

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

**ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ
ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРЫ**

Часть I

Учебное пособие

**Санкт-Петербург
2019**

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

**М.В. Ванчаков, А.В. Кулешов
А.В. Александров, А.А. Гаузе**

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРЫ

Часть I

Учебное пособие

**Санкт-Петербург
2019**

УДК 676.038.2 (075)

ББК 35.77я7

В 176

Ванчаков М.В., Кулешов А.В., Александров А.В., Гаузе А.А.
Технология и оборудование переработки макулатуры: учебное пособие/
ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2019. Часть I. – 107 с.: ил. 31. – ISBN 978-5-
91646-174-9

В части I пособия рассмотрены области применения макулатурного сырья, его классификация, преимущества и недостатки использования. Приведены сведения о процессах заготовки, сортирования по маркам и входного контроля макулатурного сырья. Описаны механические свойства макулатуры как волокнистого сырья. Рассмотрены технологии и оборудование для приготовления макулатурной массы.

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

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

Рецензенты:

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

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

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

ISBN 978-5-91646-174-9

© Высшая школа технологии
и энергетики СПбГУПТД, 2019

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

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, пригодные для применения в качестве волокнистого сырья. Наряду с термином «макулатура» используют, как синонимы, термины «вторичное сырье» и «вторичное волокно».

Фактически, вторичное сырье (макулатуру) используют почти все производители и переработчики бумаги и картона, имеющие собственные технологические линии для переработки оборотного брака. При этом добавка этих отходов (5÷10 % в композиции волокнистой массы) практически не влияет на качество получаемой продукции.

Количество образующейся макулатуры, а, следовательно, и объем ее сбора и использования, зависит, прежде всего, 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 30÷35 кг/год на душу населения. Впоследствии макулатуру начали использовать в странах Европы.

На рис. 1.1 представлены статистические данные потребления макулатуры в мире.

За последние 25 лет в мире произошло почти трехкратное увеличение потребления макулатуры. При этом кризисные явления, происходящие в мировой экономике, не смогли заметно изменить ситуацию на рынке макулатуры. Так, например, тенденция снижения потребления макулатуры в 2008 г. (начало финансового кризиса в мире) уже через год сменилась на тенденцию устойчивого роста потребления макулатуры.

В настоящее время в мировом производстве бумаги и картона доля макулатуры в общем балансе волокна (без учета не волокнистых компонентов) превышает 50 %. Исторический барьер (более 50 %), был преодолен в конце первого десятилетия XXI века. При этом в некоторых источниках указывается, что макулатура в настоящее время покрывает потребность в волокне на 53 % и даже на 55 %. По мнению экспертов ЦБП, доля макулатуры в общем балансе волокнистого сырья будет практически сохраняться на достигнутом уровне (50÷55 %) с возможным увеличением этой доли примерно до 60 % к 2020 г.

