

М.В. ВАНЧАКОВ, А.В. КУЛЕШОВ, Г.Н. КОНОВАЛОВА

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРЫ

ЧАСТЬ I

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

**Санкт-Петербург
2011**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ

М.В. Ванчаков, А.В. Кулешов, Г.Н. Коновалова

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРЫ

ЧАСТЬ I

2-е издание, исправленное и дополненное

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

*Данное учебное пособие рекомендуется
Государственным образовательным учреждением высшего
профессионального образования «Московский государственный университет
леса» к использованию в образовательных учреждениях, реализующих
образовательные программы ВПО по специальности 240406 «Технология
химической переработки древесины по направлению подготовки
240400 «Химическая технология органических веществ и топлива»*

Санкт-Петербург
2011

ББК 35.77
В 176
УДК 676.038.2 (075)

Ванчаков М.В., Кулешов А.В., Коновалова Г.Н. Технология и оборудование для переработки макулатуры: учебное пособие. - 2-е изд-е, испр. и доп. - СПбГТУРП. СПб., 2011. Ч. I. - 99 с.: ил. 44. - ISBN 978-5-91646-033-9

В пособии приводятся принципы технологии и общее описание оборудования для переработки макулатурного сырья. Приведены основные характеристики и специфические особенности макулатуры как волокнистого сырья. Отдельные разделы посвящены процессам роспуска, сортирования, очистки, термодисперсионной обработки и размола макулатурной массы. Рассмотрены принципы облагораживания макулатурной массы и особенности систем водопользования предприятий, перерабатывающих макулатуру. Даны методики расчета основных параметров технологии и оборудования.

Пособие предназначено для студентов специальностей 150405 «Машины и оборудование лесного комплекса» и 240406 «Технология химической переработки древесины». Может быть использовано на факультете повышения квалификации специалистов лесохимической отрасли.

Рецензенты: доктор технических наук, заслуженный деятель науки РФ, профессор СПбГТИ (ТУ) А.Н. Веригин;

кандидат технических наук, доцент кафедры процессов и аппаратов химической технологии СПбГТУРП Ю.А. Тихонов.

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

ISBN 978-5-91646-033-9

© Ванчаков М.В., Кулешов А.В.,
Коновалова Г.Н., 2011

© ГОУВПО Санкт-Петербургский
государственный технологический
университет растительных
полимеров, 2011

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития целлюлозно-бумажной промышленности использование макулатуры в качестве волокнистого сырья в производстве бумаги и картона стабильно возрастает и становится повсеместным.

Широкое применение макулатуры обусловлено прежде всего ее дешевизной по сравнению со свежими полуфабрикатами из древесины, а также значительно меньшими капиталовложениями при строительстве и экономией текущих затрат при эксплуатации соответствующих производств. Это снижает себестоимость и повышает конкурентоспособность продукции. Кроме того, применение макулатуры позволяет снижать остроту вопросов охраны окружающей среды за счет сокращения использования лесных ресурсов и утилизации накапливающихся бумажно-картонных отходов.

Макулатурное волокно, в отличие от свежих полуфабрикатов из древесины, характеризуется пониженными бумагообразующими свойствами и наличием большого количества разнообразных загрязнений, что приводит к ухудшению качества продукции из него, а также к затруднениям в работе и преждевременному износу оборудования. В соответствии с этим, главными целями подготовки макулатурной массы являются восстановление (регенерация) бумагообразующих свойств волокон и удаление загрязнений. Для достижения указанных целей применяют различные технологии, оборудование и вспомогательные химические вещества.

В настоящем учебном пособии освещаются вопросы заготовки макулатуры, ее качественного состава и свойств, приводятся сведения о достижениях в области механической, термической и химической обработки макулатуры. Это позволит студентам как будущим специалистам выбирать наиболее целесообразные технологические схемы, режимы обработки, вспомогательные вещества и оборудование для подготовки макулатурной массы.

При описании отечественных и зарубежных технологических схем и оборудования широко использовались существующие публикации, проспекты и предложения ведущих машиностроительных и инженеринговых компаний, технологические регламенты современных производств. Ограниченные рамки издания не позволяют нам привести полностью библиографический перечень источников, в связи с чем авторы приносят свои извинения.

1. МАКУЛАТУРА КАК ВОЛОКНИСТОЕ СЫРЬЕ

1.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМИНА «МАКУЛАТУРА». ЕЁ РОЛЬ В ОБЩЕМ БАЛАНСЕ ВОЛОКНИСТОГО СЫРЬЯ

Под термином «макулатура» следует понимать отходы производства, переработки и потребления всех видов бумаги и картона, пригодных для применения в качестве волокнистого сырья. Поэтому наряду с термином «макулатура» используют, как синонимы, термины «вторичное сырье» и «вторичное волокно».

Фактически, вторичное сырье используют почти все производители бумаги и картона, имеющие технологические линии для переработки собственного брака.

Количество образующейся макулатуры, а следовательно и объем ее сбора и использования, напрямую зависят от объема выработки картонно-бумажной продукции. Фактором, стимулирующим сбор и применение макулатуры, является отсутствие достаточной сырьевой базы - лесных ресурсов.

Впервые макулатуру использовали в качестве сырья для производства бумаги и картона в США в начале XX века, когда выработка картонно-бумажной продукции достигла 34 кг/год на душу населения. Впоследствии макулатуру начали использовать в странах Европы.

В России макулатуру стали применять также в начале XX века. В крупных городах существовали мелкие фирмы, которые скупали бумажный брак от предприятий и населения, сортировали его и поставляли бумажным фабрикам. Однако объем сбора и переработки макулатуры был незначительным. Данное положение дел было характерно и для советского периода, когда ставка делалась на переработку древесины. Об объеме переработки макулатуры в то время у нас можно судить по тому, что в середине XX века (1955 г.) было поставлено на предприятия для переработки всего 250 тыс. тонн.

Динамика роста доли макулатурного волокна в мировом производстве бумаги и картона иллюстрируется данными табл. 1.1.

В настоящее время в нашей стране имеется ряд предприятий, использующих макулатуру в различных объемах. Крупными предприятиями, перерабатывающими свыше 100 тыс. тонн макулатуры в год, являются Санкт-Петербургский картонно-полиграфический комбинат, Набережно-Челнинский картонно-бумажный комбинат, ООО «Пермский картон». Средними предприятиями, перерабатывающими от 20 до 100 тыс. тонн макулатуры в год, являются такие предприятия как Алексинская БКФ (Тульская обл.), АО «Пролетарий», Сухонский ЦБК, АО «Картонтара» (Майкоп), Каменская БКФ, фабрики компании SCA в г. Светогорск (Ленинградская обл.) и г. Советск (Тульская обл.) и др. Имеется большое количество мелких предприятий, перерабатывающих менее 20 тыс. тонн макулатуры в год.

Таблица 1.1. Доля макулатуры в мировом производстве бумаги и картона

Показатели	1996 г.	2005 г.
Мировое производство бумаги и картона, млн. т/год	282	370
Сбор макулатуры, млн. т/год	115,9	187,8
Сырье, %:		
• целлюлоза	39	27,5
• механическая масса	14	8
• макулатура	31	42,5
• другие полуфабрикаты	5	5
• наполнители	7	12
• химические добавки	4	5

В литературе, посвященной переработке макулатуры, используют два показателя для оценки объема ее применения. Это степень использования и уровень переработки макулатуры.

Степень использования макулатуры - это отношение (в %) объема всей переработанной макулатуры к объему произведенной картонно-бумажной продукции (независимо от видов сырья).

Уровень переработки макулатуры - это отношение (в %) объема всей собранной макулатуры к объему потребленной продукции собственного производства, плюс объем импорта, минус объем экспорта продукции.

1.2. АССОРТИМЕНТ ПРОДУКЦИИ, ВЫПУСКАЕМОЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАКУЛАТУРЫ. СТРУКТУРА ЦЕНЫ НА МАКУЛАТУРУ

Примерный ассортимент продукции, выпускаемой с использованием макулатуры в мире:

- картон, - 54 %;
в том числе:
 - картон тест-лайнер и бумага для гофрирования - 29 %;
 - коробочный картон - 19 %;
 - картон крафт-лайнер - 6 %.
- упаковочные виды бумаги - 15 %;
- санитарно-бытовые виды бумаги - 12 %;
- газетная бумага - 10 %;
- печатная и писчая бумага - 7 %;
- остальные виды бумаги и картона - 2 %.

Потребление отходов и использованной тары из гофрокартона в качестве макулатуры достигает 75 % от его производства. В России предполагается в 2010 г. перерабатывать 1,1 млн. тонн в год, что составляет около 0,5 % мирового потенциального сбора макулатуры.

Примерный ассортимент и соотношение объемов выпускаемой с использованием макулатуры продукции в нашей стране составляют:

- коробочный, тарный картон - 80 %;
- упаковочная и санитарно-бытовые виды бумаг - 19 %;
- печатная и писчая бумага - 1 %.

Налицо чрезвычайно узкий ассортимент, нуждающийся в расширении.

Наибольший рост использования макулатуры в перспективе ожидается в производстве газетной бумаги, компонентов гофрокартона и санитарно-бытовых видов бумаги, где большая часть новых мощностей будет работать на макулатурном сырье.

Структура цены на макулатурное сырье складывается из трех компонентов:

- затраты на сбор макулатуры ~ 57 %;
- стоимость работ по сортированию, упаковке, хранению и отгрузке макулатуры ~ 29 %;
- стоимость перевозки ~ 14 %.

Стоимость макулатуры на рынке зависит от марки и конъюнктуры на данный момент времени. Наибольшим спросом у предприятий России пользуется макулатура «высоких» марок (МС-1А, МС-2А), а также «ящичная» макулатура (МС-5Б). Общая тенденция - постепенный рост цен на ликвидные марки макулатуры. Зависимость цены макулатуры от марки служит серьезным стимулом для её сортирования.

1.3. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАКУЛАТУРЫ В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ

Основные преимущества, стимулирующие рост использования макулатурного сырья, заключается в следующем:

1. Замена 1 тонны первичного целлюлозного волокна макулатурой дает экономию 3-4 м³ древесины. Это позволяет сократить вырубку лесов, исключает затраты на заготовку, доставку и лесовосстановление.

2. Средняя цена одной тонны макулатуры на сегодня в 2-4 раза дешевле 1 тонны целлюлозы. Так как в себестоимости продукции до 40 % составляет стоимость сырья, то использование макулатуры позволяет значительно снизить этот показатель. Одновременно повышается независимость производителей бумаги и картона от предприятий-монополистов, выпускающих целлюлозу.

3. Капитальные затраты на строительство производств, использующих макулатуру, в 2-4 раза ниже, чем затраты на производства, включающие целлюлозные заводы.

4. Предприятия, использующие в качестве сырья макулатуру, располагаются в промышленно развитых районах, где образуются основные ресурсы макулатуры, имеются развитая инфраструктура, квалифицированные кадры и находится основная масса потребителей картонно-бумажной продукции. Тем самым снижаются транспортные расходы на сырье, продукцию и расходы на подготовку кадров.

5. Использование макулатуры, выделенной из твердых бытовых отходов, приводит к уменьшению объемов городских свалок и потребности в оборудовании для переработки отходов. Городские свалки содержат около 25 % (по массе) отходов бумаги и картона. Свалки часто самовозгораются, выделяя диоксины, токсины, которые отравляют воздух, почву, воду. Таким образом, выделение макулатуры из твердых бытовых отходов дает и экономический, и экологический эффект.

6. Отсутствие необходимости применения варочного и размольного оборудования для древесины на предприятиях, перерабатывающих макулатуру, позволяет получить экономию воды, тепла (пара), электроэнергии, химикатов. Существенно снижается количество сбросов и выбросов. Повышается рентабельность производства.

Оценивая преимущества, получаемые от использования макулатуры, следует учитывать и ряд недостатков и проблем, сопровождающих этот процесс сейчас и в перспективе. Отметим основные из них:

1. Как правило, качественные характеристики продукции, изготовленной из макулатурного сырья, ниже, чем изготовленной из первичного волокна. Улучшение качественных характеристик продукции возможно, но требует дополнительных затрат.

2. Наблюдается постепенное ухудшение качества макулатурного сырья, связанное с его многократным использованием.

3. Переработка макулатуры сопровождается образованием и необходимостью утилизации большого количества загрязнений, содержащихся в макулатуре и производственных стоках.

4. Происходит постепенное увеличение доли влагостойкой, пропитанной и ламинированной картонно-бумажной продукции, количества вспомогательных химикатов и наполнителей. Появляются новые виды печати. Всё это затрудняет переработку макулатуры и требует дополнительных затрат.

Помимо указанных общих проблем имеется и ряд специфических для отечественной бумажной промышленности. Основные из них:

1. Низкий уровень потребления бумаги и картона на душу населения (около 35 кг/год).

2. Морально и физически изношенный парк основного оборудования. Устаревшие (свыше 30 лет) бумагоделательные машины составляют около 75 % парка.

3. Ограниченность ассортимента выпускаемой из макулатуры продукции.

4. Отсутствие серьезной мотивации для создания систем сбора и сортирования макулатуры по маркам. Практически не выделяется макулатура из твердых бытовых отходов.

5. Слабое распространение систем облагораживания макулатурной массы (обесцвечивание, отбелка и т.п.). Неиспользование в качестве сырья влагопрочной макулатуры.

6. Плохо подготовленный переход ряда предприятий, использовавших первичное волокно, на макулатурное сырье.

7. Большое количество мелких (менее 20 тыс. тонн в год продукции) предприятий, использующих макулатуру, где высокая себестоимость продукции влияет на её конкурентоспособность.

8. Недостаток квалифицированных кадров, владеющих вопросами технологии переработки макулатуры.

Всё вместе делает проблему использования и переработки макулатуры чрезвычайно острой и актуальной.

1.4. СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАКУЛАТУРЫ КАК ВОЛОКНИСТОГО СЫРЬЯ

Главной особенностью макулатуры является то, что это - вторичное сырье, прошедшее ранее полный цикл или несколько циклов переработки в бумажно-картонную продукцию. Выражением этой особенности является частичная потеря бумагообразующих свойств вторичных волокон. Она обуславливается многими факторами, основные из которых - это укорочение волокон и снижение способности к набуханию (водоудерживающей способности). Наблюдается частичная потеря эластичности и пластичности волокон, их затвердевание (ороговение).

Степень сохранения и способность к восстановлению (регенерации) бумагообразующих свойств называют потенциалом переработки макулатурного сырья. Изучение динамики изменения бумагообразующих свойств вторичных волокон в результате многократных циклов переработки макулатуры позволяет выбрать оптимальные технологии для ее целенаправленной обработки.

Общие тенденции влияния количества циклов переработки макулатуры на свойства продукции сводятся к следующему:

- снижаются показатели растяжимости, разрывной длины, сопротивления излому, сопротивления продавливанию продукции;
- повышаются показатели сопротивления раздиранию, жесткости и непрозрачности продукции;
- степень помола массы с увеличением количества циклов переработки постепенно уменьшается (если макулатурная масса не подвергается дополнительному размолу);

➤ быстрое снижение бумагообразующих свойств наблюдается в результате первых двух - трех циклов переработки макулатуры. В дальнейшем происходит практическая стабилизация большей части показателей.

При сравнении изменения потенциала бумагообразующих свойств в зависимости от состава волокна в макулатуре установлено, что влияние повторных переработок на волокна древесной массы значительно меньше, чем на целлюлозные волокна. При равных условиях беленая целлюлоза показывает большее снижение потенциала переработки, чем небеленая. Наибольшее снижение потенциала переработки наблюдается у волокон белой осиновой целлюлозы. Добавление в макулатурную массу свежих (первичных) полуфабрикатов при повторных переработках позволяет полностью сохранить, а в отдельных случаях, даже улучшить основные показатели бумаги и картона.

Современное бумажное производство всегда связано с использованием химических добавок. Основные из них - клей и наполнители.

Проклеенные волокна в определенной степени сохраняют гидрофобность своей поверхности. При повторном использовании это приводит к снижению способности волокон к набуханию и, как следствие, к частичной потере бумагообразующих свойств. Большое значение имеет вид проклейки. Так, проклейка бумаги с использованием канифоляного клея, в присутствии квасцов или сульфата алюминия, снижает потенциал переработки макулатуры в большей степени, чем при проклейке в нейтральной среде. Большое значение имеет рН среды при формировании бумаги. Исследования показывают, что волокна бумаги из небеленой целлюлозы, сформованной при низком значении рН (в кислой среде), имеют заметно меньшую степень набухания, чем у той же бумаги, сформованной при высоком значении рН (в щелочной среде).

Влияние наполнителей также зависит от рН среды при закреплении их на волокнах. Как правило, большое количество наполнителей снижает потенциал переработки макулатуры.

Макулатурное сырье состоит из ранее размолотых волокон. Чем выше была первоначальная степень размола, тем значительнее понижение качества продукции, получаемой из макулатурной массы. Более высокая степень помола массы приводит к уменьшению потенциала нереализованных бумагообразующих свойств волокна, который мог бы раскрыться при его повторной обработке.

При работе БДМ обнаружена обратная зависимость между уровнем влажности предыдущего прессования и уровнем бумагообразующих свойств вторичного волокна. Это связано с ростом количества контактов волокон с увеличением влажности прессования и проявляется после сушки.

Наибольшее влияние на потенциал переработки макулатуры оказывают повторные процессы сушки продукции на БДМ. Причина тому - повышение кристалличности и снижение степени полимеризации целлюлозного волокна в условиях повышенных температур. Поверхность волокон приобретает более

гидрофобные свойства, снижаются степень набухаемости волокон и силы сцепления между ними. Именно это явление и называют необратимым «ороговением» волокон.

Определенное значение имеет и режим сушки. Полотно, высушенное в условиях свободной усадки (на листоотливном аппарате), в отличие от полотна, высушенного при натяжении (на бумагоделательной машине), при повторной переработке в бумагу показывает повышенную растяжимость при разрыве. Отсутствие натяжения при свободной усадке сообщает дополнительные микродавления волокнам во всех направлениях, т.е. повышенное число связей между волокнами. Таким образом, если оценку результатов повторного использования бумаги производить по стандартным отливкам, характеристики их будут отличаться от характеристик той же бумаги, полученной машинным способом в условиях ограниченной усадки.

Влияние каландрирования бумаги на снижение потенциала ее повторной переработки тем больше, чем сильнее давление между валами каландра. Это связано с механическими повреждениями волокон при высоких давлениях. Однако, чем выше степень помола массы, тем меньше заметно влияние каландрирования.

Определенную степень влияния на потенциал переработки макулатуры оказывают условия и срок ее хранения. Это связано с процессами «старения» бумаги.

Существенной специфической особенностью макулатуры как волокнистого сырья является присутствие в ней многообразных загрязняющих веществ. Загрязненность макулатуры - неизбежное последствие ее жизненного цикла: изготовление, переработка, использование бумаги и картона и переход в разряд макулатуры.

1.5. ЗАГРЯЗНЕНИЯ, СОДЕРЖАЩИЕСЯ В МАКУЛАТУРЕ

Загрязнениями в макулатуре мы называем содержащиеся в ней вещества и частицы, не являющиеся целлюлозным или древесным волокном.

Происхождение загрязнений в макулатуре

Как уже отмечалось в п. 1.4, появление загрязнений в макулатуре связано с жизненным циклом бумаги и картона.

При производстве бумаги и картона в волокнистую массу вносят различные технологические вещества неволокнистого характера. Это проклеивающие вещества, наполнители, покровные пасты, красители и т.п.

При переработке бумаги и картона на поверхность наносят различные водоотталкивающие составы или красители. В основном это печать, рисунки, иллюстрации. Кроме того, осуществляется пропитка продукции (например, парафинирование). Отдельные виды продукции покрывают ламинирующими веществами для придания им специфических свойств. К ним относятся

различные полиэтиленовые покрытия, латексные покрытия, фольгирование и т.п. Все эти вещества и составы являются загрязнениями, которые сильно усложняют процессы переработки макулатуры.

При использовании картонно-бумажные изделия загрязняются печатью, остатками продуктов, упакованных в эти изделия. В них содержатся остатки дополнительных упаковочных материалов (скотч, пенополистирол, обвязка и т.п.). Бумага и картон пачкаются упакованными в них продуктами.

Кроме того, загрязнениями является различный мусор, попадающий в макулатуру при сборе и транспортировании картонно-бумажных отходов. При хранении макулатуры может иметь место ее загнивание, при возгорании образуется горелая бумага.

Наличие загрязнений в макулатуре приводит к снижению качества продукции, ухудшению ее внешнего вида. Присутствие минеральных включений является причиной абразивного износа и выхода из строя сит сортирующего и гарнитуры размалывающего оборудования. Многие загрязнения остаются в порах сукон, снижая их работоспособность, налипают на горячие валы и цилиндры, что может приводить к обрывам полотна и браку продукции. Большое количество загрязнений может служить причиной забивания оборудования (очистителей, сортировок).

Указанные причины свидетельствуют о необходимости удаления загрязнений как одной из главных задач технологии переработки макулатуры. Следует отметить, что удаление загрязнений приводит к уменьшению фактической массы макулатуры. Поэтому при расчетах необходимого количества макулатуры для производства продукции, это следует учитывать.

Количественные характеристики загрязнений в макулатуре

Количество загрязнений в макулатуре зависит в первую очередь от источника ее образования. Так, отходы изготовления и переработки бумаги и картона содержат, в основном, технологические загрязнения. Их количество и номенклатура нормируются составом композиции соответствующей продукции.

В свою очередь, отходы потребления и использования изделий из бумаги и картона содержат непредсказуемые количества загрязнений и их качественный состав. Для оценки примерного количества посторонних включений, которое может находиться в составе макулатуры, приведем данные о компонентах легкой фракции (по массе), выделенной с помощью аэросепарации из твердых бытовых отходов:

➤ макулатура	-	87,0 %;
➤ текстиль	-	5,0 %;
➤ пищевые отходы	-	4,4 %;
➤ пленки	-	2,2 %;
➤ пластмасса	-	0,6 %;
➤ металл	-	0,5 %;
➤ древесина	-	0,3 %.

Общая сумма посторонних включений составляет 13 % от массы легких отходов. Следует отметить, что количество пленок и пластмассы в твердых бытовых отходах постоянно возрастает, что приводит к соответствующему увеличению их содержания в макулатуре. В этих данных не учитываются загрязнения в виде печатных красок и наполнителей. Масса печатной краски, наносимой на изделия из бумаги и картона, составляет от 0,5 до 2,0 % от массы макулатуры, а масса наполнителей до 15-25 %.

В табл. 1.2 приведены статистические данные о количестве (в %) и составе отходов при производстве различной продукции из макулатуры.

Таблица 1.2. Количество (%) и состав отходов при производстве картонно-бумажной продукции из макулатуры

Продукция	Вид и качество макулатуры	Общие потери	Отходы		Отходы при очистке воды		
			крупные, тяжелые	мелкие, легкие	от удаления печатной краски	от осветления технологической воды	от очистки сточных вод
Тест-лайнер, флютинг	картонная	5-10	1-2	3-6	-	0-1	1
	бытовая из СФАЦ	4-6	<1	2-4	-	0-1	1
Картон	картонная тара и бытовая	5-10	1-2	3-6	-	0-1	1
Санитарно-гигиеническая бумага	среднего качества из офисных бумаг	28-46	1-2	3-5	8-13	15-25	1

Как видно по табл. 1.2, количество выделяемых загрязнений зависит не только от вида и качества макулатуры, но и от вида выпускаемой продукции. Так, повышенные значения общих потерь при выпуске из офисной макулатуры санитарно-гигиенических видов бумаг связаны с операциями по удалению печатных красок и наполнителей.

Суммарное количество влажных отходов от переработки макулатуры при производстве материалов для гофрокартона имеет следующий состав:

- влага - 45,0 %;
- волокно - 27,0 %;
- пластик - 25,9 %;
- другая органика - 1,11 %;
- металл - 0,88 %;
- стекло, камни, песок - 0,11 %.

Из этих данных следует, что вместе с загрязнениями теряется и часть волокна, в количестве около 1/3 общей массы отходов. Снижение этих потерь и экономия сырья - важная задача при разработке технологии очистки макулатуры от загрязнений.

Качественные характеристики загрязнений в макулатуре

Необходимость оценки качественных показателей загрязнений в макулатуре связана с выбором способа их удаления в процессе подготовки макулатурной массы.

Загрязнения, содержащиеся в макулатуре, нельзя охарактеризовать каким-либо одним или двумя показателями. Их качественное многообразие обусловлено условиями изготовления бумаги и картона, переработки их в изделия, использования этих изделий, сбора и хранения макулатуры. Каждый из этих моментов жизненного цикла вносит в будущую макулатуру свои загрязнения. Классификация этих загрязнений возможна только по отдельным характеристикам. Однако, всегда надо помнить, что каждый вид загрязнений характеризуется одновременно группой качественных характеристик.

Рассмотрим некоторые качественные характеристики загрязнений в макулатуре, которые могут быть основанием для соответствующих классификаций.

1. По степени связанности с технологическими процессами производства и переработки картонно-бумажной продукции:

- связанные с процессами производства и переработки: проклеивающие вещества, наполнители, красители, водоотталкивающие составы, технологические химикаты и др.;

- не связанные с процессом производства и переработки: зола, металл, песок, пластмассы (скотч, полистирол и др.), стекло, тряпье, веревки, древесина и др. Данную группу загрязнений можно отнести к разряду «мусор»;

- дополнительные загрязнения (волокнистого характера). Это флоккулы, узелки, пучки, нераспущенные фрагменты в массе, фрагменты труднораспускаемых видов бумаги и др.

Как правило, загрязнения первой группы так или иначе связаны непосредственно с волокном. Загрязнения других групп непосредственно с волокном не связаны, но обнаруживаются в свободном состоянии при роспуске макулатуры в массу.

2. По плотности (удельной массе) вещества, составляющего данное загрязнение:

- легкие загрязнения с плотностью вещества менее 1 г/см³: различные пенопласты, полистирол, фрагменты древесины и др.;

- тяжелые загрязнения с плотностью вещества более 1 г/см³: металл, песок, стекло, глина, чернила и др.;

➤ средние загрязнения с плотностью вещества близкой или равной 1 г/см^3 : проклеивающие вещества, пластмассы, воски, парафины, латексы и др.;

Первые две группы загрязнений в той или иной мере поддаются удалению из массы. Проблемы проявляются при необходимости удаления загрязнений третьей группы.

3. По размерам отдельных частиц загрязнений (рис. 1.1):

➤ мелкие загрязнения: загрязнения, размеры частиц которых меньше размеров (длины и диаметра) макулатурного волокна. К ним относятся отдельные частицы клея, красок, золы в пределах и ниже пределов видимости частиц (40 мкм);

➤ крупные загрязнения, размер которых заметно превышает размер макулатурных волокон: крупный песок, пластик, текстиль, металл, стекло, неразрушенные пленки и др.;

➤ загрязнения, размеры которых сопоставимы с размерами макулатурных волокон: крупные частицы клея, красок, пластика и др.

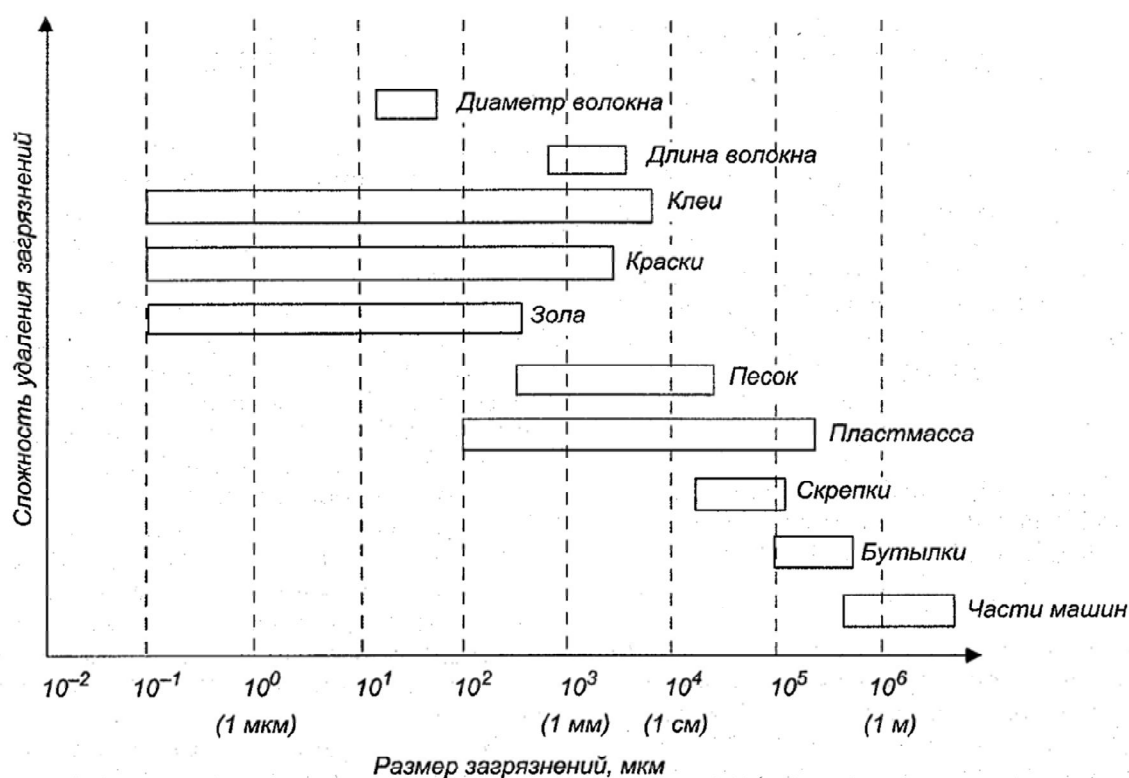


Рис. 1.1. Классификация частиц загрязнений в зависимости от их размеров

Последняя группа представляет наиболее трудно удаляемые загрязнения. Фактические диапазоны размеров загрязнений приведены на рис. 1.1.

4. По конфигурации частиц загрязнений:

- объемные (шаровые, кубические и т.п.);
- плоские (лепестковые, пластинчатые);
- вытянутые (волокнообразные).

Это разделение довольно условное, так как многие частицы загрязнений обладают эластичностью, пластичностью и гибкостью. К таким загрязнениям относятся частицы воска, полиэтилена, полистирола, латекса, резины, клея, смолы, краски и т.п. Поэтому при разделении частицы этих загрязнений могут изменять свою конфигурацию. Изменение конфигурации таких частиц обычно начинается с ускорения 6 g, а при ускорении 500 g эти частицы принимают форму волокна.

5. По степени смачиваемости в воде:

- гидрофобные;
- гидрофильные;
- нейтральные.

Различия в степени смачиваемости загрязнений используют при выборе методов удаления их из массы.

6. По поведению на горячих частях бумагоделательной машины:

- липкие, то есть налипающие на валы и цилиндры, создающие опасность обрывов: воск, полиэтилен, парафин, латекс, клей и др.;
- нейтральные, то есть не налипающие на валы и цилиндры: песок, наполнители, полистирол и др.

Этот перечень можно продолжить. Возможные сочетания параметров отдельных загрязнений делают их номенклатуру практически неограниченной и охватывающей весь спектр веществ фактического материального бытия.

Выбор способа удаления конкретных видов загрязнений определяется исходя из наиболее сильно проявляющегося свойства их частиц.

1.6. ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОДГОТОВКИ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Основная цель подготовки заключается в получении из макулатуры волокнистой массы, которую можно использовать в композиции бумаги и картона вместо первичного полуфабриката (целлюлозы, древесной массы и др.) без нарушения допустимых пределов показателей качества продукции.

Задачи подготовки:

- оптимальное восстановление бумагообразующих свойств макулатурного волокна;
- оптимальное удаление нежелательных посторонних включений;
- оптимальное восстановление чистоты (облагораживание) макулатурной массы.

Чистоту массы характеризуют её оптические, химические, коллоидные, микробиологические и другие технологические свойства.

При проектировании и выборе технологической схемы подготовки макулатурной массы исходят из следующих факторов:

- требования к выпускаемой продукции;
- вид перерабатываемой макулатуры;

- желаемая степень гибкости (возможности перенастройки и регулирования) технологии;
- готовность предприятия к капитальным и эксплуатационным расходам, а также степень допустимого финансового риска.

Процесс переработки макулатуры - это совокупность технологических операций, которые можно подразделить на четыре стадии (рис. 1.2).

