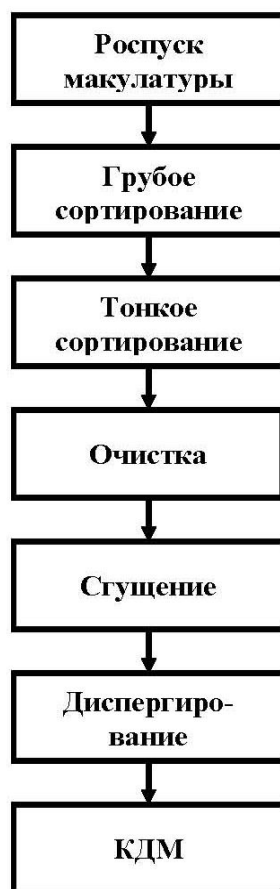


Рис. 12.2. Блок-схема подготовки ММ из использованной гофротары

Более гибкой и универсальной является схема подготовки массы с фракционированием волокон и двумя циклами подготовки. Система подготовки макулатурной массы с двумя циклами (рис. 12.3) предусматривает ступень тонкого сортирования массы перед БДМ, что повышает надежность ее работы, а, следовательно, и производительность.

Многоэтапная система очистки и сортирования массы позволяет удалить тяжелые включения, плоские частицы загрязнений, связующие (клейкие вещества), мелкий песок и обеспечивает разволокнение содержащихся в массе флокул, чем достигается достаточная оптическая однородность массы.

Степень фракционирования позволяет разделить волокнистую массу на два потока. Благодаря этому, диспергированию и размолу подвергается лишь часть (ДВФ) обрабатываемой ММ, что дает значительную экономию УРЭ, а при последующем объединении двух потоков получаемая масса приобретает более высокие качественные показатели по сравнению с показателями при термодиспергировании всего потока не фракционированной массы (см. рис.12.2). Повышается степень помола, несколько снижается зольность

массы и увеличивается сопротивление расслаиванию картона. Выделенные фракции можно смешивать в различных соотношениях в зависимости от требований, предъявляемых к качеству конечного продукта.

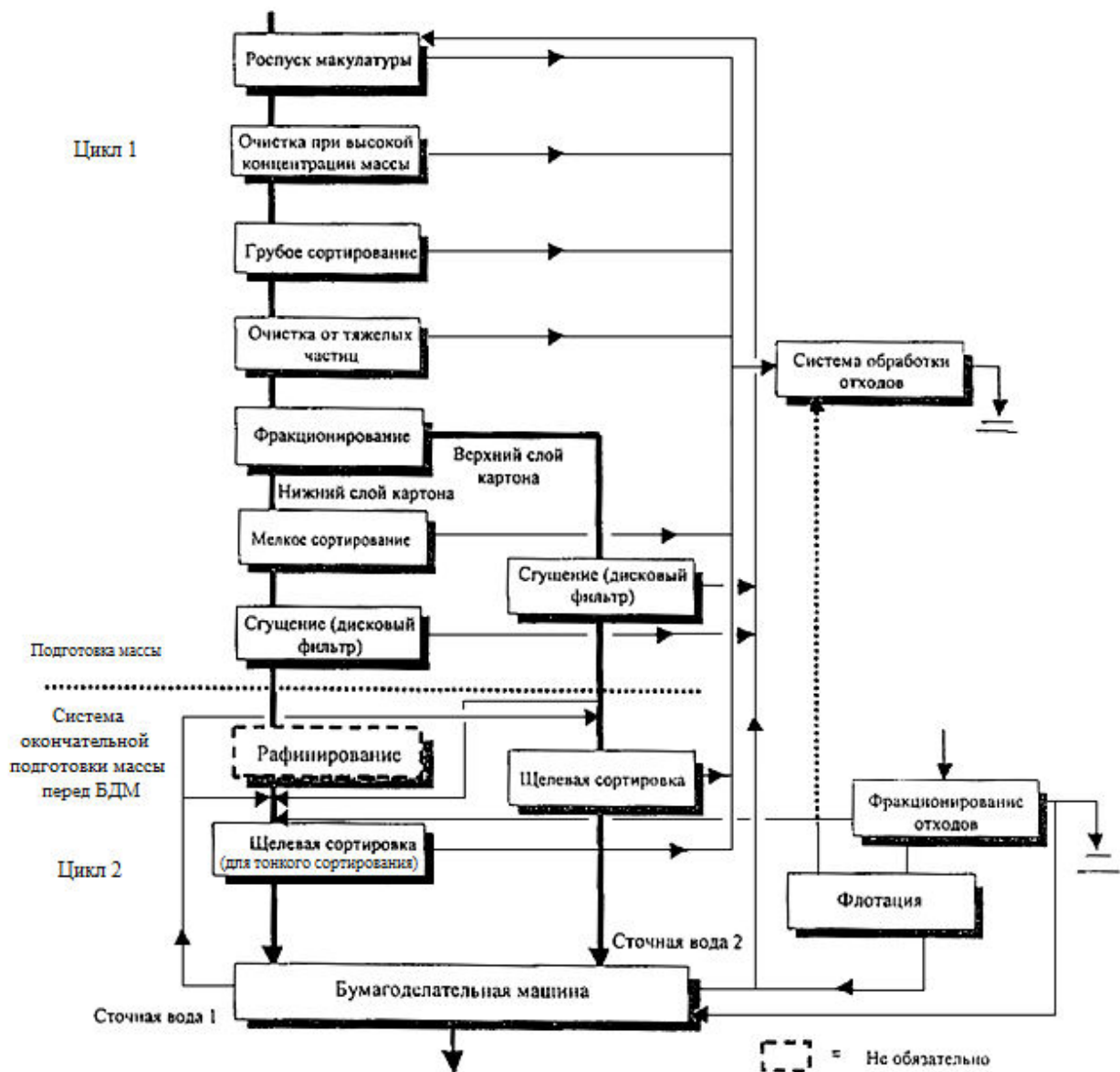


Рис. 12.3. Блок-схема производства ММ из использованной гофротары с двумя циклами:

- – отходы;
- ↓ – основной поток.

Технологическую блок-схему со ступенью промывки коротковолокнистой фракции (рис. 12.4) применяют в тех случаях, когда масса имеет повышенную зольность, что может вызывать снижение качества продукции и создавать трудности в производстве. Промывка этой фракции позволяет значительно (с 20 до 10 % и менее) снизить зольность массы после объединения двух выделенных фракций. Фильтрат от ступени промывки

подвергают очистке на установках микрофлотации с последующим использованием его в технологическом процессе.

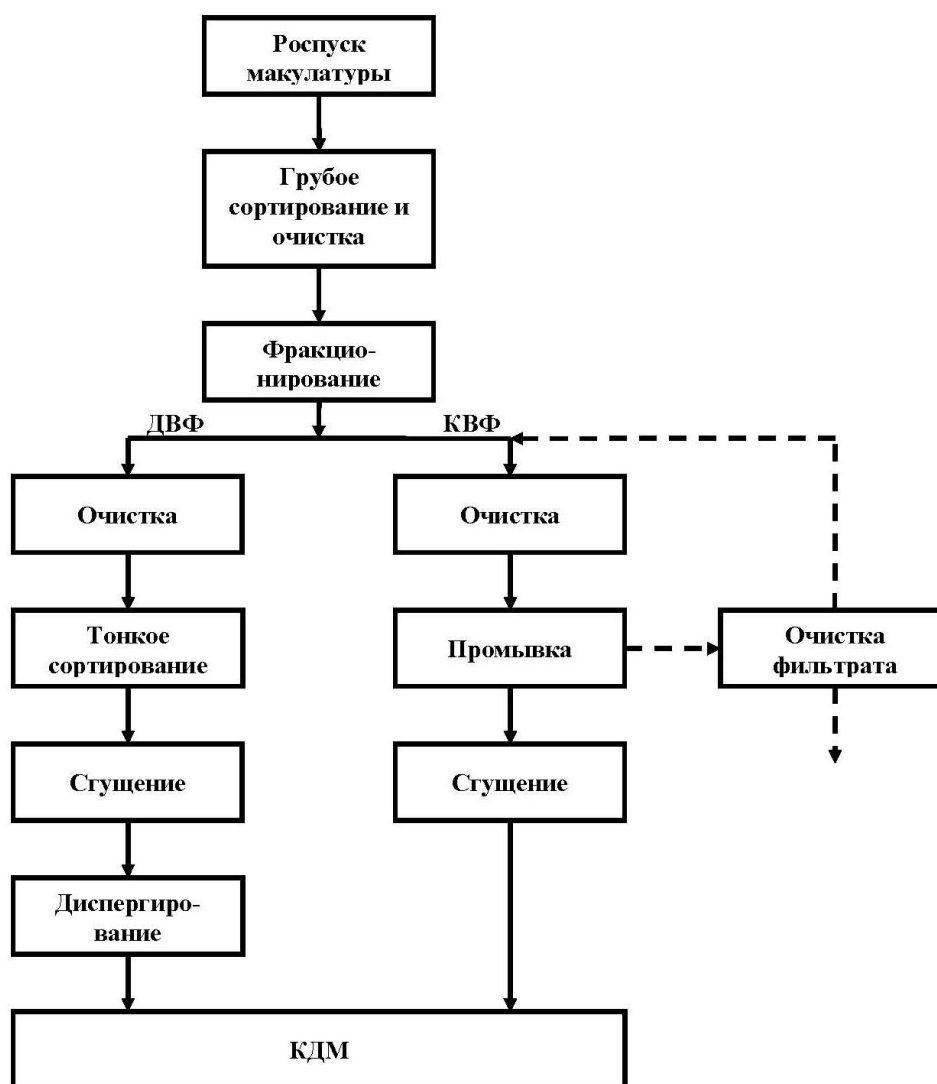


Рис. 12.4. Блок-схема переработки макулатуры для производства тест-лайнера

Типичная и достаточно универсальная технологическая блок-схема переработки макулатуры для производства тест-лайнера представлена на рис. 12.5.

Непрерывный роспуск макулатуры при низкой концентрации производится в гидроразбивателе. Продолжительность разволокнения определяется маркой макулатуры и режимом работы гидроразбивателя. После гидроразбивателя устанавливается бассейн разволокненной массы. Содержание нераспущенных фрагментов макулатуры в полученной ММ составляет примерно 20 %. Хранение ММ в бассейне в течение 30 мин при температуре около 50 °С способствует дополнительному набуханию волокон и сохранению их длины, при повышении гибкости и пластичности, на

стадиях дополнительного разволокнения, сортирования и размола, а также гомогенизации массы.