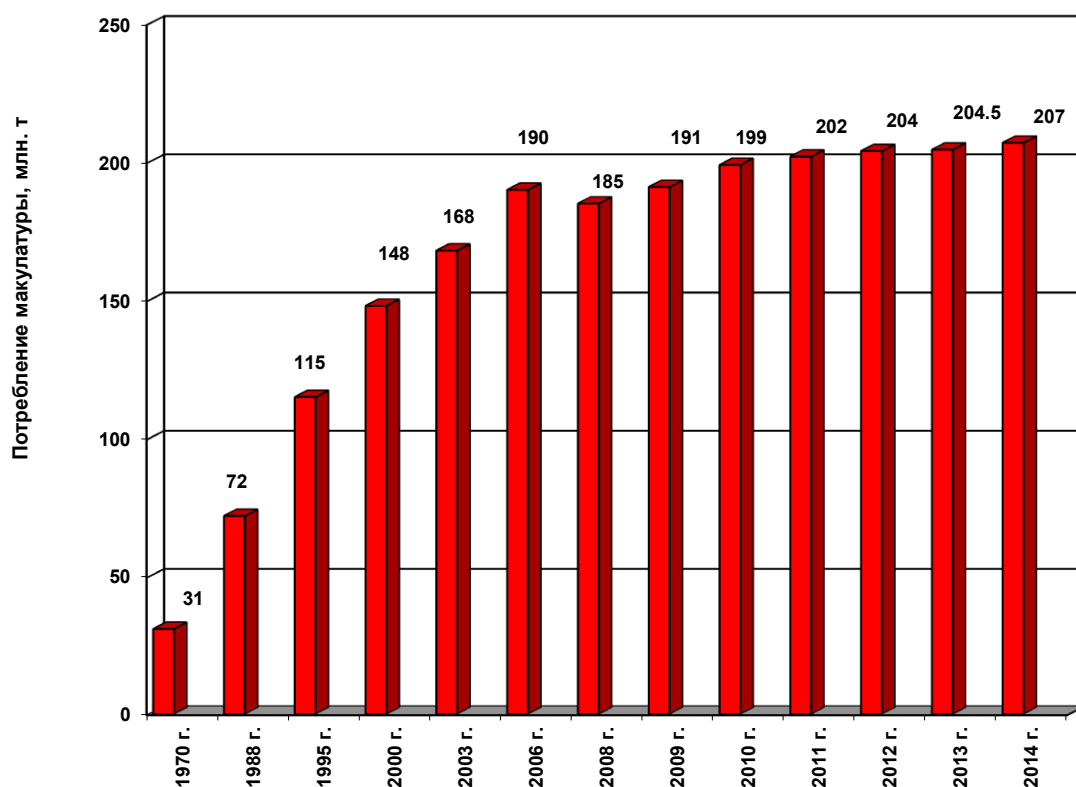


Рис. 1.1. Мировое потребление макулатуры

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

Таблица 1.1

Мировое производство волокнистых материалов, тыс.т

Вид волокна	1990 г.	2000 г.	2012 г.
Химическая целлюлоза	105 430	122 740	131 200
Механическая древесная масса	36 200	37 570	28 930
Полуцеллюлоза	8 000	8 730	8 910
Другое волокно	15 280	15 150	16 100
Вторичное волокно (макулатура)	84 250	142 950	212 750
Всего волокна	249 160	327 140	397 890

Таким образом, вне зависимости от точного значения доли макулатуры в общем балансе сырья, можно сделать однозначный вывод о том, что вторичное волокно является важнейшим и, что самое главное, незаменимым полуфабрикатом для нужд мировой ЦБП.

Основной причиной повышения уровня регенерации макулатуры является экологическая политика, направленная на сохранение биоресурсов, а также на снижение количества твердых отходов и, в частности, на утилизацию картонно-бумажных отходов. Второй важной причиной повышения использования макулатурного сырья является значительно более низкая его стоимость по сравнению с первичным волокном, что позволяет сдерживать повышение цен на продукцию при постоянном росте производственных издержек.

В связи с этим в ряде европейских стран для производителей, использующих вторичное сырье, были введены различные государственные льготы. Для привлечения инвесторов в эту сферу создана система льготных кредитов. В ряде стран проводится политика, направленная на ограничение потребления продукции, изготавливаемой без использования отходов. В Англии, Германии, Франции и ряде других государств, где недостаточно древесного сырья, промышленность ориентируется на выпуск бумаги и картона с использованием преимущественно макулатуры, а продукция из первичного волокна в эти страны, в основном, импортируется.

В России макулатуру стали применять также в начале XX века. В крупных городах существовали мелкие фирмы, которые скупали бумажные отходы от предприятий и населения, сортировали их и поставляли бумажным фабрикам. Об объеме переработки макулатуры в то время у нас можно судить по тому факту, что в середине XX века (1955 г.) ее было поставлено всего около 250 тыс. т.

Потребление макулатуры в России за последние пять лет выросло на 60 %. Если в 2010 г. в стране перерабатывалось чуть более 2,0 млн т, то в 2014 г. эта цифра составила уже 3,17 млн т. При этом общие ресурсы (с учетом внешней торговли бумагой, картоном и макулатурой, поступающей с упаковкой от импортных товаров и импортируемой книжно-журнальной продукции) ориентировочно могут достигать 8,0 млн т макулатуры. Из данного объема около 6,0 млн т теоретически может быть собрано и переработано ввиду того, что 20÷30 % образующейся макулатуры не подлежит процессу сбора и аккумулирования. Однако с учетом наличия протяженной территории, отсутствия системы заготовительных организаций вдали от крупных городов, нехватки перерабатывающих мощностей за Уралом и ряда других факторов реальная цифра доступной ресурсной базы значительно ниже указанных здесь 6,0 млн т.