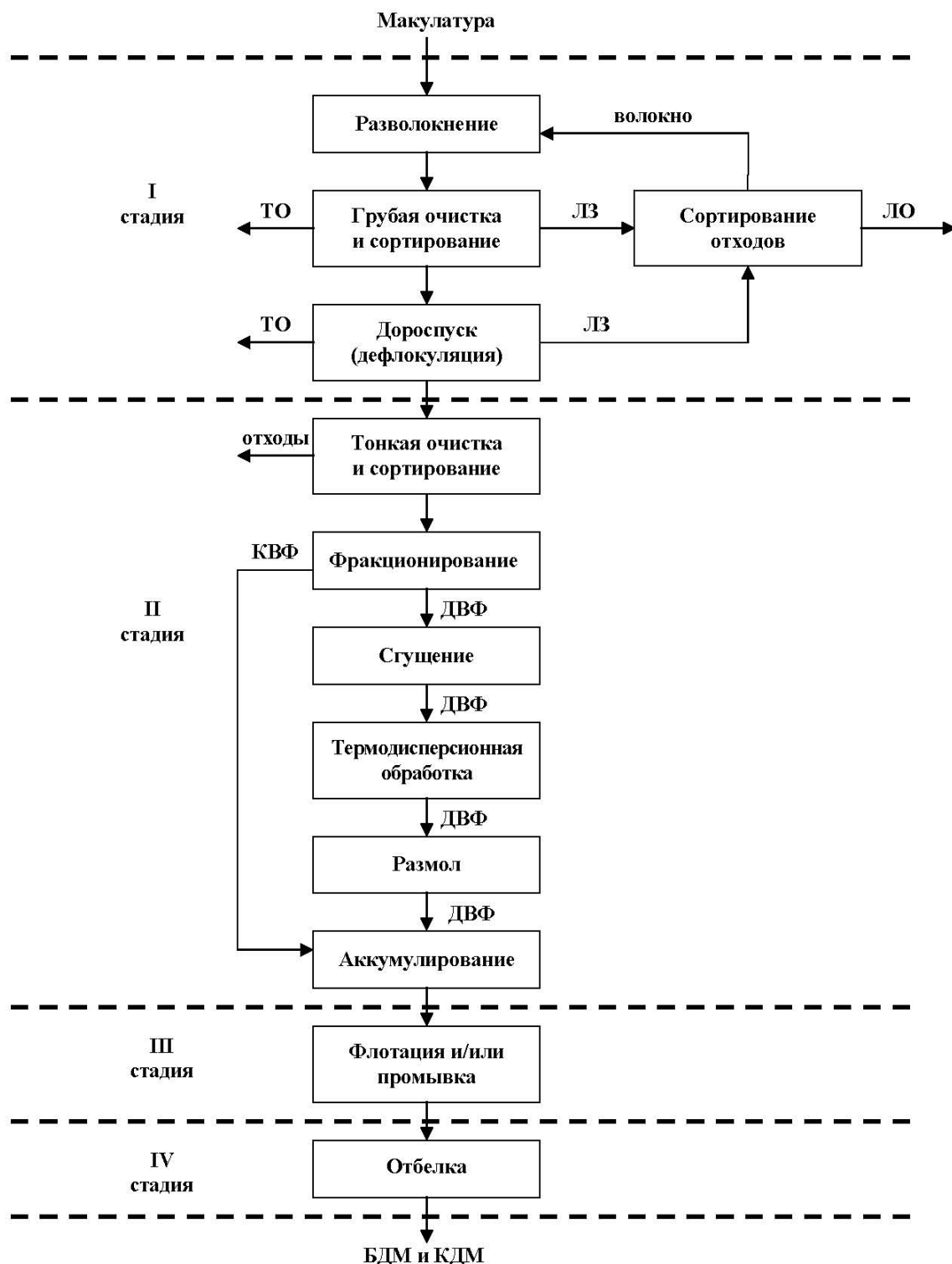


Рис. 1.2. Принципиальная схема системы переработки макулатуры:
 ТО - тяжелые отходы; ЛО - легкие отходы; ЛЗ - легкие загрязнения;
 КВФ - коротковолокнистая фракция; ДВФ - длиноволокнистая фракция

Первые две стадии являются, по преимуществу, механической переработкой, так как на этих стадиях используются в основном механические операции. Вторые две стадии следует отнести к физико-химическим процессам, так как в них обязательно используются химические реагенты.

Традиционными технологическими операциями переработки макулатуры являются: разволокнение, очистка и сортирование от нежелательных загрязнений, размол (рафинирование).

Первая стадия переработки макулатуры включает роспуск, предварительную и грубую очистку и/или сортирование, дополнительное разволокнение (дефлокуляцию) макулатурной массы. Данная стадия позволяет частично восстановить бумагообразующие свойства вторичных волокон и получить полуфабрикат, который может быть использован в композиции плоских слоев гофрокартона (без нанесения печати) и бумаги для гофрирования (флютинга).

Вторая стадия переработки макулатуры является, как и последующие, по сути, обработкой полученной на первой стадии макулатурной массы. Она включает грубую и тонкую очистку и сортирование, фракционирование, термодисперсионную обработку и/или размол. У волокон массы, полученных после этой стадии переработки, в достаточной степени сформированы и развиты бумагообразующие свойства. Это позволяет использовать полученную массу в производстве гофрокартона с возможностью нанесения печати. Если в качестве исходного материала используют макулатуру высокого качества (МС-1А, МС-2А), появляется возможность после двух первых стадий переработки получить волокнистый полуфабрикат, пригодный для использования в композиции тетрадной, обойной, санитарно-гигиенической и других видов бумаг.

Имеются сведения об использовании макулатуры из упаковочных материалов типа «Тетрапак» (МС-11В), включающей сульфатную беленую целлюлозу. После первых двух стадий переработки можно получить массу, пригодную для белого верхнего слоя картона типа «топ-лайнер». При этом технологическая схема ориентирована на механическое удаление полиэтиленовой и другой пленки.

В качестве альтернативы предлагается комплексная система, где реализуются преимущества, характерные для сухих и мокрых методов обработки макулатуры (рис. 1.3).

Поступающая на предприятие макулатура подвергается сухому измельчению в молотковых дробилках до фрагментов размером от 1 до 5 см. Измельченная макулатура, представляющая собой механическую смесь частиц волокнистого и полимерного материалов, подается на сита, где из этой смеси выделяются потоки отдельных составляющих. Такое выделение осуществимо на конвейерных или стационарных виброситах, через ячейки которых просеиваются волокнистая составляющая и мелкие тяжелые загрязнения, а пленка уходит в накопитель для последующей утилизации.

Волокнистая составляющая, содержащая остатки мелких частиц полимеров и тяжелых загрязнений, подвергается аэросепарации и дополнительно очищается. Очищенная таким образом от полимеров бумажная составляющая подается на смешение с водой, дополнительный роспуск и дальнейшую обработку в водной среде, в соответствии с требованиями технологии производства.

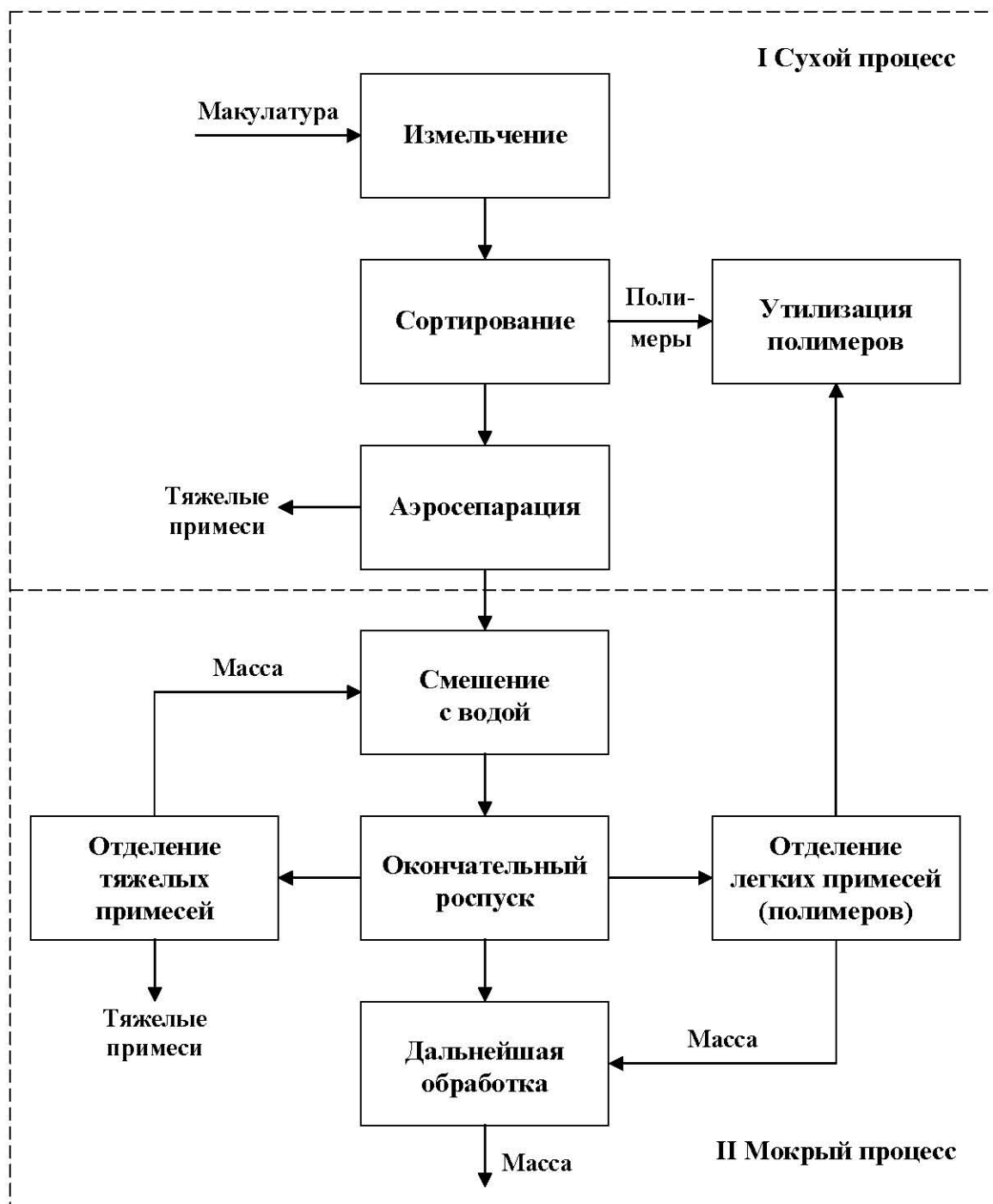


Рис. 1.3. Комплексная система подготовки макулатуры, содержащей полимерные покрытия

Третья стадия обработки массы включает удаление из нее типографской краски путем флотации или промывки. Этот процесс носит название «дейнкинг» или облагораживание макулатурной массы.

Четвертая стадия включает процессы отбели или обесцвечивания с помощью отбеливающих веществ. Следует отметить, что осуществление этой стадии обработки дело достаточно сложное и дорогостоящее, поэтому для малых предприятий, перерабатывающих до 100 т/сутки макулатуры, отбелика экономически нецелесообразна.

Фактические технологические схемы переработки макулатуры отличаются многообразием, которое можно разделять по двум признакам:

- по числу технологических циклов с собственным водооборотом (от 1 до 3), применяемых в данной схеме. В этом случае заключительной стадией каждого цикла следует считать сгущение массы до высокой (10-15 %) концентрации;
- по типу используемой технологии облагораживания макулатурного волокна (промывка, флотация или их комбинация).

2. ВИДЫ, МАРКИ И ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ МАКУЛАТУРЫ

Разнообразие номенклатуры бумажно-картонной продукции, особенности ее использования и специфика заготовки для вторичной переработки являются причиной значительной разнородности состава макулатурного сырья. Практика показала, что для получения требуемого качества конкретной продукции из вторичного волокна следует использовать только определенные виды макулатуры. Нарушение этого принципа приводит к снижению качества продукции или удорожанию процесса подготовки макулатурной массы. В связи с этим, все виды макулатуры разделяются по группам и маркам. Отметим основные признаки такого деления:

- по виду происхождения макулатуры (отходы производства, переработки или использования);
- по степени загрязненности макулатуры посторонними веществами (белая, слабозагрязненная, сильнозагрязненная, окрашенная, запечатанная, с покрытиями и пропиткой и так далее);
- по однородности состава макулатуры (смешанная, сортированная);
- по содержанию в макулатуре волокон древесной массы (не содержащая, содержащая в ограниченном количестве, полностью из волокон древесной массы);
- по содержанию в макулатуре волокон сульфатной небеленой целлюлозы (не содержащая, содержащая в ограниченном количестве, полностью из волокон сульфатной небеленой целлюлозы);
- по влагопрочности макулатурного сырья (влагопрочное, невлагопрочное, продукция с влагостойкими покрытиями).

Помимо указанных, возможны и другие признаки деления макулатуры по группам и маркам. Мировой опыт показывает тенденцию к увеличению перечня различных признаков деления макулатурного сырья с увеличением объема его применения.

2.1. МЕЖДУНАРОДНЫЕ СТАНДАРТЫ НА МАКУЛАТУРУ

Как правило, количество марок перерабатываемого макулатурного сырья непосредственно связано с объемом и количеством массовых видов бумажно-картонной продукции, вырабатываемой и утилизируемой в данной стране. Так, вся масса макулатуры в Польше разделяется на 4 марки, в Чехии - на 7, в Англии - на 11, в России - на 13, в Финляндии - на 20, в Германии - на 41 марку.

Странами ЕЭС 12 декабря 2001 года принят Европейский стандарт EN643, где все марки макулатуры разделены на 5 групп. Всего 57 марок.

Группа 1. Обычные сорта (11 марок). Смесь различных сортов бумаги и картона без ограничения на содержание короткого волокна.

Группа 2. Средние сорта (12 марок). Газеты, журналы, книги (без обложек) и другие виды бумаг, содержащие древесную массу.

Группа 3. Высокие сорта (19 марок). Белые, малозапечатанные виды бумаги и картона с ограниченным содержанием древесной массы.

Группа 4. Макулатура крафт-качества (8 марок). Продукция и отходы использованных и неиспользованных бумаги и картона, содержащие преимущественно сульфатную небеленую целлюлозу (гофрокартон, мешочная бумага, мешки и т.п.).

Группа 5. Макулатура специального качества (7 марок). Различные виды влагопрочных бумаг и картонов, а также картонно-бумажная продукция с различными покрытиями.

Внутри отдельных групп распределение марок осуществляется по степени повышения качества видов макулатуры в каждой группе. Нумерация марок начинается с худших видов и заканчивается лучшими.

2.2. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАКУЛАТУРЫ, СОГЛАСНО ГОСТ 10700-97

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

Согласно этому ГОСТу вся макулатура разделяется на три группы:

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

В группу А входят следующие 4 марки:

✓ **МС-1А** - отходы производства белой бумаги (кроме газетной); бумага для печати, писчая, чертежная, рисовальная и другие виды белой бумаги;

✓ **МС-2А** - отходы производства всех видов белой бумаги в виде обрезков с линовкой и черно-белой или цветной полосой, бумага для печати, писчая, диаграммная, рисовальная;

✓ **МС-3А** - отходы производства бумаги из сульфатной небеленой целлюлозы: упаковочной, шпагатной, электроизоляционной, патронной, мешочной, отходы производства электроизоляционного картона;

✓ **МС-4А** - использованные мешки бумажные, невлагопрочные (без пропитки, прослойки и армирования слоев).

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

В группу Б входят следующие 3 марки:

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

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

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

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

В группу В входят следующие 6 марок:

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

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

✓ **МС-10В** - литые изделия из бумажной массы;

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

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

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

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

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

2.3. ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ МАКУЛАТУРЫ

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

2.3.1. Контроль состава макулатуры по маркам

Необходимость соответствия марки и состава макулатурного сырья диктуется, прежде всего, необходимостью получения из нее качественной продукции определенного вида.

Одной из характеристик макулатуры является наличие в ней примесей других марок. Массовая доля этих примесей макулатуры других марок должна быть не более:

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

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

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

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

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

$$D = \frac{m_1 \times 100}{m_2}, \quad \%,$$

где m_1 - масса примесей, кг;

m_2 - масса объединенной пробы, кг.

Результат округляют до первого десятичного знака.

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

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

2.3.2. Контроль качества и количества загрязнений в макулатуре

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Приведенный в приложении перечень загрязнений практически не дает возможности его расширения. В то же время определенная массовая доля загрязнений допускается. В ГОСТе не конкретизирован состав этих загрязнений.

Кроме того, ничего не сказано о загрязнениях, не прошедших через сито с отверстиями площадью 1 см^2 , и следует ли учитывать их в общем количестве загрязнений. Ничего не говорится о загрязнениях, входящих в состав бумаги и картона, хотя их количество может достигать 30 % от массы волокна.

В тексте ГОСТа сказано: «отделенные после сортирования загрязнения взвешивают. Массовую долю загрязнений (3) в процентах вычисляют по формуле

$$3 = \frac{m_3 \times 100}{m_2}, \text{ \%},$$

где m_3 - общая масса отделенных загрязнений, кг;
 m_2 - масса объединенной пробы, кг.

Результат округляют до «целого числа».

Остается непонятным, как полученные результаты сопоставить с допускаемой массовой долей загрязнений, оцениваемой, согласно ГОСТу с точностью до 0,5 %.

Указанные противоречия и неясности в ГОСТ 10700-97 свидетельствуют о необходимости его доработки и совершенствования.

2.3.3. Контроль влажности и массы партии макулатуры

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

Согласно ГОСТ 10700-97 влажность макулатуры всех групп должна быть не более 15 %. Для определения влажности в полиэтиленовый пакет из четырех мест каждой кипы, отобранной по п. 4.1 ГОСТа на верхней и нижней поверхности и на глубине 20-30 см берут пробы массой 50 ± 10 г. Пробы объединяют и перемешивают. Из объединенной пробы отбирают навеску массой 200 ± 10 г, которую взвешивают. После этого объединенную пробу высушивают до постоянного веса при температуре 100 ± 10 °С.

Фактическую влажность определяют по формуле

$$W_{\phi} = \frac{m_{вл} - m_{a.c}}{m_{вл}} \times 100, \%,$$

где $m_{вл}$ - масса влажной пробы, г;

$m_{a.c}$ - масса высушенной пробы, г.

Массу партии (m) определяют, исходя из влажности макулатуры 12 %, по формуле

$$m = \frac{100 - W_{\phi}}{100 - W_p} \times m_{\phi}, \text{ кг},$$

где W_p - расчетная влажность партии макулатуры ($W_p = 12$ %);

m_{ϕ} - масса партии макулатуры при фактической влажности W_{ϕ} , кг.

Результат округляют до «целого числа».

Для оценки реального количества волокна в макулатуре следует из фактической массы партии вычесть массу влаги (min 12,0 %) и массу загрязнений (min 0,5 %).

В настоящее время разработаны и используются электронные влагомеры, обеспечивающие точное и надежное измерение фактической влажности макулатуры без отбора проб. Назрела необходимость экспресс-определения влажности макулатуры в режиме реального времени. Это позволит оперативно управлять технологическими процессами, в частности, поможет снизить возможные колебания концентрации приготавливаемой массы.

3. ЗАГОТОВКА И СОРТИРОВАНИЕ МАКУЛАТУРНОГО СЫРЬЯ

Основой эффективности системы переработки макулатуры является неразрывность цепи: «продукция - потребитель - макулатура - продукция», схематично представленной на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Схема взаимосвязей основных звеньев в системе сбора и переработки макулатуры

3.1. ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ МАКУЛАТУРЫ

Существует три группы источников поступления макулатуры на переработку.

Во-первых, это собственный брак, срывы, обрезная кромка и другие отходы, образующиеся на предприятиях, изготавливающих бумагу и картон. Данная макулатура однородна по составу и практически не содержит посторонних (внепроизводственных) загрязнений. Она обычно используется самими предприятиями как оборотный брак. Её количество, как правило, нормировано.

Во-вторых, это отходы предприятий, перерабатывающих бумагу и картон в изделия. Данная макулатура состоит, главным образом, из производственного брака, обрезков, элементов высечки и других отходов бумаги и картона. Она достаточно чистая и однородная по составу. Такую

макулатуру собирают прямо на предприятиях, упаковывают и поставляют на перерабатывающие предприятия. Последнее относится к тем предприятиям, на которых отсутствует производство бумаги или картона. Если такое производство есть, то указанная макулатура используется также, как и в источниках первой группы.

В-третьих, это макулатура, поступающая от предприятий, организаций и населения в виде использованных изделий из бумаги и картона. К этой группе источников следует отнести и макулатуру, выделяемую из твердых бытовых отходов. Данная макулатура, как правило, неоднородна по составу и содержит большое количество загрязнений. Переработка ее достаточно сложный и дорогостоящий процесс. Между источниками этой группы и потребителями макулатуры зачастую находятся специальные заготовительные организации. Их задачи не только посреднические. Они занимаются сортированием макулатуры, отделением из нее крупных посторонних включений и упаковкой ее в кипы.

Макулатура, образуемая в первых двух группах источников, практически уже полностью используется. Резервы увеличения объема использования макулатуры находятся в третьей группе источников, потенциал которых сегодня еще далеко не исчерпан.

3.2. СОРТИРОВАНИЕ МАКУЛАТУРЫ ПО МАРКАМ

Предприятия, перерабатывающие макулатуру, заинтересованы в получении сортированного по маркам сырья. Это позволяет им с меньшими затратами получать качественную продукцию.

В настоящее время имеются следующие направления удовлетворения их заинтересованности:

- ориентация непосредственно на крупных поставщиков однородной и чистой макулатуры. Это предприятия, перерабатывающие бумагу и картон, типографии, издательства, сетевые магазины и т.п.;
- использование сети заготовительных предприятий, осуществляющих сортирование и очистку макулатуры, поступающей из различных источников.

Сеть заготовительных предприятий должна охватывать не только крупных, но и мелких поставщиков макулатуры (магазины, конторы, офисы, учебные заведения, население и т.п.). Получаемые от них бумажно-картонные отходы менее однородны по составу. Сортирование их, если оно не осуществляется непосредственно на месте сбора, вызывает большие проблемы.

В перспективе, заготовительные предприятия могут стать промежуточным звеном между бумажными фабриками и мусороперерабатывающими заводами. Последние, в принципе, способны выделять из поступающего мусора тяжелые и легкие фракции. Легкая фракция твердых бытовых отходов содержит до 75 % бумаги и картона. Ручное сортирование легкой фракции на небумажные материалы и на отдельные марки макулатуры трудоемкий и малопроизводительный процесс.

Заготовительные предприятия, осуществляющие процесс сортирования, располагаются в помещениях обычно ангарного типа с расположенными в них системами транспортеров, по которым подается сортируемый материал. Вдоль транспортеров располагаются рабочие посты, где вручную производится удаление посторонних включений и сортирование макулатуры по маркам.

Увеличение объемов переработки, повышение требований по однородности состава макулатурного сырья, а также дефицит рабочей силы низкой квалификации делают ручное сортирование невыгодным и, вследствие этого оно редко используется. Поэтому во многих странах макулатуру стремятся сортировать непосредственно в местах сбора и в дальнейшем не смешивать. Одновременно ведется активный поиск механизированных способов выполнения сортировочных работ.

Практика показала, что полное разделение макулатуры по маркам механизированными средствами практически невозможно. Однако выделение близких по свойствам видов бумаг и картонов осуществимо. В основу создания соответствующих механизированных систем сортирования смешанной макулатуры (после удаления посторонних предметов) могут быть заложены существенные различия в показателях и свойствах бумаг и картонов. К таким показателям относятся: механическая прочность, масса 1 м^2 и толщина листа.

Механизированная система сортирования макулатуры (рис. 3.2) на базе различия механической прочности бумажно-картонных материалов может быть реализована только после механического измельчения сухой макулатуры. В процессе такого измельчения более прочные виды бумаги и картона будут измельчаться в меньшей степени, чем менее прочные, и дадут более крупные частицы. Поэтому последующее фракционирование (сортирование) измельченной макулатуры позволит выделить марки с различной прочностью структуры. Наиболее универсальным, с позиций разрушения бумажного материала, является показатель разрывного усилия. В качестве фракционатора следует использовать вибросортировки с набором сит, имеющих различный диаметр отверстий. Для сухого измельчения макулатуры следует использовать измельчители молоткового типа, условия измельчения в которых позволяют максимально сохранить целостность волокна при высокой производительности и относительной малой энергоемкости процесса.

Сортирование смешанной макулатуры с использованием различных показателей массы 1 м^2 у различных видов бумаги и картона можно производить в механических аппаратах (аэросепараторах) только при условии равномерности фракционного состава частиц бумаги и картона, т.е. после первой ступени сортирования (измельчение + фракционирование).

В некоторых случаях, например, при необходимости разделения бумаги от картона, измельченная и фракционированная макулатура после аэросепарации может рассортировываться по показателю толщины листа. Такое сортирование возможно осуществлять с помощью специальных щелевых сортировок.

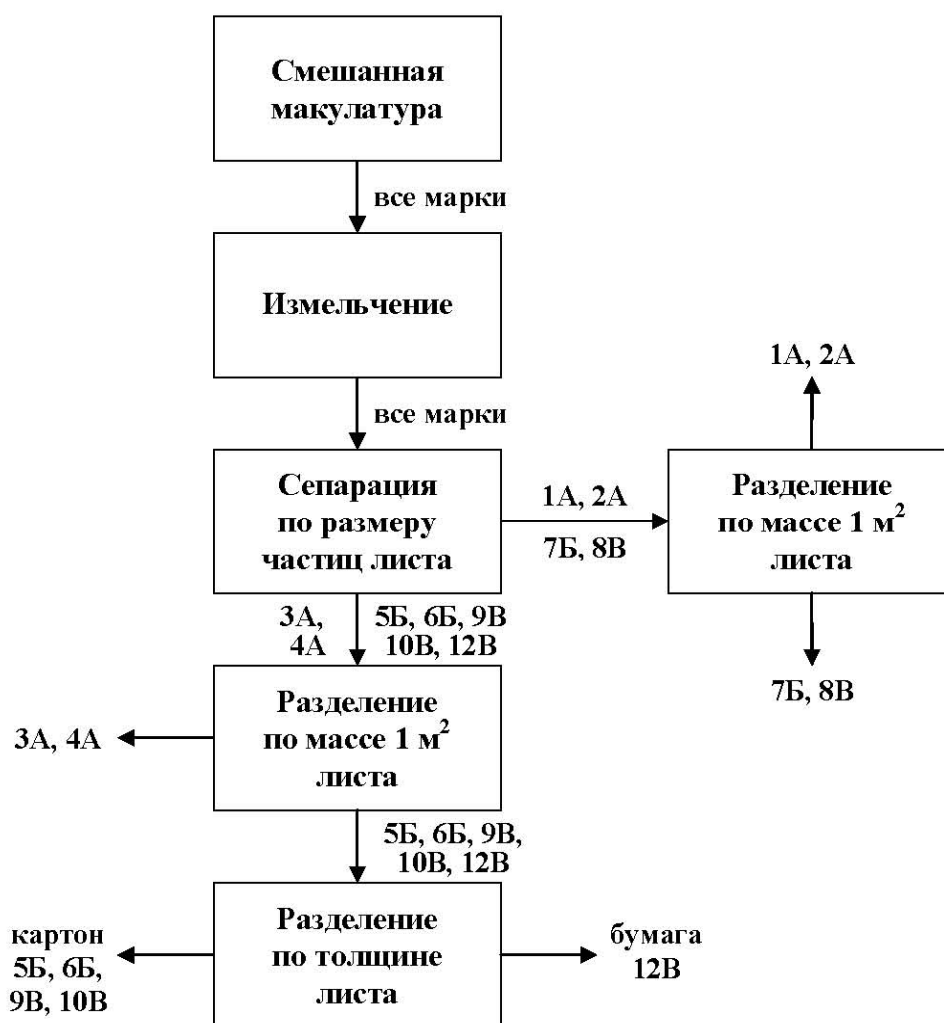


Рис.3.2. Принципиальная схема механизированной системы сортировки смешанной макулатуры

Расчеты показывают, что создание таких систем сортировки макулатуры целесообразно при условии обработки больших объемов сырья (свыше 100 000 т/год), что возможно только на крупных централизованных заготовительных предприятиях.

3.3. УПАКОВКА МАКУЛАТУРЫ

Согласно ГОСТ 10700-97 к макулатуре, поставляемой на перерабатывающие предприятия, предъявляют следующие требования.

Макулатура должна быть упакована в кипы. В кипу упаковывают макулатуру одной марки, масса кипы от 200 до 600 кг. Допускается, по согласованию с потребителем, упаковывание макулатуры в кипы массой менее 200 кг и более 600 кг, но не более 800 кг. Макулатура в кипе должна быть плотно спрессована для сохранения целостности при транспортировании.

Кипы должны быть обвязаны мягкой стальной проволокой или стальной упаковочной мягкой лентой. Допускается, по согласованию с потребителем, использование других обвязывающих материалов, обеспечивающих сохранность кип при транспортировании и хранении. Концы обвязочных материалов должны быть заправлены и не торчать. Число обвязочных поясов должно быть не менее четырех. Допускается обкладка кип макулатуры картоном.

Допускается упаковывание макулатуры в рулонах. Конец бумажного полотна рулона должен быть плотно приклеен. Масса рулона от 100 до 800 кг, ширина от 380 мм до 2000 мм, диаметр не более 900 мм.

Формирование кип макулатуры производят в специальных механических или гидравлических прессах. Конструктивные особенности этих прессов обусловлены тем, что, в отличие от прессов для упаковки листовой целлюлозно-бумажной продукции, они должны обеспечить сжатие макулатуры по всем трем координатам одновременно. Это достигается сжатием в камере прессования с жесткими боковыми стенками, ограничивающими размеры кипы в плоскостях, перпендикулярных направлению движения прессующих элементов.

Диапазон рабочих давлений и производительностей таких прессов очень велик. От малых прессов с ручным управлением и периодической загрузкой, создающих давление до 1 МПа и обеспечивающих производительность 100-500 кг/ч, до автоматических установок с непрерывной загрузкой материала, рассчитанных на давление до 7,5-20 МПа и производительность до 5-10 т/ч. Как правило, легкие и средние прессы (с давлением в пределах 1,0-7,5 МПа) имеют вертикальное перемещение прессующего органа, а мощные прессы (с давлением выше 7,5 МПа) - горизонтальное.

В настоящее время применяют два способа обвязки кип макулатуры проволокой или стальной лентой:

- обвязка кип в прессе в момент их максимального сжатия;
- обвязка кип вне зоны прессования на специальных обвязочных машинах.

Вне зоны прессования обвязывают кипы, в основном, при использовании прессов периодического действия. Это позволяет сократить продолжительность цикла формирования кипы и избежать опасности разрыва обвязки, вследствие действия упругих сил, после снятия нагрузки на кипу. Обвязку кип в момент их максимального сжатия чаще используют в прессах непрерывного действия, где совмещены процессы прессования и перемещения кипы.

Горизонтальные прессы непрерывного действия используют на объектах подготовки интенсивного потока заготавливаемой макулатуры или отходов переработки бумаги и картона. Макулатура предварительно разрывается и потоком воздуха от вентилятора уносится в циклон над загрузочным отверстием пресса. По мере ее накопления в загрузочной зоне,

по сигналу фотореле, срабатывает прессующий механизм, продвигающий скопившуюся порцию макулатуры в сужающийся канал прямоугольного сечения. Следующая порция спрессованной макулатуры проталкивает предыдущую, дополнительно запрессовывая ее в канал. Процесс порционного продвижения макулатуры в канале завершается при достижении определенного объема кипы, что контролируется конечным выключателем. Затем срабатывает обвязывающее устройство, и готовая обвязанная кипа выдавливается из канала. Производительность таких установок составляет 20-30 кип в час, масса кип 200-300 кг, объемная масса около 500 кг/м³.

Для снижения затрат при ведении складских и погрузочно-разгрузочных работ отдельные кипы могут объединяться в пакеты, содержащие 2-4 кипы. Пакетирование кип осуществляет специальное оборудование, работающее в автоматическом режиме.

3.4. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ МАКУЛАТУРЫ

Бумажные и картонные фабрики, использующие макулатуру в качестве сырья, как правило, располагаются вблизи промышленно развитых центров, где имеются бумагоперерабатывающие предприятия, централизованные пункты сбора макулатуры, разветвленная система автомобильных дорог. В этих случаях основным средством доставки макулатуры служит автомобильный транспорт. Рационально использовать автомобили с большим объемом кузова, с полуприцепами и прицепами. Макулатура загружается в виде отдельных кип, пакетов, составленных из нескольких кип и, реже, в рассыпном виде и в виде рулонов. В случае перевозки макулатуры в открытом автотранспорте, ее следует накрывать брезентом или сеткой для сокращения потерь при транспортировке. Рассыпную макулатуру рекомендуется направлять непосредственно на переработку, минуя склад.