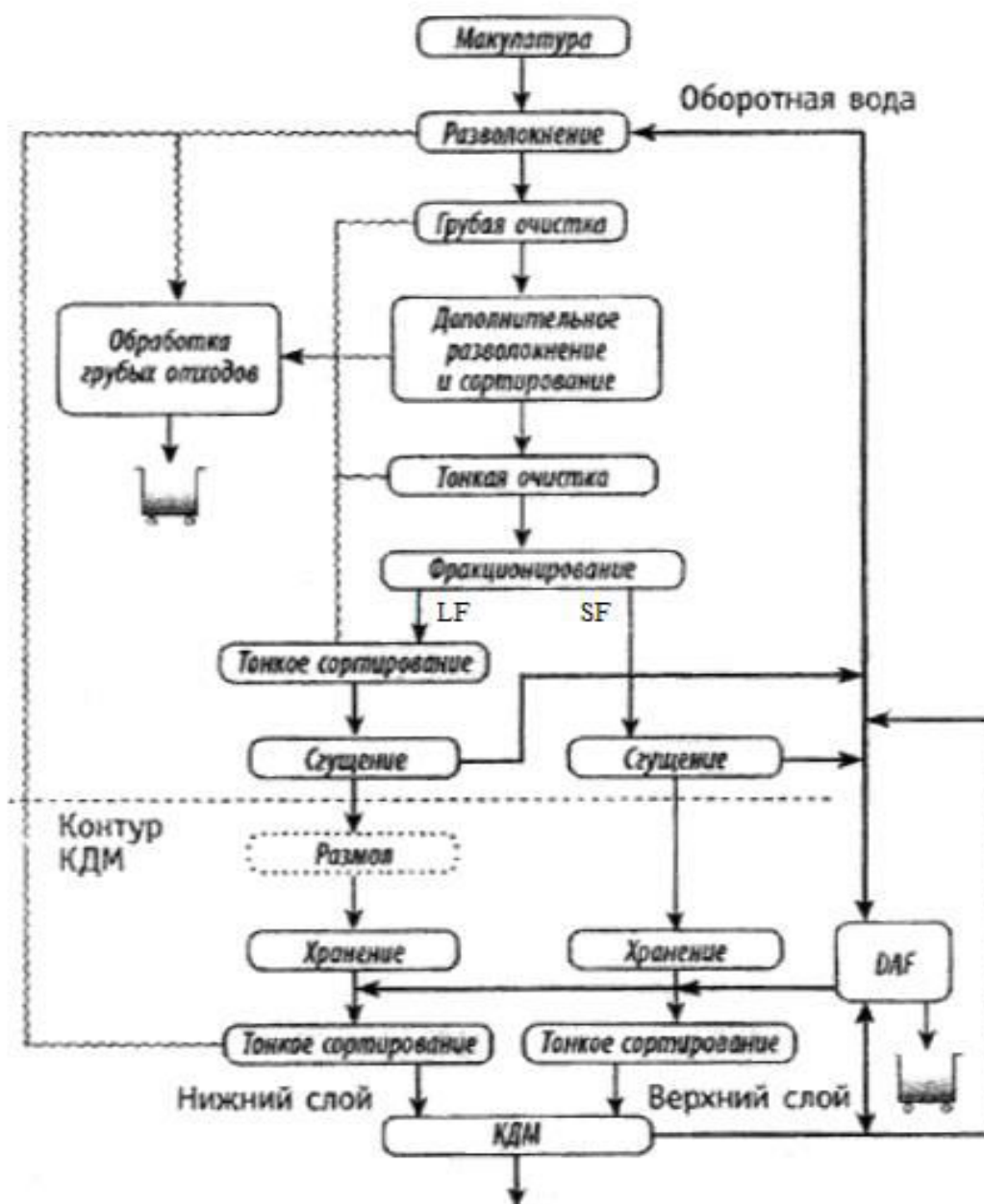


Рис. 12.5. Технологическая блок-схема переработки макулатуры для производства тест-лайнера

Технологическая схема включает грубую очистку ММ в гидроциклонах для удаления тяжелых включений. Очищенная масса подается в дисковую сортировку-сепаратор для окончательного разволокнения и предварительного сортирования. Предусмотрено две ступени сортирования (дефлокуляции). Диаметр отверстий сит дисковых сортировок на обеих ступенях составляет 2,4 мм. Диаметр отверстий сит может быть уменьшен при достаточной степени предварительного разволокнения. Содержание неразволокненных фрагментов макулатуры после дефлокуляции (грубого сортирования) может быть уменьшено до 4 %, и они обычно удаляются как

отходы на последующих стадиях тонкого сортирования и очистки ММ. Далее производится тонкая очистка ММ в гидроциклонах. Отделенные тяжелые отходы очистки ММ сгущают путем седиментации или фильтрации. Избыток полученной оборотной воды используется для разбавления ММ в технологической линии.

Фракционирование ММ осуществляется при низкой концентрации в напорных сортировках с шириной щелей сита 0,15 или 0,2 мм. Коротковолокнистая фракция ММ направляется на производство верхнего слоя двухслойного лайнера. Длинноволокнистая фракция ММ подвергается дополнительному сортированию в сортировке с шириной щелей сита 0,25 мм и используется для производства нижнего слоя лайнера. Длинноволокнистая фракция ММ содержит неразволокненные фрагменты макулатуры и большое количество посторонних включений, поэтому ее сортирование производится в три ступени.

На первой ступени тонкое сортирование длиноволокнистой фракции ММ производится в щелевой сортировке. Вторая ступень, предназначенная для сортирования отходов первой ступени, использует сортировки с круглыми отверстиями. Отходы после второй ступени сортирования направляются для снижения потерь волокна на третью ступень, где в сортировке используются щелевые сита. При низком содержании посторонних включений можно ограничиться двухступенчатым сортированием на щелевых сортировках. При повышенном содержании неразволокненных фрагментов макулатуры возможно использование дефлокулятора вместо сортировки второй ступени. Однако это может привести к измельчению загрязнений, что затруднит их удаление в дальнейшем. Сортированная ММ сгущается и подается в башню хранения. Контур водопользования системы подготовки ММ обычно отделен от контура БДМ. При сгущении ММ возможно одновременное удаление мелкого волокна и частиц зольных элементов. Получаемый фильтрат может подаваться в гидроразбиватель без дополнительной очистки или после очистки на установке микрофлотации (DAF).

Длинноволокнистая фракция ММ обычно подвергается фибриллирующему размолу с минимальным укорочением волокон для повышения механической прочности картона. Наконец, после тонкого сортирования в сортировках с шириной щелей сита 0,35 мм обе фракции направляются на КДМ. При скорости КДМ более 1000 м/мин необходимо предусмотреть оборудование для удаления воздуха из волокнистой суспензии.

Очистка с одновременной деаэрацией в данном случае не может осуществляться по двум причинам. Во-первых, на современных КДМ в напорном ящике концентрация массы составляет около 1,5 %, а при такой концентрации эффективность очистки и удаление воздуха в циклонах резко снижается. Во-вторых, масса в достаточной степени очищается на

предыдущих стадиях (до фракционирования), в связи с чем в данной схеме исключена дополнительная очистка ММ в гидроциклонах перед КДМ.

Выход ММ, полученной по данной технологической схеме, зависит от содержания загрязнений в исходном сырье и может достигать 93 %. При этом отходы тонкого сортирования ММ составляют только около 1,5 %.

Требования к качеству коробочного картона для упаковки различных продуктов определяются их спецификой. Особые требования предъявляются к жесткости на изгиб и гладкости поверхности картона, а также к белизне и чистоте волокнистого полуфабриката. Этого можно достичь при производстве многослойного коробочного картона за счет возможности использования наиболее подходящих волокнистых полуфабрикатов для каждого слоя.

Технологическая схема подготовки ММ для получения какого-либо слоя картона определяется видом используемой макулатуры. Например, переработка макулатуры из смеси газет и журналов для получения ММ верхнего подслоя картона предполагает включение в схему двухступенчатой флотации. Подготовка композиции различных слоев картона производится на отдельных технологических линиях с последующей подачей на КДМ многослойного формования.

В технологической схеме подготовки волокнистых полуфабрикатов для производства многослойного картона каждый слой должен иметь отдельный контур водопользования. Избыток оборотной воды должен подаваться в контур водопользования слоя более низкого качества. Следует иметь в виду, что на предприятиях полного цикла использование отдельных технологических линий переработки макулатуры может оказаться экономически нецелесообразным. При использовании в композиции внешних слоев лайнера привозного первичного волокна ММ применяют для производства средних (внутренних) или нижних слоев.

В дополнение к рассмотренным блок-схемам подготовки ММ для производства компонентов гофрокартона на рис. 10.1÷10.4 приведены и описаны различные варианты соответствующих схем.

## **12.2. ПОДГОТОВКА МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА САНИТАРНО–ГИГИЕНИЧЕСКИХ ВИДОВ БУМАГИ**

Если для производства санитарно-гигиенических видов бумаги (тишью) используется макулатура, то ее следует перерабатывать таким образом, чтобы из массы удалялись не только крупные фракции загрязняющих веществ, но и печатная краска, частицы клея, очень короткие волокна и, особенно, наполнитель. Значительное снижение зольности и содержания мелочи означает, что по сравнению с количеством макулатурного волокна, окончательно подготовленного для отлива на БДМ, исходной макулатуры потребуется на 25÷40 % больше. Это значит, что



большее количество отходов необходимо утилизировать и перерабатывать. Известны примеры, когда все отходы, включая осадок, сжигают на месте. При этом вырабатывается пар для внутреннего потребления, а получаемая при сжигании зола используется в производстве строительных материалов (цемента).

Необходимость обеззоливания макулатуры (удаления «мелочи» и наполнителя) до содержания  $1,0 \div 1,5$  % вызвана требованиями мягкости и высоких впитывающих свойств конечного продукта, а также обеспечения устойчивого режима работы БДМ. Например, в зависимости от марки макулатуры, используемой в качестве сырья, зольность может колебаться в пределах от 15 до 40 % (в случае макулатуры из мелованной бумаги без содержания древесной массы). При сравнении данных о твердых отходах, получаемых в процессе подготовки макулатурной массы, наблюдается прямая зависимость их количества от зольности исходной макулатуры.

Для большинства видов санитарно-гигиенической продукции, таких как туалетная бумага, бумажные полотенца и салфетки, может использоваться смесь газетной и книжно-журнальной макулатуры (МС-7Б, МС-8В) или макулатура из бумаги высокого качества (МС-1А, МС-2А). В основе композиции может использоваться и макулатура без содержания древесной массы, например, макулатура из офисной бумаги, если ее можно купить по приемлемой цене. Рассмотрим некоторые варианты схем подготовки ММ для этой продукции.

На рис. 12.6 представлена блок-схема подготовки ММ для производства серой туалетной бумаги при условии, что используется макулатура, содержащая минимальное количество наполнителя. Схема обеспечивает при минимальном количестве технологических операций низкую потерю волокна и достаточную однородность массы.



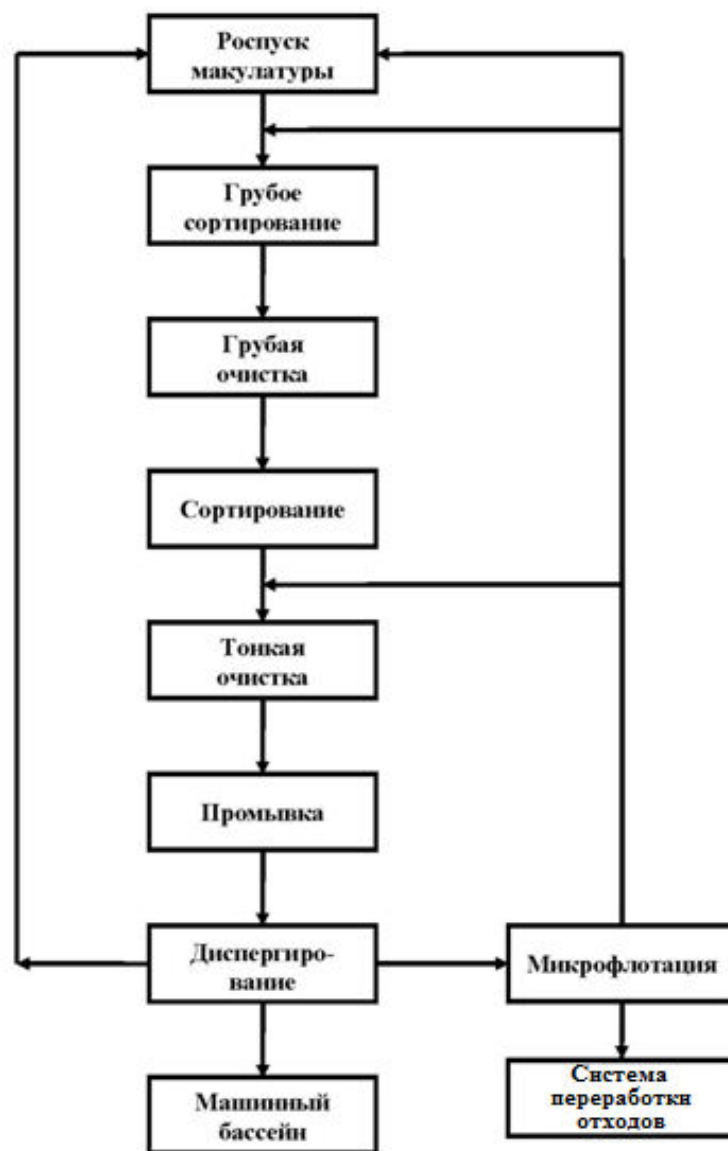


Рис. 12.7. Блок-схема подготовки массы для туалетной бумаги

Макулатура распускается в периодическом режиме в гидроразбивателе Helico при концентрации массы до 15 %. Распущенная масса после разбавления проходит предварительное сортирование в аппарате Dumping Poire с круглой перфорацией сита (см. рис. 4.12, ч. I).

Далее масса подвергается грубой очистке от тяжелых включений в вихревых очистителях, а затем сортируется в трехзонной щелевой сортировке (см. п. 5.2.3, рис. 5.15, ч. II). После сортирования масса разбавляется до концентрации порядка 1 % и обрабатывается в четырехступенчатой системе тонкой очистки. Перед каждой ступенью очистки производится разбавление потока отходов оборотной осветленной водой.