Даже несмотря на указанный рост потребления, уровень сбора макулатуры в России значительно ниже, чем в развитых странах Европы и США, где данный показатель превышает 60 %.

Относительно невысокий процент использования вторичного сырья на территории РФ обусловлен несколькими причинами:

➤ несовершенство организации системы сбора и сортирования макулатуры при низком уровне вовлеченности населения; через приемные пункты от населения заготавливается не более 2÷3 % общего объема используемой макулатуры;

➤ отсутствие полноценной законодательной базы, регламентирующей порядок сбора и утилизации макулатурного сырья от предприятий и организаций; отсутствие гибкой поощрительной системы льгот и преференций в отношении добросовестных сборщиков.

➤ ограниченность производственных мощностей, ориентированных на выпуск продукции из макулатурного сырья.

Для увеличения выпуска макулатурных картонов российским производителям требуются большие объемы макулатуры, которой не хватает в связи с указанными причинами. Это, в частности, сказывается и на стоимости макулатуры, которая у нас почти в 1,5 раза выше, чем стоимость макулатуры в Европе. В условиях общеэкономического спада сбор макулатуры может стать выгодным видом деятельности, ввиду относительно низкого уровня капитальных затрат на создание производств, связанных с регенерацией вторичного волокна.

Существенным стимулом в развитии переработки вторичного волокна послужил рост производства и потребления тары из гофрированного картона. Фактически, темпы роста выпуска гофроупаковки в России сдерживаются только нехваткой мощностей по производству компонентов гофрокартона. Это подтверждается сегодняшним дефицитом его, который отчасти компенсируется импортом.

По данным Европейской конфедерации производителей бумаги (СЕРІ), в настоящее время с применением макулатуры изготавливается около 50 % тарных картонов, причем доля их постоянно увеличивается. В России же из пяти крупнейших предприятий – производителей картона – Архангельский ЦБК, филиалы АО «Группа «Илим» в г. Коряжме и в г. Братске, «Монди Сыктывкарский ЛПК» и АО «Кнауф Петроборд», только последний применяет в качестве сырья макулатуру.

Основные потребители (как и поставщики) макулатуры сосредоточены в Центральном и Северо-Западном федеральных округах. Среди наиболее крупных (потребляющих более 100 тыс. т макулатуры в год) производителей макулатурного картона можно отметить АО «Кнауф Петроборд» (г. Санкт-Петербург), Набережно-Челнинский КБК (Республика Татарстан), Каменская БКФ (Тверская обл.), ГП «Пермский ЦБК» (Пермская обл.), ЗАО «Пролетарий». Средними предприятиями, перерабатывающими от 50 до 100 тыс. т макулатуры в год, являются такие предприятия, как Алексинская БКФ (Тульская обл.), ЗАО «Картонтара» (Краснодарский край) и др. Также на территории страны действует много малых производств с объемом переработки менее 20 тыс. т макулатуры в год, на долю которых приходится

порядка 5 % всей перерабатываемой в стране макулатуры. Большинство этих предприятий располагается в инфраструктурно развитых регионах России, т.е. в местах образования макулатуры.

В условиях интеграции российских целлюлозно-бумажных предприятий в мировой рынок и вступления России в ВТО, отношение к заготовке и переработке вторичного сырья должно измениться. Более интенсивное использование макулатурного сырья стимулируется следующими факторами:

- постоянным ростом стоимости древесного сырья с учетом затрат на транспортировку;
- повышением спроса на бумагу и картон из вторичного волокна из-за более низкой их стоимости;
- невысокой капиталоемкостью предприятий, работающих на макулатуре, по сравнению с предприятиями, использующими первичное волокнистое сырье;
- повышением конкурентоспособности производства бумаги и картона из макулатурного сырья на базе технологического развития производства и совершенствования используемого оборудования.

В стране имеются все необходимые условия для создания высокотехнологичных производств, способных производить качественную лесобумажную продукцию с использованием вторичного сырья.

В литературе, посвященной переработке макулатуры, используют два показателя для оценки объема ее применения. Это степень использования и уровень переработки макулатуры, которые являются показателем цивилизованности страны и напрямую зависят от уровня доходов населения и его качества жизни.

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

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

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

Примерный ассортимент продукции, выпускаемой в мире с использованием макулатуры:

- 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.