Разгрузка кип и пакетов из автотранспорта осуществляется авто- и электропогрузчиками или крановым оборудованием. Погрузчики снабжаются навесным захватным оборудованием типа вил, боковых и клещевых захватов. Для рассыпной макулатуры используют ковшевые или грейферные захваты. В целях пожарной безопасности автопогрузчики должны быть снабжены искрогасителями. Производительность разгрузки повышается, если ее ведут с рампы, совпадающей по высоте с уровнем пола кузова автомобиля, или одновременно с двух сторон кузова. Этому же способствует поставка макулатуры в виде крупных кип или пакетов (до 600 кг), составленных из 2-4 кип, связанных между собой металлической лентой или обратными стропами. Интенсивность разгрузки должна обеспечивать минимальные сроки простоя транспорта.

При больших (свыше 500 км) расстояниях между заготовителями и потребителями макулатуру доставляют в закрытых или открытых железнодорожных вагонах в кипах, пакетах или россыпью. Грузоподъемность вагонов при загрузке их кипами или пакетами используется на 50-60 %, а при

загрузке россыпью - не более, чем на 25 %. Разгрузку крытых вагонов производят с помощью авто- и электропогрузчиков. Открытый подвижной состав разгружают крановым оборудованием, оснащенным стропами, челюстными захватами или грейферами. Применение для перемещения кип макулатуры грейферов приводит к повреждению целостности 30-35 % кип.

Для разгрузки макулатуры, поставляемой водным транспортом, используют плавучие и береговые порталные краны, снабженные стропами, грейферами и захватами других типов. Использование строп требует участия нескольких рабочих-стропальщиков.

Производственные запасы макулатуры создаются из расчета обеспечения 10-15 суток непрерывной работы предприятия. Основные типы складов - это открытые, полуоткрытые и закрытые. Для снижения количества перевалок и уменьшения объема складированной макулатуры ежедневную потребность производства в ней следует удовлетворять непосредственно «с колес» и только избыточную часть поставки направлять на склад для создания запаса.

Открытые склады макулатуры - площадки должны иметь твердое сухое основание и надежные ограждения. На территории склада должна быть предусмотрена ливневая канализация. Для обеспечения пожарной безопасности ограничивают вместимость и площадь такого хранилища. На площадке склада должны быть предусмотрены свободные подъезды и проезды, а также стационарные и мобильные средства пожаротушения. Продолжительное хранение макулатуры на открытых площадках приводит к снижению качества и потерям сырья за счет увлажнения атмосферными осадками, воздействия солнечной радиации, дополнительного загрязнения, выветривания и растаскивания. Суммарные потери макулатуры при транспортировке и открытом хранении составляют от 0,5 до 1,5 % по массе.

Части этих негативных воздействий можно избежать при хранении макулатуры под навесом или в закрытых помещениях. Для сокращения объемов складов используют штабельную укладку кип в несколько ярусов. Однако это не всегда удается из-за ненормированности габаритов и частой поврежденности кип. Перспективным в этом плане представляется хранение макулатуры в форме крупных пакетов из нескольких кип, связанных между собой в общую грузовую единицу. Для механизации перемещения макулатуры на складах служат различные краны, авто- и электропогрузчики, бульдозеры, ленточные и пластинчатые конвейеры.

Альтернативой сухому способу хранения макулатуры может стать хранение ее в жидком виде. Согласно этому способу, поступающая на предприятие макулатура непосредственно у приемной площадки смешивается с водой, распускается и предварительно очищается от крупных загрязнений при концентрации массы до 15 % и хранится в специальных башнях емкостью до 5000 м³ (750 т.а.с. волокна).

Сравнение экономических показателей сухого и жидкого хранения макулатуры показывает, что несмотря на высокие первоначальные

капитальные затраты, экономичность жидкого способа обеспечивается за счет сокращения потребности в рабочей силе и сохранения, а иногда и повышения качества макулатурной массы. В связи с тенденцией к переходу на обработку макулатуры при повышенных концентрациях, хранение ее в жидком виде представляет определенный интерес. Кроме того, в процессе такого хранения происходит набухание волокна за счет продолжительного контакта с водой. Одним из перспективных направлений предварительной подготовки макулатуры является формирование из нее брикетов или гранул повышенной плотности. Сформированный таким образом материал обладает всеми свойствами сыпучего груза и значительно повышает степень загрузки транспортных средств и хранилищ, так как насыпная масса его может быть около 1000 кг/м^3 . Механизация процессов хранения и перемещения макулатуры в таком виде осуществляется традиционным оборудованием, предназначенным для обработки сыпучих грузов. Для сохранения целостности и транспортабельности макулатуры в форме брикетов и гранул их надо тщательно оберегать от проникновения влаги.

При добавлении отходов горюче-смазочных материалов в качестве связующего и водоотталкивающего вещества макулатура в гранулах или брикетах может использоваться в качестве топлива для небольших котельных. Это направление утилизации особенно перспективно для тех видов макулатуры, которые по различным причинам не могут служить в качестве сырья для производства картонно-бумажной продукции.

Макулатура является пожароопасным и взрывоопасным материалом. Общие требования безопасности, требования к производственному оборудованию и требования пожарной безопасности нормированы соответствующими стандартами. В качестве средств тушения возникших пожаров должны использоваться огнетушители, песок, кошма.

Предельно-допустимая концентрация по пыли 6 мг/м^3 . Контроль за состоянием воздуха в рабочей зоне должен осуществляться в соответствии с нормативными документами.

Макулатура, пришедшая в негодность по каким-либо причинам, должна вывозиться в места утилизации, согласованные с органами санитарно-эпидемиологической службы. Макулатура при использовании не выделяет вредных веществ в воздушной среде и в присутствии других веществ, не образует вредных соединений. Токсического действия не оказывает.

4. РАЗВОЛОКНЕНИЕ МАКУЛАТУРЫ

Разволокнение или роспуск макулатуры - это первая технологическая стадия в системе ее переработки в массу на бумажных и картонных фабриках. На стадии разволокнения решается ряд важных задач:

- смешение макулатуры с водой и разделение её на волокна для получения волокнистой суспензии (макулатурной массы);
- максимально возможное удаление из макулатурной массы крупных фракций загрязнений;
- частичное отделение мелких загрязнений, связанных с отдельными волокнами;
- в случае необходимости, смешение с макулатурной массой технологических химических реагентов.

Первая и главная из этих задач решается путем совмещения физико-химических и гидромеханических процессов, происходящих в контакте макулатуры с водой.

4.1. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ РАЗВОЛОКНЕНИЕ МАКУЛАТУРЫ В ВОДЕ

При увлажнении сухой макулатуры вода, в результате физико-химических процессов, проникает в поры листа, раздвигает волокна в нем и вызывает их набухание. Происходит разрыв прочных водородных связей между волокнами и замещение этих связей слабыми водными мостиками. Одновременно вода, как смазка уменьшает трение между волокнами, что приводит к дополнительному снижению прочности бумажного листа. Степень воздействия этих факторов характеризуется показателями влагопрочности, которые у разных видов бумаги и картона различны.

Скорость пропитки бумаги водой (скорость промокания) зависит не только от размеров и свойств внутренних влагопроводящих путей (пор) в ней, но и от таких факторов, как температура и рН среды, площадь поверхности соприкосновения волокон между собой и других. Например, увеличение площади соприкосновения волокон облегчает переход влаги от одного волокна к другому.

Продолжительность воздействия влаги на бумагу, в сочетании с начальной степенью гидрофобности поверхности межволоконных пор является фактором, определяющим промокание клееной бумаги. Промокание сильно клееной бумаги происходит не только через межволоконные, но и внутриволоконные поры.

Следует отметить, что указанные физико-химические процессы не в состоянии обеспечить реальное разволокнение макулатуры. Их основное назначение - снизить механическую прочность листа и, тем самым, создать благоприятные предпосылки для разволокнения (роспуска) макулатуры в различных аппаратах.

Разрушение целостности листа и его разволокнение в водной среде происходит за счет гидродинамических и механических процессов воздействия на него. Эти воздействия возникают при наличии гидравлических потоков в жидкой среде, которые приводят в движение фрагменты макулатуры. Особенностью гидравлических потоков является наличие в них скоростных градиентов. Отдельные слои потоков двигаются с различной скоростью и иногда в различных направлениях. В результате возникают разрушающие воздействия на находящиеся в этих слоях фрагменты макулатуры.

Одновременно, двигающиеся в гидравлических потоках аппаратов фрагменты макулатуры встречают на своем пути различные преграды: стенки аппаратов, ребра, соседние фрагменты и т.п., получают ударные импульсы и дополнительно разрушаются. Помимо этих ударных импульсов, фрагменты макулатуры испытывают ударные воздействия от подвижных элементов аппаратов (роторов, молотков). Ударные воздействия можно организовать также путем подъема и сбрасывания макулатуры на твердую поверхность в аппаратах барабанного типа.

Дополнительные механические воздействия макулатура испытывает в результате трения и сдвига на стенках аппаратов, между отдельными фрагментами, при скольжении массы по поверхности ротора. За счет сил трения происходит разрушение фрагментов макулатуры в зазорах между подвижными и неподвижными элементами аппаратов. Так как прочность волокон, составляющих бумагу и картон, намного превышает прочность влажного листа, механические воздействия позволяют разделять его на отдельные волокна без нарушения их целостности.

Следует отметить, что все указанные факторы разделения на волокна макулатуры в водной среде действуют одновременно, повышая суммарный результат процесса разволокнения.

4.2. ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РАЗВОЛОКНЕНИЯ МАКУЛАТУРЫ

В настоящее время распространение и известность получили следующие технологии разволокнения макулатуры:

- роспуск в традиционных гидроразбивателях (гидропульперах), главными элементами которых являются ванна и вращающийся в ней ротор;
- роспуск в гидроразбивателях барабанного типа, где движение распускаемой массы происходит вдоль барабана за счет его вращения и уклона.

Как правило, в этих аппаратах производят только предварительный роспуск макулатуры и удаление из нее крупных посторонних включений. Окончательное разволокнение до степени, позволяющей использовать массу для производства продукции, осуществляют в специальных аппаратах, где дополнительно удаляются тяжелые и легкие загрязнения. Такая технология разволокнения получила название «двухступенчатая система роспуска».

Предварительное сухое измельчение макулатуры перед подачей ее на роспуск позволяет повысить производительность оборудования и снизить расход энергии на разволокнение макулатуры.

К нетрадиционным технологиям роспуска макулатуры следует отнести роспуск методом декомпрессии (взрыва).

Для оценки эффективности роспуска используют показатель, называемый «степень роспуска». Степень роспуска - это отношение количества распущенной до состояния волокна макулатуры к общему количеству волокнистого материала в массе. Её определяют пропуская массу через мелкую сетку с последующим взвешиванием высушенных остатков на сите и после него.

4.2.1. Технологии и оборудование для разволокнения макулатуры на базе традиционных гидроразбивателей

К традиционным гидроразбивателям относят аппараты, состоящие из открытой неподвижной цилиндрической ванны с закругленным днищем, внутри которой располагается вращающийся ротор с лопастями. Под ротором обычно устанавливается экстракционная плита, представляющая собой перегородку из металлического листа с отверстиями определенного диаметра.

Движение компонентов массы в гидроразбивателе обеспечивается вращением ротора. Ротор можно уподобить рабочему органу центробежного или винтового насоса, сообщаящего распускаемой в ванне массе движение по спиралеобразной траектории (рис 4.1).

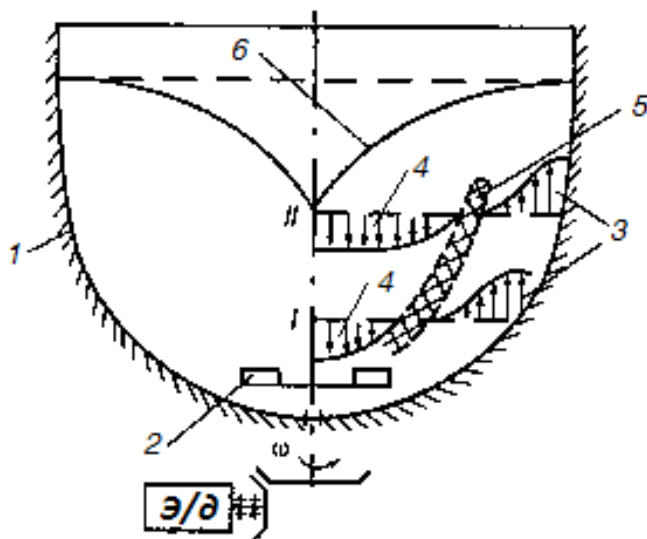


Рис. 4.1. Схема движения потоков массы в меридиональной плоскости ванны гидроразбивателя: 1 - ванна; 2 - ротор; 3 - восходящий поток; 4 - нисходящий поток; 5 - мертвая зона; 6 - воронка

Масса, отбрасываемая лопастями ротора к стенкам ванны, поднимается по спирали в верхнюю часть ванны (восходящий поток). Дойдя до верхней точки, масса начинает двигаться вниз, возвращаясь к ротору, также по спиральной траектории (нисходящий поток). Таким образом, происходит циркуляция массы

в ванне (насосный эффект), в результате которой на свободной поверхности массы образуется воронка. Между восходящим и нисходящим потоками образуется переходная зона, характеризующаяся малыми, неустановившимися значениями скоростей движения массы (мертвая зона).

В процессе движения смесь макулатуры с водой соударяется с ротором и направляющими ребрами на стенках ванны. В результате происходит активное разрушение макулатуры. Эффективность воздействия указанных элементов тем выше, чем выше скорость движения массы, частота повторяемых соударений и чем ближе к прямому углу встречи движущейся массы с преградой. Как показывает практика, частота соударений и их эффективность возрастают при условии преобладания циркуляционного (вертикального) движения массы в ванне. Гидродинамическое воздействие на фрагменты макулатуры проявляется в полной мере тогда, когда завершается процесс намокания макулатуры.

При роспуске, в зависимости от принятой технологии, используют либо периодический режим роспуска, когда распускается только определенный объем массы либо непрерывный, когда роспуск ведется без остановок на заполнение и опорожнение. Как правило, роспуск в периодическом режиме ведут при повышенных концентрациях, что позволяет компенсировать снижение производительности из-за остановок на заполнение и опорожнение ванны гидроразбивателя. Различают роспуск при высокой (12-20 %), при средней (6-12 %) и низкой (3-6 %) концентрациях. В зависимости от режима роспуска и концентрации массы, используют те или иные типы гидроразбивателей, которые различаются расположением вала ротора: вертикальные, горизонтальные и наклонные. Последний тип гидроразбивателя мало распространен. Горизонтальные гидроразбиватели часто используют в качестве бракомолок. Ниже приводится классификация режимов и оборудования для роспуска, встречающихся на практике (рис. 4.2).

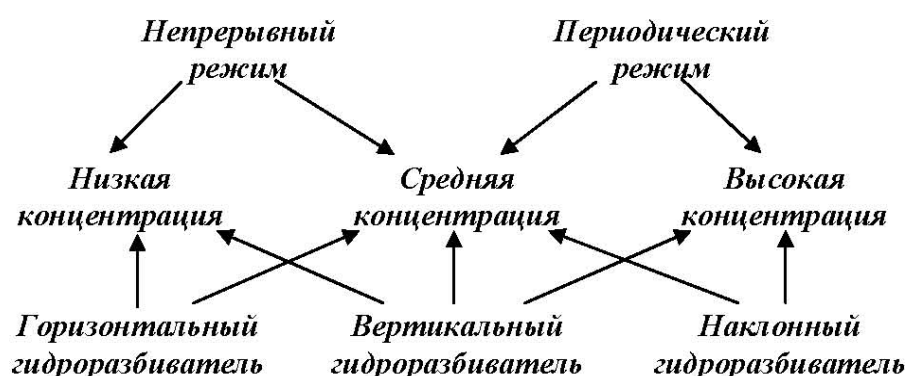


Рис. 4.2. Классификация режимов и оборудования для роспуска

Производительность роспуска макулатуры в гидроразбивателе зависит от множества факторов, важнейшими из которых являются размер ванны, режим работы, рабочая концентрация при роспуске, используемый тип ротора, диаметр отверстий перфорированной плиты и т.д.

Для приближенных практических расчетов производительности гидроразбивателя Q используют формулу

$$Q = 14,4 \times \frac{V \times c \times K}{t}, \text{ т/сут,}$$

где: V - рабочий объем ванны гидроразбивателя, равный приблизительно 0,75 геометрического объема, м³;

c - концентрация распускаемой массы, %;

K - коэффициент использования рабочего времени работы гидроразбивателя (при непрерывном режиме роспуска $K=0,8 \div 0,9$; при периодическом $K=0,3 \div 0,6$);

t - продолжительность роспуска материала в гидроразбивателе, мин.

Реальная продолжительность роспуска макулатуры в гидроразбивателе обычно колеблется в пределах 25-40 мин. Наибольшие значения продолжительности следует применять для гидроразбивателей большего объема при роспуске сильноклееной макулатуры.

Следует отметить, что приведенная формула не учитывает вид распускаемой макулатуры, тип применяемого ротора и диаметр отверстий экстракционной плиты.

Вспомогательное оборудование гидроразбивателя

Большинство гидроразбивателей оснащаются вспомогательным оборудованием, основное назначение которого - отделение и удаление из массы различных крупных загрязнений, поступающих вместе с макулатурой.

Простейшим вспомогательным устройством является переливной ящик, устанавливаемый на одном уровне рядом с гидроразбивателем. Распущенная масса из ванны поступает в нижнюю часть ящика и, проходя через переливную перегородку, уходит на дальнейшую обработку. Тяжелые крупные загрязнения остаются на дне переливного ящика и периодически удаляются в отвал.

Более сложным вспомогательным оборудованием является вытаскиватель жгута. Его используют для улавливания и удаления крупных кусков пленки, тряпья, веревок и других материалов, склонных к завиванию. Жгутом обычно является кусок металлического каната, опускаемого в массу через верхний край ванны. При круговом движении массы в ванне происходит наматывание указанных загрязнений на канат и образуется жгут из отходов. В процессе накопления отходов жгут постепенно всплывает и периодически удаляется специальным вытаскивателем. Затем жгут отрезают резак и удаляют в отвал. Свободный конец каната вновь опускают в массу. Следует отметить, что успешная работа жгута зависит от своевременности его обновления. Кроме того, жгут практически неприменим при роспуске массы высокой концентрации, так как он практически не тонет.

Наиболее универсальным вспомогательным устройством для удаления крупных посторонних включений из макулатурной массы является сортирующий барабан (см. п. 5.2). Данное устройство может работать как в непрерывном, так и в периодическом режиме, при любых концентрациях распускаемой массы. Его можно использовать также и для периодической промывки гидроразбивателя от накопившихся в нем загрязнений.

Дороспуск макулатурной массы

Как уже отмечалось в гидроразбивателях обычно производится предварительное разволокнение макулатуры. В зависимости от способности макулатуры к разволокнению (её влагопрочности), содержание нераспущенных лепестков в массе после гидроразбивателя колеблется от 15 до 40 %. Фактически, роспуск макулатуры в гидроразбивателе следует вести столько времени, сколько необходимо для получения массы, которую можно перекачивать центробежным насосом.

Для осуществления дополнительного роспуска используют аппараты закрытого типа, аналогичные гидроразбивателям, но гораздо более компактные. Эти аппараты называют турбосепаратор, фиберайзер, сортирующий гидроразбиватель (ГРС) и т.д. Они представляют собой закрытую рабочую камеру, разделенную внутри ситовым диском, перед которым вращается ротор. Интенсивность доволокнутия в них гораздо выше, а использование энергии более эффективно, чем в обычном гидроразбивателе. Помимо роспуска, в этих аппаратах происходит предварительное сортирование массы с выделением тяжелых и легких загрязнений. Об этом говорит их название. Их используют в качестве второй ступени разволокнения макулатуры.

Для окончательного разволокнения пучков волокон макулатуры применяется оборудование, в котором используется воздействие на них гидродинамических ударов на массу. К такому оборудованию относятся энштипперы и пульсационные мельницы, зазор между роторными и статорными дисками которых устанавливается в пределах 0,5÷2,0 мм. Степень роспуска после обработки макулатурной массы в описанных аппаратах может составлять около 95 %.

4.2.1.1. Разволокнение макулатуры в непрерывном режиме при низких концентрациях

Разволокнение макулатуры производят при концентрации массы 3-6 %. Гидроразбиватели (рис. 4.3) оснащаются ситами с круглыми отверстиями диаметром от 9 до 20 мм, а также устройствами для удаления посторонних включений. Это жгутовытаскиватели, автоматические клапаны для удаления тяжелых включений. Используют вертикальные и горизонтальные конструкции гидроразбивателей.

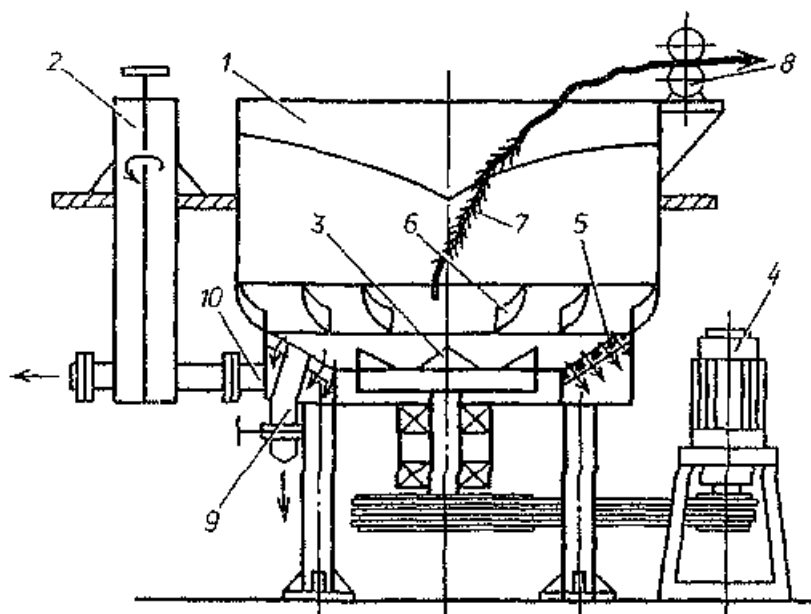


Рис. 4.3. Схема гидроразбивателя для роспуска макулатуры при низкой концентрации массы: 1 - ванна; 2 - переливной ящик; 3 - ротор; 4 - электродвигатель; 5 - сито; 6 - неподвижные направляющие лопасти; 7 - жгут; 8 - жгутовываскиватель; 9 - грязевик для сбора тяжелых отходов; 10 - выпускной патрубок отвода готовой массы

Гидроразбиватели с горизонтальным расположением вала ротора используют для низкокачественной макулатуры с высокой степенью загрязненности. Кипы не попадают непосредственно на крыльчатку ротора, поэтому он имеет большой срок службы. Возможно применение жгутовываскивателя.

По сравнению с горизонтальным, гидроразбиватели с вертикальным расположением вала ротора более интенсивно распускают макулатуру за счет больших усилий на роторе.

Непрерывное разволокнение используют в системах большой производительности. Как правило, разволокнение макулатуры осуществляется до того момента, когда лепестки макулатуры достигают размеров, при которых они проходят через отверстия сита гидроразбивателя. Непрерывно работающие гидроразбиватели имеют ванны диаметром от 3,5 до 8,0 м и вместимостью до 130 м³, производительность их достигает 1400 т макулатуры в сутки. Удельный расход энергии составляет от 30 до 100 кВт·ч/т, в зависимости от производительности аппарата и качества макулатуры. Скорость вращения ротора 15-20 м/с.

Существенную роль в результатах работы гидроразбивателей играет выбор конструкции ротора. Выбранный ротор должен обеспечить, с одной стороны, эффективное разволокнение макулатуры, а с другой - минимальное измельчение посторонних включений. Этим требованиям в определенной мере отвечают плоские роторы дискового типа, с расположенными по периферии диска лопастями. Ротор устанавливается над перфорированной плитой и должен, помимо всего прочего, обеспечить предотвращение

забивания отверстий сита. Передняя кромка лопасти ротора обычно наклонена вниз и вперед, чтобы максимизировать разволокнение и нагнетание массы через сито. Задняя кромка приподнята и создает всасывающий эффект, чтобы освободить отверстия от лепестков и загрязнений. Геометрия ротора должна препятствовать навиванию на него тряпок, веревок и других загрязнений. Некоторые роторы оборудованы заменяемыми износостойкими лопастями, обеспечивающими долговечность и низкие эксплуатационные затраты. Указанным требованиям отвечают роторы типа Reised «R», Shark pulpers, Vokes и др. (рис. 4.4).

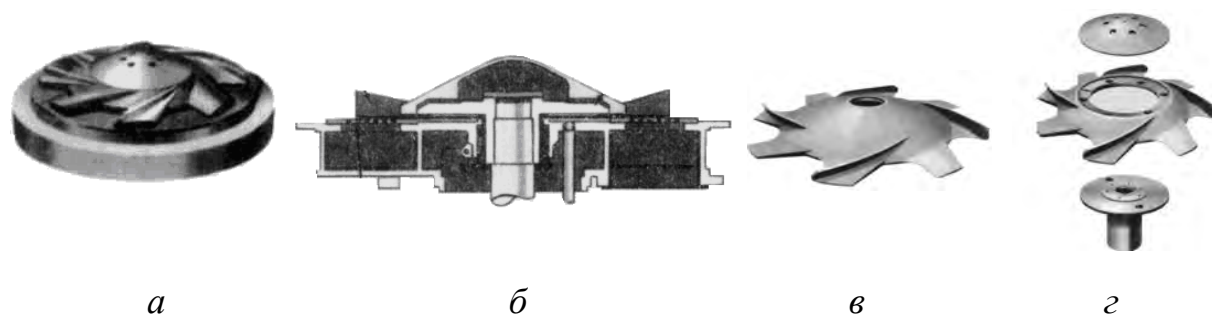


Рис. 4.4. Конструкции роторов для роспуска макулатуры при низких и средних концентрациях массы:
а - Reised «R»; б - Shark pulpers; в - Vokes; г - Powr-Savr

Масса, прошедшая через отверстия экстракционной плиты, подается насосом во вторичный аппарат (рис. 4.5), предназначенный для разволокнения мелких фрагментов макулатуры, прошедших сквозь сито гидроразбивателя, а также для отделения оставшихся в массе посторонних включений с размерами меньшими, чем отверстия сита.

Вследствие интенсивного воздействия ротора 1 вторичного аппарата, а также тангенциальной подачи массы в его корпус 2 происходит доразволокнение лепестков и пучков волокон макулатуры в зазоре между рабочими кромками лопастей ротора и дисковой ситовой пластиной 3. За счет наличия центробежных сил тяжелые частицы отбрасываются к стенкам аппарата и удаляются через автоматический клапан 4. Легкие посторонние включения вместе с частью волокна, концентрируются в центре корпуса и через стабилизирующий стакан 5 подаются на сортирование для извлечения годного волокна. Масса, прошедшая сквозь дисковое сито, направляется на дальнейшую обработку. Количество выводимых загрязнений обычно составляет 1,5-2,5 % от массы волокна.

Особенностью аппаратов для дороспуска макулатуры в данном случае (непрерывный режим) является отсутствие необходимости в разбавлении массы перед подачей в аппарат. Примерами таких аппаратов являются Contaminex CM и CMV, Fiberizer F-TS, ГПС и др.

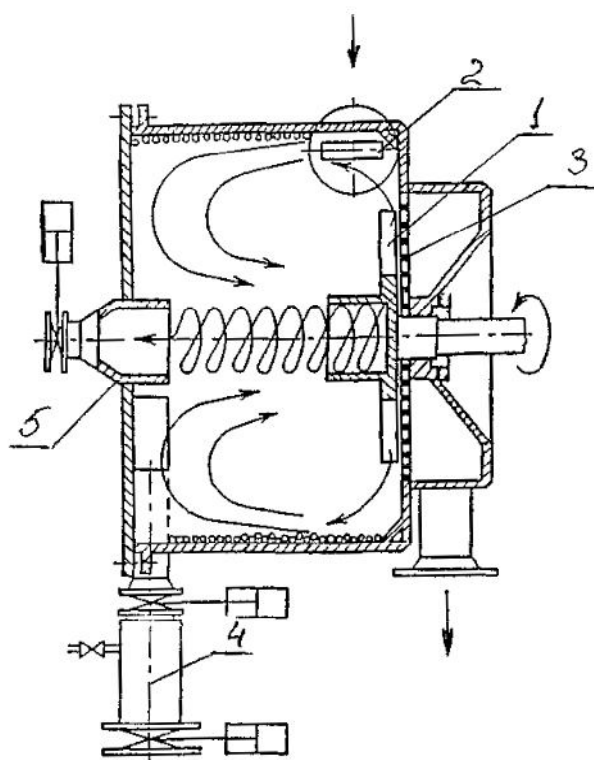


Рис. 4.5. Схема аппарата для дороспуска макулатурной массы

После дороспуска на потоке отходов устанавливают вибросортировки или сортирующие барабаны. В качестве примера следует отметить вибросортировки типа СВ или Celleco Gauld и сортирующие барабаны БСТ-1А, STR (Voith), Selectpurge (Kadant) и др.

Роспуск массы при средних концентрациях в непрерывном режиме может производиться с разделением выходящего из гидроразбивателя потока массы на две составляющие. Часть массы, прошедшая сквозь отверстия, напрямую поступает в приемный бассейн, а часть массы отбирается из средней или нижней части ванны, подается на доразволокнение в специальный аппарат, и только после обработки в нем поступает в приемный бассейн макулатурной массы. При этом происходит удаление из массы крупных посторонних включений, что снижает степень засорения ими ванны гидроразбивателя.

4.2.1.2. Разволокнение макулатуры в периодическом режиме при средних и высоких концентрациях

Разволокнение макулатуры при концентрации массы 7-20 % производят обычно в периодическом режиме. Основными преимуществами такого разволокнения являются значительно меньшее измельчение посторонних включений и экономия удельных энергозатрат по сравнению с непрерывным режимом роспуска при низких концентрациях. Однако при этом предъявляются повышенные требования к точности дозирования загружаемого материала. Заметная экономичность достигается в случае, если продолжительность заполнения и опорожнения ванны гидроразбивателя минимальна.

Разволокнение при увеличении концентрации до 12 % стало возможно при изменении конструкции ротора, с приданием ему винтообразной формы, а при концентрации до 20 % - геликоидальной формы. Так как гидроразбиватели для роспуска массы при высокой концентрации загружаются большим количеством макулатуры, которая вносит большее количество загрязнений, необходимо оснащать их дополнительными устройствами для удаления загрязнений.

В традиционных гидроразбивателях (непрерывный режим) максимальная интенсивность разволокнения обеспечивается благодаря высокой периферийной скорости вращения ротора (15-20 м/с), в то время как при установке винтового или геликоидального ротора используют более медленное вращение. Движение массы в основном объеме гидроразбивателя преимущественно вертикальное, а на дне - горизонтальное (рис. 4.6). Между потоками возникает трение (градиент сдвига), обеспечивающее ускорение процесса роспуска.