Следующим этапом обработки массы является промывка на установке типа DNT (см. п. 9.3.2, рис. 9.4), где из массы удаляются мелочь, частицы

наполнителя и печатной краски. Фильтрат от промывки массы направляется на осветление способом микрофлотации.

Промытая масса подается на термодисперсионную обработку. Перед ТДО масса обезвоживается до концентрации 28÷30 %. Образовавшийся при этом фильтрат используется в системе роспуска и предварительного сортирования массы. В процессе ТДО в массу для повышения степени белизны добавляют дитионит натрия.

Отходы от микрофлотации фильтрата и очистки массы (жидкий шлам) подаются в систему переработки отходов, где он сгущается с использованием флокулянтов в шнек-прессе до концентрации 50÷60 % и утилизируется.

На рис. 12.8 приведена блок-схема системы подготовки массы из макулатуры для производства санитарно-гигиенической продукции. Система имеет следующие особенности. Гидроразбиватель для роспуска макулатуры при высокой концентрации массы имеет перфорированное плоское сито, которое задерживает крупные фракции отходов. Оставшиеся отходы отделяются в перфорированном сортирующем барабане и обезвоживаются на шнек-прессе.

Основной поток массы обрабатывается сначала в сортировках и очистителях высокой концентрации (грубое сортирование и очистка). Далее ММ подвергается многоступенчатому тонкому сортированию.

Промывка происходит в две ступени при низкой концентрации массы и включает эффективное использование и рециркуляцию промывной воды. Эту воду необходимо очищать таким образом, чтобы печатная краска и другие взвешенные вещества удалялись путем флотации растворенным воздухом (микрофлотации) или другой эффективной технологией очистки воды.

Стадия промывки I ступени предназначена для удаления зольных элементов, очень коротких волокон и мелких частиц краски. После промывки масса подается на пресс для обезвоживания до концентрации 30 % для ТДО. Фильтрат от промывки очищается путем флотации с использованием катионных флокулянтов. Зольные элементы и очень короткое волокно удаляются, а вода возвращается в систему.

Масса прогревается в шнековом транспортере и затем обрабатывается в диспергаторе. При диспергировании происходит отделение остаточных частиц печатной краски от волокна, а также размягчение и равномерное распределение в ММ частиц печатной краски и липких веществ. Одновременно происходит смешение массы с отбельными химикатами, чаще всего пероксидом водорода. Пероксид водорода добавляют в ММ непосредственно перед диспергатором.

По завершении окислительной отбелилки осуществляется флотация ММ для дополнительного снижения содержания в ней печатной краски, зольных элементов и липких загрязнений.

Вторая ступень отбелилки (восстановительная) осуществляется в отбельных башнях с использованием FAS или дитионита натрия. Беленую массу промывают и сгущают до концентрации 30 %, что позволяет

предотвратить нежелательный перенос химических веществ и примесей на дальнейшие операции технологического процесса. Отбелка ММ восстановительными реагентами позволяет значительно повысить белизну и чистоту полученного волокнистого полуфабриката, но может ухудшить экономические показатели производства. Вторичная (восстановительная) отбелка может использоваться после ступени промывки II.

Затем масса подается либо в башню для хранения, либо на окончательную тонкую очистку с одновременной деаэрацией и сортирование при обработке массы в цикле БДМ.

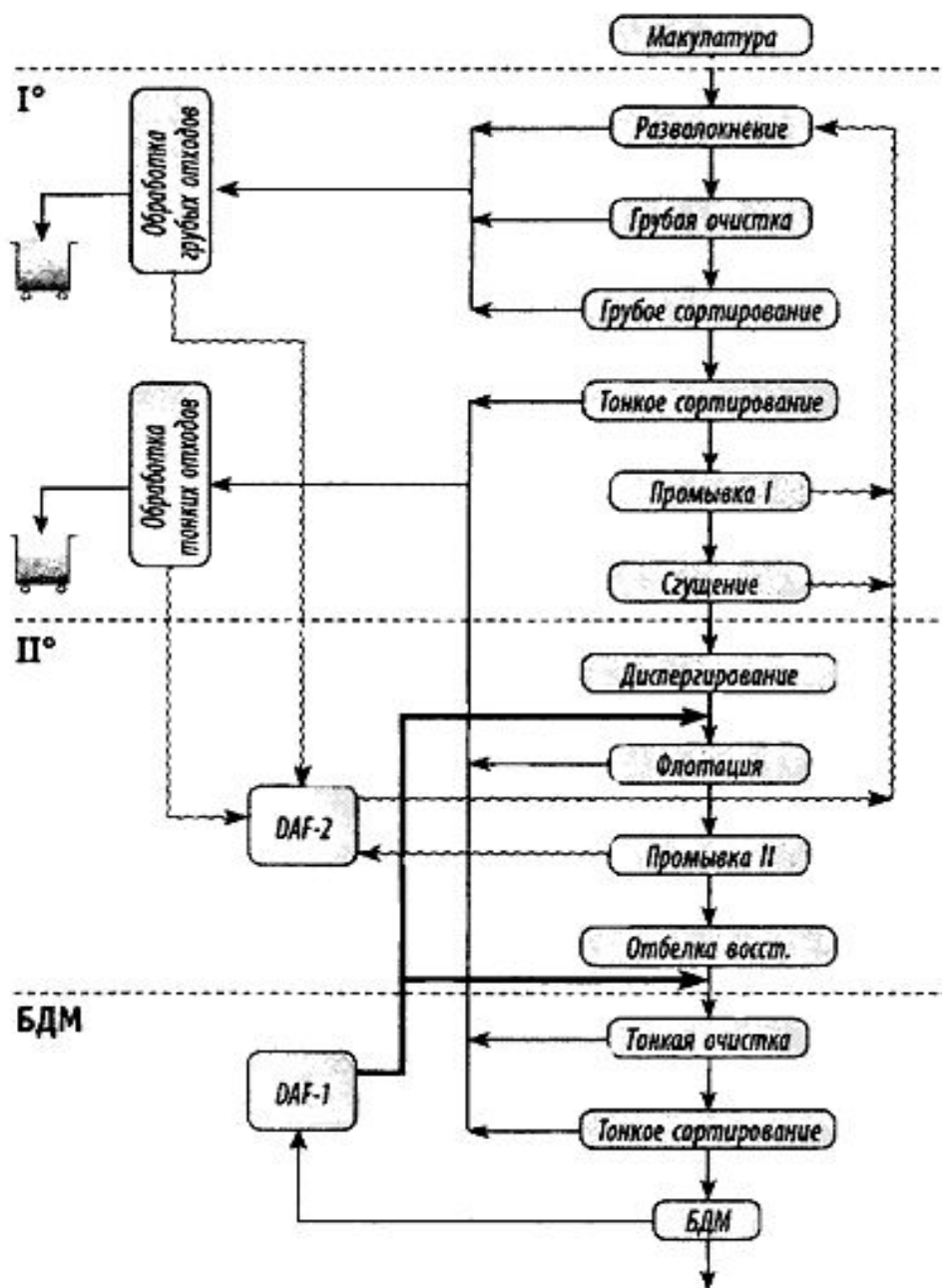


Рис. 12.8. Блок-схема подготовки ММ для производства санитарно-гигиенической продукции

Преимуществами данной схемы являются высокая эффективность очистки и возможность включения промывки I ступени непосредственно после операции тонкого сортирования вследствие низкой концентрации ММ. Использование II ступени промывки позволяет более эффективно удалить зольные элементы из ММ.

Обработка ММ на последующих стадиях технологического процесса позволяет получить высококачественный полуфабрикат для производства санитарно-гигиенических бумаг.

При наличии в макулатурном сырье волокон механической древесной массы в технологическую схему возможно включить вторую ступень флотации ММ. При этом первая ступень флотации может производиться в контуре 1.

В дополнение к рассмотренным схемам предлагается также блок-схема, представленная на рис. 5.21 и описанная в п. 5.4.2, ч. II.

### **12.3. ПОДГОТОВКА МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГАЗЕТНОЙ И ПИСЧЕ-ПЕЧАТНЫХ ВИДОВ БУМАГИ**

Для производства писчих и печатных видов бумаги (газетной, легкомелованной и суперкаландрированной) обычно используют облагороженное макулатурное волокно (ОМВ). Сырьем для получения белой ММ служит макулатура из смеси газет и журналов (МС-7Б, МС-8В), содержащая некоторое количество механической древесной массы, а также офисная макулатура с небольшой площадью запечатанных участков (МС-2А).

Многообразие используемых технологических схем принято классифицировать по двум признакам:

- по типу используемой технологии облагораживания ММ (промывка, флотация или их комбинация);

- по числу технологических циклов с собственным водооборотом (от одного до трех), применяемых в данной схеме. Заключительной стадией в каждом цикле следует считать сгущение массы до 10÷15 % перед передачей на дальнейшую обработку уже с меньшим количеством загрязнений.

Характерной чертой технологических схем для получения ОМВ для производства санитарно-гигиенической, писче-печатной и газетной бумаги является отсутствие операции фракционирования волокна. Это объясняется тем, что для этих видов продукции прочностные показатели не очень высокие, проблемы загрязнений решаются за счет достаточного количества соответствующих операций.

На рис.12.9 показана схема одноциклического производства ОМВ для газетной бумаги с использованием комбинации процессов промывки и флотации.

В отличие от писче-печатной бумаги, газетную бумагу обычного качества можно производить и в упрощенных системах с одной ступенью флотации, согласно блок-схеме 12.9. Как следствие этого, белизна продукта получается несколько ниже (примерно 55 % ISO), поскольку не применяется восстановительная отбелка. При этом количество соринок будет больше, а зольность выше (в пределах 14÷15 %), так как отсутствует вторичная флотация массы.

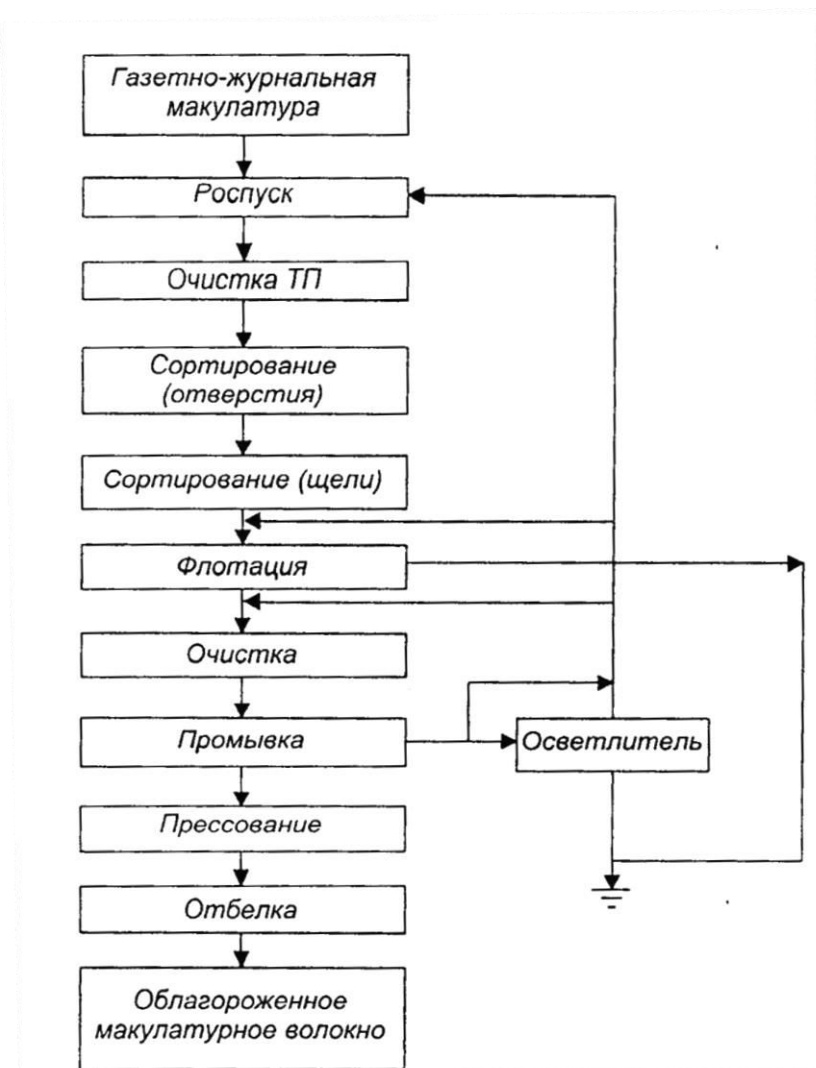


Рис.12.9. Блок-схема моноциклического производства ОМВ для газетной бумаги

При подготовке ММ для производства ОМВ для газетной бумаги макулатура после разволокнения подается в аккумулярующий бассейн, а затем направляется в гидроциклоны для грубой очистки. Грубодисперсные отходы узла разволокнения макулатуры и грубого сортирования ММ сгущаются на винтовом прессе. Тяжелые отходы грубой очистки ММ удаляются путем седиментации в специальных камерах.