Примерный ассортимент продукции, выпускаемой в нашей стране с использованием макулатуры:

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

Удовлетворение все возрастающих потребностей в картоне возможно за счет использования как целлюлозных полуфабрикатов, так и макулатурного сырья. Однако даже несмотря на это, покрыть дефицит в картоне только за счет существующих мощностей не удастся. Необходимо строительство новых предприятий.

Число предприятий, производящих компоненты гофрокартона с использованием макулатуры, более чем в два раза превышает число предприятий, использующих только целлюлозное сырье. Однако в абсолютном выражении, целлюлозных компонентов для гофрокартона в России производится больше, чем из вторичного сырья.

К производству гофрокартона из макулатурного сырья сейчас привлечено особое внимание, прежде всего, как к более дешевому заменителю целлюлозных полуфабрикатов. К тому же, производители целлюлозных полуфабрикатов - крупные ЦБК работают на пределе своих мощностей. Увеличение производительности действующих целлюлозно-бумажных комбинатов без серьезных капитальных затрат невозможно. Поэтому ждать от них существенного увеличения производства компонентов гофрокартона на основе первичного сырья не приходится.

Производители гофрокартона и гофротары, помимо всего прочего, сами являются источником макулатурного сырья. До 8 % объема перерабатываемых бумаг и картонов гофропродукции уходит в макулатуру в виде отбраковки и отходов кроя. Доля макулатурного гофрокартона в России в 2005 г. составляла 20 %, а 2008 г. уже 27 %. Налицо тенденция к увеличению доли макулатурного сырья в производстве компонентов гофрокартона. Схожая тенденция сложилась и в странах Западной и Восточной Европы, с той лишь разницей, что в Европе преобладает не целлюлозный, а макулатурный картон в связи с ограниченными лесными ресурсами и повышенными требованиями к сохранению окружающей среды.

Существует два основных подхода к выпуску гофрокартона из макулатурного сырья:

1. Выпуск гофрокартона из 100 % макулатурных материалов, т.е. макулатурный флютинг (бумага для гофрирования) и макулатурный картон - лайнер (для плоских слоев).

2. Выпуск компонентов гофрокартона с использованием композиции из макулатурного сырья и полуцеллюлозы с получением гофрокартона приемлемого для потребителя качества.

В настоящее время, с развитием технологий облагораживания газетной и писче-печатной макулатуры, в мировой практике стали производиться значительные объемы санитарно-гигиенических, газетной и печатной бумаг с использованием вторичного волокна. Рассматривается возможность использования макулатуры в производстве мешочной и газетной бумаги. Имеются данные о том, что при соотношении содержания целлюлозы и макулатуры в композиции мешочной бумаги соответственно 40 и 60 % с добавкой проклеивающего вещества «Aqvapel» в количестве 0,5 % от а.с.в. и влагопрочной добавки «Melapret» в количестве 0,8 % от а.с.в. можно получить вполне удовлетворительные механические показатели этой продукции.

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 ее марки и конъюнктуры рынка на данный момент времени. Общая тенденция - постепенный рост цен. Ориентировочные данные (в долларах США за тонну):

- сортированная конторская макулатура - до 120;
- белые обрезки бумаги - 180÷250;
- использованные газеты - 60÷90;
- использованный гофрокартон - 100.

Для внутренних потребителей цена на \$ 10÷20 США за тонну ниже, чем для экспортных поставок. Зависимость цены макулатуры от марки служит серьезным стимулом для её предварительного сортирования.

1.3. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАКУЛАТУРНОГО СЫРЬЯ

Применение макулатуры в производстве бумаги и картона чрезвычайно выгодно, так как это позволяет экономить материальные и энергетические ресурсы и утилизировать отходы.

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

1. Ресурсосбережение. Примерно 50÷60 кг макулатуры сохраняет от вырубки одно дерево, которое вырастает до деловой спелости в течение 50÷60 лет. Замена 1 тонны первичного целлюлозного волокна макулатурой дает экономию 2÷3 м³ древесины. Это позволяет сократить вырубку лесов, исключает затраты на заготовку, доставку и восстановление леса. Кроме того, производства, перерабатывающие макулатуру, потребляют меньше воды, топлива и химикатов, чем производства полного цикла.

2. Экономичность. Средняя цена одной тонны макулатуры на сегодня составляет 100÷200 долл. США, что в 2÷4 раза дешевле 1 т целлюлозы. Так как в себестоимость продукции включается (до 30 %) стоимость сырья, то использование макулатуры позволяет значительно снизить этот показатель.