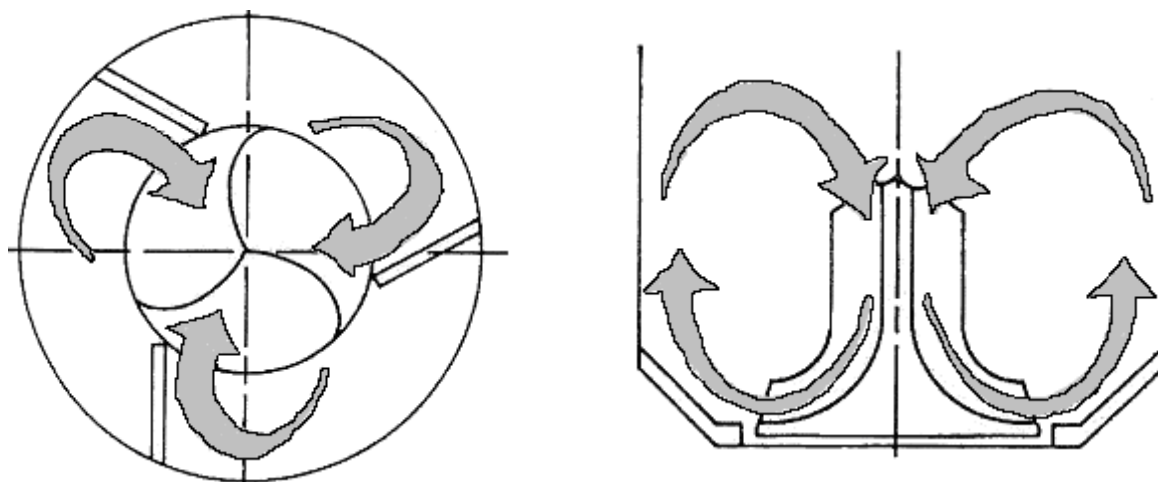


Рис. 4.6. Направление основных потоков массы высокой концентрации в гидроразбивателе

Установлено, что увеличение концентрации массы в гидроразбивателе с 4 % до 7-8 % позволяет снизить удельное потребление энергии на 30-50 % и обеспечивает повышение производительности роспуска в два раза. При этом обязательно требуется изменение конструкции ротора. Роторы для работы при средних концентрациях массы были со временем усовершенствованы и обеспечили указанную интенсификацию процесса разволокнения за счет увеличения сдвиговых усилий. Появилась возможность работы при концентрации до 18 % и выше. Невысокая скорость вращения ротора особенно благоприятно сказывается в случае подготовки массы к облагораживанию (размягчение связующих компонентов краски и её отделение от волокна), а также препятствует интенсивному измельчению посторонних загрязняющих материалов, что облегчает их последующее выведение из распущенной массы. Отделению краски способствует возможность трения отдельных волокон друг о друга, вероятность которого увеличивается пропорционально повышению концентрации массы.

Установлено, что градиент сдвига (трение) между фрагментами макулатуры и ротором, а также фрагментами макулатуры между собой определяет разволокняющее воздействие вблизи ротора, так как содержание нераспустившихся лепестков зависит от количества и продолжительности контактов ротора и макулатуры. Таким образом, самый важный элемент разволокнения при высокой концентрации - ротор, возможные конфигурации которого представлены на рис. 4.7. Внешняя рабочая зона ротора зависит от числа лопастей, их наклона и площади поверхности, которой лопасть ротора контактирует с массой в течение одного оборота. Способность винтового и геликоидального ротора к интенсивному разволокнению макулатуры при высокой концентрации массы во многом зависит от геометрии рабочей поверхности лопастей и реологических свойств волокнистой суспензии. Высокая степень разволокнения макулатуры допускает возможность исключения стадии дополнительного разволокнения массы. Периодический процесс разволокнения в гидроразбивателе при высоких концентрациях используется, в частности, когда требуется полное разволокнение макулатуры или дополнительное время выдерживания массы для обработки ее химикатами при высокой температуре. Например, в случае последующего облагораживания массы или при переработке влагостойких видов макулатуры.

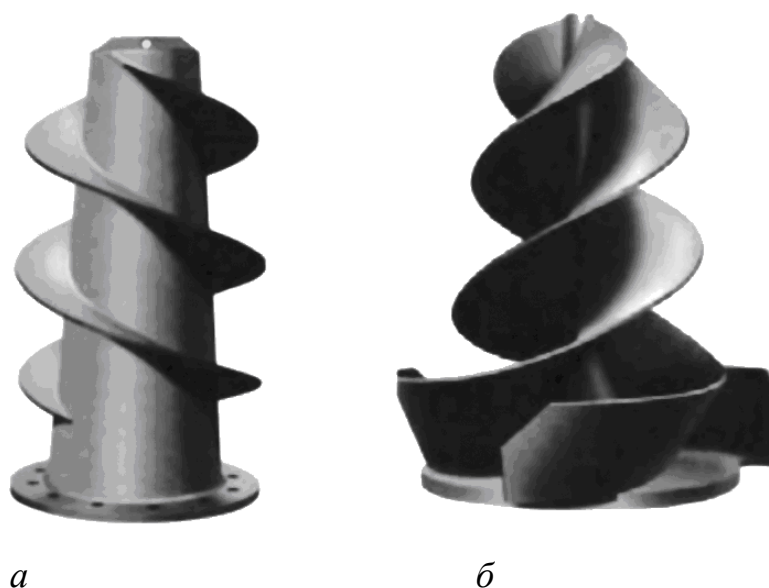


Рис. 4.7. Конструкции роторов для роспуска макулатуры при средних и высоких концентрациях: *а* - Mid-Con; *б* - Helico

Ванна гидроразбивателя может иметь диаметр от 2,5 до 6,0 м и вместимость от 6 до 70 м³. Разовая загрузка макулатуры в гидроразбиватель может составлять до 13 т. Типичная продолжительность цикла разволокнения 30-45 мин, в зависимости от вида макулатуры. Схема гидроразбивателя показана на рис. 4.8.

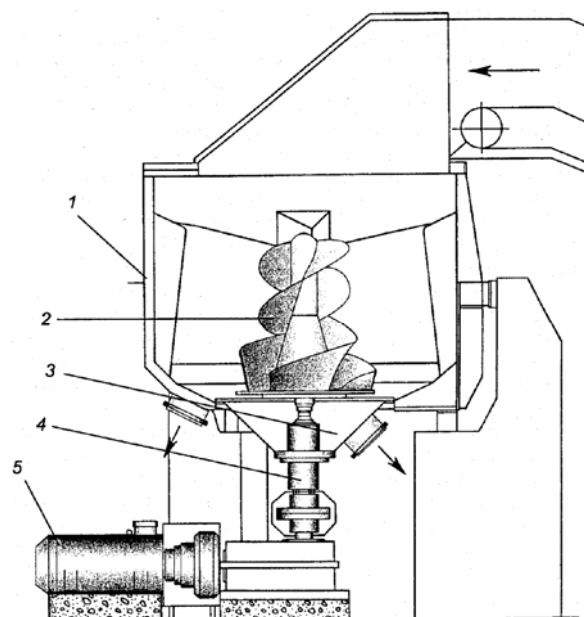


Рис. 4.8. Схема гидроразбивателя для роспуска макулатуры при высокой концентрации массы: 1 - ванна; 2 - ротор; 3 - подроторная зона; 4 - муфта; 5 - привод

Конструкция ванны должна обеспечивать эффективное смачивание и последующее разволокнение макулатуры в процессе непрерывной циркуляции массы. Для этих целей внутри ванны устанавливаются ребра разной формы и размеров. Диаметр отверстий подроторного сита выбирают в зависимости от требований к качеству макулатурной массы. В отдельных случаях подроторное сито в гидроразбивателях не устанавливают. Поэтому, как правило, гидроразбиватели работают в комплексе со вспомогательным доволокнующим и сортирующим оборудованием. Приведем пример.

Система роспуска PreClean компании Voith (рис. 4.9) состоит из гидроразбивателя высокой концентрации типа HDS и отделителя посторонних включений Contaminex CMS. Отделенные вместе с частью волокна отходы поступают на промывку в сортирующий барабан STR (на рисунке не приведен).

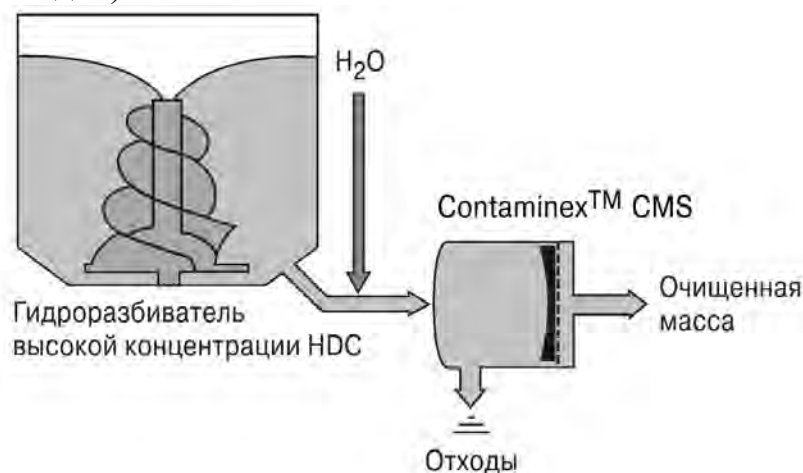


Рис. 4.9. Схема системы роспуска PreClean при высокой концентрации массы

Высокая концентрация массы, обуславливающая низкую текучесть, породила проблему удаления ее из гидроразбивателя. Ее решают тремя способами:

➤ разбавлением всего объема массы до концентрации 4-6 % и последующей откачкой ее насосами. Недостаток этого способа - необходимость увеличения размеров ванны для возможности соответствующего разбавления;

➤ разбавление массы только в зоне под ротором с одновременной откачкой массы из этой же зоны. Оставшиеся на сите отходы удаляются специальной скребковой лопастью в грязевые карманы гидроразбивателя;

➤ опорожнение через большое отверстие без предварительного разбавления в сортирующий барабан. Для обеспечения выгрузки используют гидроразбиватель с наклонным днищем. После опорожнения гидроразбивателя ванну промывают водой.

4.2.1.3. Примеры технологических схем различных систем разволокнения макулатуры

В связи с разнообразием требований к роспуску, видов макулатуры и степени ее загрязненности разработано и используется большое количество технологических схем и соответствующих аппаратов. Рассмотрим некоторые из них.

Система роспуска Voith ATS-N (рис 4.10)

Одна из самых прогрессивных систем роспуска при низкой концентрации 70-80 г/г. прошлого века. Транспортером макулатура в кипах или россыпью подается в ванну гидроразбивателя 1 для разволокнения и отделения грубых и тяжелых включений, которые попадают в грязевик 4. Легкие, склонные к завиванию загрязнения (пленка, шпагат и др.) концентрируются в центре турбулентности, вызываемом вращением ротора 2. Навиваясь на канат, подаваемый жгутовывателем 5, загрязнения выводятся из системы. Тяжелые грубые частицы загрязнений периодически удаляются из ловушки грязевика. Масса, прошедшая через отверстия сита 3, насосом подается в турбосепаратор 6, предназначенный для разволокнения нераспущенных мелких фрагментов макулатуры в массу, а также для отделения оставшихся посторонних включений.

Вследствие тангенциальной подачи массы в турбосепаратор, а также интенсивного воздействия крыльчатки 7, происходит доразволокнение массы в зазоре между рабочими кромками лопастей и ситовой пластиной 8. Легкие посторонние включения концентрируются в центре корпуса сепаратора и через специальное устройство периодически извлекаются и подаются на вибросортировку 9. Волокна, годные к употреблению, возвращаются в гидроразбиватель, а отходы отводятся в контейнер. Туда же направляются и тяжелые отходы от центробежного очистителя 10 через грязевик 11.

Концентрация массы в гидроразбивателе $4\div 4,5$ %. Режим работы непрерывный. Минимизация потерь волокна с отходами обеспечивается подачей промывной воды в трубопровод отходов перед очистителем в грязевик гидроразбивателя и на spryski вибросортировки.

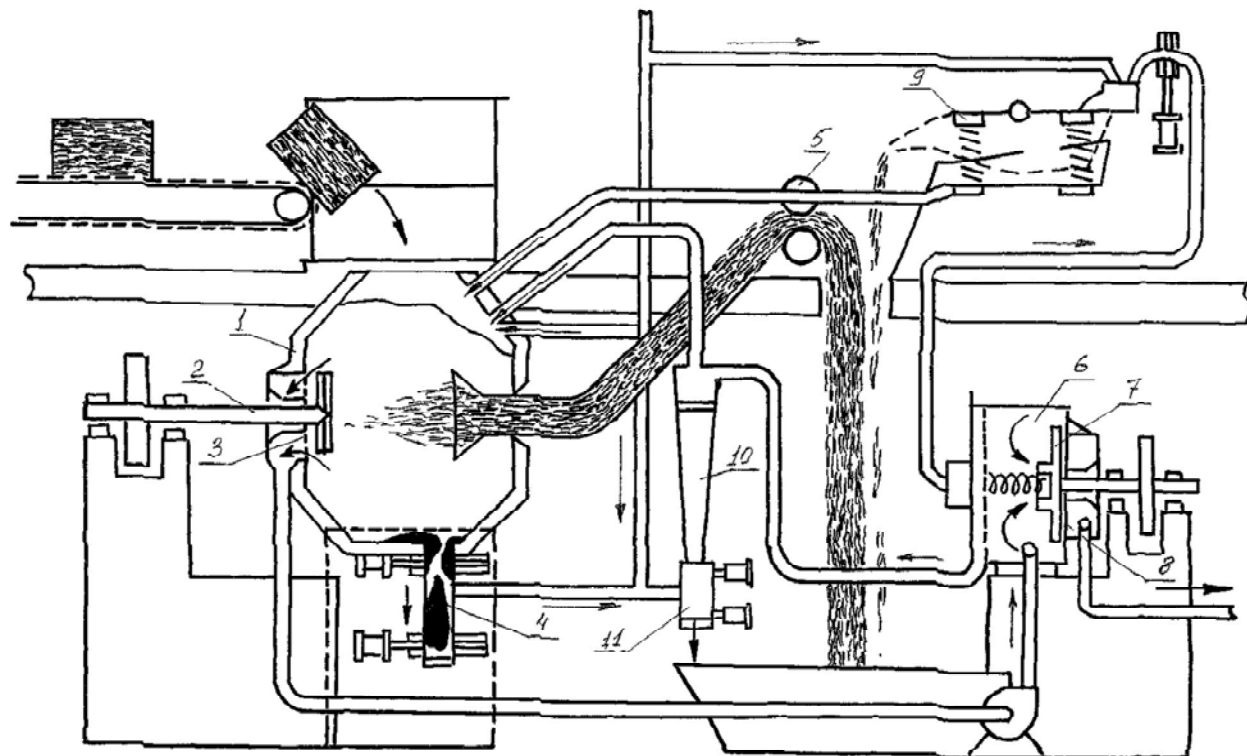


Рис. 4.10. Схема системы роспуска Voith ATS-N

Система роспуска Helipoire компании Kadant Lamort (рис. 4.11)

Система разработана в 90-х гг. прошлого века для роспуска при высокой концентрации массы макулатуры широкого спектра свойств - от газетной до макулатуры с покрытиями и макулатуры, предназначенной для облагораживания.

Транспортером макулатура в кипах или россыпью подается в ванну вертикального гидроразбивателя типа Helico Pulper с геликоидальным ротором. Режим работы - периодический.

Разволокнение в гидроразбивателе при высокой концентрации позволяет избежать уменьшения размеров загрязнений и, тем самым, облегчить их удаление из системы. Гидроразбиватель не имеет сита, поэтому с целью отделения неповрежденных посторонних включений его комплектуют отделителем типа Poire (Dumping Poire), который оснащен вращающимся ротором (крыльчаткой) и вертикальной ситовой пластиной.

Распущенная в гидроразбивателе масса разбавляется водой до концентрации 5 % и вместе с посторонними включениями поступает в корпус аппарата Poire. В нем происходит эффективное разделение волокнистой массы и загрязнений. Через отверстия в ситовой пластине масса, свободная от загрязнений перекачивается насосом в бассейн.

Система удержания с щадящим воздействием на загрязнения обеспечивает их накопление в корпусе отделителя. После полной разгрузки гидроразбивателя задвижка между ним и отделителем закрывается. Осуществляется короткий цикл промывки водой удержанных в отделителе загрязнений, в процессе которого отделяется удержанное вместе с загрязнениями волокно. На следующей стадии происходит удаление загрязнений через специальный шлюз, снабженный выгрузочным клапаном в нижней части аппарата.

Промывка загрязнений и их последующее удаление выполняются тогда, когда аппарат Roire изолирован от гидроразбивателя. Поэтому рабочие стадии не связаны с общей продолжительностью цикла разволокнения. Это дает возможность использовать гидроразбиватель при его максимальной производительности.

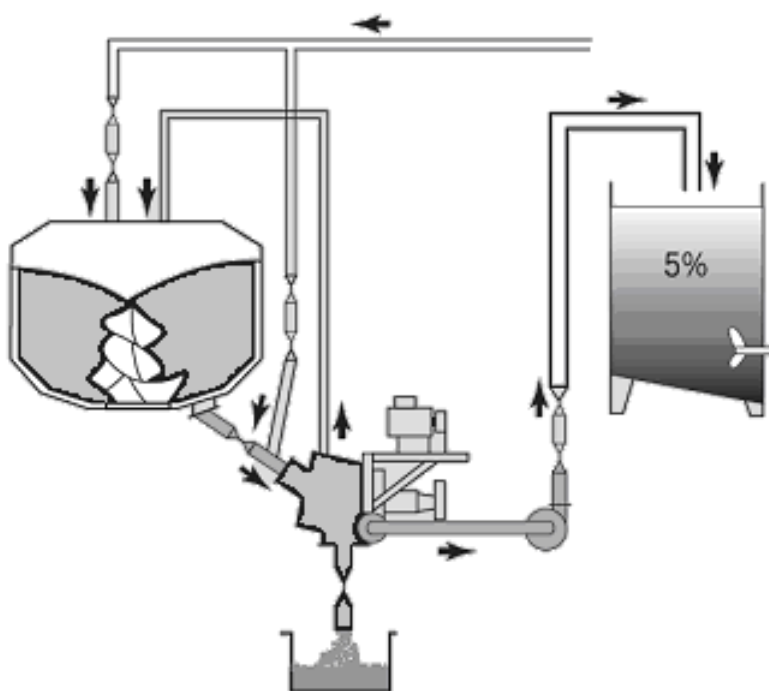


Рис. 4.11. Схема системы роспуска Helipaire для работы в периодическом режиме

Система роспуска TwinPulper II компании Voith (рис. 4.12)

Предназначена для роспуска коричневой (из сульфатной небеленой целлюлозы) макулатуры при низкой концентрации (4,5 %) в непрерывном режиме.

Макулатура непрерывно загружается в ванну гидроразбивателя UniPulper с дисковым ротором и подроторным ситом. Для удаления завивающихся отходов предусмотрен жгутовытаскиватель с резак. Гидроразбиватель снабжен устройством для удаления тяжелых отходов Junkomat. Это цилиндрическая емкость, куда поступает часть массы, содержащая крупные тяжелые загрязнения, не прошедшие через сито. Они скапливаются в нижней части емкости и периодически удаляются в

контейнер. Свободная от них масса поступает на дороспуск. Часть массы, прошедшая через сито, поступает непосредственно на дальнейшую обработку. Дороспуск осуществляется в специальном аппарате Fiberizer F-T.S, который оборудован ротором и сортирующим ситом. Кроме того, в нем производится отделение посторонних включений, которые вместе с частью волокна непрерывно выводятся в сортирующий барабан типа STR. Отделенное волокно промывается sprays через перфорированные стенки барабана и поступает обратно в гидроразбиватель, а отходы через задний торец выгружаются в контейнер.

Повышенная производительность гидроразбивателя обеспечивается за счет увеличения доли прошедшей сквозь сито (отсортированной) массы, значительно превышающей долю массы, находящейся в рециркуляции.

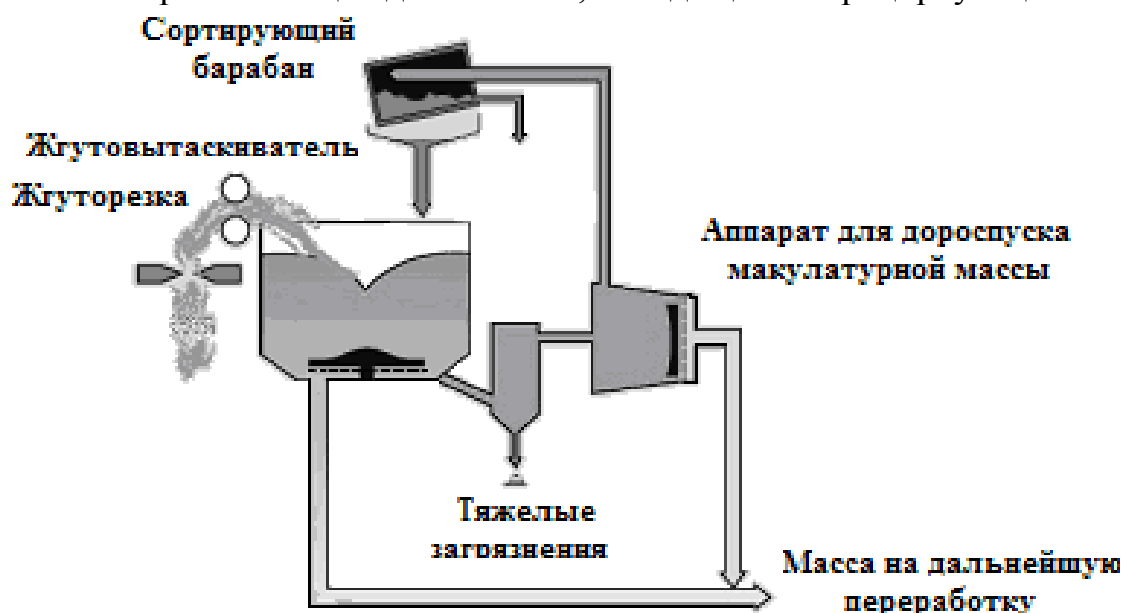


Рис. 4.12. Схема системы роспуска TwinPulp II

Система роспуска PreClean II компании Voith (рис. 4.13)

Система роспуска при высокой концентрации применяется для разволокнения белой и запечатанной макулатуры, предназначенной для облагораживания. Позволяет получить хорошее отделение печатной краски за счет трения (градиент сдвига), возникающего между волокнами. Используют различные варианты ротора в зависимости от концентрации массы.

Макулатура подается в гидроразбиватель, снабженный геликоидальным ротором. Сито в гидроразбивателе отсутствует. По окончании цикла роспуска (30-40 мин) вся масса после разбавления вместе с загрязнениями выпускается через систему выгрузки. Для интенсификации процесса роспуска и отделения печатной краски в ванну гидроразбивателя подают химикаты.

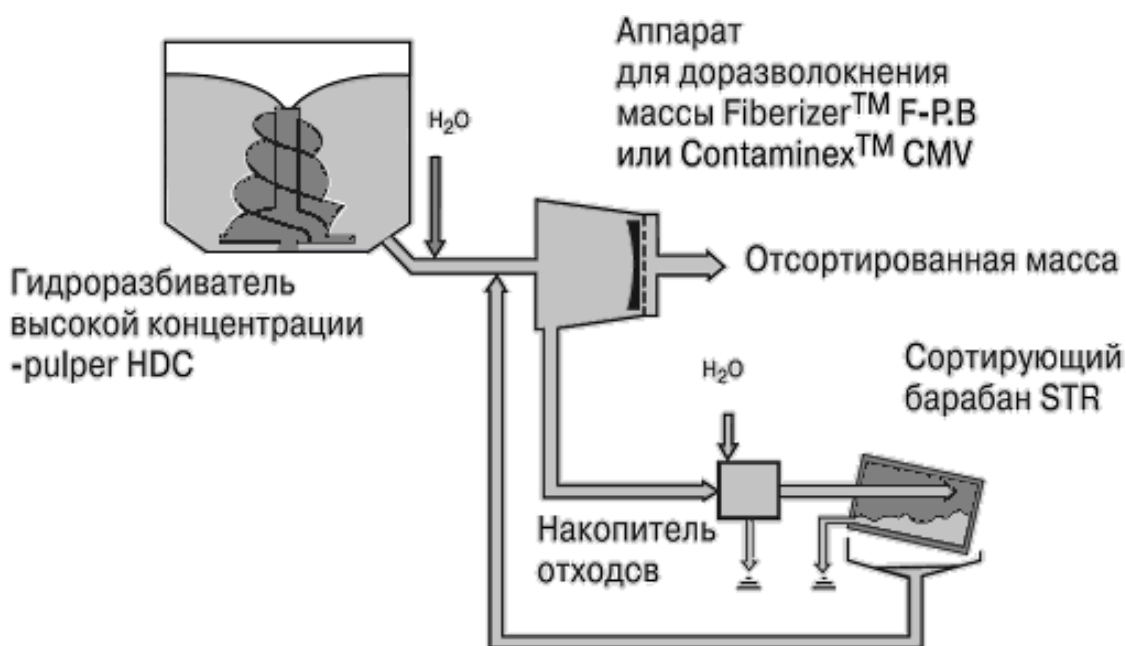


Рис. 4.13. Схема системы роспуска PreClean II

Из системы выгрузки, после дополнительного разбавления до концентрации 5-6 %, масса поступает в аппарат для доразволокнения массы Fiberizer F-P.B, имеющий ротор с дугообразными лопастями и дисковое сито. Распушенная и отсортированная масса уходит на дальнейшую обработку, а посторонние включения вместе с частью волокна поступают в накопитель отходов и, далее, в сортирующий барабан STR. В сортирующем барабане происходит отделение посторонних загрязнений, поступающих в контейнер, а отмытое волокно возвращается в Fiberizer.

Если доволоknение не требуется (масса достигает высокой степени роспуска в гидроразбивателе), то вместо аппарата Fiberizer устанавливается аппарат Contaminex CMV, предназначенный только для удаления посторонних включений из макулатурной массы.

Концепция роспуска BI-Pulper (рис. 4.14)

В обычном гидроразбивателе с плоским ротором и ситом для возможности перехода на работу при высоких концентрациях массы смонтирована приставка, которая приводит в движение свободно подвешенный, раскачивающийся сигарообразный шнек. Верхняя часть медленно вращающегося шнека выступает над уровнем массы в ванне. Первичное разрушение кипы макулатуры происходит на верхних, выступающих из массы винтах шнека. Они захватывают большие сухие листы макулатуры и увлекают их внутрь ванны, где сначала происходит их увлажнение. В конечной стадии перемещения вниз лист приходит в соприкосновение с быстро вращающимся ротором на дне ванны гидроразбивателя. Здесь происходит его разрушение, и одновременно, изменение направления его движения на противоположное. Таким образом

осуществляется циркуляция массы в ванне и постепенное разволокнение макулатуры. Очистка массы происходит только при выпуске массы через ситовую перегородку в нижней части ванны гидроразбивателя.

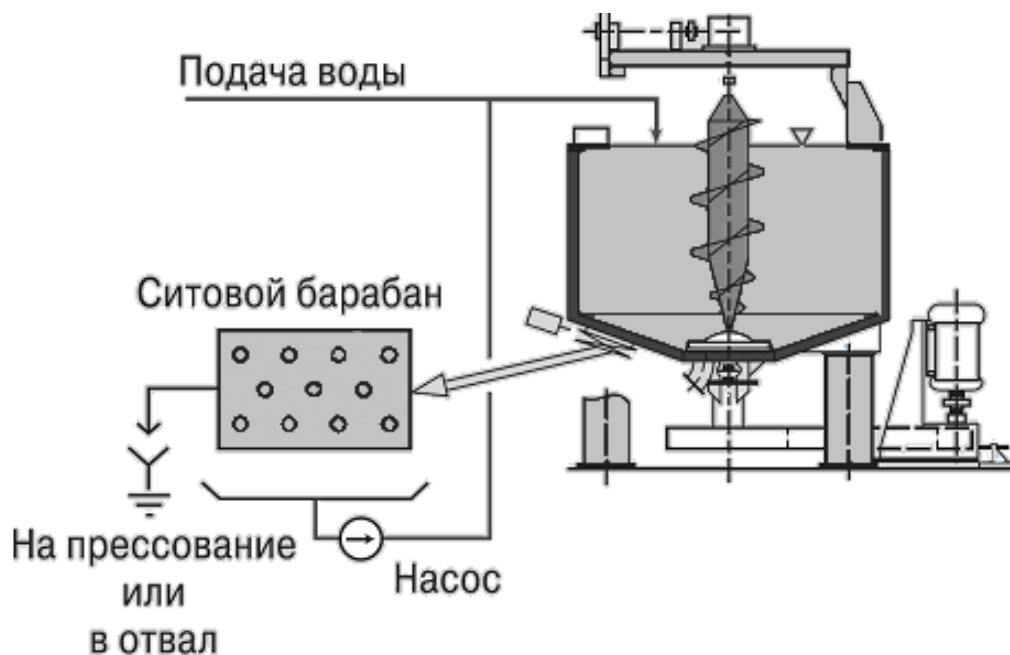


Рис. 4.14. Схема системы роспуска BI-Pulper

Гидроразбиватель работает в периодическом режиме. При разгрузке гидроразбивателя вода на разбавление подается непрерывно в процессе опорожнения ванны. Уровень массы в гидроразбивателе остается почти без изменения. Так как ротор главного привода работает с большей частотой вращения, чем привод обычного гидроразбивателя для массы высокой концентрации, становится возможным одновременное перемешивание массы с водой и хорошая очистка сита. Для ускорения процесса опорожнения следует устанавливать откачивающий насос большой производительности.

По окончании опорожнения макулатурной массы из гидроразбивателя посторонние включения и остатки влагопрочной макулатуры остаются задержанными на сите. Время от времени их необходимо удалять из ванны. Для разбавления отходов на сите в опорожненный гидроразбиватель добавляется определенное количество воды, производится перемешивание, а затем через кратковременно открытую выходную задвижку содержимое гидроразбивателя залпом выгружается в перфорированный барабан, рассчитанный на прием всего количества промывной воды и отходов. Вода попадает в сборник и повторно используется для наполнения ванны гидроразбивателя. В барабане остаются отходы, которые могут быть направлены на обезвоживающий пресс либо в контейнер.

4.2.2. Роспуск макулатуры в гидроразбивателях барабанного типа

Основной принцип такого роспуска заключается в том, что макулатуру увлажняют, а затем производят сбрасывание намокшей макулатуры с высоты более 1 м (в зависимости от диаметра барабана). Происходит удар её о твердую поверхность, переворачивание и разволокнение. Обычно продолжительность обработки макулатуры в барабане составляет 20-25 мин. Хороший результат разволокнения получается тогда, когда макулатура увлажняется в барабане за срок менее 5 мин. Это условие выполнимо в случае обработки макулатуры из использованных газет, печатных и писчих видов бумаг. Макулатура из влагостойкой бумаги мало пригодна для разволокнения в барабане.

В барабане осуществляется щадящий режим разволокнения при высокой концентрации. Поэтому многие включения не измельчаются и могут заблаговременно отделяться. Очень незначительные силы сдвига в барабане, по сравнению с традиционным гидроразбивателем, обеспечивают более мягкую обработку частиц, включений, что облегчает их дальнейшее отделение.

Впервые такой способ роспуска был предложен фирмой Альстрем примерно в 1977 г. Соответствующий аппарат был назван FiberFlow (рис. 4.15). Он представляет собой вращающийся на катках барабан, установленный под небольшим углом ($2-5^\circ$), для того чтобы обеспечить горизонтальное движение макулатуры. Внутри барабана отсутствуют конструктивные элементы, которые могли бы измельчать волокна, и поэтому их бумагообразующие свойства не ухудшаются. Имея две зоны: роспуска и очистки/сортирования, барабан отделяет посторонние включения с минимальной потерей волокна.

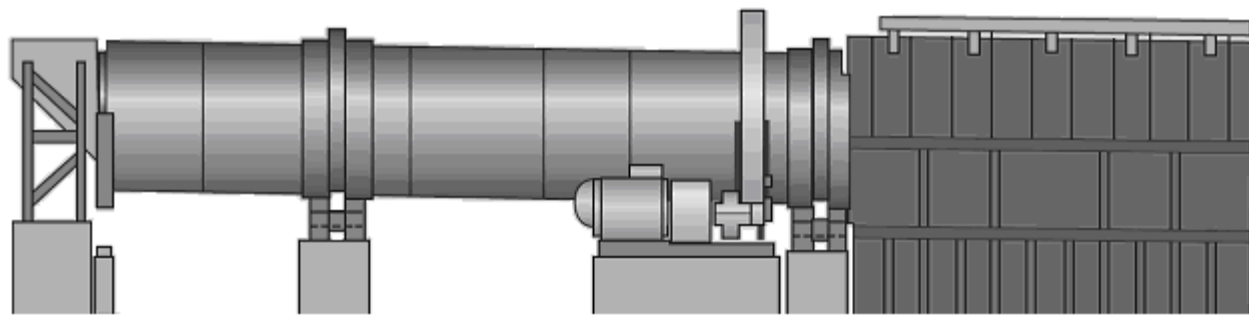


Рис. 4.15. Барабанный гидроразбиватель FiberFlow

Зона разволокнения занимает $2/3$, а зона сортирования $1/3$ длины барабана. Барабан вращается с окружной скоростью 1,5-2,0 м/с, его диаметр составляет 2,25-4,25 м, а длина - до 35 м.