Последующее сортирование ММ при средней концентрации массы производится на сортировках с круглыми отверстиями в три ступени по

каскадной схеме (см. рис.5.16а в разд. 5.3). Для эффективной тонкой очистки в гидроциклонах и последующего сортирования с использованием щелевых сит ММ разбавляют до концентрации 0,5 %. Разбавление производится оборотной водой, содержащей зольные элементы, что увеличивает их содержание в ММ.

Сортированная ММ направляется на флотационную установку для удаления частиц печатной краски, липких веществ, наполнителей и мелких волокон. Дальнейшая тонкая очистка, промывка и сгущение ММ до концентрации 30 % позволяют снизить содержание зольных элементов и тонкодисперсных примесей. Полученная высококонцентрированная ММ подвергается обработке отбеливающими веществами и направляется в аккумулялирующий бассейн ОМВ.

Недостатком моноциклической схемы является недостаточно высокая степень удаления частиц краски и золы. Использование многоциклической промывки или комбинации промывки и флотации позволило бы осуществлять процесс удаления указанных частиц более эффективно.

На рис. 12.10 представлен пример блок-схемы процесса производства массы для писче-печатных видов бумаги, включающей три цикла. В качестве сырья используется смешанная офисная макулатура, включающая смесь 50:50 % газетной (МС-8В) и книжно-журнальной (МС-7Б) макулатуры.

Первый цикл предназначен для получения и предварительной подготовки ММ. Он включает операции роспуска, грубой очистки в гидроциклонах, грубого сортирования на круглых, а затем щелевых ситах, предварительной флотации с последующей тонкой очисткой и сортированием, после которых производится промывка, сгущение, первое диспергирование массы, совмещенное с предварительной отбелкой.

Второй цикл включает разбавление и флотацию массы, далее следует вторичное сгущение и второе диспергирование, после которого производится вторая отбелка.

Третий цикл – самый короткий. Он начинается с разбавления массы для второй флотации и заканчивается заключительным сгущением полученного ОМВ.

Для системы характерны двухступенчатая флотация и отбелка в сочетании с промежуточным термодиспергированием массы. Для производства газетной бумаги с улучшенными свойствами и белизной после ступени сгущения массы используется обработка ее дитионитом натрия (отбелка). Для производства графической бумаги из макулатуры особенно важны правильная организация системы оборота воды и ее очистка. Важно наличие отдельных циклов по воде, в каждом из которых соблюдается принцип противотока (см. п. 11.5.2). Линии удаления печатной краски могут иметь два, три или четыре цикла флотации.

На рис. 12.11 показана технологическая линия с двумя циклами переработки в системе подготовки массы. Подготовка ММ для газетной бумаги улучшенного качества обычно производится системами с двумя



ступенями флотации, в которых достигается белизна около 60 % ISO (после восстановительной отбели), низкое содержание загрязняющих веществ, низкая зольность (в пределах 10÷12 %) после завершающей ступени флотации, и низкое содержание липких веществ. Последнее достигается за счет дополнительного сортирования массы на щелевых сортировках.

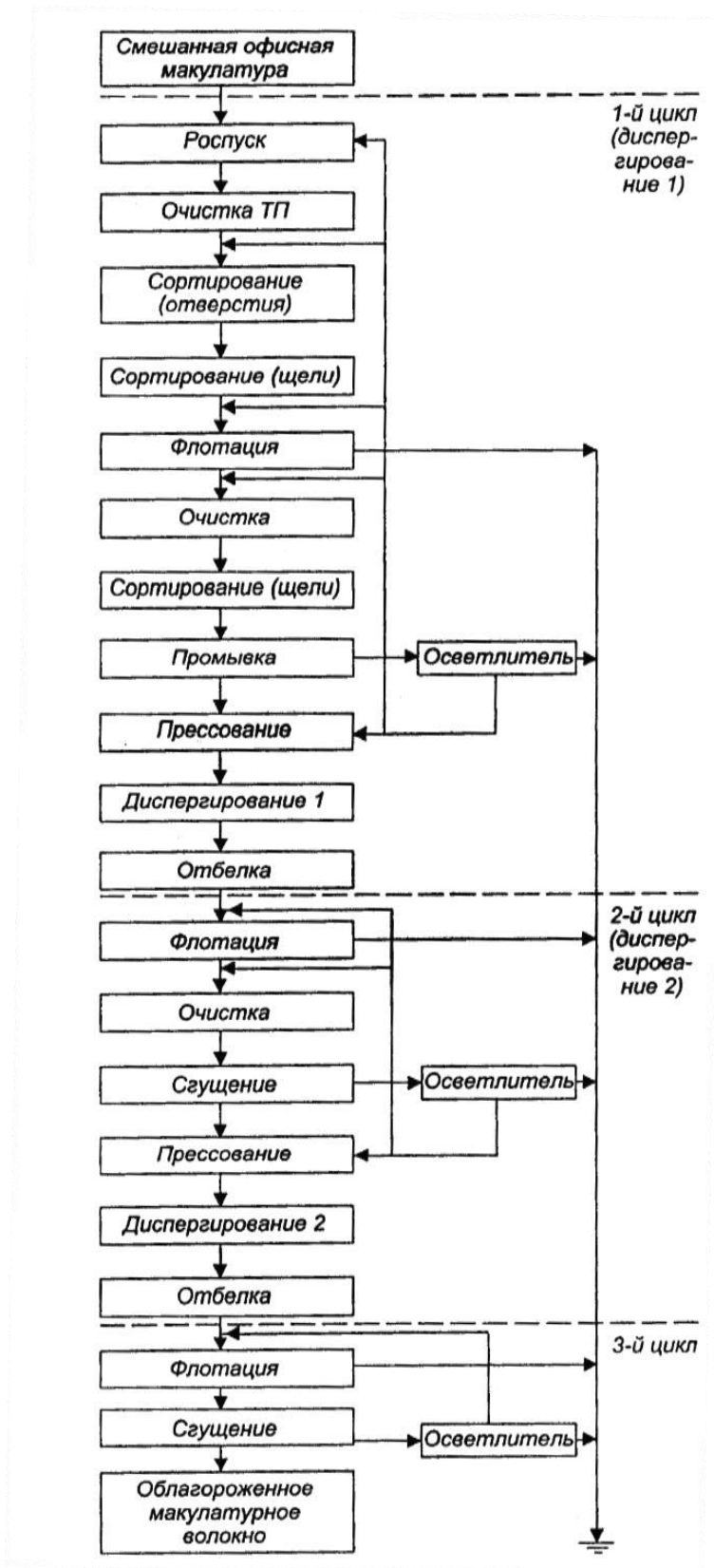


Рис.12.10. Блок-схема производства ОМВ для писче-печатных видов бумаги

В отличие от писче-печатной бумаги, газетную бумагу обычного качества можно производить в упрощенных системах с одной ступенью флотации. Как следствие этого, белизна продукта получается несколько ниже (примерно 55 % ISO), поскольку не применяется восстановительная отбелка. При этом количество соринок будет больше, а зольность выше (в пределах 14÷15 %), так как отсутствует вторичная флотация массы.

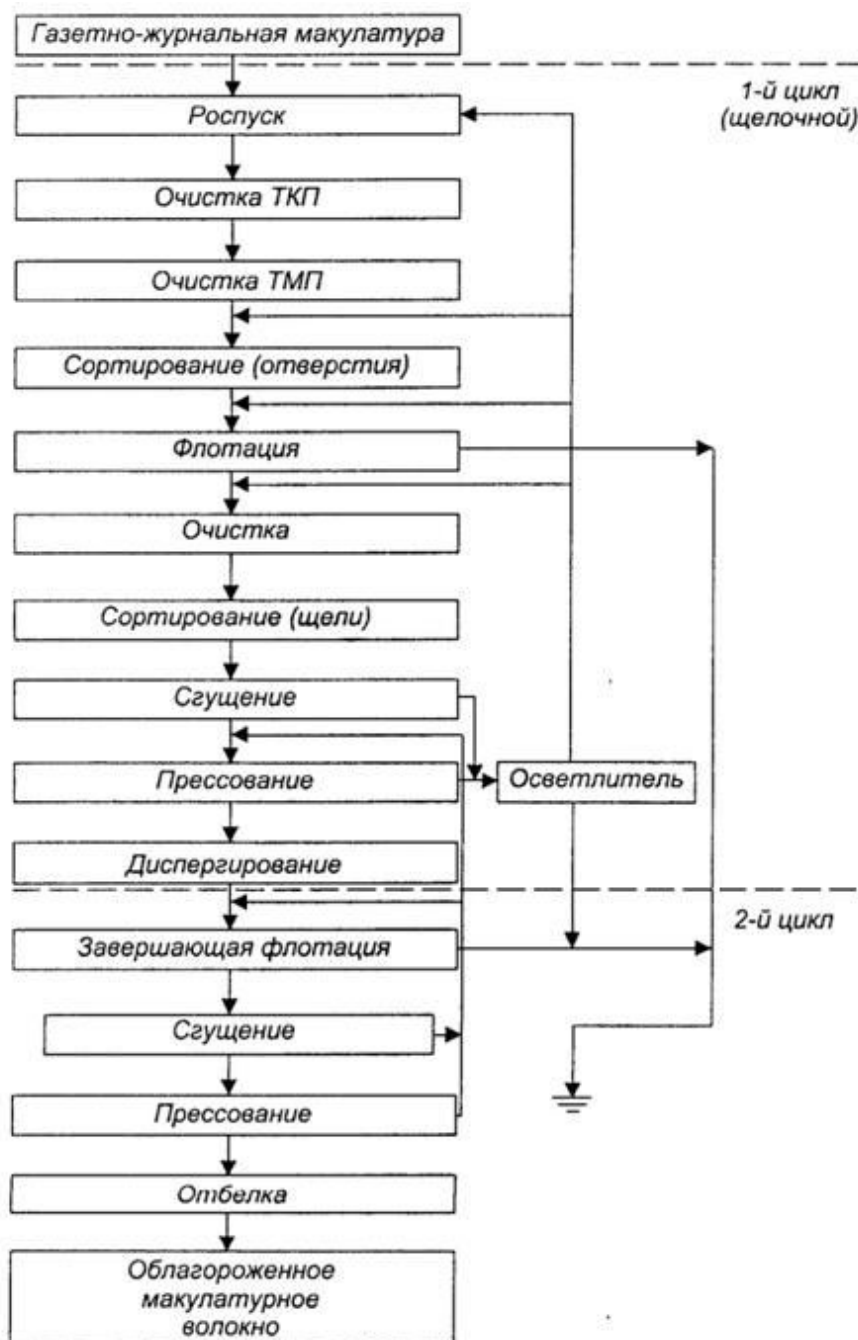


Рис. 12.11. Блок-схема производства ОМВ с двумя технологическими циклами

Макулатура также используется для производства печатной и писчей бумаги невысокого качества. Эти сорта макулатуры обычно содержат древесные волокна механической массы и предназначены для производства офисной бумаги. В качестве сырья также используется макулатура с постоянной пропорцией газетной и книжно-журнальной бумаги. Для подготовки массы применяют обычно такие же системы с флотацией, какие используются для производства газетной улучшенной бумаги.

Для производства писче-печатных видов бумаги высокого качества предлагается блок-схема (с двумя циклами и отдельным циклом БДМ) получения ММ (рис. 12.12).