Концентрация массы в зоне разволокнения макулатуры составляет 15-25 %, а перед зоной сортирования концентрация массы снижается до 3 %. Диаметр отверстий барабана в зоне сортирования равен 9 мм. Масса вымывается из барабана, а отходы удаляются конвейером на сгущение и утилизацию. Регулируя скорость вращения барабана, можно получить массу различной степени роспуска. Отходы выделяются непрерывно. Влагопрочные

компоненты в составе макулатуры также попадают в отходы. Для утилизации отходов установка комплектуется оборудованием для сгущения и удаления мусора.

Достоинствами установки FiberFlow являются низкое удельное потребление энергии, возможность ведения процесса без вспомогательных химикатов и при низкой (примерно 35 °С) температуре, широкий диапазон производительности (от 50 до 2000 т/сут), низкие потери волокна, простота и надежность конструкции. Следует отметить также лучшее отделение краски и обеспечение большего прироста белизны, по сравнению с другими видами оборудования для разволокнения.

Вместе с тем, имеется ряд ограничений и проблем при использовании барабанных гидроразбивателей. Наиболее эффективны они при переработке однородных по размерам листов макулатуры, желательно предварительно измельченных и примерно с одинаковой влагопрочностью. При разволокнении происходит недостаточное отделение кусков проволоки, скрепок, канцелярских зажимов и других загрязнений, склонных к завиванию. Так, скрепки и куски проволоки свойлачиваются с бумагой в так называемые «коконы» и попадают в технологический поток, где они могут наматываться на вращающиеся части аппаратов и вызывать их поломку. Кроме того, «коконы» забивают отверстия сортировок.

Во многих случаях в технологическую схему роспуска включают дисковые машины для грубой обработки массы, например, сеточный контаминекс (VSV) или турбосепаратор (Fiberizer, ГРС, ТС-60). Хотя такие машины и требуют дополнительного расхода энергии, они очень эффективно защищают последующие агрегаты в технологическом потоке переработки макулатуры.

Системы FiberFlow устанавливают чаще всего в линиях, предусматривающих облагораживание макулатурной массы с последующим ее использованием в композиции газетной, санитарно-гигиенической и писче-печатных видов бумаги.

Более усовершенствованной конструкцией барабанного гидроразбивателя является установка TwinDrum, разработанная компанией Voith. Установка предназначена для разволокнения книжно-журнальной, коричневых видов макулатуры и картона для упаковки жидких продуктов. Она состоит из двух каскадно расположенных горизонтальных барабанов. Барабан для разволокнения диаметром 3,5 м и длиной 7-15 м производит роспуск при концентрации массы 15-25 %. Скорость его вращения примерно 1,5 м/с. Он оборудован специальным устройством для перемещения макулатуры внутри него, обеспечивающим постоянную скорость ее движения во всем объеме. Перед вторым, сортирующим, барабаном масса разбавляется до концентрации 3-6 %. Перфорированные стенки сортирующего барабана постоянно орошаются водными sprays во избежание засорения отверстий. Сортирующий барабан имеет диаметр 3,5 м и длину 10-15 м и вращается с окружной скоростью 2,5 м/с. Масса, прошедшая сквозь отверстия, собирается в

бассейне под сортирующим барабаном и затем поступает на дальнейшую обработку, а посторонние включения после сгущения направляются в контейнер.

Имеются также установки барабанного типа, назначение которых, помимо разволокнения, состоит в удалении частичек клея, краски, золы путем промывки. К ним можно отнести установку типа CBFRS (Continuos Batch Fiber Recovery System) компаний Regenex и Krofta. Промывку массы можно производить с добавкой химикатов и, если необходимо, выводить отдельно промывные воды из двух модулей по отдельности. Возможна также отбелка волокна введением соответствующих реагентов непосредственно в модули. Загрязненный фильтрат от первого модуля направляется на локальную очистку, что позволяет сделать замкнутым цикл водопотребления узла роспуска.

4.3. ПУТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ РАЗВОЛОКНЕНИЯ МАКУЛАТУРЫ И СОКРАЩЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ

Любая интенсификация процесса разволокнения макулатуры приводит, в конечном счете, к сокращению энергозатрат на разволокнение. Энергозатраты определяют как отношение установленной мощности привода к производительности аппарата по воздушно-сухой макулатуре (кВт·ч/т). Устанавливаемая мощность на роторе традиционного гидроразбивателя без учета КПД определяют по формуле

$$N = N_p \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d^5, \text{ кВт},$$

где N_p - безразмерный критерий мощности, величина которого зависит от режима движения массы в ванне гидроразбивателя, концентрации и вязкости массы; ρ - плотность массы, кг/м³; d - диаметр ротора, м; n - частота вращения ротора с⁻¹.

Исследования показывают, что при развитом турбулентном движении ($Re > 10^4$) критерий мощности N_p не зависит от величины Re (автомодельный режим) и для различных роторов колеблется в пределах $(2-3) \cdot 10^{-4}$. Применение данной формулы ограничивается пределом концентрации массы порядка 6 %. При больших концентрациях режим движения массы меняется и выходит из зоны действия закона автомодельности, т.е. критерий мощности N_p становится зависимым от числа Re .

Установлено, что интенсивное разволокнение макулатуры при любых концентрациях массы происходит обычно в первые 5-7 мин процесса. Затем скорость разволокнения резко снижается, производительность уменьшается, а удельный расход энергии возрастает пропорционально увеличению продолжительности процесса разволокнения макулатуры (рис. 4.16).

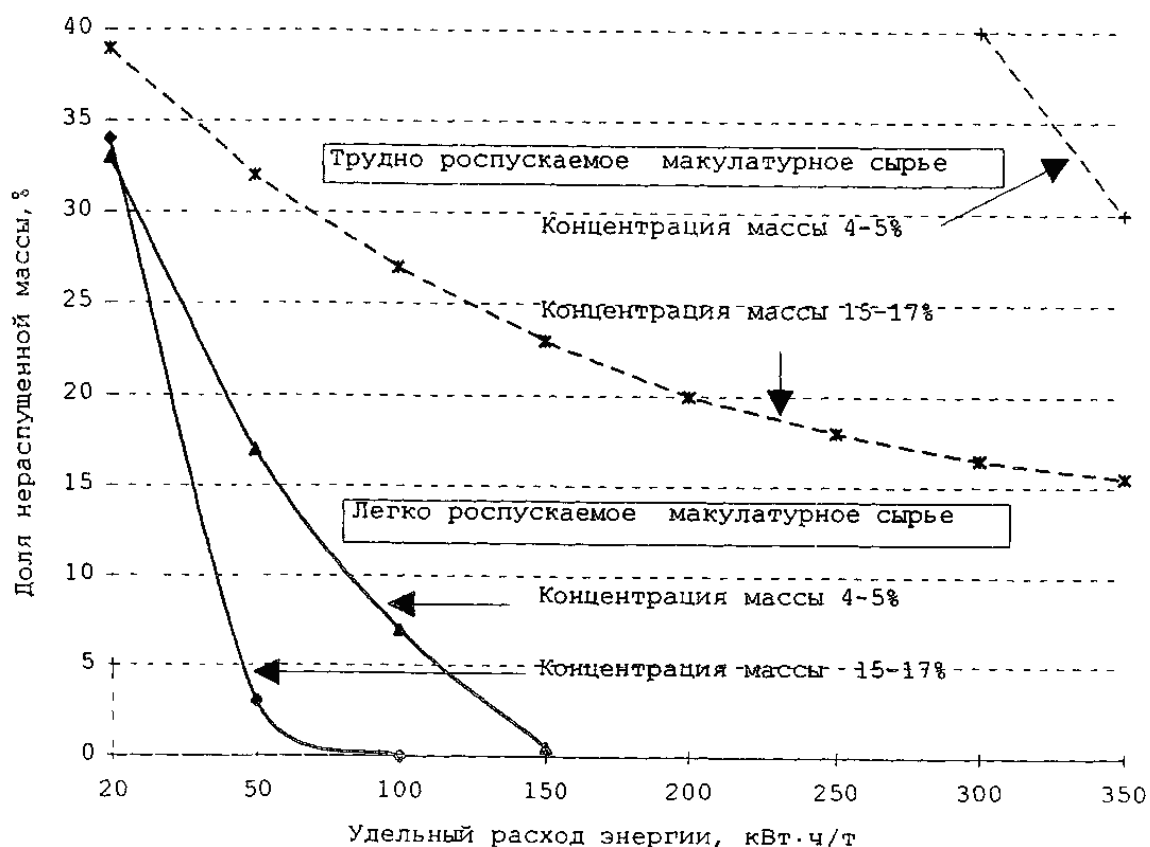


Рис. 4.16. Влияние концентрации массы и вида волокна на удельный расход энергии при роспуске

В связи с этим была разработана и использована система доволокнуния нераспущенных лепестков макулатуры в специальных аппаратах. Это позволило сократить продолжительность предварительного роспуска и одновременно и удельный расход энергии. Примерное распределение удельных расходов энергии при разволокнении составляет:

- в гидроразбивателе (при концентрации массы 3-6 %) от 18 до 40 кВт·ч/т;
- в аппаратах доволокнуния (при концентрации массы 3-6 %) от 16 до 20 кВт·ч/т.

Количественные оценки показывают значительный разброс данных, что объясняется влиянием множества факторов. Основные из них:

- тип и конструкция аппаратов (размеры и конфигурация ванны, диаметр отверстий перфорации сита, наличие направляющих устройств и т.п.);
- тип и размеры ротора гидроразбивателя;
- тип и конструкция аппарата для доволокнуния;
- вид разволокняемой макулатуры;
- степень загрязненности макулатуры;
- наличие и вид химических добавок;
- температурный режим разволокнения.

Среди группы факторов, характеризующих конструктивные особенности аппаратов для разволокнения, наибольшее влияние на

интенсивность роспуска оказывают тип и форма ротора гидроразбивателя. Испытания различных роторов показали, что для низких концентраций массы целесообразно использование плоских дисковых роторов с крыльчаткой (типа Reised «R», Shark waste paper pulpers, Vokes, Powr-Savr, Tri-dune-pulpers и т.п.); для средних концентраций массы - роторы винтовой формы (типа ротора HDS); для массы высокой концентрации - роторы с геликоидальной формой поверхности (типа Helico, Груббенс, Груббенс «SRN» и т.п.).

Чем выше концентрация массы при роспуске, тем больше должно быть отношение геометрического объема ротора к объему ванны гидроразбивателя. В предельных случаях это отношение достигает величины 0,25.

Интенсификацию процесса роспуска обеспечивают гидроразбиватели с ванной, имеющей форму усеченного в продольной плоскости цилиндра (модель «DR») и плоским ротором. Такая ванна способствует быстрому погружению кипы макулатуры за счет увеличения турбулентности потока и попаданию ее в зону действия ротора. Ускоряется процесс намокания макулатуры и ее роспуска. Аналогично протекает процесс роспуска в гидроразбивателе с наклонным днищем ванны и осью ротора. Дополнительное преимущество - облегчение очистки сита и выгрузки содержимого гидроразбивателя.

Размеры отверстий сита гидроразбивателя оказывают заметное влияние на производительность разволокнения. Размером отверстий, фактически, задается степень роспуска макулатуры. В свою очередь, требуемая степень роспуска в гидроразбивателе определяется отсутствием или наличием в схеме аппаратов для доволокнения. Таким образом, выбор размеров отверстий перфорации сита гидроразбивателя сводится к решению задачи оптимизации, цель которой - минимизация энергозатрат на разволокнение макулатуры. Практически, эти размеры колеблются в диапазоне от 4 до 20 мм.

Интенсификация процесса разволокнения макулатуры наблюдается при установке внутри ванны направляющих устройств (ребер) для ориентации потока массы в гидроразбивателе в меридиональном направлении, а также для реализации дополнительного механического воздействия на распускаемый материал.

Заметного повышения производительности разволокнения и снижения удельных энергозатрат достигают за счет переоборудования гидроразбивателей обычной конструкции для перевода их на работу при повышенных концентрациях массы. В этих целях можно использовать систему VI-Pulper (см. п. 4.2.1.3). Результатом такого переоборудования является до 30 % экономии затрат на обслуживание аппарата и до 100 % увеличения производительности.

Оптимальное управление работой системы разволокнения макулатуры в гидроразбивателе возможно при автоматизации процесса, позволяющей фиксировать и регулировать следующие показатели:

- массу исходной макулатуры, подаваемой в систему роспуска;
- влажность подаваемой макулатуры;

- концентрацию массы по мере роспуска;
- продолжительность отдельных этапов разволокнения (при периодическом режиме работы);
- уровень массы в ванне.

Среди технологических факторов, позволяющих интенсифицировать процесс разволокнения, в первую очередь следует отметить концентрацию распускаемой массы. Увеличение концентрации массы в гидроразбивателе с традиционных 4,0 % до 7,0-8,0 % позволяет снизить потребление энергии на 30-40 % и обеспечить повышение производительности в два раза. Следует помнить, что изменение концентрации роспуска требует установки специального ротора.

Исследования показывают, что для получения одинаковой степени роспуска, равной 60 %, при использовании плоского ротора при концентрации массы 5 % удельный расход энергии составляет около 30 кВт·ч/т, а при использовании геликоидального ротора и концентрации 15 % - около 9 кВт·ч/т, т.е. почти в 3 раза меньше. Аналогично, для степени роспуска, равной 80 %, удельные затраты энергии составляют 60 и 12 кВт·ч/т соответственно.

Определенное влияние на процесс роспуска оказывает температура, при которой ведется процесс. С повышением температуры процесса его интенсивность повышается. Это, в первую очередь, связано с понижением вязкости воды, вследствие чего она легче проникает в поры бумаги и быстрее ослабляет межволоконные связи в ней (см. п. 4.1). Так, повышение температуры массы с 10 до 40 °С в ванне гидроразбивателя позволяет сократить продолжительность процесса разволокнения почти на 10 % и, соответственно, сократить удельные энергозатраты. Однако следует помнить, что для разволокнения используется обратная вода, подогрев которой требует дополнительных затрат энергии. Кроме того, повышение температуры массы негативно влияет на последующую гидратацию вторичных волокон в процессе размола.

При роспуске проклеенных и влагостойких видов бумаг и картонов повышение смачиваемости их поверхности, за счет придания им гидрофильных свойств, позволяет облегчить доступ влаги в межволоконные капилляры бумажного листа и, тем самым, интенсифицировать процесс разрушения его структуры и разволокнения. Смачиваемость обеспечивается специальными реагентами, в основном, группы ПАВ в количестве 0,5 % от массы макулатуры. Они снижают поверхностное натяжение твердых поверхностей. Разработаны специальные препараты, ускоряющие смачивание волокон, растворение и отмывание красителей из массы. Они позволяют сократить, например, расход гидроксида натрия и, иногда, полностью отказаться от традиционных химикатов. Их применяют для интенсификации роспуска использованной картонной тары, бумаг с восковым, силиконовым и поливинилацетатным покрытием.

При отсутствии дорогих смачивателей, для ускорения процесса разволокнения можно использовать гидроксид натрия в количестве около 1,0 % от массы макулатуры. Он позволяет понижать влагопрочность сильноклееной макулатуры при контакте с водой. Щелочная среда способствует очистке поверхности волокна от печатной краски. Некоторую потерю белизны волокна при обработке в щелочной среде можно компенсировать подачей в ванну перекиси водорода (H_2O_2) в количестве около 1,0 % от массы макулатуры.

Помимо указанных, имеется еще один путь интенсификации процесса разволокнения макулатуры. Это разволокнение с предварительным сухим измельчением.

На практике встречаются два способа измельчения бумажных материалов. В одном из них используют принцип резания ножевыми устройствами. Основные недостатки этого способа:

- необходимость периодической заточки и замены ножевых элементов;
- разрезание (укорочение) части волокон макулатуры;
- разрезание (измельчение) посторонних включений.

При втором способе используют принцип свободного удара по взвешенному в воздухе материалу. Этот принцип осуществляется в устройствах типа молотковых дробилок. В них разрушение материала происходит, в основном, по слабым местам. Одновременно, при свободном ударе происходит отделение (отрыв) пленочных покрытий, встречающихся в макулатуре, например, скотча и полиэтилена при измельчении молочных пакетов. Дополнительным позитивным моментом является то, что появляется возможность отделения посторонних минеральных и металлических включений при транспортировке измельченного материала в воздушном потоке. О возможности сортирования сухой измельченной макулатуры см. п. 3.2.

Степень измельчения макулатуры диктуется дальнейшей технологией переработки, но, по всей видимости, она должна соответствовать условию, чтобы после смешения с водой ее можно было перекачивать насосом к аппаратам для дальнейшего её разволокнения. В этом случае при подаче в гидроразбиватель измельченной макулатуры энергия затрачивается только на смешение ее с водой. Как показывают исследования, на сухое измельчение расходуется в 1,5-2,0 раза меньше энергии, чем на роспуск в водной среде.

5. СОРТИРОВАНИЕ И ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Сущность процесса сортирования заключается в пропуске макулатурной массы через отверстия, размер и форма которых обеспечивают разделение содержащихся в массе частиц. Цель сортирования - удаление из макулатурной массы посторонних включений. В данном случае определяющими параметрами посторонних включений являются их размер, форма и деформируемость. В соответствии с ними выбирают сита с круглыми или шлицевыми (щелевыми) отверстиями, размер которых обычно больше, чем размер волокон, но меньше, чем размер удаляемых посторонних включений.

Сортирование макулатурной массы обычно проводят в три стадии:

- предварительное и дополнительное сортирование массы в процессе разволокнения макулатуры. Его осуществляют в традиционных гидроразбивателях, снабженных перфорированной плитой, в барабанных гидроразбивателях, оснащенных сортирующей секцией или в отдельно стоящих устройствах. На этой стадии для сортирования используют, в основном, круглые отверстия;

- грубое сортирование макулатурной массы средней концентрации (менее 4,5 %) в сортировках, оснащенных ситами с круглыми или шлицевыми отверстиями. Эта стадия приводит к удалению грубодисперсных частиц отходов до уровня, обеспечивающего возможность использования сит с меньшими размерами отверстий в сортировках, применяемых на следующей стадии;

- тонкое сортирование макулатурной массы при низкой (менее 1,5 %) концентрации на сортировках, оснащенных, как правило, ситами со шлицевыми отверстиями.

Сортирование массы при высоком содержании загрязнений в макулатуре должно выполняться с соблюдением ряда предосторожностей. Так, при попытке удалить слишком большое количество загрязнений в одну стадию сортирования возникают проблемы как с эффективностью работы, так и с повышением степени износа узлов сортировки, прежде всего, сита и ротора.

Определенные затруднения вызывает удаление деформируемых частиц и частиц, которые способны разрушаться при высоких нагрузках.

Одновременно с удалением посторонних включений в процессе сортирования происходят потери волокна, которых избежать практически невозможно. Уменьшения этих потерь достигают дополнительным сортированием отходов на последующих ступенях. При этом общие потери волокна в системе сортирования определяются содержанием его в отходах последней ступени.

Перед сортированием, как правило, производят очистку макулатурной массы на вихревых очистителях с целью удаления из нее посторонних включений абразивного характера (песок, мелкие камни, металл, стекло и др.), что снижает степень износа и опасность поломки сортирующего оборудования, в первую очередь сит.

В процессе сортирования водная фаза массы легче проходит сквозь сито, чем волокно. В результате на сортирующей поверхности наблюдается сгущение массы вплоть до образования слоя волокна на сите, что резко снижает эффективность сортирования. Поэтому сортирующую поверхность сита очищают специальными устройствами, обеспечивающими постоянное разрушение образующегося волокнистого слоя за счет создания знакопеременного давления вблизи сита. Одновременно используют разбавление массы водой для снижения концентрации массы в сортировке.

Для сортирования макулатурной массы используют две разновидности сортирующих сит: с круглыми и щелевидными отверстиями.

Сита с круглыми отверстиями обычно используют для предварительного и грубого сортирования массы. Их изготавливают с отверстиями конической простой или зенкованной формы, а также прямой, шаговой формы.

Сита со щелевидными отверстиями изготавливают фрезерованными или профилированными. Фрезерованные щелевые сита используют на начальных стадиях сортирования, где необходима высокая механическая прочность сит и хорошо отшлифованная поверхность. Профилированные щелевые сита (рис. 5.1) собираются из вертикально установленных стержней клиновидного сечения, скрепленных по окружности металлическими кольцами (ободами). Угол клина и глубина погружения сита в сортируемую массу определяют эффективность работы сортировки. Минимальная ширина щелей фрезерованных сит составляет 0,15 мм, а профилированных - 0,08 мм. Профилированные сита могут иметь гораздо меньшие расстояния между щелями, чем фрезерованные. Поэтому живое сечение их значительно больше. В результате, обеспечивается повышенная пропускная способность сортировки, а при зафиксированной производительности - снижение скорости движения массы через отверстия. Оптимальной является скорость до 0,8 м/с.

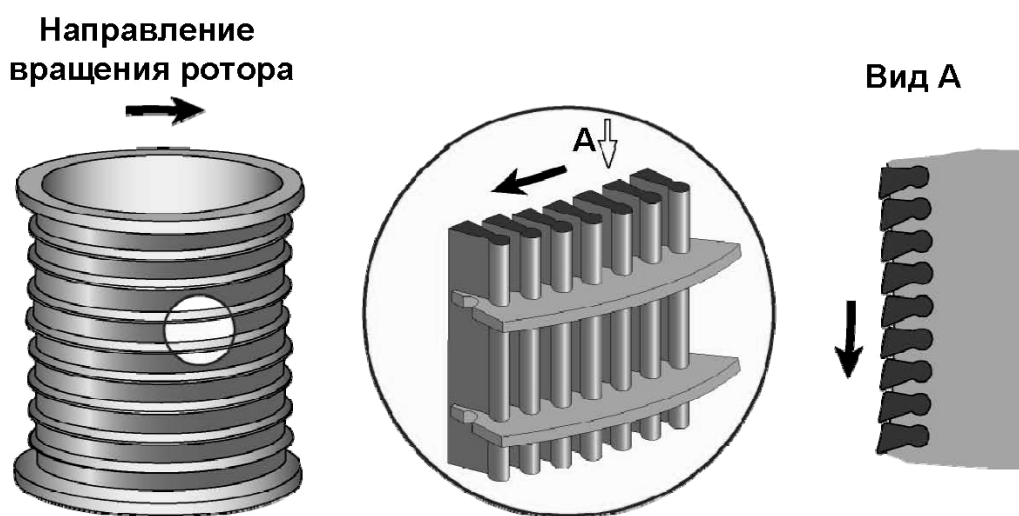


Рис. 5.1. Конструкция сит щелевых сортировок

Профилирование сит позволяет регулировать распределение микротурбулентности на поверхности сортирующего сита. Образование турбулентных завихрений потока массы непосредственно в зоне сортирования обеспечивает максимальное прохождение волокон. Разработаны сита, имеющие разные профиль и ширину щелевых отверстий по высоте сортировки, учитывающие изменяющиеся условия сортирования в разных зонах (сита AFT Varie Profile).

Оптимизацию работы сортировок осуществляют подбором как сита, так и ротора. Конструкция ротора должна обеспечивать организацию кругового движения массы в корпусе сортировки и создание импульсов давления вблизи сита. Амплитуда и частота импульсов должны обеспечить такую турбулентность в зоне сортирования, которой будет достаточно для дефлокуляции массы, и исключить забивание отверстий.

Разновидностью сортирования макулатурной массы является фракционирование, т.е. разделение волокон с различной длиной и гибкостью. Задача фракционирования - отделить длинноволокнистую фракцию волокон от коротких волокон и мелочи, образовавшихся в результате повторных циклов переработки и размола макулатурного материала.

Развитие технологии сортирования может, в перспективе, позволить сохранить очистку массы в схемах подготовки макулатурного волокна только на грубой стадии и отказаться от тонкой очистки. Использование в сортировках щелевых сит и усовершенствованных роторов дало возможность на отдельных технологических линиях переработки макулатуры из использованного тарного картона (марок МС-5Б и МС-6Б) отказаться от диспергирования для равномерного распределения клейких включений в массе.

5.1. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ СОРТИРОВАНИЯ

В общем случае производительность сортировки по абсолютно сухому волокну G определяется по формуле

$$G = c' F_{\text{жс}} a n v, \text{ т/сут.}$$

В этой формуле учтены основные факторы процесса сортирования. К ним относятся:

➤ концентрация массы, прошедшей через отверстия сита (c'), $c' = c_0 e^{-wk}$, г/л, где c_0 - концентрация массы при подходе к ситу; w - коэффициент, зависящий от концентрации массы, типа сортирующей машины и вида массы; k - коэффициент перфорации сита, или отношение суммы площадей отверстий ($F_{\text{жс}}$) сита к его общей площади (F_c);

➤ коэффициент, учитывающий изменение производительности сортировки от частоты пульсаций массы около сита (a);

- частота пульсаций массы около сита сортировки или частота колебаний сита (n), 1/с;
- скорость прохождения массы через отверстия сита (v), $v = \mu\sqrt{2gH}$, м/с, где μ - коэффициент расхода, учитывающий местные потери при проходе массы через сито; H - напор массы перед ситом, м.вод.ст.; $g = 9,81$ м/с².

Коэффициенты w , a и μ определяются опытным путем. Их значения можно найти в соответствующей литературе.

Анализ формулы для определения производительности сортировки показывает наличие максимума производительности при значениях $\kappa = 1/\omega$, что подтверждается экспериментальными данными. Одновременно, это свидетельствует о наличии границы производительности конкретной сортировки.

Показатели эффективности процессов сортирования характеризуют изменение содержания загрязнений в массе до и после сортирования. Это изменение достаточно сложно определить на практике, так как загрязнения в массе содержатся наряду с волокном, от которого их необходимо отделить. Следовательно, возможна только приблизительная оценка доли загрязнений в массе, и ошибка в оценке будет тем большая, чем меньше концентрация загрязнений. Кроме того, часть загрязнений, с размерами меньшими, чем размер волокна или предел видимости невооруженным глазом вообще не поддаются учету.

На практике оценка эффективности базируется на визуальном подсчете числа соринок в единице объема массы на входе и выходе из аппарата при конкретном расходе массы. В частности, для определения эффективности очистки используют формулу

$$\Theta = \frac{K_{\text{вх}} Q_{\text{вх}} - K_{\text{вых}} Q_{\text{вых}}}{K_{\text{вх}} Q_{\text{вх}}} 100 \%,$$

где $K_{\text{вх}}$ и $K_{\text{вых}}$ - среднее арифметическое число соринок в 1 л массы на входе и выходе сортировки;

$Q_{\text{вх}}$ и $Q_{\text{вых}}$ - расход массы на входе и выходе сортировки, л/мин.

Эта формула может использоваться и при оценке процесса удаления загрязнений в вихревых очистителях.

Без учета расхода массы эффективность удаления загрязнений определяют в массовых соотношениях (коэффициент удаления загрязнений, или коэффициент разделения):

$$T = \frac{M_{\text{звх}} - M_{\text{звых}}}{M_{\text{звх}}} 100 \%,$$

и в выражениях концентрации (эффективность сортирования или коэффициент чистоты):

$$\eta = \frac{C_{з\text{ вх}} - C_{з\text{ вых}}}{C_{з\text{ вх}}} 100 \%,$$

где $M_{з\text{ вх}}$ и $M_{з\text{ вых}}$ - масса загрязнений в единице объема суспензии на входе и выходе сортировки;

$C_{з\text{ вх}}$ и $C_{з\text{ вых}}$ - концентрация загрязнений в единице объема массы на входе и выходе сортировки. Концентрация загрязнений в данном случае есть отношение массы загрязнений к общей массе твердого в суспензии (загрязнение + волокно).

Помимо указанных характеристик используют и косвенные показатели оценки процессов сортирования. К ним относятся:

➤ относительная доля отходов

$$R = M_{отх} / M_{вх};$$

➤ фактор сгущения

$$\Phi = C_{отх} / C_{вх},$$

где $M_{отх}$ и $C_{отх}$ - масса и концентрация твердой компоненты суспензии в отходах сортирования;

$M_{вх}$ и $C_{вх}$ - масса и концентрация твердой компоненты в суспензии на входе в сортировку.

Определение этих параметров не вызывает проблем. Экспериментально установлено, что чем выше фактор сгущения, тем эффективнее идет процесс сортирования. Следует отметить, что последние показатели рекомендуются только для оперативной оценки процесса сортирования.

5.2. СОРТИРОВАНИЕ МАССЫ В ПРОЦЕССЕ РАЗВОЛОКНЕНИЯ МАКУЛАТУРЫ

Сортирование массы непосредственно в процессе разволокнения макулатуры является предварительным и ставит целью удаление из массы крупных тяжелых и легких включений. На этой стадии используют перфорированные поверхности с круглыми отверстиями.

В гидроразбивателях традиционного типа для предварительного сортирования массы служит перфорированная плита, располагаемая в нижней части ванны под ротором. В зависимости от режима и способа роспуска диаметр отверстий, через которые проходит распущенная масса, составляет от 4 до 20 мм. На плите задерживаются включения с размерами, большими, чем размер отверстий. Для снижения степени забивания отверстий в плите

ротор может быть снабжен специальной крыльчаткой, обеспечивающей гидродинамические пульсации.

Основная тенденция сортирования в гидроразбивателе - максимальное удаление крупных включений с минимальным их измельчением. Исключение составляют аппараты для роспуска ламинированной сильноклееной, покрытой пленкой влагостойкой макулатуры (МС-11В). В этом случае для разволокнения ее используют роторы истирающего действия. На перфорированной плите имеются ребра для повышения степени разрушения (разволокнения) макулатуры. Одновременно снижают диаметр отверстий до 3÷6 мм.

В гидроразбивателях барабанного типа для предварительного сортирования макулатурной массы используют вторую перфорированную секцию. Масса из первой секции роспуска поступает во вторую, где разбавляется до концентрации порядка 3-6 %, и волокнистая фракция проходит сквозь отверстия диаметром 6-9 мм. Для интенсификации процесса отделения включений и во избежание забивания отверстий вращающийся барабан снаружи оmyвается специальными sprysками. Иногда на внутренней поверхности устанавливают спиральные лопасти для перемешивания и ускорения перемещения массы. Не прошедшие сквозь перфорацию включения выходят через задний торец барабана. В данном случае соблюдается принцип минимального измельчения включений. Однако вместе с посторонними включениями из массы могут уходить недораспущенные фрагменты макулатуры, что повышает потери волокна.

Дополнительное сортирование массы происходит в аппаратах для доразволокнения макулатуры, снабженных ситами, задерживающими посторонние включения вместе с частью волокна. К таким аппаратам относятся сортирующие гидроразбиватели, турбосепараторы, фиберайзеры, контаминексы и др. (см. п. 4.2).

Для обработки отходов, образующихся при разволокнении макулатуры, для снижения потерь волокна используют сортирующие барабаны или плоские вибрационные сортировки. Сортирующий барабан представляет собой вращающийся наклонный перфорированный цилиндр, устанавливаемый обычно рядом с гидроразбивателем. Над барабаном располагаются sprysки для промывки водой содержимого барабана, а под барабаном - сборник (бассейн) для промытой массы. Для лучшего перемешивания содержимого в барабане на его внутренней поверхности иногда устанавливают спиральные лопасти.

Очищаемые отходы вместе с массой подаются через специальный патрубок, установленный, как правило, выше экстракционной перфорированной плиты гидроразбивателя. Содержимое барабана перемещается вдоль него при вращении и интенсивно промывается водой. Волокнистая составляющая вместе с мелкими включениями проходит через отверстия перфорации в бассейн, а крупные загрязнения, двигаясь вдоль барабана, выгружаются через задний торец барабана в контейнер.

На АО «Петрозаводскмаш» выпускается барабан типа БСТ-1А производительностью 20-50 т/сут по в.с. волокну. Рабочая концентрация подаваемой смеси 3,0-4,5 %, диаметр барабана 1250 мм, длина 4750 мм, скорость вращения - не более 15 об/мин. Диаметр отверстий перфорации сита - 16 мм. Для промывки сита служит система sprысков обратной водой при расходе до 35 м³/ч.

Сортирующий отходы барабан используется также в системах компании Kadant Lamort. Это барабан Scavenger, используемый для промывки массы и, одновременно, для очистки отходов скапливающихся в гидроразбивателе периодического режима роспуска. При непрерывном роспуске компания рекомендует барабаны Selectpurge, позволяющие эффективно удалять отходы из массы после гидроразбивателя.

В системах компании Voith используются сортирующие барабаны типа STR (рис. 5.2), работающие при концентрации массы 2 %, имеющие производительность от 4 до 15 т/ч а.с. волокна, в зависимости от модификации. Их применяют как последнюю ступень в системах накопления и утилизации отходов в непрерывно действующих системах роспуска PreClean, TwinPulp II. Диаметр отверстий перфорации барабана 6-16 мм. Диаметр барабана 1,25-2,5 м, длина 2-3,8 м.

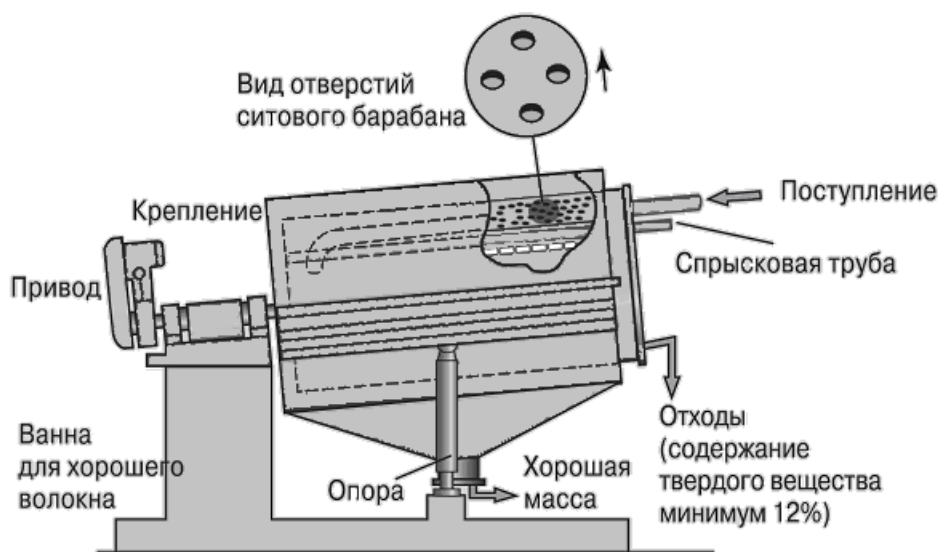


Рис. 5.2. Сортирующий барабан типа STR

В целом, наблюдается тенденция роста использования сортирующих барабанов в различных системах разволокнения на предприятиях, перерабатывающих макулатуру.

Плоские вибрационные сортировки применяют для грубого сортирования отходов в технологических схемах небольшой производительности. В нашей стране выпускались плоские вибрационные сортировки марки СВ (рис. 5.3) трех типоразмеров, отличающихся друг от друга размерами и формой ситового лотка, конструкцией механизма вибрации и амортизаторов.

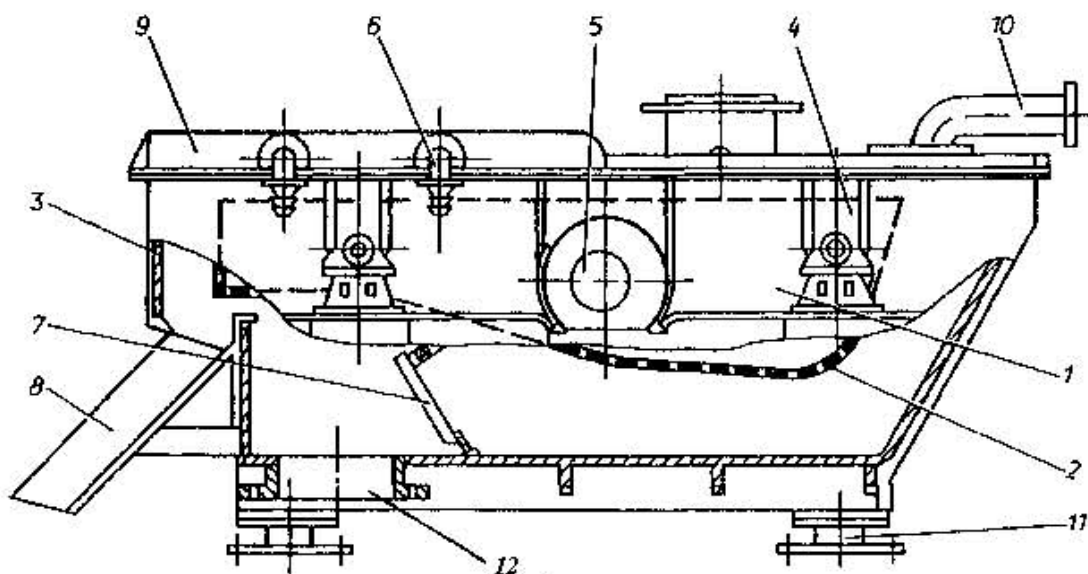


Рис. 5.3. Вибрационная сортировка:

1 - лоток; 2 - сито; 3 - ванна; 4, 11 - амортизаторы; 5 - вибрационный вал с приводом; 6 - спрысковые трубы; 7 - переливной щит; 8 - лоток для отходов; 9 - рама сортировки; 10 - вход массы; 12 - отвод массы

Сортировка работает следующим образом. Масса через патрубок 10 подается в лоток 1. Под действием гидростатического напора волокнистая масса проходит через сито 2 в ванну 3 и отводится через патрубок 12. Отходы задерживаются на сите 2 и, под действием вибрации, скачкообразно перемещаются к краю сита, где попадают в лоток 8 и отводятся из сортировки. Спрыски 6 способствуют смыванию волокна из отходов, обеспечивая уменьшение его потерь. Уровень массы в ванне регулируется переливным щитом 7.

Диаметр отверстий сита выбирают в зависимости от места и цели установки сортировки в технологическом потоке, а также от концентрации массы. Так, при сортировании массы перед подачей на бумагоделательную машину при концентрации до 1,5 % используют сита с отверстиями диаметром от 1,5 до 4,0 мм, а также шлицевые отверстия шириной до 0,8 мм. При концентрации массы до 3 % используются отверстия диаметром 4,0-6,0 мм. При сортировании отходов, содержащих волокно (концентрация 2,5-5,0 %) сортирующее сито не погружено в массу, т.е. работает без подпора. Благодаря колебаниям под ситом периодически образуется воздушная подушка, которая поддерживает чистоту отверстий сита. Одновременно происходит периодическое смачивание нижней стороны сита, что содействует обмыву его и уносу отходов.

Максимальная производительность этих сортировок составляет от 100 до 200 т/сут (по а.с. волокну), в зависимости от типоразмера, при концентрации массы до 3 %, частоте вибрации 1500 ¹/мин и амплитуде колебаний 2,2 мм.

Отличительными особенностями аналогичной вибросортировки Celleco Gauld (рис. 5.4) являются самоочищающееся сортирующее сито, пониженная частота колебаний ($700-800 \text{ }^1/\text{мин}$), увеличенная амплитуда колебаний (8,0-12,7 мм). Такая высокая амплитуда колебаний сортирующей поверхности, обеспечивающая пульсацию воздуха через сито, и промывку отходов на сите позволяет увеличить эффективность сортирования и сократить потери волокна.

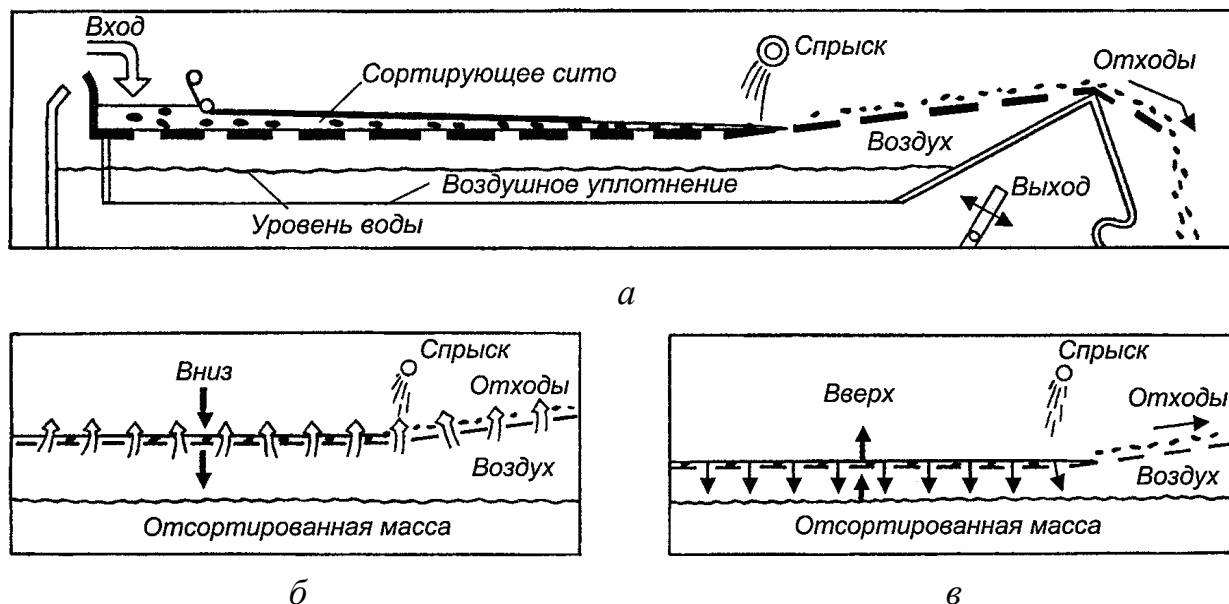


Рис. 5.4. Схема работы вибросортировки Celleco Gauld:

а - неподвижное сито; б - движение сита вниз; в - движение сита вверх

Производительность этих сортировок составляет от 15 до 55 т а.с.в./сут по волокну при концентрации массы 1,2-1,5 % и диаметре отверстий 2,0-3,0 мм. При концентрации массы 0,5-0,8 % и ширине щелевых отверстий 0,5-0,75 мм производительность их составляет от 7 до 16 т/сут в зависимости от типоразмера сортировки. Последние параметры характерны для стадии тонкого сортирования макулатурной массы.

5.3. ГРУБОЕ СОРТИРОВАНИЕ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Как уже отмечалось, цель грубого сортирования заключается в уменьшении содержания загрязнений в массе до такого уровня, когда более эффективным становится использование следующей стадии сортирования, то есть использование сит с более мелкой перфорацией.

В технологических схемах переработки макулатуры не всегда удастся провести четкую грань между предварительным и грубым сортированием. Зачастую сортированием на аппаратах, непосредственно примыкающих к гидроразбивателям в системах разволокнения (см. п. 5.2), процесс грубого сортирования и заканчивается. Отсюда терминологическая нечеткость понятия грубого сортирования. Отдельной стадией грубого сортирования можно считать применение цилиндрических сортировок. В них проводят

сортирование макулатурной массы с достаточно высокой степенью разволокнения (до 95 %). В этом случае, помимо сортирования, происходит процесс дефлокуляции массы.

Цилиндрические сортировки обычно работают под давлением при концентрации массы до 4,5 %. Они имеют сита с круглыми отверстиями или с прорезями больших размеров. Конструкция аппаратов для грубого сортирования и их принцип действия практически не отличаются от аппаратов для тонкого сортирования (рис. 5.5).

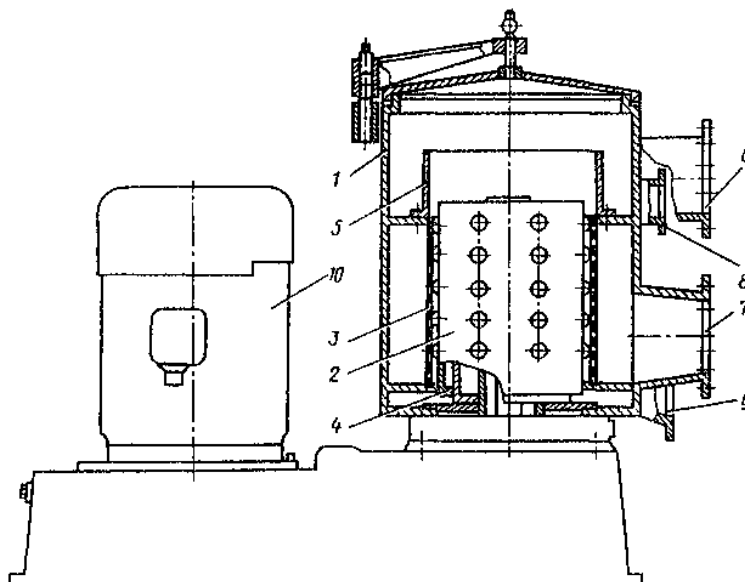


Рис. 5.5. Напорная сортировка с цилиндрическим ротором СЦН-0,9:
1 - корпус; 2 - ротор; 3 - сито; 4 - полость; 5 - кольцевая перегородка;
6 - патрубок для подачи сортируемой массы; 7 - патрубок для отвода
сортированной массы; 8 - патрубок для отвода тяжелых отходов;
9 - патрубок для отвода легких отходов; 10 - электродвигатель

Волокнистая масса подается в сортировку по касательной к образующей цилиндрической поверхности сита и под воздействием ротора кондиционная ее часть проходит изнутри или снаружи через отверстия сита. При этом образуется два потока: поток кондиционной массы, пригодной к дальнейшей обработке, и поток отходов, который направляется на отделение содержащейся в них части волокна.

Основным отличием аппаратов для грубого сортирования является конструкция ротора. Она должна обеспечить нормальную работу аппарата при сортировании массы с высоким содержанием загрязнений, предотвращая его засорение включениями, которые могут застревать между ротором и ситом. Кроме того, ротор должен обеспечить дополнительную дефлокуляцию массы перед ситом.

Для этого используют безлопастные цилиндрические роторы, поверхность которых снабжена выступами, выпуклостями, или роторы ступенчатой и более сложной конструкции (рис. 5.6). Такие роторы дают при

вращении мягкий ход и обеспечивают как удовлетворительное сортирование массы, так и ее дефлокуляцию перед ситом.

В связи с высоким содержанием загрязнений сортировки для грубого сортирования подвергаются значительному износу. Поэтому все конструктивные элементы сортировки, соприкасающиеся с массой, требуют специального исполнения. Основное требование - износоустойчивость. Это пассивная защита. Активная защита включает такую подготовку массы перед сортированием, которая обеспечит максимально возможное удаление абразивных частиц загрязнений из нее.

В целом на стадии грубого сортирования к аппаратам одновременно предъявляются требования максимального удаления включений и минимальных потерь волокна. Эти требования противоречат друг другу, в связи с чем необходим поиск оптимума их выполнения в каждом конкретном случае.

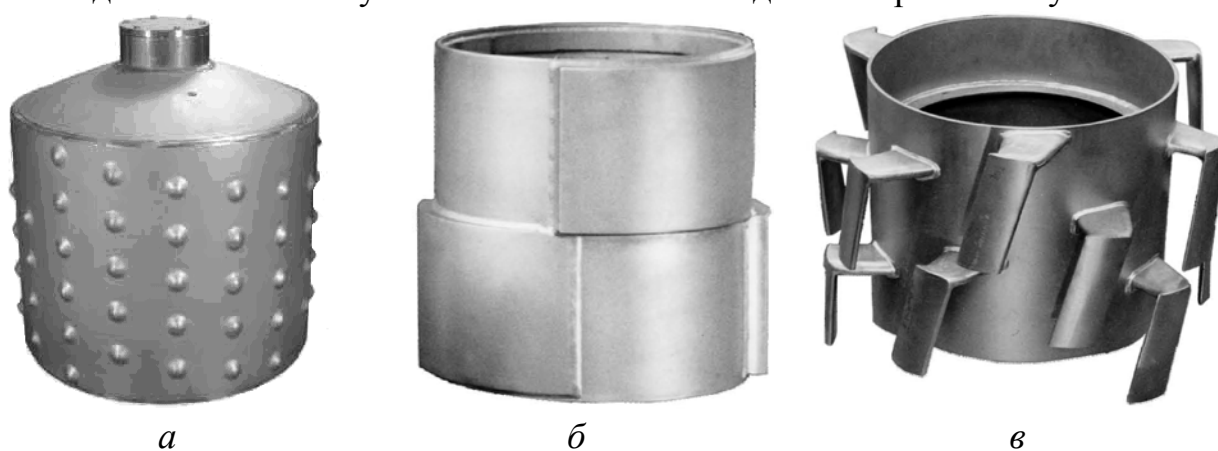


Рис. 5.6. Конструкция роторов для грубого сортирования:

а - ротор с выпуклостями; б - ступенчатый ротор; в - многолопастной ротор

На первых ступенях грубого сортирования встречается использование сортировок, у которых нижняя половина герметична, а верхняя работает при атмосферном давлении (рис. 5.7).

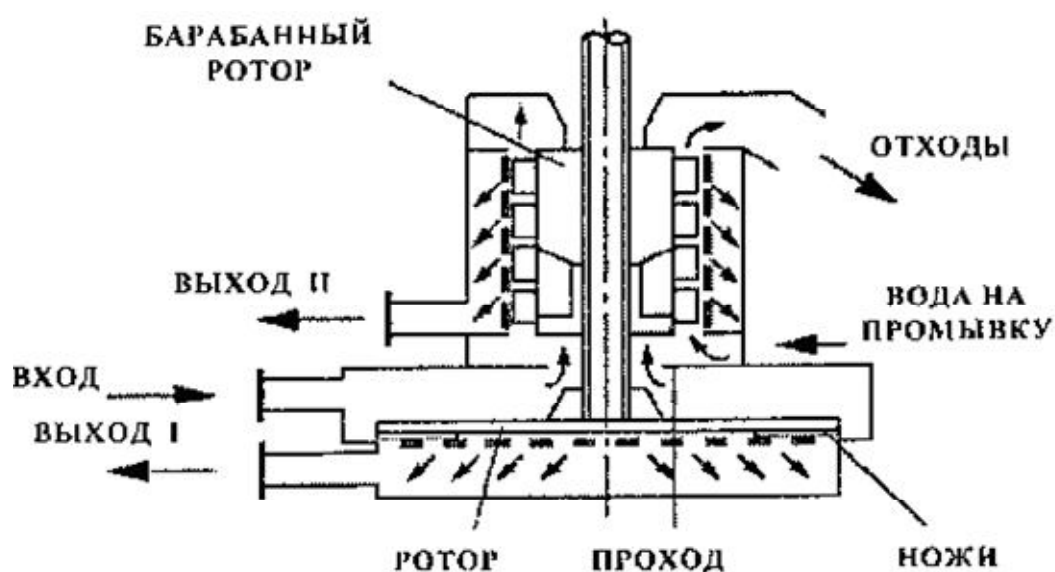


Рис. 5.7. Схема установки для последней стадии грубого сортирования

В нижней части установки находится дисковая сортировка для предварительного сортирования. Отходы, образующиеся после нее, разбавляются водой и подаются в верхнюю часть сортировки. В этом случае наблюдается высокая степень дефлокуляции, что помогает снизить потери волокна. Обеспечиваются высокая концентрация отходов и высокая эффективность сортирования.

Полностью герметичные сортировки могут использоваться на последней ступени грубого сортирования с использованием или без использования промывки. Их недостатком является более низкая степень дефлокуляции фрагментов макулатуры, а значит и соответствующее ограничение допустимого содержания загрязнений в массе.

Использование щелевых сит на стадии грубого сортирования позволяет упростить схему тонкого сортирования. Так, для достижения высокой степени чистоты волокнистой суспензии вместо 3-4 ступеней по традиционной схеме тонкого сортирования можно установить одну многоступенчатую сортировку (см. п. 5.4). В других случаях использование щелевых сит может позволить при двухступенчатом тонком сортировании получать массу с достаточно высокой степенью чистоты.

5.4. ТОНКОЕ СОРТИРОВАНИЕ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Цель тонкого сортирования - удаление из макулатурной массы мельчайших частиц включений и, особенно, липких клеевых включений. Тонкое сортирование осуществляют обычно после тонкой очистки в циклонных аппаратах, работающих при низкой концентрации массы перед подачей массы на размол или в машинный бассейн. Очистка производится с целью максимального удаления из массы частиц с повышенной абразивностью.

Основное оборудование для тонкого сортирования макулатурной массы представляет собой цилиндрическое сито и ротор, заключенные в закрытый корпус, снабженный устройствами для входа и выхода массы, а также для удаления отходов. Обычно концентрично расположенный ротор вращается внутри или снаружи сита. В отдельных конструкциях вращается цилиндрическое сито, а ротор неподвижен. Встречаются сортировки с двумя цилиндрическими ситами, между которыми вращается ротор (сортировки центрискрин).

Движение массы через сито происходит либо изнутри наружу, либо наоборот. В последнее время все чаще встречаются многозонные сортировки.

В зависимости от задач сортирования и места в технологическом потоке используют центробежные или напорные сортировки. Главное их отличие заключается в том, что в напорных сортировках масса проходит через отверстия сит, в основном, благодаря давлению, создаваемому питающим насосом. В центробежных сортировках движение массы обеспечивается ротором с лопастями.

Оборудование для сортирования макулатурной массы выпускает ряд известных компаний: Metso Paper, Kadant Lamort, Voith Paper, Andritz, Valmet и др. Сортировки для макулатурных масс типа СВП, выпускаемые АО «Петрозаводскмаш» (рис. 5.8) представляют собой традиционную конструкцию центробежной сортировки с вертикальным расположением вала ротора. Внутри цилиндрического корпуса установлена опора, в которой на подшипниках качения вращается вал. На верхнем конце вала закреплен ротор со специальными лопастями. Внутри, concentрично между ротором и корпусом, установлен неподвижный ситовый барабан с перфорацией. Сверху корпус закрыт крышкой. Привод сортировки осуществляется от асинхронного двигателя.

Производительность сортировки зависит от типоразмера, концентрации массы, типа и параметров сита и составляет от 40 до 600 т/сут по в.с. волокну. Массовая концентрация поступающей массы от 1 до 4 %, массовая доля отходов сортирования - не более 20 % от поступающей суспензии.

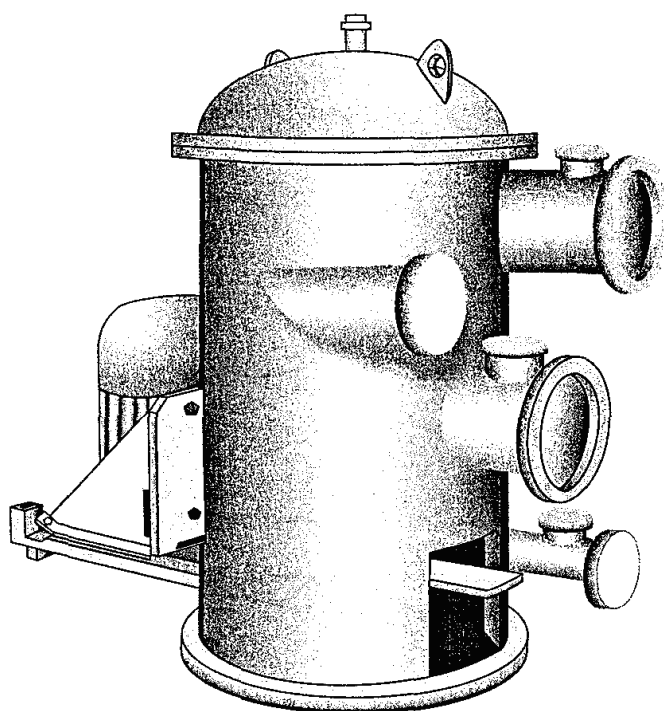


Рис. 5.8. Общий вид сортировки волокнистых полуфабрикатов типа СВП

подавляющее большинство сортировок работают под давлением с использованием центробежной силы, т.е. с движением сортируемой массы изнутри наружу через отверстия неподвижного сита. Альтернативой таким сортировкам может служить сортировка SPH компании Kadant Lamort (рис. 5.9). В ней реализуется движение массы от периферии сита сортировки к центру.

Масса подается в верхнюю часть сортировки по касательной. Расположенный с наружной стороны ситовой корзины вращающийся ротор с лопастями ускоряет перемещение массы. Тяжелые примеси, отброшенные центробежной силой, перемещаются к выходному патрубку, расположенному в нижней части корпуса. Масса, ускоренная движением лопастей,

приближается к перфорированной поверхности ситовой корзины под очень малым углом. Это вызывает выделение загрязнений больших, чем размер диаметра отверстий или ширины щелей. Вследствие круговой скорости движения массы и специального профиля лопастей ротора возникает эффект всасывания, удаляющий с сита частицы, которые не могут пройти через отверстия. Они уносятся центробежными силами в зону аккумуляции загрязнений и затем удаляются. Отсортированная масса проходит в кольцевую камеру, расположенную ниже зоны сортирования и выводится из сортировки.

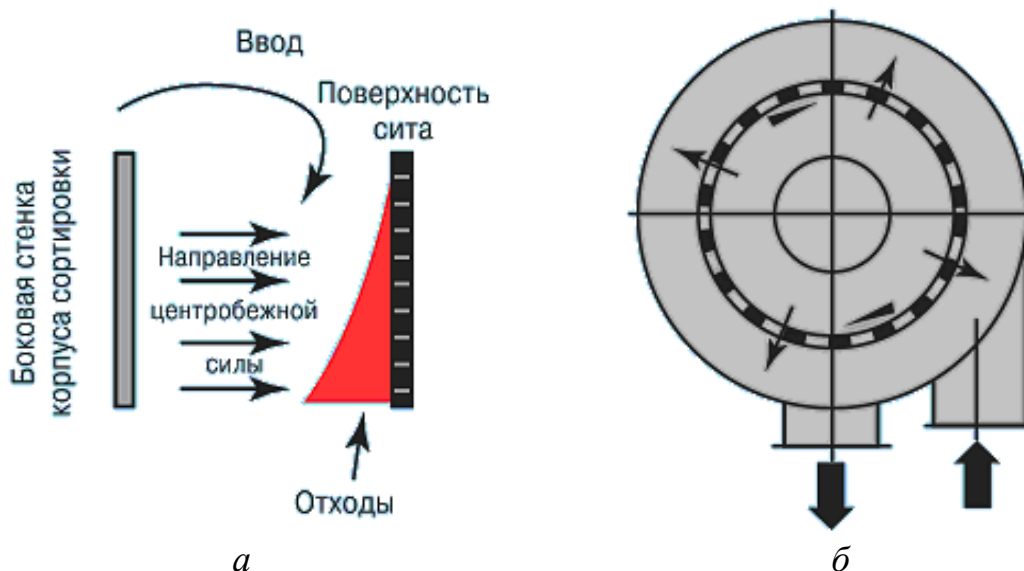


Рис. 5.9. Схема сортировки типа SPH с центростремительным перемещением массы: *а* - схема движения; *б* - поперечный разрез

Новые конструкции сортировок (фирмы Kadant Lamort), оснащенные специальным ротором и профилированным ситом со щелями шириной 0,10-0,15 мм, способны работать с массой более высокой концентрации (до 3 %), чем для обычных сортировок тонкого сортирования. Это дает возможность разместить шлицевые сортировки в любом месте системы обработки массы, а не обязательно на участке низкой концентрации вблизи вихревых очистителей. Кроме того, сортирование при повышенной концентрации массы - это сокращение ее объема, проходящего через систему, что уменьшает затраты на емкости, трубопроводы и насосы.

Определенный интерес представляет разработанная фирмой Kadant Lamort трехзонная щелевая напорная сортировка Screen One (рис. 5.10). Она не требует вспомогательных устройств, больших вложений и характеризуется низким потреблением энергии. Сортировка предназначена для тонкого сортирования макулатурной массы концентрацией около 3 % после грубой очистки.

Сортировка состоит из вертикального цилиндрического корпуса, внутри которого concentрично располагаются ситовая корзина и ротор. Она имеет тангенциально расположенный входной патрубок, патрубков для вывода тяжелых и легких отходов, три патрубка для разбавления отходов сортирования водой и три патрубка для удаления очищенной массы.

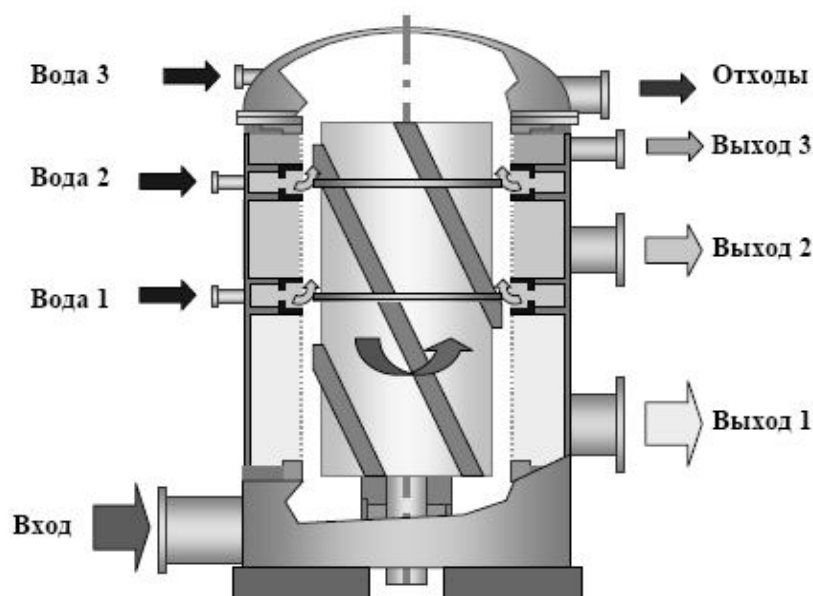


Рис. 5.10. Схема работы трехзонаной щелевой напорной сортировки Screen One

Движение массы в сортировке направлено снизу вверх. Очищенная масса из нижней зоны направляется на дальнейшую обработку, а отходы после разбавления водой поступают на сортирование в среднюю зону. Отходы сортирования из средней зоны поступают, после разбавления, в верхнюю зону. Очищенная масса из средней и верхней зон возвращается в бассейн массы, а затем вновь сортируется. Отходы из верхней зоны сортирования разбавляются оборотной водой и направляются на обезвоживание и удаление из системы.

5.4.1. Удаление из массы клеевых загрязнений

Применение в качестве макулатурного сырья использованных книг, журналов и т.п. продукции, а также газетной бумаги (МС-7Б, МС-8В) без надлежащей подготовки сказывается на качестве получаемой продукции, но, прежде всего, на стабильности работы БДМ. Дело в том, что в составе загрязняющих веществ в такой макулатуре имеется большое количество липких (клеевых) частиц, налипающих на валы и цилиндры машины, забивающих сетки и сукна. Эти частицы представляют большую проблему при сортировании, так как не имеют стабильной формы, т.е. могут легко деформироваться при наличии давлений и склонны к измельчению при сдвиговых усилиях.

Непременным условием выделения и удаления клеевых частиц является высокая степень их отделения от волокна, которое должно происходить в процессе разволокнения макулатуры. Решение проблемы удаления этих частиц сводится к проведению различных мероприятий, благоприятствующих выделению их из массы в процессе тонкого сортирования. Рассмотрим некоторые из них.

Так как диапазон размеров отделенных от волокна клеевых частиц составляет от 3,5 до 0,15 мм, для удаления их используют как круглые, так 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 концентраций массы (менее 3 %). Используют многоступенчатое сортирование, причем очищенная масса с первой, второй и последующих ступеней соединяется. Количество отходов от сортировок должно быть достаточным, чтобы поддерживать минимально необходимую скорость движения отходов и, тем самым, предотвращать засорение регулирующих расход органов.

На этих ситах эффективно удаляются частицы клея больших размеров, например, от корешков книг, каталогов и других изданий. Подаваемая на сортирование масса содержит, кроме крупных, небольшое количество измельченных частиц клея. Поэтому рекомендуется ограничивать окружную скорость ротора сортировки, концентрацию массы, а также скорость прохождения ее сквозь сито. Эффективность выделения клеевых частиц зависит от степени разволокнения макулатуры, 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 щелевых ситах при концентрации массы 0,8-1,0 %. Используют сита с узкими щелями и специальным профилем поверхности. Минимальная ширина щелей обычно составляет 0,15 мм. Дальнейшее уменьшение ширины щели ограничивается тем, что содержащиеся в массе пучки волокон проходят через такие щели по толщине либо случайно, либо с приложением определенных дополнительных усилий, вызывающих измельчение клеевых частиц. Для сортирования суспензии, содержащей древесную или термомеханическую массу, нижний предел ширины щели сортировки составляет 0,12 мм. 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 достигается удаление до 90 % клеевых частиц.

Эффективность удаления клеевых частиц из массы концентрацией 0,8-1,0 % приблизительно в два раза выше, чем из массы средней концентрации (2,5-3,0 %), при прочих равных условиях.