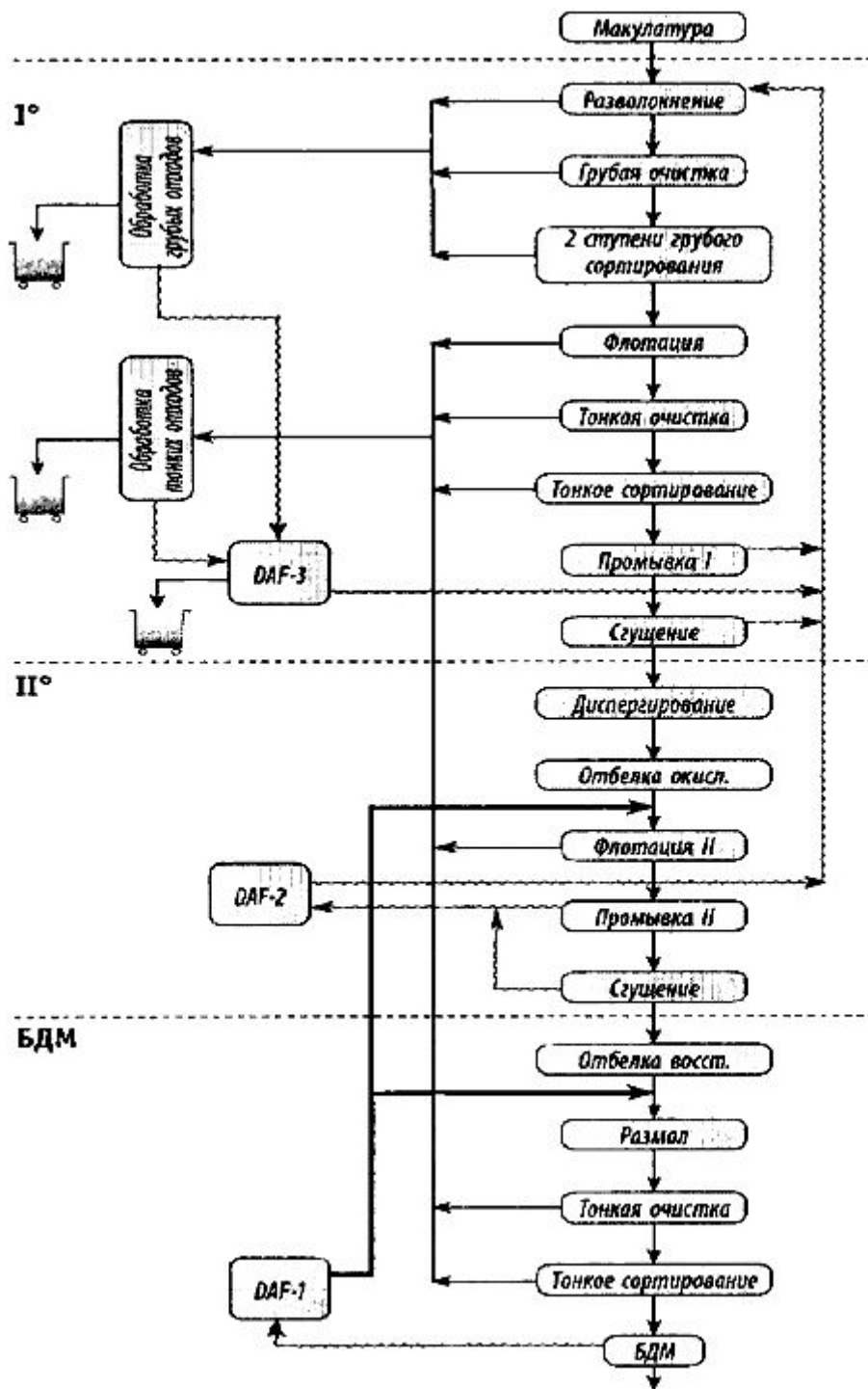


Рис. 12.12. Принципиальная блок-схема подготовки ММ для производства писче-печатных видов бумаги высокого качества

Первый цикл включает грубую очистку и сортирование предварительно разволокненной массы с использованием щелевых сит после сортировок с круглыми отверстиями. Для достижения оптимальной белизны ММ и удаления зольных элементов в этом цикле используют процессы предварительной флотации и промывки массы. При этом необходимо ограничивать степень удаления мелкого волокна и наполнителя. Цикл заканчивается сгущением массы перед диспергированием. Фильтрат от промывки и сгущения ММ обрабатывается на установке микрофлотации для возврата мелкого волокна в поток ММ.

Второй цикл предусматривает процесс диспергирования сгущенной массы, сопровождаемый первичной окислительной отбелкой пероксидом водорода. Диспергирование ММ проводится при высоком удельном расходе энергии (более 100 кВт·ч/т). Отбелка пероксидом водорода не только повышает белизну массы, но и обесцвечивает сами волокна. После отбелки масса разбавляется и направляется на вторичную флотацию и промывку. Цикл заканчивается сгущением массы перед вторичной отбелкой.

Для вторичной отбелки (восстановительной), проводимой в цикле БДМ, используют дитионит натрия или FAS, что позволяет дополнительно повысить степень белизны ММ. После отбелки восстановительными реагентами осуществляется дополнительный размол ММ для обработки грубых волокон термомеханической массы (ТММ), добавляемой в композицию, что способствует улучшению качества получаемой массы. Размол волокон улучшает бумагообразующие свойства ММ, используемой для производства легкомелованной и суперкаландрированной бумаги. После размола масса подвергается тонкой очистке и тонкому сортированию.

Макулатурная масса, очищенная от печатной краски, содержащая волокна целлюлозы, имеет более высокие показатели механической прочности, чем ММ, содержащая волокна механической древесной массы. Такая масса, содержащая волокна целлюлозы используется также в композиции писче-печатных видов бумаги, в сочетании с вторичными волокнами. В качестве примера, приводим дополнительные данные о некоторых реализованных схемах получения обесцвеченной ММ для изготовления белых видов бумаги.

Так, технологическая схема, предназначенная для получения обесцвеченной ММ (фабрика газетной бумаги UPM-Kymmene производительностью 900 т/сут в Великобритании), начинается с двух ленточных конвейеров, подающих кипы макулатуры в барабанный гидроразбиватель типа FiberFlow (рис. 4. 17 в п. 4.2.2, ч. I) для роспуска. После этого проводят предварительное сортирование массы в напорных дисковых сортировках и удаление тяжелых загрязнений в очистителях средней концентрации. Затем следует двухступенчатая флотация ММ во флотационных камерах типа EcoCell (рис. 9.9 в п. 9.4.2). После первой ступени флотации ММ подвергают тонкому сортированию в многоступенчатых напорных сортировках со щелевыми шлицами шириной 0,15 мм. Для дисперсионной обработки ММ применяют ступенчатое сгущение – сначала на дисковых фильтрах и затем в шнековых прессах до концентрации 30 %.

Технология производства обесцвеченной ММ из смеси газетной и журнальной макулатуры при средней зольности 24÷26 % для выработки легкой журнальной мелованной бумаги (бумажная фабрика LEIPA производительностью 1000 т/сут в Германии) включает мягкий роспуск с помощью установки Voith TwinDrum с двумя горизонтальными барабанами (см. разд. 4.2.2, ч. I). Затем следуют операции сортирования и очистки ММ с

помощью очистителей высокой концентрации, центриклинеров, напорных сортировок с круглыми отверстиями диаметром 1,6 мм и напорных сортировок низкой концентрации с профильными щелевыми ситами с шириной щелей 0,15 мм.

Для отделения печатной краски от волокон предусмотрены две термодисперсионные установки. После разбавления массы проводят флотацию в две ступени на флотационных камерах типа EcoCell. Для сгущения ММ используют дисковый фильтр и шнековые прессы. Затем предусмотрена отбелка ММ в две ступени растворами  $H_2O_2$  и  $Na_2S_2O_4$  в окислительной и восстановительной среде. Для улавливания волокна и очистки оборотной воды от взвешенных веществ применяют флотационные ловушки с растворенным воздухом.

Для производства газетной бумаги из 100 % газетной макулатуры линия для получения обесцвеченной ММ (фабрика газетной бумаги производительностью до 1260 т/сут PT Adiprima Suraprinta в Индонезии) включает: барабанный гидроразбиватель, напорную сортировку для предварительного сортирования массы, флотационную установку, диспергатор, гидроциклоны, сгуститель и отбельную башню ММ высокой концентрации для обработки раствором  $H_2O_2$ .

Общим недостатком рассмотренных выше технологических схем подготовки ОМВ для получения писче-печатных видов бумаги является то, что они экономически эффективны только при производительности потока 250 т/сут и более. Это, прежде всего, связано с необходимостью проведения большого количества технологических операций (ропуск, сортирование, очистка, флотация, промывка, отбелка и т.д.) и использования соответствующего оборудования. Кроме того, требуется большое количество вспомогательного оборудования (насосы, бассейны, мешалки, трубопроводы, арматура) для функционирования технологической схемы. Поэтому перспективным направлением развития технологических схем подготовки макулатурного волокна является разработка и применение нового альтернативного аппаратного оснащения процессов, совмещающего в себе проведение одновременно нескольких технологических операций с минимальным использованием вспомогательного оборудования.

Одним из примеров такого подхода к аппаратному оформлению технологических процессов подготовки макулатурного сырья может служить модульная система Continuous Batch Recovery System (CBRS), разработанная фирмой «Regenex» и позволяющая значительно сократить число технологических операций. На рис. 12.13а-г приведены технологические схемы переработки макулатурного сырья различных видов с использованием системы модулей CBRS, совмещающие в себе стадии роспуска и промывки.

Применение таких модулей возможно и на ступени отбелки. По данным фирмы, применение такого аппаратного оформления технологических схем делает рентабельной переработку даже 3 т макулатуры в сутки. Внутрицеховая очистка воды от ступеней сгущения включает

микрофлотацию, которая позволяет снизить нагрузку по коллоидным и анионным веществам, содержащимся в технологической воде, а также поддержать зольность бумаги на требуемом уровне. Скоп от технологических линий и установок флотации поступает на обработку и утилизацию.



Рис.12.13. Блок-схемы переработки различного сырья с применением модульных установок CBRS:

- а* – смешанная офисная макулатура, содержащая лазерную печать;
- б* – газетная макулатура; *в* – картонная упаковка соков и молока;
- г* – макулатура, ламинированная пленками

Очевидной задачей для технологических схем подготовки вторичного волокна является также снижение удельных расходов энергии и химикатов. В связи с этой целью, в частности, наблюдается расширение использования различных ферментов, которые обеспечивают возможность удаления загрязнений при температуре 30÷50 °С без добавки традиционных химикатов (рН 4÷8).

### 13. ОЦЕНКА СВОЙСТВ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ И МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Для получения стабильных качественных показателей бумаги и картона необходимо использовать волокнистые полуфабрикаты, обладающие достаточно постоянными определенными свойствами. Если в первичных полуфабрикатах свойства волокнистой массы определяются, в основном, технологией их получения и используемым видом растительного сырья, то во вторичных полуфабрикатах (макулатуре) свойства волокон и получаемой макулатурной массы практически непредсказуемы.

Это связано, во-первых, с тем, что макулатура содержит в своем составе волокна различного происхождения и состава и, во-вторых, – с неопределенностью количества циклов повторной ее переработки. Состояние волокон в процессе многократной переработки существенно изменяется и не поддается надежному прогнозу. Поэтому регулярный, а в идеале, непрерывный контроль свойств волокон в ММ является особенно актуальной задачей при производстве картонно-бумажной продукции с использованием макулатуры.

Все существующие принципы оценки свойств ММ и состава волокна в ней можно разделить по четырем группам:

- определение этих свойств по результатам испытаний готовой продукции после изготовления ее на БДМ;
- определение этих свойств путем изготовления и испытания лабораторных отливок;
- определение указанных свойств до процесса отлива бумаги и картона непосредственно в потоках процесса подготовки ММ;
- определение внутреннего и внешнего состояния отдельных волокон, степень их кристалличности и других показателей. Эта группа оценки свойств представляет интерес чаще всего в научно-исследовательских целях.

Первая группа определения свойств, т. е. оценка свойств уже произведенной продукции, носит итоговый характер и констатирует фактически сложившуюся ситуацию. Она не позволяет прогнозировать и оперативно реагировать на получаемый результат.

Вторая группа – испытание приготовленных отливок дает достаточно большой объем информации, но занимает много времени и весьма трудоемкий процесс. Кроме того, полученная информация не всегда может адекватно отражать реальные показатели готовой продукции.

Поэтому по настоящему информативной и оперативной является третья группа определения свойств волокна и ММ. Реализация этой группы оценки требует наличия соответствующих приборов и автоматизации их работы в производственных условиях, что не для всех предприятий экономически доступно и рентабельно.