5.5. СХЕМЫ СИСТЕМ СОРТИРОВАНИЯ

На производствах, перерабатывающих макулатуру, требуемую степень удаления включений осуществляют как выбором эффективного набора сортировок, так и выбором технологической схемы сортирования. В системах сортирования рекомендуется применять сочетание последовательно

устанавливаемых различных типов сортировок, что обеспечивает удаление из массы разных включений. Предпочтение отдается тем типам сортировок, которые наиболее эффективно удаляют загрязнения, отсутствие которых необходимо по требованиям следующих этапов производства.

В практике используют множество различных схем систем сортирования. Чаще всего встречается прямая многоступенчатая схема сортирования (рис. 5.11а). Принцип работы системы состоит в том, что вся масса поступает на первую ступень. Отсортированная масса после первой ступени направляется в производство, а отходы - на вторую ступень сортирования и т.д. Количество ступеней системы определяется степенью загрязненности макулатуры перед сортированием. Отходы после последней ступени сортирования отправляются на утилизацию. Число сортировок на каждой ступени определяется объемом потока сортируемой массы.

Недостатками такой системы являются отделение преимущественно одного вида загрязнений и все более тяжелые условия работы сортировок в последующих ступенях. На рис. 5.11б показана более усовершенствованная система с применением принципа косвенного сортирования. В этом случае отсортированная в последующей ступени масса возвращается в предшествующую. Замыкание потока отсортированной массы снижает пропускную способность системы в целом и поэтому требует большего числа сортировок или увеличения их мощности. Однако, применение метода косвенного сортирования допускает более высокое содержание загрязнений в потоке сортированной массы второй ступени. Это позволяет применять сита с отверстиями больших размеров и уменьшить количество отходов после второй ступени сортирования. При выборе размеров отверстий сит исходят из требования, чтобы содержание загрязнений в отсортированной массе после второй ступени было не больше содержания их в массе, поступающей на первую ступень сортирования. В этом случае условия работы сортировки сохраняются постоянными и качество отсортированной массы не ухудшается.

Одним из наиболее эффективных способов повышения качества сортирования является принцип двойного сортирования (рис. 5.11в). На одной ступени сортирования устанавливают два различных типа сортировок, и поток сортируемой массы последовательно проходит через них. В этом случае наиболее полно отделяются различные виды загрязнений.

С увеличением количества ступеней в схемах сортирования возрастает потребность в насосах, трубопроводах, промежуточных емкостях. Поэтому в системах сортирования иногда применяют многоступенчатые сортировки, например, Multi Screen, в которых в одном корпусе конструктивно объединены 2-3 ступени тонкого сортирования с устройством предварительной очистки (рис. 5.11г).

Масса с минимальным давлением подается в сортировку аксиально на перфорированную сортирующую плиту, где происходит удаление посторонних включений больших размеров. Далее масса в корпусе установки проходит последовательно ступени тонкого сортирования.

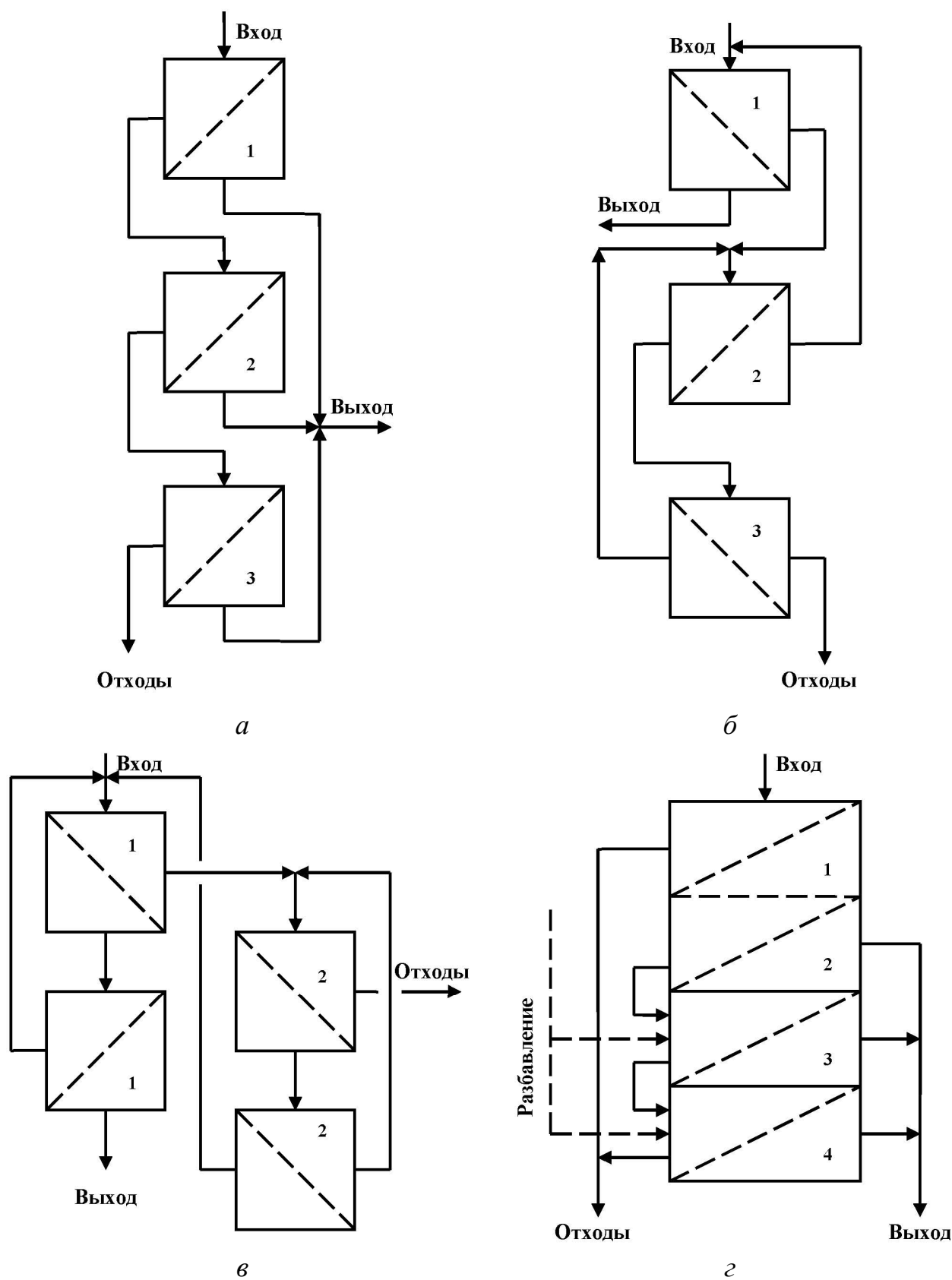


Рис. 5.11. Схемы тонкого сортирования макулатурной массы:
a - прямой каскад; *б* - косвенное сортирование; *в* - двойное сортирование;
г - многоступенчатая сортировка

5.6. ФРАКЦИОНИРОВАНИЕ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Макулатура после разволокнения представляет собой массу, содержащую волокна разной длины. В результате повторных циклов переработки макулатурного материала нарастает количество мелких волокон, обрывков и другой мелочи (скопа) в общем составе вторичного волокна. Значительную роль в образовании мелких фракций волокна играет процесс размола, при котором происходит основное измельчение волокон. Избыток мелкой фракции в массе приводит к повышению градуса помола, затруднению процессов обезвоживания на БДМ (в том числе из-за забивания сеток и сукон) и, в результате, к необходимости снижения скорости машин. Кроме того, снижаются показатели качества продукции. Дело в том, что у коротковолокнистой фракции потенциал восстановления бумагообразующих свойств гораздо ниже, чем у длиноволокнистой.

Одним из путей регулирования качества вторичного сырья в процессе его переработки является фракционирование массы. Фракционирование позволяет в определенной мере компенсировать естественную нестабильность свойств макулатурного сырья. Оно заключается в механическом разделении потока волокнистой массы на две составляющие: коротковолокнистую и длиноволокнистую фракции (КВФ и ДВФ). Основные цели фракционирования:

- повышение прочностных характеристик продукции;
- сокращение энергозатрат на процесс размола;
- снижение количества образующейся мелочи при размоле.

В основном, фракционирование применяют в схемах подготовки макулатуры из использованной картонной тары (МС-5Б, МС-6Б). Экономическая эффективность фракционирования наступает при объемах переработки макулатуры не менее 50 000 т/год и при выпуске многослойной продукции (тест-лайнер, гофрокартон и др.). Непременным условием эффективности процесса фракционирования является хорошее разволокнение макулатуры и удаление из массы посторонних включений.

Как уже отмечалось, фракционирование является разновидностью сортирования, поэтому для его осуществления используют различные сортировки. Чаще всего применяются напорные сортировки различного типа с цилиндрическими ситами, имеющими круглые отверстия диаметром 1,0-1,4 мм или щелевые - шириной от 0,1 до 0,25 мм. В зависимости от требований, количество отходов (т.е. длиноволокнистой фракции) составляет от 30 до 40 %. При отделении из массы 20-30 % мелочи и короткого волокна обычно на 10-20 °ШР снижается степень помола и на 40-50 % возрастают прочность на разрыв и сопротивление продавливанию оставшейся массы после размола.

Среди известных сортировок для процесса фракционирования наиболее приемлемы вертикальные напорные сортировки типа СНС, СЦ, СЦР, СВП и др.

Из сортировок зарубежных фирм - сортировки Delta Screen (Sunds Defibrator), Opti Screen (Metso) и др.

Для фракционирования макулатурной массы АО «Петрозаводскмаш» выпускал фракционер ФВП-1,0 (рис. 5.12). Он представляет собой традиционную сортировку с вертикальным расположением вращающегося вала. На верхнем конце вала закреплен ротор со специальными лопастями. Между ротором и корпусом концентрично установлено неподвижное цилиндрическое сито с круглой или щелевидной перфорацией. Его реальная производительность зависит от вида макулатуры, ее загрязненности, концентрации массы, типа и параметров сита и требований к конечному продукту. Проектная производительность равна 200 т/сут по в.с. волокну. Концентрация поступающей массы 2-5 %. Доля коротковолокнистой фракции 20-50 % от поступающей массы.

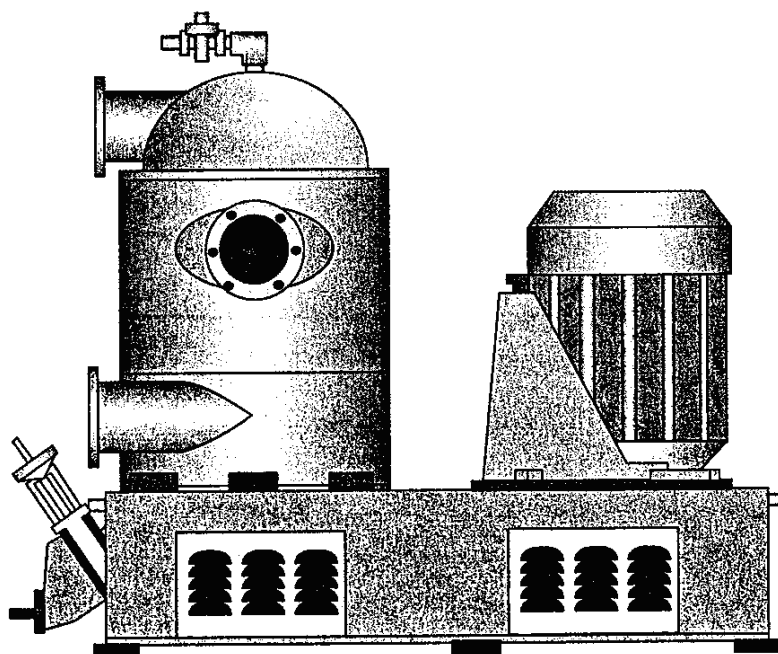


Рис. 5.12. Общий вид фракционера волокнистых полуфабрикатов ФВП-1,0

В качестве фракционера можно использовать отделитель волокна типа ОВ-6. Его работа происходит следующим образом. Подаваемая через коллектор волокнистая масса через распылительные сопла выпрыскивается на неподвижную синтетическую сетку. При этом мелкое волокно проходит через отверстия сетки внутрь корпуса и удаляется через центральный патрубок, а длиноволокнистая фракция задерживается сеткой. Благодаря специальной конструкции ситочных рам и вибрациям, создаваемым пульсацией струи массы, задерживаемые волокна сваливаются в боковые отсеки корпуса, откуда самотеком двигаются к выпускным патрубкам.

Аналогичный принцип используется во фракционерах типа Celleco Screen, где масса под давлением через специальное сопло подается на вертикальную сетку. В камере за сеткой создается вакуум, благодаря

которому фильтрат, содержащий мелкое волокно, проходит и удаляется. Длинноволокнистая фракция под действием сил тяжести опускается вниз и собирается в бассейн.

Оригинальным устройством для фракционирования являются сортировки с изогнутым ситом, выпускаемые фирмой Celleco (рис. 5.13). Сортировки данного типа не имеют движущихся элементов и легки в техобслуживании. Изогнутую поверхность сита образуют клинообразные стержни со щелями между ними. Ширина щелей в модели S составляет 0,35 мм, а в модели TS - 0,15 мм. Другое различие сортировок S и TS заключается в способе подачи массы на сито. В сортировке S масса поступает в загрузочное устройство, из которого самотеком поступает на сито. Это ограничивает производительность в пределах 0,5÷1,0 т/сут в.с. волокна. В сортировке TS суспензия подается через сопло, которое распределяет поток тангенциально по всей ширине сита. Их производительность составляет от 0,7 до 3,0 т/сут в.с. волокна.

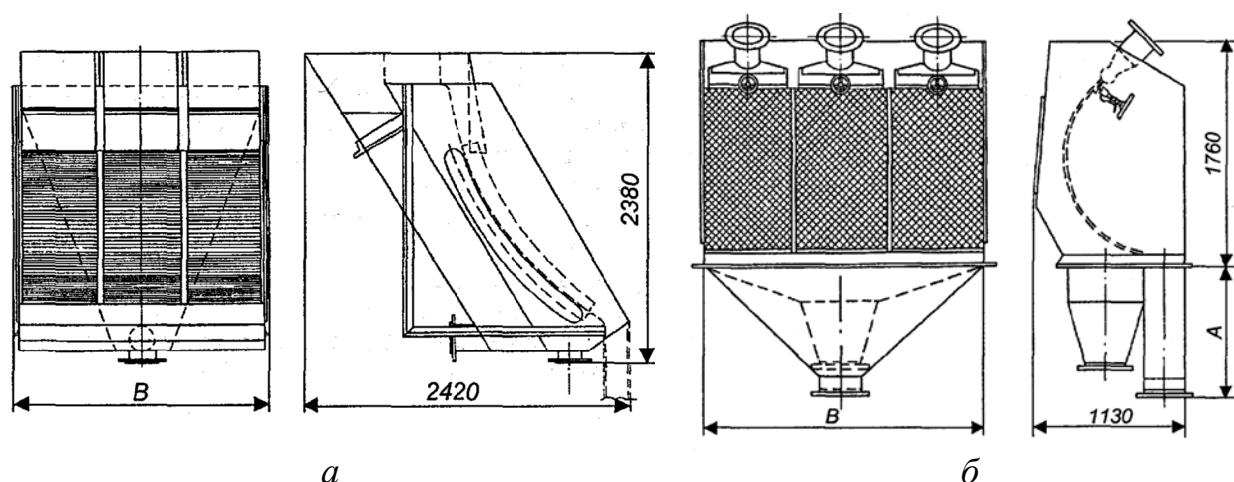


Рис. 5.13. Щелевые сортировки с изогнутым ситом Celleco:
а - типа S; б - типа TS

При течении суспензии волокна в ней ориентированы, в основном, по направлению потока, поэтому большая часть волокон, размер которых превышает ширину щели, будет задерживаться на поверхности сита и затем выгружаться с содержанием твердых частиц 3-4 %. Вода с мелкими частицами будет проходить через щели между стержнями. При нормальной работе сито обеспечивает постоянное беспрепятственное движение потока. В случае забивания оно легко очищается струей воды даже без остановки работы.

Максимальная эффективность работы изогнутого сита достигается при наличии острой верхней кромки стержня, сталкивающейся с потоком. Такие сортировки можно использовать также для сгущения отходов сортирования и удаления частиц клея и краски при промывке.

Известны и другие фракционаторы, например, созданные на базе промывных устройств типа DSM-120 (фирма «Dorr-Oliver») и др. Сортирующая поверхность их образована элементами со шлицевыми отверстиями.

Следует иметь в виду, что на каждом этапе сгущения макулатурной массы попутно происходит частичное фракционирование ее за счет уноса в фильтрате некоторой доли мелких волокон и частиц наполнителя. Во избежание накопления мелочи в оборотной воде системы подготовки макулатурной массы следует:

- оборот воды, содержащей мелочь, замыкать с основным потоком массы только после обработки основного потока в размалывающем оборудовании. Это позволит снизить дополнительное измельчение мелких волокон и затраты энергии на размол их;
- выводить часть мелкой фракции из производственного оборота и утилизировать ее путем сжигания, использования в сельском хозяйстве или в других отраслях промышленности.

В качестве примера приведем результаты фракционирования макулатурной массы марки МС-5Б, разделенной в напорной сортировке СНС-05-50 на сите с отверстиями диаметром 1,8 мм (табл. 5.1).

Таблица 5.1. Характеристики фракционированной массы

Проба	Концентрация массы, %	Степень помола, °ШР	Длина волокна, дг (мм)	Доля фракций, (по массе), %
Масса перед сортировкой (вход)	3,1	31	118 (2,25)	100
Масса, прошедшая через сито (КВФ)	1,5	31	89 (1,9)	33,1
Масса, не прошедшая через сито (ДВФ)	2,4	21	185 (3,7)	66,9

На рис. 5.14 показана одна из возможных технологических схем тонкого трехступенчатого сортирования и фракционирования массы в процессе подготовки макулатурного волокна, полученного из использованного гофрокартона для производства двухслойного картона. Применение такой технологии позволяет упростить и сократить схему подготовки массы.

При этом у двухслойного картона из макулатуры после соответствующей обработки повысились значения показателей энергии связи, сжатия при нулевом зазоре и разрушающего усилия при сжатии кольца. Сравнение производилось с двухслойным картоном, верхний слой которого изготовлен из технической целлюлозы, а нижний из макулатуры.

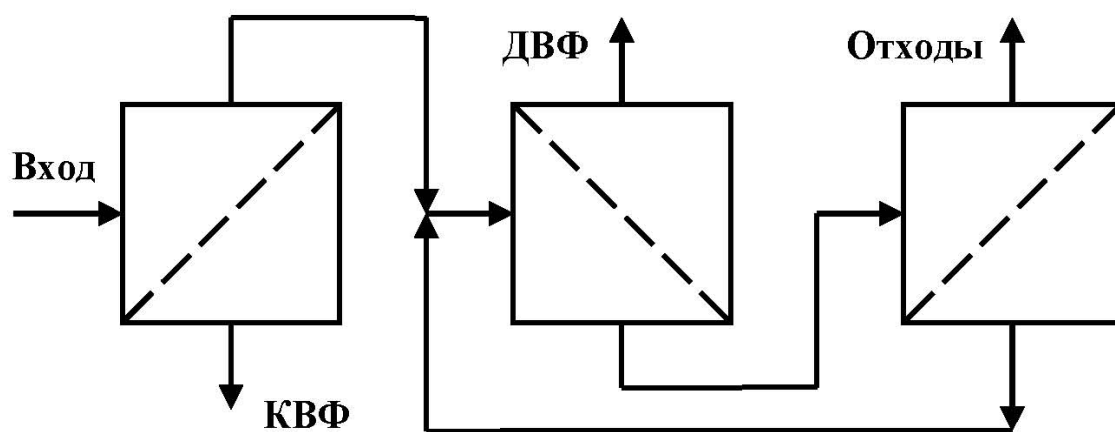


Рис. 5.14. Блок-схема трехступенчатого сортирования и фракционирования волокнистой массы

5.7. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА СОРТИРОВАНИЯ

Среди мер, обеспечивающих повышение эффективности процесса сортирования, отметим следующие.

1. Перед сортированием необходима обязательная очистка макулатурной массы на вихревых очистителях с целью удаления включений абразивного характера (песок, стекло, металл и т.д.).

2. Конструкции сит и роторных узлов следует применять в зависимости от размера, форм и деформируемости удаляемых загрязнений.

3. При использовании профилированных сит, набираемых из отдельных планок сложного профиля, получаемая на их поверхности турбулизация потока массы интенсифицирует процесс распада пучков волокон и препятствует их повторному образованию. Это позволяет волокнам проходить сквозь очень узкие щели при повышенной концентрации сортируемой массы.

4. Оптимизацию работы сортировки следует осуществлять подбором как сита, так и ротора.

5. Установлено, что эффективность сортирования на щелевых сортировках обратно пропорциональна скорости движения массы через щели сортировочной корзины. Эффективность сортирования может быть повышена за счет использования всей длины щелей и всей площади живого сечения ситовой корзины.

6. Наличие двух-трех коротких ситовых цилиндров, вертикально размещаемых в одном корпусе, обеспечивает более эффективное сортирование массы, чем в обычных сортировках. Многоступенчатый отвод отходов сортирования сокращает продолжительность их контакта с поверхностью сита и уменьшает вероятность проникновения через отверстия сита в поток отсортированной массы.

7. Многозонные сортировки при ширине щелей, равной 0,15 мм, способны работать при более высокой концентрации массы (до 3 % и более), чем обычные сортировки со щелями шириной 0,25-0,30 мм. Это в значительной мере повышает эффективность сортирования массы (совместно с п. 3).

8. Так как эффективность сортирования зависит от размеров удаляемых частиц (чем они больше, тем лучше), при подготовке массы следует подбирать оборудование, как можно меньше измельчающее частицы, подлежащие удалению сортированием.

9. Сортирование при низкой концентрации обеспечивает щадящее воздействие на массу, благодаря низким скоростям вращения ротора и низким усилиям сдвига (Именно поэтому не происходит интенсивного измельчения клеевых частиц, и они эффективно отделяются на щелевых ситах).

10. Наименьшая ширина щелей сортировок ограничивается толщиной волокон массы (для древесной массы 0,12-0,15 мм, а для беленой целлюлозы до 0,1 мм).

11. Удаление мелких клеевых частиц следует производить через щелевые сита с минимальной шириной щелей.

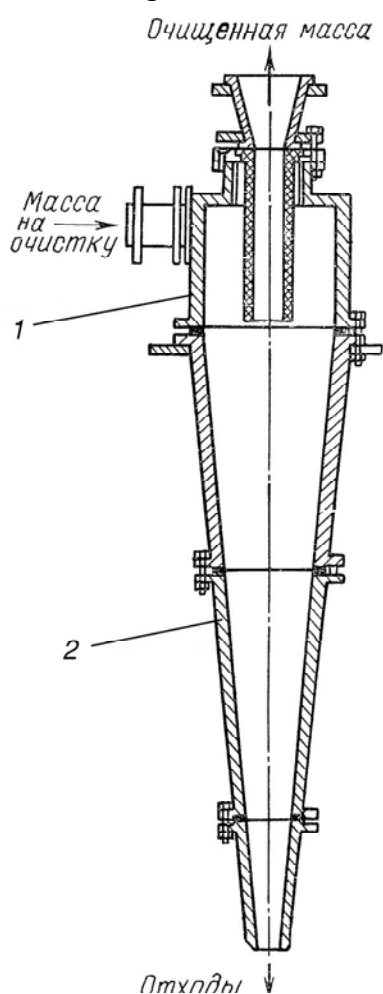
12. Уменьшение ширины щелей сита увеличивает его гидравлическое сопротивление и, в конечном итоге, энергопотребление. Возможной альтернативой этому может быть схема, представляющая несколько последовательно установленных сортировок при удалении клеевых частиц.

6. ОЧИСТКА МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

После разволокнения и предварительного сортирования макулатурная масса содержит посторонние включения различной плотности, прошедшие через сита системы роспуска макулатуры. Эти включения удаляют, как правило, в два этапа: грубой очистки массы при высокой концентрации и тонкой очистки массы при низкой концентрации. Основное назначение первого этапа - предохранить оборудование последующих стадий очистки и сортирования от абразивного износа. Второй этап очистки предназначен для увеличения срока службы размалывающих элементов мельниц и повышения надежности работы БДМ.

6.1. СУЩНОСТЬ И ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ

Очистку макулатурной массы производят на вихревых конических очистителях (циклонах). Процесс очистки представляет собой выделение из макулатурной массы посторонних включений в поле действия центробежной силы за счет разницы в плотности массы и частиц включений.



Вихревые очистители состоят обычно из верхней цилиндрической части, куда подается очищаемая масса, и нижней сужающейся конической части (рис. 6.1).

Круговое движение потока массы, обеспечивающее возникновение центробежной силы, создается тангенциальным подводом массы к цилиндрической части очистителя под давлением работающего насоса. С уменьшением диаметра нижней конической части аппарата скорость кругового движения массы увеличивается, вследствие чего нарастает и центробежное ускорение.

Рис. 6.1. Общий вид вихревого конического очистителя: 1 - верхняя цилиндрическая часть; 2 - коническая часть

Отдельные частицы посторонних включений потока массы внутри очистителя имеют одновременно три вектора движения относительно оси аппарата:

- кругового движения вокруг оси циклона;
- радиального движения, направленного от оси циклона к стенкам или наоборот;
- осевого движения, направленного вдоль оси циклона из цилиндрической части в коническую.

Эффективность очистки массы в циклоне определяет, в первую очередь, радиальный вектор движения частицы.

Тангенциальную скорость кругового движения массы (пренебрегая трением) можно определить по формуле

$$v_T = \sqrt{\frac{2 \Delta P}{c_c}}, \text{ м/с}, \quad (\text{а})$$

где ΔP - перепад давления между входным и выходным отверстиями очистителя, Н/м²;

c_c - плотность массы, кг/м³.

Соответствующее этой скорости центробежное ускорение составит

$$a = 2v_T^2 / D, \text{ м/с}^2, \quad (\text{б})$$

где D - диаметр цилиндрической части циклона, м.

Центробежное ускорение в этих условиях, как правило, выше, чем ускорение свободного падения (g). Например, при перепаде давления $\Delta P=0,2$ МПа, минимальном диаметре конической части циклона $d=0,1$ м и плотности массы $\rho_c=1000$ кг/м³ центробежное ускорение составит $a=8000$ м/с², т.е., примерно, в 800 раз больше ускорения гравитации. Это отношение (a/g) называют «g-фактором» очистителя.

Центробежная сила, действующая на выделяемую частицу, составит

$$F_u = m_u a, \text{ Н}, \quad (\text{в})$$

где m_u - масса частицы ($m_u = V_u \rho_u$), кг;

V_u - объем частицы, м³;

ρ_u - плотность материала частицы, кг/м³.

Подставляя (а) и (б) в (в), получим

$$F_u = 4V_u \frac{\Delta P}{D} \frac{\rho_u}{\rho_c}, \text{ Н}.$$

Сила, выталкивающая частицу из массы (т.е. противодействующая центробежной), равна

$$F_{\varepsilon} = 4V_{\varepsilon} \frac{\Delta P}{D}, \text{ Н.}$$

Сила лобового сопротивления массы, препятствующая радиальному движению частицы, равна

$$F_c = c_w S_{\varepsilon} \eta_c v_p, \text{ Н.}$$

где c_w - коэффициент сопротивления движению частицы;

S_{ε} - среднее поперечное сечение частицы, м^2 ;

η_c - вязкость массы, кг/с м^2 ;

v_p - радиальная скорость движения частицы, м/с .

Результирующая сила, действующая на частицу в радиальном направлении, равна

$$F_p = F_{\varepsilon} - F_{\varepsilon} - F_c = 4V_{\varepsilon} \frac{\Delta P}{D} \left(\frac{\rho_{\varepsilon}}{\rho_c} - 1 \right) - F_c, \text{ Н.}$$

Из полученной формулы следует, что если плотность частицы меньше плотности массы ($\rho_{\varepsilon} < \rho_c$), то результирующая сила (F_p) изменит знак, т.е. направление, и будет действовать на частицу от периферии к центру циклона. Если отношение $\rho_{\varepsilon} / \rho_c > 1$, то сила (F_p) будет прижимать частицу к стенке аппарата.

Тяжелые частицы, отброшенные результирующей силой к внутренней стороне очистителя, вместе с потоком движутся в нижнюю часть конуса циклона, где расположен сборник загрязнений. Основной поток массы поднимается в верхнюю часть аппарата в виде центрального вихря и удаляется через специальный патрубок. Легкие частицы собираются в середине центрального вихря и, с помощью отдельного патрубка, могут быть выведены из аппарата.

Объемная (транспортная) производительность циклонного очистителя определяется формулой:

$$W = \mu S_{\text{вх}} \sqrt{2gH}, \text{ м}^3/\text{с};$$

где $S_{\text{вх}}$ - площадь сечения входного патрубка, м^2 ;

H - разность давлений на входе и выходе из циклона, м. вод. ст. ;

μ - коэффициент расхода массы:

$$\mu = d_{\text{вых}}^2 / (D^2 - d_{\text{вых}}^2),$$

где D и $d_{\text{вых}}$ - диаметры циклона и выходного отверстия, м .

Расчетное значение диаметра цилиндрической части циклона можно определить по формуле

$$D = 0,0158 \times (W^2 \rho_c \xi / \Delta P)^{0,25}, \text{ м,}$$

где W - заданная производительность циклона, м³/ч;

ξ - коэффициент сопротивления циклона.

Ориентировочные значения коэффициента сопротивления для очистителей высокой концентрации $\xi = 1500 \div 3000$, а для очистителей низкой концентрации $\xi = 500 \div 1000$.

Для обеспечения сохранения требуемой производительности очистки (W) и достаточных значений центробежного ускорения взамен одного циклона большого диаметра используют несколько малых. В этом случае число малых циклонов определяют из соотношения

$$n = (D_b / D_m)^2,$$

где D_b и D_m - диаметр верхней части большого и малого циклонов.

Обычно диаметр гидроциклона принимают равным 6-8 диаметрам входного патрубка.

Эффективность очистки массы в гидроциклонах оценивают по критериям, аналогичным критериям оценки процессов сортирования (см. п. 5.1).

Свобода перемещения частиц включений зависит от количества волокон в единице объема массы. При высоких концентрациях сеть из волокон становится более плотной и ограничивает свободу движения частиц.

Удаление выделенных частиц включений должно быть, по возможности, непрерывным. При периодическом режиме выпуска загрязнений расход воды для их промывки должен быть минимальным. В противном случае, возможно вымывание загрязнений обратно в массу, а также рост потерь волокна.

6.2. АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ И СХЕМЫ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ

Вихревые конические очистители подразделяют в соответствии с диапазоном значений рабочих концентраций массы:

- устройства для очистки при высоких концентрациях массы в диапазоне 3÷5 %;
- устройства для очистки при средних концентрациях массы в диапазоне 1÷3 %;
- устройства для очистки при низких концентрациях массы в диапазоне 0,5÷1,0 %.

6.2.1. Очистители, работающие при высокой концентрации массы (грубая очистка)

Такие очистители устанавливают, как правило, после аппаратов для разволокнения макулатуры, с целью удаления частиц загрязнений, имеющих плотность выше 1 г/см^3 и размер не менее 1 мм. Обычно это шурупы, гвозди, скрепки, камни, куски стекла и т.п. Иногда (при концентрации массы выше 4,5 %) очистители оснащаются ротором, расположенным в верхней части аппарата, обеспечивающим закручивание потока массы при недостаточном напоре подающего насоса. Недостатками таких очистителей являются опасность намотки на ротор поступающих с массой обрывков ниток и веревок, а также необходимый расход энергии на вращение ротора.

В современных очистителях необходимое давление в аппарате создается подающим насосом. Очиститель состоит из расположенной сверху цилиндрической загрузочной секции и выходной секции. На входе расположен клапан (шиберная задвижка) для регулировки расхода и скорости движения массы. Этот клапан одновременно регулирует и количество массы на выходе. Нижняя часть очистителя имеет форму обратного конуса, иногда с прозрачными стенками. Коническая часть очистителя подвержена интенсивному износу и потому может выполняться сменной. Под конусом расположен грязевик для отходов. Он представляет собой ловушку, состоящую из верхнего и нижнего скользящих клапанов и промежуточной камеры. Пропускная способность таких очистителей составляет от 0,1 до $10 \text{ м}^3/\text{мин}$, удельный расход энергии на 1 ступень равен 0,5-3,0 кВт·ч/т, диаметр корпуса циклона в верхней части 180÷400 мм.

Примерами таких очистителей являются аппараты типа ОВМ, очистители ALBIA и другие.

Основные конструктивные требования к циклонному очистителю состоят в обеспечении износоустойчивости его конической части и в предотвращении забивания выпускного отверстия, а также засасывания воздуха и отходов внутрь очистителя при опорожнении грязевой камеры. Последнее требование вызвано тем, что в центральной части очистителя может образоваться воздушное ядро, в котором создается вакуум.

Эффективность применения очистителей зависит от правильного выбора диаметра входного и выходного отверстий для массы, длины вихреобразующей конусной части, а также от избыточного давления массы на входе, которое, помимо прочего, определяет удельный расход энергии на очистку.

Для очистки от крупных тяжелых примесей на этапе грубой очистки используют отечественные очистители ОВМ-250 и ОВМ-400 (рис. 6.2а). Очиститель состоит из головки 1 с входным 2 и выходным 3 патрубками, конуса 4, прозрачного стакана 5, грязевика 6, двух задвижек 7, 8 с пневмоприводом и рамы.

При оснащении очистителя осевым патрубком, расположенным concentricно выходному патрубку, производится удаление легких включений (пленок, пенопласта и т.п.).

Подпорной водой, подаваемой в грязевик, может производиться отмыв годного волокна, которое захватывается очищенным восходящим потоком и отводится вместе с очищенной массой. Разгрузка грязевика от посторонних включений производится в автоматическом режиме через промежуток времени, устанавливаемый в зависимости от загрязненности очищаемой массы. Пропускная способность этих очистителей от 60 до 150 м³/ч при концентрации массы не более 5 %. Диаметр головки очистителя равен 250 и 400 мм соответственно. Перепад давления равен 0,16 МПа, давление на входе 0,2-0,6 МПа.

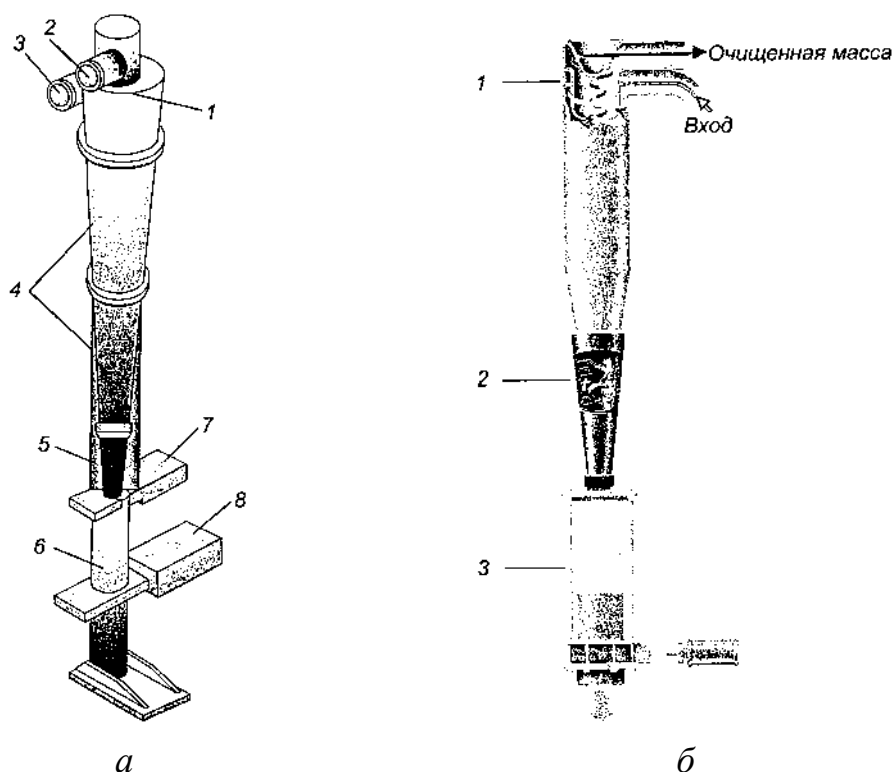


Рис. 6.2. Очиститель для грубой очистки:
а - очиститель OBM; б - очиститель ALBIA:

1 - головка Turbo Head; 2 - коническая спираль; 3 - камера отходов

Для удаления из массы крупных включений фирма Celleco предлагает очистители ALBIA (рис. 6.2б). Их конструкция отличается наличием специальной входной головки и канавки в виде спирали с отрицательным углом наклона на внутренней стороне конуса. Коническая спираль создает направленное вниз движение тяжелых включений, снижает турбулентность и вертикальные противотоки внутри конуса, которые наблюдаются в аппаратах с обычным конусом. Это позволяет работать при высокой концентрации волокна, уменьшает его потери и расход энергии. Пропускная способность этих очистителей составляет от 30 м³/ч (ALBIA 500) до 96 м³/ч (ALBIA 1600). Как правило, устанавливают от 2 до 50 таких очистителей, в зависимости от

требуемой производительности. Перепад давления равен 0,12 МПа. Очиститель ALBIA 1600 рекомендуется использовать для грубой предварительной очистки низкокачественного сырья. Очиститель ALBIA 500 TDRL удаляет, помимо тяжелых, и легкие включения из массы. Воздух и легкие включения направляются к центру очистителя и удаляются через специальную трубу в верхней части головки очистителя.

6.2.2. Очистители, работающие при низкой концентрации массы (тонкая очистка)

Эти очистители устанавливаются перед размалывающим оборудованием или перед сортировками для защиты гарнитуры мельниц или дорогостоящих ситовых барабанов со щелевыми отверстиями от абразивного износа и обеспечения их надежной эксплуатации. Они используются для удаления тяжелых абразивных частиц (песок, стекло, металл и т.п.) или легких включений. Такие гидроциклоны работают при значениях центробежного ускорения до 1000 g, которое обеспечивается за счет значительно меньшего диаметра циклона, чем у очистителей высокой концентрации. Это делает их гораздо эффективнее при отделении загрязнений от массы. Вследствие низких концентраций удельный расход энергии на тонну волокна является высоким и составляет от 2 до 50 кВт·ч/т на одну ступень. Пропускная способность таких циклонов составляет от 0,1 до 1,0 м³/мин. Малая пропускная способность обуславливает необходимость параллельного включения нескольких устройств. Для этого отдельные аппараты объединяют в агрегаты - мультигидроциклоны или модули. Кроме того, для улавливания и возврата в основной поток уходящей вместе с загрязнениями части волокна очистители низкой концентрации устанавливают в несколько ступеней.

В работе очистителей низкой концентрации существует проблема захвата загрязнений обратным потоком в нижней части конуса. Эта проблема решена в конструкции очистителя EcoMizer, разработанной компанией Voith Paper (рис. 6.3) Снизу в очиститель постоянно подается фильтрат оборотной воды. Это препятствует захвату отходов восходящим потоком очищенной массы. Отходы в неразбавленном виде непрерывно выводятся из системы очистки.

Эти очистители способны удалять из массы не только отходы с высокой, но и с низкой плотностью, а также воздух. Очистители EcoMizer особенно необходимы при очистке макулатурной массы, содержащей легкие посторонние включения в виде частиц пластика, клея, воска, термопластика, кусочков полистирола и пузырьков воздуха. Эти включения, попадая в центральную часть очистителя, выводятся через патрубок в верхней части головки.

Современные продвинутые варианты очистителей способны удалять частицы печатных красок, клейкие (липкие) частицы, минеральные компоненты макулатуры (наполнитель).

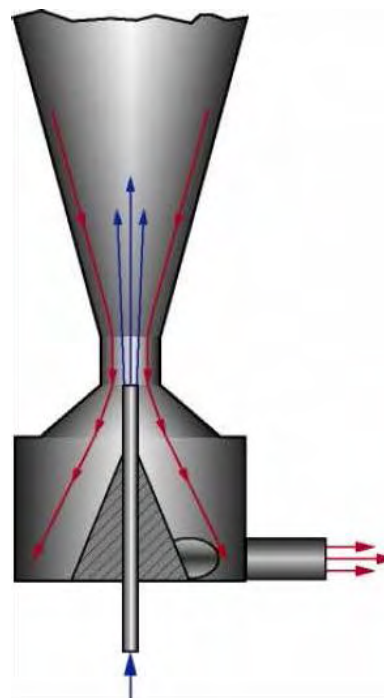
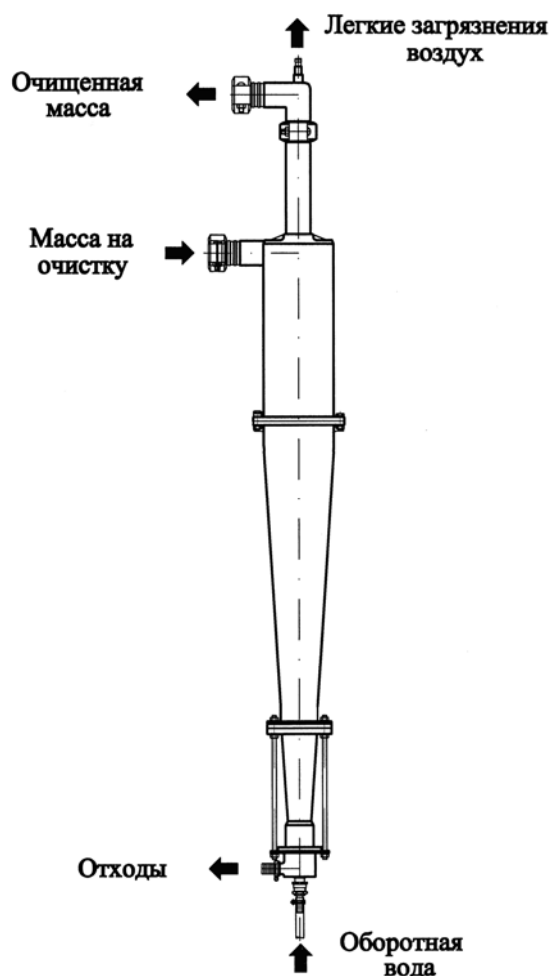


Рис. 6.3. Внешний вид и принцип действия очистителя EcoMizer

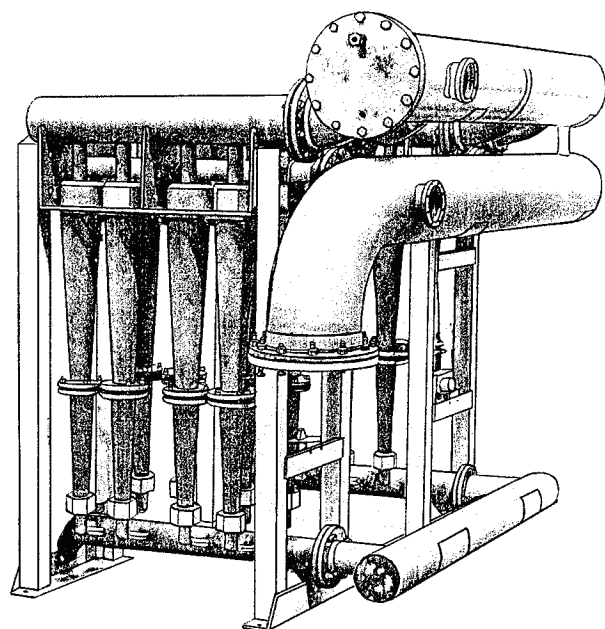


Рис. 6.4. Установка блока вихревых очистителей УОТ-12

Из отечественных очистителей массы низкой концентрации следует отметить установку вихревых очистителей УОТ-12 модульного типа (рис. 6.4). Установка имеет закрытую систему выпуска отходов, исключаящую разбрызгивание отходов и выделение паров в помещении. Она собирается из унифицированных секций очистителей. Секция очистителей состоит из набора вихревых очистителей, напорного и сборного коллекторов, коллектора отходов и гибких рукавов. Диаметр головки очистителя 125 мм, пропускная способность 24 м³/ч, перепад давлений 0,16 МПа.

Фирмой Celleco разработаны конструкции новых типов вихревых конических очистителей для удаления из макулатурной массы мелких частиц печатной краски, клейких частиц, золы и наполнителя. Для этих целей рекомендуется применение очистителей Cleanpac 700 (рис. 6.5а) и Cleanpac 270 (рис. 6.5б). Отличительными особенностями очистителя Cleanpac 700 являются его большой диаметр при сохранении высокой эффективности очистки, новая конструкция впускного и выпускного устройств и устройства для вывода отходов, а также удлиненный конус. Производительность одного очистителя до 33 м³/ч, перепад давления 140-200 кПа.

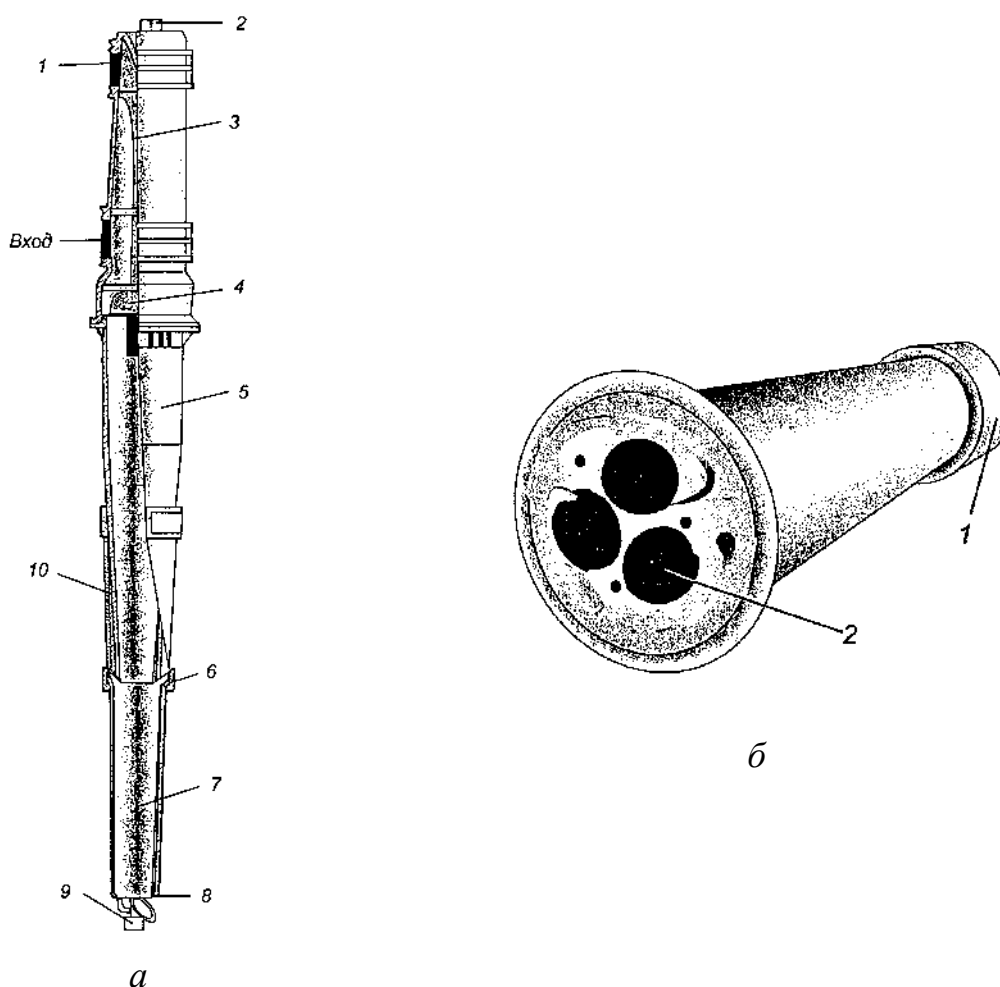


Рис. 6.5. Вихревой очиститель:

- а - Cleanpac 700: 1 - выход очищенной массы; 2 - отверстие для выхода легких включений и воздуха (модификация LD); 3 - дополнительный вихревой отделитель; 4 - впускная головка турбины; 5 - верхний конус; 6 - двухстенная конструкция; 7 - нижний конус; 8 - камера отходов; 9 - выпускное отверстие; 10 - верхнее смотровое окно; б - Cleanpac 270 пакетного типа: 1 - камера для отходов; 2 - впускное отверстие

Очиститель Cleanpac 270 представляет собой конструкцию пакетного типа. В одном очистителе размещены три гидроциклона диаметром 60 мм. Специфическая форма потока, возникающая в очистителе, создает большие силы инерции, которые обеспечивают высокую эффективность удаления мелких частиц посторонних включений. Впускные патрубки в каждом циклоне заменяемы, что позволяет выбрать диаметр отверстия в зависимости от требуемой производительности. Отходы из трех гидроциклонов поступают в общую камеру большого диаметра, что снижает риск забивания циклона.

Для удаления включений с низкой плотностью, а также пузырьков воздуха, разработана специальная модификация очистителя Cleanpac 700 LD. Легкие посторонние включения, типа частиц пластика, клея, воска, термопластика, попадают в центральную часть очистителя и удаляются через патрубков в верхней части головки очистителя.

Одноступенчатый очиститель Celleco FMZ используется в качестве последней ступени систем очистки и предназначен для снижения потерь волокна и наполнителя в системах очистки Cleanpac и ALBIA.

Для экономии энергозатрат на перекачку насосами массы в системах многоступенчатой очистки разработаны очистители Celleco-Twister работающие на концентрациях массы до 2 % (рис. 6.6). Требуемый эффект очистки достигается в них за счет дополнительного закручивания потока подаваемой в среднюю часть конуса оборотной водой в количестве 5 % от объема массы и повышением давления подвода массы на очистку до 190-240 кПа.

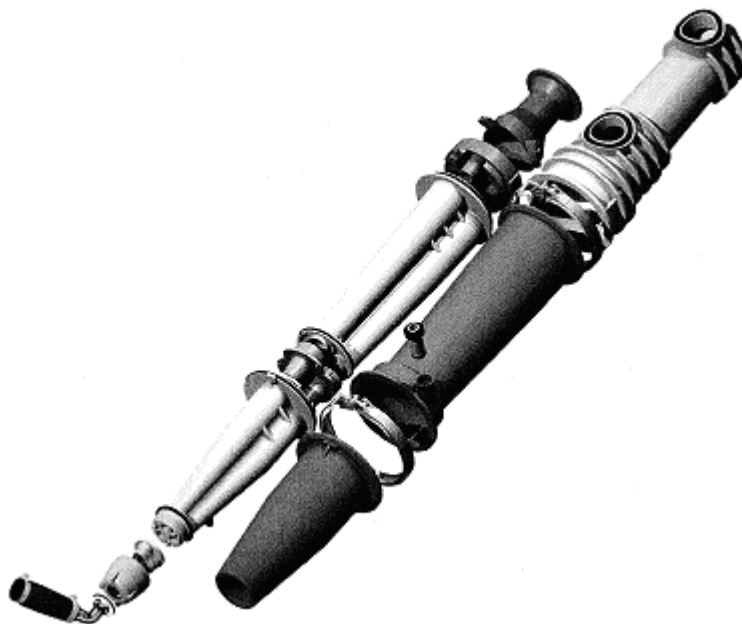


Рис. 6.6. Общий вид очистителя Celleco Twister

6.2.3. Технологические схемы очистки

В системах предварительной очистки макулатурной массы при высокой концентрации вихревые очистители устанавливают параллельно с одним общим патрубком (коллектором). Масса в очистителе подается насосом.

Иногда очистку производят в две стадии (рис. 6.7). От первой стадии очистки (один или несколько очистителей высокой концентрации, установленных параллельно) отходы непосредственно в непрерывном режиме удаляются в специальный отстойник. Это значительно повышает эффективность очистки на этой стадии. Удаленные отходы разбавляют водой до концентрации от 1,5 % и ниже. В отстойнике крупные частицы включений осаждаются и удаляются через специальную задвижку. На следующей стадии очищаются отходы от первой стадии. Она тоже базируется на вихревых очистителях для удаления оставшихся тяжелых частиц. На этой стадии также проводят промывку для периодического удаления отходов. Отходы из всей системы очистки составляют, в зависимости от степени засоренности, от 0,1 до 1,0 % от поступающей массы.

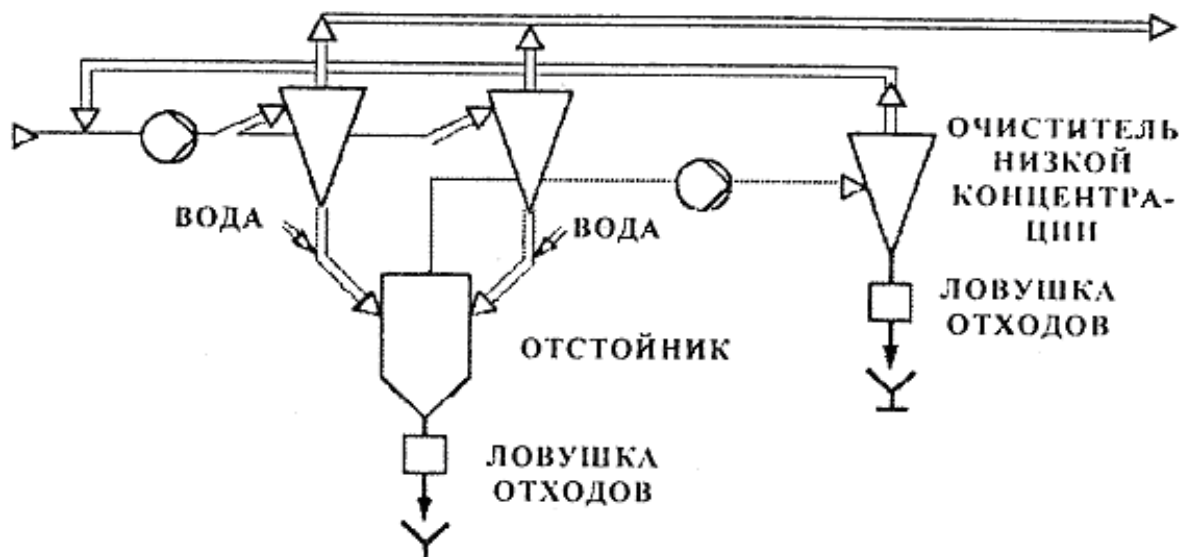


Рис. 6.7. Схема комбинированной очистки макулатурной массы

На рис. 6.8 представлена схема трехступенчатой установки УОТ-12 для очистки массы при низкой концентрации. Макулатурная масса концентрацией не более 1 % подается насосом на первую ступень очистки. Очищенная масса направляется далее по технологическому потоку, а отходы очистки с помощью насоса - на вторую ступень. Очищенная масса от второй ступени поступает на вход первой ступени. Отходы очистки второй ступени подаются насосом на третью ступень очистки. Очищенная масса третьей ступени поступает на вход второй ступени, а отходы отводятся в отвал. Благодаря последовательному пропуску отходов с первой ступени очистки снижается количество годного волокна в отходах. Наибольшее количество циклонов устанавливают на первой ступени. Так как последующие ступени

очистки обрабатывают только поток отходов, который уменьшается за счет ухода очищенной массы, то количество установленных циклонов в них уменьшается от ступени к ступени.

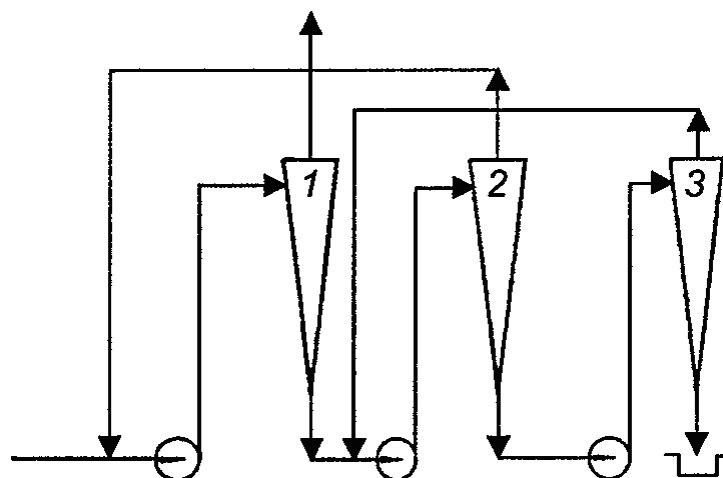


Рис. 6.8. Схема трехступенчатой системы очистки УОТ-12

На рис. 6.9 представлена технологическая схема тонкой очистки макулатурной массы с использованием трехступенчатого каскада из очистителей типа Celleco Twister и дополнительной конечной ступени в виде очистителя типа Fibermizer. Этот очиститель предназначен для снижения потерь волокна и наполнителей и может быть использован также в системах очистки Cleanpac и ALBIA. Он позволяет сократить потери волокна до 90 % без снижения эффективности степени очистки, прост в эксплуатации и не требует дополнительного оборудования (насосов, емкостей, задвижек).

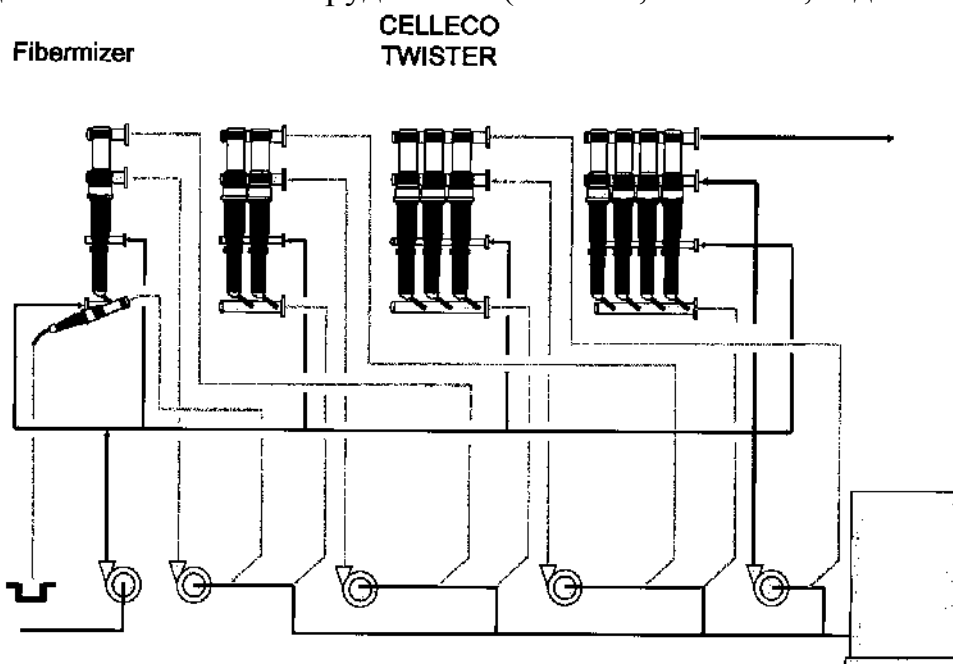


Рис. 6.9. Схема системы тонкой очистки массы с использованием очистителей Celleco Twister и очистителя Fibermizer на последней ступени

6.3. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ

Меры для повышения эффективности очистки массы в циклонах должны носить комплексный характер, так как каждая из них в отдельности помимо положительного эффекта приносит и негативные последствия.

Обобщая вышеизложенное следует отметить следующие пути повышения эффективности очистки:

- увеличение перепада давлений между входом и выходом массы, что приводит к высоким значениям тангенциальной скорости и высокому центробежному ускорению. При этом следует помнить, что перепад давления напрямую влияет на затраты энергии при перекачке массы через циклон. Поэтому перепад давления должен быть целесообразным не только технологически, но и экономически;

- уменьшение диаметра циклона. Несмотря на кажущуюся тривиальность, этот фактор имеет практические ограничения. Так, для обеспечения эксплуатационной надежности размеры патрубков на входе и выходе массы должны быть такими, чтобы предотвратить их забивание. Поэтому минимально возможный диаметр патрубков должен быть не меньше максимального размера (длины) удаляемых частиц. Кроме того, малая производительность небольших гидроциклонов обуславливает необходимость параллельного включения одновременно нескольких устройств. Это устанавливает ограничения экономического характера на минимальный диаметр циклонов;

- снижение концентрации массы;

- снижение содержания в массе лепестков и пучков волокон. Так же, как и высокая концентрация массы, они ограничивают свободу перемещения удаляемых частиц. Возрастают потери волокон, так как большая часть лепестков и пучков волокон удаляется вместе с тяжелыми включениями;

- повышение температуры очищаемой массы. Повышенная температура снижает вязкость массы и, соответственно, сопротивление движению частиц загрязнений в радиальном направлении;

- оптимизация процесса удаления отсортированных отходов;

- усовершенствование отдельных узлов очистителей и оптимизация потоков внутри них.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Смоляницкий Б.З. Переработка макулатуры. - М.: Лесная промышленность, 1980. - 176 с.

Фляте Д.М. Свойства бумаги. - Изд. 4-е, испр. и доп. - СПб.: НПО «Мир и семья-95», 1999. - 384 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. В 3 т. Т.І. Сырье и производство полуфабрикатов. - СПб.: Политехника, 2004. - 316 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.

Ванчаков М.В., Кишко А.В. Теория и конструкция оборудования для подготовки макулатурной массы: учебное пособие/СПбГТУРП. - СПб., 2003.-104 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Макулатура как волокнистое сырье.....	4
1.1. Определение термина «макулатура». Ее роль в общем балансе волокнистого сырья.....	-
1.2. Ассортимент продукции, выпускаемой с применением макулатуры. Структура цены на макулатуру.....	5
1.3. Преимущества и недостатки использования макулатуры в качестве сырья.....	6
1.4. Специфические особенности макулатуры как волокнистого сырья.....	8
1.5. Загрязнения, содержащиеся в макулатуре.....	10
1.6. Цели, задачи и основные принципы подготовки макулатурной массы.....	15
2. Виды, марки и входной контроль макулатуры.....	20
2.1. Международные стандарты на макулатуру.....	-
2.2. Классификация и основные особенности макулатуры, согласно ГОСТ 10700-97.....	21
2.3. Входной контроль макулатуры.....	22
2.3.1. Контроль состава макулатуры по маркам.....	23
2.3.2. Контроль качества и количества загрязнений в макулатуре...	24
2.3.3. Контроль влажности и массы партии макулатуры.....	25
3. Заготовка и сортирование макулатурного сырья.....	27
3.1. Источники поступления макулатуры.....	-
3.2. Сортирование макулатуры по маркам.....	28
3.3. Упаковка макулатуры.....	30
3.4. Транспортирование и хранение макулатуры.....	32
4. Разволокнение макулатуры.....	35
4.1. Основные факторы, обеспечивающие разволокнение макулатуры в воде.....	-
4.2. Технологии и оборудование для разволокнения макулатуры.....	36
4.2.1. Технологии и оборудование для разволокнения макулатуры на базе традиционных гидроразбивателей.....	37
4.2.2. Роспуск макулатуры в гидроразбивателях барабанного типа	53
4.3. Пути интенсификации процессов разволокнения макулатуры и сокращения энергозатрат.....	55

5. Сортирование и фракционирование макулатурной массы.....	60
5.1. Основные закономерности и показатели эффективности процессов сортирования.....	62
5.2. Сортирование массы в процессе разволокнения макулатуры.....	64
5.3. Грубое сортирование макулатурной массы.....	68
5.4. Тонкое сортирование макулатурной массы.....	71
5.4.1. Удаление из массы клеевых загрязнений.....	74
5.5. Схемы систем сортирования.....	75
5.6. Фракционирование макулатурной массы.....	78
5.7. Пути повышения эффективности процесса сортирования.....	82
6. Очистка макулатурной массы.....	84
6.1. Сущность и основные закономерности процесса очистки.....	-
6.2. Аппаратурное оформление и схемы процесса очистки макулатурной массы.....	87
6.2.1. Очистители, работающие при высокой концентрации массы (грубая очистка).....	88
6.2.2. Очистители, работающие при низкой концентрации массы (тонкая очистка).....	90
6.2.3. Технологические схемы очистки.....	94
6.3. Пути повышения эффективности очистки.....	96
Библиографический список.....	97

Учебное издание

Михаил Вадимович Ванчаков
Александр Васильевич Кулешов
Галина Николаевна Коновалова

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРЫ
ЧАСТЬ I

Учебное пособие

Редактор и корректор Н.П. Новикова

Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2011 г., поз. 36

Подп. к печати 19.04.11. Формат 60×84/16. Бумага тип. 1.

Печать офсетная. Уч.-изд. л. 6,25. Усл. печ. л. 6,25.

Тираж 50 экз. Изд. № 36. Цена «С». Заказ

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