При испытаниях продукции и лабораторных отливок обычно используют стандартные методики определения таких показателей, как:



- сопротивление разрыву;
- сопротивление раздиранию;
- сопротивление продавливанию;
- сопротивление излому;
- относительное удлинение до разрыва;
- объемная масса и масса квадратного метра;
- сорность;
- степень белизны и др.

Перечень показателей ММ, оцениваемых непосредственно в производственном потоке ее подготовки отличается от вышеприведенного и дает информацию, позволяющую оперативно регулировать режимы соответствующих процессов для получения оптимальных результатов. К этим показателям относятся:

- фракционный состав и средняя длина волокон;
- зольность массы;
- степень помола;
- равновесное содержание воды и водоудерживающая способность;
- характеристики конфигурации волокон.

В настоящее время важнейшим инструментом для оценки бумагообразующих свойств макулатурных волокон является лабораторный анализ. Всесторонний анализ макулатурного волокна позволяет не только получить достаточно объективную оценку свойств ММ, но и дать необходимую информацию для оптимизации технологического процесса ее подготовки в условиях нестабильного качества макулатуры.

Наиболее распространенные технологические параметры, контролируемые соответствующими приборами в лабораторных условиях и на производстве при использовании макулатуры, представлены в табл. 13.1.

Таблица 13.1

Технологические параметры, контролируемые при работе с ММ

Параметр	Прибор
Степень помола	аппарат Шоппер-Риглера, прибор С.С.Ф.(канадский стандарт)
Электропроводность	кондуктометр
Кислотность среды	pH-метр
Катионная потребность	анализатор заряда частиц, индикаторное титрование
Электрокинетический потенциал	анализатор электрокинетического потенциала
Мутность	нефелометр (турбидиметр)

Параметр	Прибор
Показатель водоудерживающей способности волокна (WRV)	центрифуга со специальным приспособлением

Окончание табл. 13.1

Параметр	Прибор
Определение остаточного содержания крахмала	спектрофотометр, рефрактометр
Окисляемость, редокс-потенциал	титрование, редокс-электрод
Длина волокна	анализатор длины волокна, микроскоп, прибор Иванова
Способность к размолу	мельницы ЦРА и PFI; лабораторный ролл (с последующим изготовлением образцов на ЛОА)
Фракционирование волокон (отделение костры и примесей)	фракционатор Соммервиля, классификатор Бауэра-Макнетта
Определение липких веществ, макро- и микропримесей	фракционатор Пулмарк, Мастер Скрин

Обычно анализ ММ, в основном, включает стандартные методы, используемые для массы из первичных полуфабрикатов, но с определенной долей специфики. При этом некоторые методы анализа (например, определение содержания загрязнений) имеют большее значение именно при работе с вторичным волокном, чем с первичным.

Стоит отметить, что некоторые методики не в полной мере отвечают требованиям лабораторного анализа ММ. Так, например, при работе с ММ практически полностью пропадает смысл в определении степени помола. Это обусловлено тем, что макулатурная масса является сложной многокомпонентной полидисперсной системой, состоящей не только из волокон различного происхождения, но и широкого спектра неволокнистых компонентов (загрязнений, деградированных химикатов с предыдущих циклов переработки и т.д.). При этом указанные неволокнистые включения оказывают достаточно сильное влияние на результаты определения степени помола ММ. Например, наличие крахмалопродуктов в ММ приводит к завышению степени помола водно-волокнутой суспензии по сравнению со степенью помола чистого волокна примерно на треть. Поэтому в литературе для описания степени помола ММ появились такие термины, как

«псевдопомол», «кажущаяся степень помола», «нетехнологическая степень помола».

В связи с этим, более полезной будет информация о структурно-морфологических характеристиках вторичного волокна и фракционном составе волокон.

### **13.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА ВТОРИЧНЫХ ВОЛОКОН**

К структурно-морфологическим характеристикам макулатурного волокна относят его длину, ширину, фактор формы, гибкость, свойства поверхности и др. Целью определения этих характеристик волокон является поиск корреляции между ними и качеством конечного продукта. Полученные данные позволяют оптимизировать процессы подготовки ММ. Общие закономерности влияния свойств волокон на качество продукции из них суть следующие.

Средняя длина волокна влияет на прочность, но может негативно влиять на процесс формования полотна. Более тонкие волокна дают более хорошее и равномерное формование. Грубость волокна оценивает толщину его стенок как их массу на единицу длины фиксированных волокон. Фактор формы – соотношение длины волокна, измеренной по двум крайним точкам, к его реальной длине. Фактор формы влияет на показатели прочности бумаги. Гибкость волокон – это разница факторов формы с меньшим, а затем с большим расходом воды в измерительной ячейке. Рост фактора формы дает заметное повышение разрывной прочности отливок, полученных из неразмолотых волокон. Изломы волокон (локальные деформации) вызывают их местные ослабления. Информация о количестве изломов при оценке свойств вторичного волокна может оказаться более важной, чем информация об их длине.

Существует несколько методов определения средней длины волокна. Наиболее широко применяется метод определения ее среднеарифметического (среднечислового) значения. Однако значение среднеарифметической длины волокон не дает возможности оценить долю каждой отдельно взятой фракции. При другом методе оценки длины волокна – определении средневзвешенной длины в расчет принимают массовую долю фракций с разной длиной. Поэтому среднеарифметическая длина волокна всегда меньше средневзвешенной длины, и это различие тем больше, чем больше содержание в волокнистом полуфабрикате коротких волокон.

Одной из интегральных характеристик относительно фундаментальных свойств вторичных волокон является средняя критическая длина волокна. Этот показатель характеризует прочность отдельного волокна, его адгезионную способность, грубость и способность к уплотнению во влажном состоянии. Данная характеристика отражает тот факт, что при разрыве

бумажного материала на линии разрыва часть волокон, с большей чем средней критической длиной, разрушается (рвется), а часть, с меньшей, чем средней критической – вытаскивается (выдергивается) из структуры полотна без разрушения.

В зависимости от различных технологических факторов на линии разрыва может разрушаться от 40 до 70 % волокон. Для повышения физико-механических показателей бумажно-картонных материалов предпочтительно преобладание процесса разрушения волокон над процессом выдергивания, т.е. преобладание волокон с большей, чем средней критической длины.

В настоящее время структурно-морфологические характеристик вторичных волокон (средневзвешенную длину волокна, его грубость, излом и угол изгиба волокон), а также фракционный состав макулатурной массы определяют с помощью современных автоматизированных приборов – анализаторов волокна. В мировой практике широкое распространение получили анализаторы волокна типа Fiber Tester, Fiber Meister, Kajaani и др.

Такие анализаторы параметров волокна благодаря лазерной технологии выполняют быстрые и хорошо воспроизводимые измерения в диапазоне длин волокон от 0,01 до 7,60 мм с разрешающей способностью 50 мкм. Чувствительный детектор обеспечивает скорость проведения измерений порядка 80 волокон в секунду. Таким образом, анализ 10 000 волокон занимает всего 6÷8 мин. Момент окончания анализа определяется после измерения всех волокон пробы автоматически. На основе этих измерений анализатор вычисляет проекционную и истинную длину волокна, средневзвешенную длину волокна, фракционный состав, индекс излома, ширину и скрученность волокна, и другие характеристики исследуемой волокнистой суспензии.

Прибор состоит из оптического блока измерений на основе лазерных технологий, микрокомпьютера для обработки и управления данными, вакуумного насоса, электронных устройств, дисплея с клавиатурой для ввода параметров и наблюдения за ходом работы. Общий вид анализатора и принципиальная схема прибора (на примере Kajaani FS300) представлена на рис. 13.1. Принцип работы анализатора волокна заключается в следующем: сосуд с пробой (50 мл) помещают на поворотную плату прибора, на котором одновременно может находиться до 6 проб.

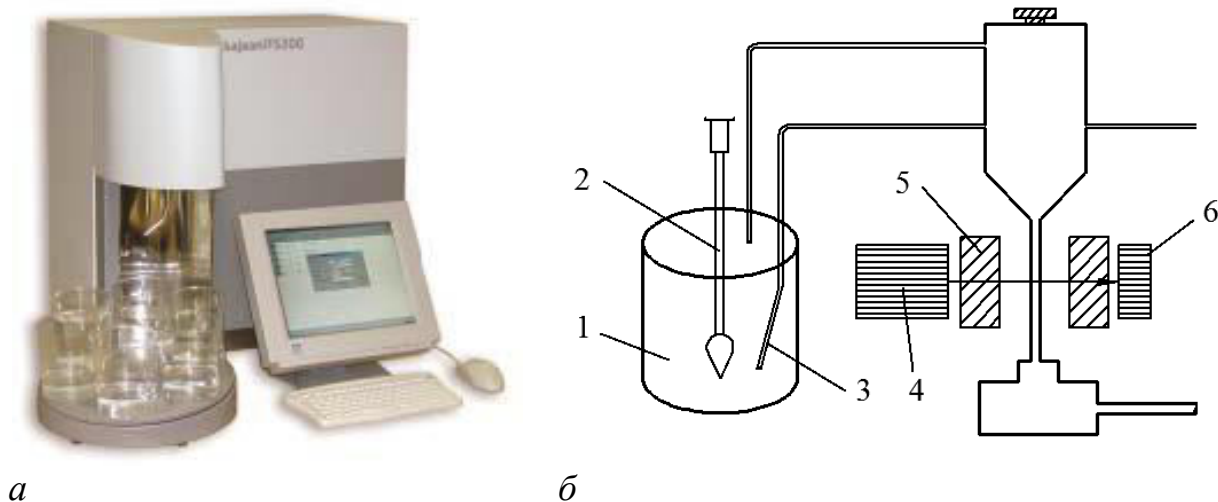


Рис. 13.1. Общий вид (а) и принципиальная схема (б) анализатора волокна Kajaani FS300:

1 – сосуд с пробой; 2 – мешалка; 3 – капилляр;  
4 – источник лазера; 5 – оптическая система; 6 – детектор

После получения команды оператора анализатор автоматически погружает в пробу специальный капилляр, перемешивающее устройство и трубку, через которую подается вода для разбавления. После разбавления до необходимого объема и при постоянном перемешивании капилляр с помощью вакуум-насоса втягивает пробу. В капилляре диаметром 0,4 мм волокна двигаются через оптический блок, состоящий из лазерного излучателя и детектора, где и происходит измерение характеристик волокна. Сигнал из детектора усиливается и переводится в цифровой вид для вычислений в микропроцессоре. После окончания тестирования анализатор производит расчеты и выводит полученные результаты на экран монитора и на бумажный носитель с помощью принтера.

Пробоотборник может забирать определенный объем массы в любой точке трубопровода на линии подготовки, причем давление и скорость потока в трубопроводе не влияют на отбираемый объем. Разбавление и дезинтеграция образца происходит прямо в пробоотборнике через сопло, куда подается струя воды. Грубые частицы отделяются от образца, как только он попадает в камеру отбора пробы, и затем образец через тонкую пластиковую трубку подается в прибор. Наличие пластиковой трубки позволяет располагать прибор на достаточно большом расстоянии от пробоотборника. Автоматизированная система управления позволяет отбирать пробы из нескольких точек, расположенных в разных местах потока в режиме онлайн. Все это приобретает особую актуальность при подготовке массы из вторичного сырья.

### 13.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОУДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И СТЕПЕНИ ОРОГОВЕНИЯ МАКУЛАТУРНЫХ ВОЛОКОН

Одним из наиболее информативных методов оценки изменений состояния волокон в процессе подготовки ММ является определение показателя водоудерживающей способности. Под водоудерживающей способностью волокна (*WRV*) понимается потенциальная способность волокна к набуханию (впитываемость) в воде или в другой жидкости. Из всей влаги, вызывающей набухание волокон растительного происхождения, при центрифугировании массы не отделяется только часть влаги, связанная с волокном, а свободная влага и часть влаги, содержащейся между волокнами, удаляется. Абсолютное значение водоудерживающей способности зависит от свойств массы и условий проведения измерений.

Водоудерживающую способность волокнистой суспензии обычно определяют по методу Джайме. Этот метод оценки *WRV* основан на определении массы воды после удаления ее центрифугированием влажного образца при ускорении 3000 g. Допускается центрифугирование при 900 g до  $WRV \leq 180$  %. Затем определяют массу прочносвязанной воды после сушки.

Методика определения водоудерживающей способности заключается в следующем. Неразмолотую массу помещают в стакан с водой на 1÷4 ч, затем пробу дезинтегрируют при 3000 об/мин в объеме не более 2000 см<sup>3</sup>, при концентрации около 1,5 %. Распущенную 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, слегка уплотняя её для 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 волокнистой массой должна иметь массу 1,35÷1,45 г. Неразмолотая масса уплотняется на 20 % сильнее.

Для одного испытания отбирают 2÷4 пробы (среднеарифметическое принимают за результат). Сначала рассчитывают требуемую скорость центрифугирования по следующей формуле:

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

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 цилиндры (пробирки) из центрифуги, взвешивают их и переносят в сушильный шкаф, где сушат до получения постоянной массы.

Абсолютная водоудерживающая способность волокнистой массы определяется по формуле

$$WRV = \frac{m_{вл} - m_{сух}}{m_{сух}} \times 100, \%,$$

где  $m_{вл}$  – масса влажного образца после центрифугирования, г;  $m_{сух}$  – масса абсолютно сухого образца, г.

Показатель относительной водоудерживающей способности (набухания) есть отношение разности исходной массы навески и массы навески после центрифугирования к массе навески после центрифугирования. Результаты измерения  $WRV$  показывают его лучшую связь с показателем набухания, чем степень помола массы.

Для оценки объективности результатов измерений  $WRV$  необходимо предусмотреть определение дополнительных параметров массы, конкретно:

- плотность массы;
- степень помола;
- количество крупных и мелких фракций массы;
- отдельное определение показателей  $WRV$  всего материала и мелкой фракции.

Практика показывает, что затраты времени на проведение всего комплекса испытаний составляют около 30 мин. Имея такие характеристики качества волокнистого материала, можно достаточно точно прогнозировать ожидаемые прочностные, а также потребительские свойства конечной продукции из ММ.

Известно, что основным процессом производства бумаги, особенно негативно влияющим на свойства волокон, является сушка. В результате сушки наблюдаются необратимые изменения свойств волокон: ороговение, потеря эластичности, повышение хрупкости волокна и т.д. Как правило, именно ороговение оказывается одной из главных причин снижения бумагообразующих свойств макулатурных волокон.

Впервые термин «ороговение» был введен Джайме. Им же предложена формула для определения степени ороговения:

$$\text{Ороговение} = \frac{WRV_0 - WRV_1}{WRV_0} \times 100, \%,$$

где  $WRV_0$  – водоудерживающая способность массы после роспуска первичного волокна;  $WRV_1$  – водоудерживающая способность массы после роспуска вторичного волокна.

Таким образом, характеристикой ороговения является величина относительного уменьшения водоудерживающей способности вторичного волокна по сравнению с первичным. То есть, чем сильнее ороговение

вторичного волокна, тем ниже его показатель водоудерживающей способности.

### **13.3. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЧИСЛА ЦИКЛОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАКУЛАТУРЫ**

Как было указано выше (см. п. 3.1, ч. I), цикличность использования макулатуры имеет ярко выраженное отрицательное влияние на бумагообразующие свойства макулатурных волокон и показатели качества вырабатываемой на ее основе продукции. Поэтому весьма полезно иметь информацию об ориентировочном количестве циклов использования вторичных волокон, которые они уже претерпели.

Необходимость в разработке методики по определению цикличности назрела давно. На сегодняшний день не существует метода, который позволил бы определить количество производственных циклов, в которых участвовали макулатурные волокна. Метод оценки цикличности необходим, главным образом, для производства материалов для гофрокартона, поскольку именно в их производстве нашла широкое применение макулатура марки МС-5Б (отходы производства гофрокартона и использованная картонная гофротара). Писче-печатная макулатура используется в основном при производстве бумаги санитарно-гигиенического назначения, и поэтому проблема цикличности в данном случае неактуальна.

Следует учитывать ряд факторов, объективно усложняющих оценку цикличности. Прежде всего, практически невозможно определить предысторию волокна, т. е. каким-либо образом проследить за цикличностью его вторичной переработки. В какой-то степени, зная технологический регламент работы отдельного предприятия – поставщика макулатуры, можно иметь информацию по конкретным видам выпускаемой продукции, об используемом первичном либо вторичном волокне. Так, например, зная, что гофропредприятие ОАО «Архбум» в Подольске использует лайнер и флютинг только на основе первичного волокна (главным образом, компонентов гофрокартона, произведенных на Архангельском ЦБК), можно достаточно уверенно говорить о том, что продукция этого предприятия содержит первичное волокно.

В большинстве же случаев такая информация не может быть получена или отсутствует. Более того, если бумага или картон (или изделие на их основе) произведены из разных полуфабрикатов (в том числе и из макулатуры), то в композиции макулатуры будут присутствовать как свежие полуфабрикаты (хвойные и лиственные волокна различного выхода и способа получения), так и вторичные волокна любого цикла использования. Иными словами, для макулатуры наиболее типична смесь волокон различного происхождения и различного количества циклов переработки. Поэтому о том, что данные волокна только усредненно соответствуют по своим характеристикам какому-либо конкретному количеству циклов



использования и имеют соответствующие усредненные характеристики, можно только предполагать.

Предлагаемый метод оценки цикличности применим, преимущественно, для макулатуры марки МС-5Б. Суть метода базируется на моделировании процессов цикличности использования макулатуры.

При моделировании цикличности использования макулатуры марки МС-5Б анализировались три наиболее распространенные комбинации компонентов гофрокартона (табл. 13.2):

- картон-лайнер и флютинг на основе первичного волокна;
- картон-лайнер из первичного волокна и флютинг из вторичного волокна;
- тест-лайнер и флютинг из вторичного волокна.

В качестве прочностной характеристики, отчетливо изменяющейся в процессе моделирования циклов, принят показатель сопротивления продавливанию. Выбор данного показателя обусловлен тем, что этот показатель прочности не зависит от ориентации волокон в листе, в отличие от остальных, используемых для оценки свойств лайнера и флютинга. Поэтому результаты оценки прочности лабораторных образцов будут достаточно адекватны для сравнения с результатами испытаний промышленных образцов материалов для гофрированного картона, полученных на действующей бумагоделательной машине.

Таблица 13.2

Композиция и характеристика модельных образцов материалов по волокну

№ композиции	Композиция	Вид волокнистого сырья
1	70% – картон-лайнер – Архангельский ЦБК	первичное
	30% – бумага для гофрирования – Котласский ЦБК	первичное
2	70% – картон-лайнер – Котласский ЦБК	первичное
	30% – бумага для гофрирования – Окуловская БФ	вторичное
3	70% – смесь тест-лайнеров	вторичное
	30% – бумага для гофрирования – Окуловская БФ	вторичное

Степень помола макулатурной массы на всех циклах повторного использования выбранных для эксперимента композиций оставалась неизменной. Результаты определения сопротивления продавливанию представлены на рис. 13.2.

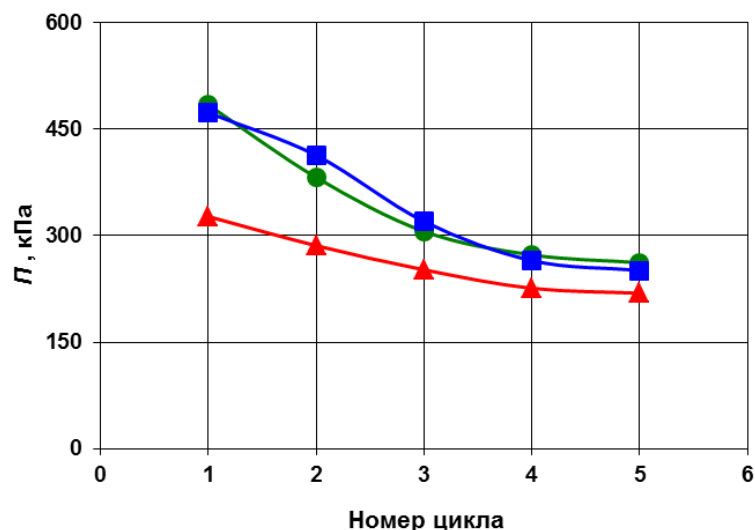


Рис. 13.2. Зависимость сопротивления продавливанию образцов лабораторного изготовления от количества циклов повторной переработки:

- - композиция № 1;
- - композиция № 2;
- ▲ - композиция № 3

В эксперименте гофро материалы каждой выбранной композиции распускались на лабораторном гидроразбивателе. Затем полученную макулатурную массу размалывали до степени помола 35 °ШР. Далее на листоотливном аппарате изготавливали отливки с массой 1 м<sup>2</sup> – 100 г.

Как и прогнозировалось, наблюдается снижение значения показателя сопротивления продавливанию с каждым последующим циклом переработки. При этом методику для оценки цикличности необходимо разрабатывать по кривым для композиций 1 и 2, так как они получены из материалов на основе первичного волокна (или с минимальным содержанием макулатуры), и соответственно имеется отправная точка для начала отсчета циклов повторного использования.

На основе полученных данных предлагается следующая градация осредненных значений сопротивления продавливанию по циклам:

- 450 кПа и выше – 1 цикл;
- 350÷450 кПа – 2 цикл;
- менее 350 кПа – 3 и более цикл.

Таким образом, если средняя проба поступившей на предприятие макулатуры при изготовлении из нее лабораторного образца массой 1 м<sup>2</sup> – 100 г и степени помола 35 °ШР при испытании на продавливание показывает результат 450 кПа или выше, то волокна в этой пробе, в среднем, могут быть отнесены к первому циклу повторного использования. Соответственно, 350÷450 кПа – в среднем второй цикл использования, менее 350 кПа – в среднем третий и более цикл использования.

Такое исследование той или иной партии макулатуры, либо их комбинации, позволяет в определенной степени прогнозировать уровень качества производимой продукции уже непосредственно на предприятии. В частности, исходя из результатов оценки, макулатуру марки МС-5Б можно разделить, по крайней мере, на три группы: МС-5Б1, МС-5Б2, МС-5Б3 по возрастанию количества циклов.

Данная методика может быть легко реализована на большинстве российских предприятий по переработке макулатуры и не требует больших затрат на ее внедрение, ни с точки зрения затрат на лабораторное оборудование, ни с точки зрения обучения персонала, отвечающего за входной контроль сырья.

### **13.4. ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В МАКУЛАТУРНОЙ МАССЕ**

Макулатурная масса содержит в своем составе большое количество включений (загрязнений) волокнистого и неволокнистого характера, непригодных для производства картонно-бумажной продукции. К таким загрязнениям относятся пучки волокон, частицы пластика, клейких и липких загрязнений и прочие небумажные включения. Эти компоненты ММ имеют различное происхождение, состав, форму и характер поведения в процессах подготовки и использования ММ.

Одним из многих действенных способов борьбы с такими загрязнениями является применение в технологическом потоке обычных и щелевых сортировок. Щелевые сортировки располагают либо в системе подготовки массы при тонком сортировании всего потока, либо в цикле БДМ с целью страховочного сортирования массы. На эффективность щелевого сортирования оказывают влияние такие факторы, как: количество (содержание), размер, форма и деформируемость частиц. Для определения содержания посторонних включений в ММ наиболее часто используют либо визуальный метод, либо установку Соммервиля.

Для визуального метода из ММ изготавливается отливка стандартной площади ( $0,0314 \text{ м}^2$ ) из расчета массы  $1 \text{ м}^2$  250 или 500 г. Подсчет количества соринок, отличающихся по цвету от фона отливки, производится в проходящем свете на 10 отливках. Для классификации соринок по площади применяют специальные шаблоны.

Установка Соммервиля представляет собой вибросортировку, оснащенную плоским ситом с шириной щелей 0,15 мм и длиной их 45 мм. Количество щелей на сите 756 штук. Концентрация массы при сортировании составляет 0,25 %. Исследуемая масса (навеска 25 г) при постоянном напоре проходит сортирование в течение 20 мин. Оставшиеся на сите частицы считаются загрязнениями. Их количество выражается в процентах по отношению к исходному количеству массы

$$SV = \frac{\text{масса остатка на сите, а.с.в.}}{\text{масса исходного образца, а.с.в.}} \cdot 100 \text{ \%}.$$

Эффективность сортирования рассчитывается по формуле

$$SV_{эфф} = \frac{SV_{вход} - SV_{выход}}{SV_{выход}} \times 100 \text{ \%},$$

где  $SV_{вход}$  – масса загрязнений на входе в сортировку;  $SV_{выход}$  – масса загрязнений на выходе из сортировки.

Метод Соммервиля активно применяется при наладке схем сортирования на предприятиях ЦБП. К важнейшим технологическим факторам процесса сортирования относится скорость протекания потока массы через щели сортирующей корзины, коэффициент сгущения и массовая доля отходов, содержание волокна в отходах. Рекомендуемые значения перечисленных параметров приведены в табл. 13.3.

Скорость потока массы через сортирующую корзину при прочих равных условиях зависит, в первую очередь, от ее геометрических размеров и от площади ее живого сечения сита. При использовании наборных сортировочных корзин важнейшим фактором, помимо ширины щели, является угол установки профилированной пластины. Угол существенно влияет на коэффициент сгущения отходов, рассчитываемый как отношение концентрации отходов к концентрации массы на входе в сортировку. Объемный поток отводимых отходов определяет и массовую долю отходов, отражающую количество отходов по отношению к количеству массы на входе. Коэффициент сгущения и массовая доля отходов взаимосвязаны.

Таблица 13.3

Важнейшие факторы щелевого сортирования

Параметр	Рекомендуемое значение параметра
Скорость потока массы через корзину	1,0÷1,5 м/с
Коэффициент сгущения	1,3÷1,5
Массовая доля отходов	10÷15%

Для характеристики процесса сортирования очень важно оценить количество волокна в отходах. Потери волокна в отходах рассчитываются следующим образом.

Исследуемый образец отходов разделяется на две равные части. Первая часть проходит сортирование в установке Соммервиля. Рассчитывается массовая доля остатка (содержание загрязнений –  $SV_{выход}$ ). Вторая часть

образца направляется на фракционер (классификатор) Бауэр-Макнетт. На фракционаторе отделяется мелочь и зола (часть образца, прошедшая через сетку с номером R100). Рассчитывается массовая доля остатка (загрязнения и годное волокно). Разность между двумя значениями остатка в образцах, полученными на приборе Соммервиля и на фракционаторе, дает величину содержания волокна в исследуемом образце отходов. Умножением полученной величины на концентрацию и объемный поток отходов с последней ступени щелевой сортировки получают величину потерь волокна.

В настоящее время разрабатываются и используются современные инструментальные методы определения количества посторонних включений различного характера в ММ. Отметим некоторые из них.

В лаборатории IPST (США) разработана эффективная методика ЕММА Potential измерения количества мелких, липких, клейких и других загрязнений в ММ. Методика апробирована на бумажных фабриках, вырабатывающих из макулатуры газетную, печатную, санитарно-гигиеническую бумагу, коробочный, тарный и мелованный картон с применением различных видов макулатуры. Методика ЕММА основана на зависимости концентрации микрочастиц от содержания органического углерода в ММ. Применение методики ЕММА Potential дает возможность сократить накопление загрязнений в аппаратах, выбрать оптимальную схему сортирования, очистки ММ, уменьшить сорность, улучшить качество бумаги и картона.

В лаборатории Paprican (Канада) разработан способ измерения количества микрочастиц, растворенных и коллоидных загрязнений в ММ. При определении состава загрязнений в ММ и оборотной воде применен модифицированный прибор Dynamic Drainage Jar. Установлены зависимости уровня осаждения микрочастиц липких загрязнений от рН массы и расхода добавки полиэтиленамина.

Оценку свойств обесцвеченной ММ высокого качества исследовала лаборатория университета Halmstad совместно с научным центром компании Holmen Paper (Швеция). Для измерения количества и распределения частиц печатной краски и сорности поверхности образца-отливки из ММ применены сканирующая видеокамера с высокой разрешающей способностью, автоматический счетчик соринок и микропроцессор. Эти решения позволяют определить содержание и площадь цветных соринок.

В настоящее время продолжается активный поиск решения проблем оценки количества и качества посторонних включений в составе ММ.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Дьякова Е.В., Дулькин Д.А., Комаров В.И. Переработка макулатуры: учеб. пособие. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2009. – 172 с.

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.

Пузырев С.С., Виролайнен Э.В. и др. Технология целлюлозно-бумажного производства. Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 3. Производство полуфабрикатов. – СПб.: Политехника, 2004. – 316 с.

Комаров В.И., Галкина Л.А., Лаптев Л.Н. и др. Технология целлюлозно-бумажного производства. Т.2. Производство бумаги и картона. Ч.1. Технология производства и обработки бумаги и картона. - СПб.: Политехника, 2012. - 420 с.

Пузырев С.С., Тюрин Е.Т. и др. Переработка вторичного волокнистого сырья. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 467 с.

Смоляницкий Б.З. Переработка макулатуры. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 176 с.

Яблочкин Н.И., Комаров В.И., Ковернинский И.Н. Макулатура в технологии картона. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. – 252 с.

Пузырев С.С., Ковалева О.П., Цветкова Г.Н. Переработка макулатуры: учеб. пособие. – СПб.: СПбГЛТА, 2003. – 44 с.

Ванчаков М.В., Кишко А.В. Теория и конструкция оборудования для подготовки макулатурной массы: учеб. пособие/ СПбГТУРП. – СПб., 2003. – 104 с.

Ванчаков М.В., Дубовый В.К. и др. Технология и оборудование для переработки макулатуры: учеб. пособие/ СПбГТУРП. – СПб., 2010. Ч. I и II. – 185 с.

Миловидова Л.А., Севастьянова Ю.В., Комарова Г.В. Сортирование и очистка целлюлозы. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2009. – 76 с.

Дулькин Д.А., Спиридонов В.А. и др. Свойства целлюлозных волокон и их влияние на физико-механические характеристики бумаги. – Архангельск: САФУ, 2011.–176 с.

Дубовый В.К., Гурьев А.В и др. Лабораторный практикум по технологии бумаги и картона: учеб. пособие/ под ред. проф. В.И. Комарова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – 230 с.

Теория и конструкция машин и оборудования отрасли. Бумаго- и картоноделательные машины: учеб. пособие / под ред. В.С. Курова, Н.Н. Кокушина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. –588 с.

Фляте Д.М. Свойства бумаги. – Изд.4-е, испр. и доп. – СПб.: НПО «Мир и семья-95», ООО «Интерлайн», 1999– 384 с.

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

Хованский В.В., Дубовый В.К., Кейзер П.М. Применение химических вспомогательных веществ в производстве бумаги и картона: учеб. пособие/ СПбГТУРП. – СПб., 2013. – 154 с.

Дулькин Д.А., Спиридонов В.А. и др. Использование природной воды в производстве тарного картона из макулатуры. – Архангельск: ИПЦ САФУ, 2012. – 242 с.

Южанинова Л.А., Дулькин Д.А. и др. Особенности технологии бумаги-основы для гофрирования из макулатуры и требования к ее потребительским свойствам. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. – 102 с.

Гаузе А.А., Гончаров В.Н., Кугушев И.Д. Оборудование для подготовки бумажной массы: учебник для вузов. – М.: Экология, 1992. – 352 с.

Технология целлюлозно-бумажного производства. Т.1.Ч. 2. Сырье и производство полуфабрикатов: справочные материалы. – СПб.: Политехника, 2003. – 633 с.

Дубовый В.К., Смолин А.С. и др. Технология гофрокартона: учеб. пособие. В 3 частях/СПбГТУРП. – СПб., 2014. – 146 с.

ГОСТ 10700–1997. Макулатура бумажная и картонная. Технические условия / Межгосударственный стандарт. - Минск, 2002. – 12 с.

Papermaking Science and Technology. TAPPI PRESS. Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End. 2000. Vol. 8. – 693 p.

Papermaking Science and Technology. TAPPI PRESS. Papermaking Part 2, Drying. 2000. Vol. 9. – 583 p.

Papermaking Science and Technology. Fapet Oy, Helsinki, Finland.. Papermaking Part 3, Finishing. 2000. Vol. 10. – 361 p.

Recycled Fiber and Leinking. Paper-marking Science and Technology // Book 7, Helsinki, Finland, 2000. – 635 p.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

9. Облагораживание макулатурной массы .....	3
9.1. Факторы, влияющие на эффективность процессов облагораживания и отбели макулатурной массы.....	4
9.1.1. Виды и составы краски, содержащейся в макулатурном сырье.....	4
9.1.2. Факторы, влияющие на процессы отбели и белизну ММ.....	7
9.2. Общие сведения о процессах облагораживания макулатурной массы...	8
9.3. Технология и оборудование для промывки макулатурной массы .....	11
9.3.1. Общие сведения о процессах промывки ММ.....	11
9.3.2. Оборудование установок для промывки ММ .....	14
9.4. Технология и оборудование установок для флотации макулатурной массы.....	18
9.4.1. Технологические принципы процессов флотации ММ .....	18
9.4.2. Оборудование установок для флотации ММ .....	22
9.5. Отбели макулатурного волокна .....	27
9.5.1. Общие сведения о процессах отбели ММ .....	27
9.5.2. Особенности различных способов отбели макулатурного волокна.....	30
9.5.3. Технологические схемы отбели ММ.....	34
9.6. Липкие загрязнения в макулатурной массе .....	36
9.6.1. Характеристика липких загрязнений в ММ .....	36
9.6.2. Удаление липких частиц сортированием ММ .....	38
9.6.3. Физико-химическая нейтрализация и стабилизация липких частиц в ММ.....	39
9.6.4. Использование обработки ММ энзимами (ферментами).....	40
9.6.5. Удаление липких включений в ММ методами флотации и микрофлотации .....	41
9.6.6. Общие рекомендации по удалению липких частиц из ММ.....	41
10. Потребления и эмиссии при работе предприятий, перерабатывающих макулатуру.....	43
10.1. Потребления (расходы) .....	44
10.1.1. Потребление макулатуры .....	44
10.1.2. Потребление воды .....	44
10.1.3. Входящие и вспомогательные химические вещества .....	46
10.1.4. Потребление энергии .....	53
10.2. Эмиссии .....	58
10.2.1. Сточные воды (их характеристики) .....	58



10.2.2. Твердые отходы (их особенности) .....	61
10.2.3. Выбросы в атмосферу и шум .....	65
10.3. Пример развития систем подготовки макулатурной массы для производства двухслойного тестлайнера.....	66
11. Водопользование на предприятиях, перерабатывающих макулатуру. Переработка твердых отходов.....	72
11.1. Общие положения.....	72
11.2. Подготовка и использование свежей воды .....	75
11.3. Обработка оборотных вод.....	76
11.3.1. Общие сведения.....	76
11.3.2. Способы обработки оборотных вод .....	78
11.3.3. Бактериальные загрязнения оборотных вод.....	82
11.3.4. Пенообразование оборотных вод .....	85
11.4. Сточные воды (общие положения) .....	86
11.5. Пути совершенствования систем водопользования на предприятиях, перерабатывающих макулатуру.....	88
11.5.1. Разделение потоков менее и более загрязненных вод с их рециркуляцией .....	89
11.5.2. Снижение расхода свежей воды путем разделения водных потоков в сочетании с использованием противотока.....	89
11.5.3. Оптимальное использование воды и ее очистки .....	90
11.6. Обработка и утилизация отходов переработки макулатуры.....	92
11.6.1. Общие сведения.....	92
11.6.2. Оборудование для обезвоживания шлама .....	93
11.6.3. Утилизация сгущенного шлама .....	96
12. Системы переработки макулатуры для различных видов продукции.....	99
12.1. Подготовка макулатурной массы для производства картона и компонентов гофрокартона.....	100
12.2. Подготовка макулатурной массы для производства санитарно- гигиенических видов бумаги.....	107
12.3. Подготовка макулатурной массы для производства газетной и писче-печатных видов бумаги .....	112
13. Оценка свойств вторичного сырья и макулатурной массы .....	121
13.1. Определение структурно-морфологических характеристик и фракционного состава вторичных волокон .....	124
13.2. Определение водоудерживающей способности и степени ороговения макулатурных волокон.....	126
13.3. Методика оценки числа циклов использования макулатуры .....	128
13.4. Оценка содержания загрязнений в макулатурной массе .....	131
Библиографический список.....	135



Учебное издание

Михаил Вадимович Ванчаков  
Александр Васильевич Кулешов  
Александр Васильевич Александров  
Александр Александрович Гаузе

# **ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРЫ**

**Часть III**

**Учебное пособие**

Редактор и корректор Н.П. Новикова  
Техн. редактор Л.Я. Титова  
Компьютерная верстка Д.В. Тибиловой

Темплан 2019, поз.53

---

Подп. к печати 23.09.2019. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1.  
Печать офсетная. Печ. л. 8,75. Уч.-изд.л. 8,75.  
Тираж 100 экз. Изд. № 53. Цена «С». Заказ №

---

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