Относительно низка капиталоемкость предприятий. Удельные капитальные затраты по созданию новых мощностей по переработке макулатуры составляют 250÷350 тыс. долл. США на 1 т суточной мощности, против 500÷1000 тыс. долл. на 1 т в сутки для предприятий, работающих на выпускаемой ими целлюлозе. Одновременно повышается независимость производителей бумаги и картона от предприятий-монополистов, выпускающих и определяющих цену на целлюлозу.

Эксплуатационные затраты на переработку макулатуры в продукцию, за счет экономии энергии, тепла и свежей воды ниже, чем на предприятиях, использующих вырабатываемое ими первичное волокно. Кроме этого, сокращение количества стоков и выбросов при переработке в качестве сырья макулатуры, которые требуют сложной очистки, также снижает эксплуатационные затраты. Примерные величины показателей этой экономии представлены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Сравнительные данные расхода ресурсов и количества отходов при производстве 1000 т продукции из первичного сырья и макулатуры

Расходы и отходы	Первичное сырье	Облагороженная макулатура
Расход технологической воды, м ³	178600	152000
Расход энергии, кДж	25122	9540
Количество отходов, т	49	20

Переработка макулатуры в современной мировой индустрии производства бумажно-картонной продукции представляет самостоятельное динамично развивающееся направление, в котором занято не менее 150 тыс. человек.

3. Районированность. 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.

4. Экологичность. Использование макулатуры, вывозимой на свалки, может на четверть уменьшить объем твердых бытовых отходов в густонаселенных регионах и крупных городах, что приведет к сокращению объемов городских свалок и, соответственно, к снижению затрат и потребности в оборудовании для переработки отходов. В настоящее время городские свалки содержат около 25 % (по массе) отходов бумаги и картона. Свалки часто самовозгораются, выделяя диоксины, токсины, которые отравляют воздух, почву, воду. Таким образом, использование макулатуры дает как экономический, так и экологический эффект.

5. Цикличность. Возможность многократного (до 5-6 циклов) использования макулатуры.

Данные обстоятельства позволяют бумажным и картонным фабрикам малой и средней производительности рентабельно работать и развиваться в условиях рыночной экономики.

Несмотря на явные выгоды, использование макулатуры ограничивается требованиями, предъявляемыми к качеству товарной продукции. Как видно по табл.1.3, чем выше требования к бумаге, тем меньшее количество макулатуры может быть введено в состав картонно-бумажной продукции.

Таблица 1.3

Пределы использования макулатуры при изготовлении
бумажной продукции

Вид продукции	Возможное содержание макулатуры, %
Небеленая крафт-бумага	10÷20
Беленая крафт-бумага	5÷15
Тарный комбинированный картон	90÷100

Бумага:	
- газетная	100
- писчая высококачественная	10÷80
- упаковочная, типографская	10÷80

Отмечая преимущества, получаемые от использования макулатуры, следует учитывать и ряд недостатков и проблем, сдерживающих этот процесс сейчас и в перспективе. Основные из них сводятся к следующему:

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

2. Качество макулатуры. В целом, наблюдается постепенное ухудшение качества макулатурного сырья, так как в производство поступает макулатурное волокно, ранее неоднократно прошедшее полный технологический цикл бумажного производства. Кроме того, происходит постепенное увеличение доли влагостойкой, сильно клееной, пропитанной и ламинированной картонно-бумажной продукции, с высоким содержанием в ней вспомогательных химикатов и наполнителей, а также различных покрытий. Появляются новые виды трудно удаляемой печати. Всё это усложняет переработку макулатуры из такой продукции и требует дополнительных затрат.

3. Образование отходов. Переработка макулатуры сопровождается образованием и необходимостью утилизации большого количества отходов, содержащихся в макулатуре в виде загрязнений. Также усложняется процесс очистки воды и производственных стоков.

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

1) дефицит вторичного волокна, объясняемый, прежде всего низким объемом производства и потребления бумаги и картона, которое составляет около 50 кг/год на душу населения, в то время как в США, Японии и европейских странах этот показатель достигает 250 кг/год и более;

2) морально устаревший и физически изношенный парк основного оборудования при отсутствии эффективных отечественных аналогов. Устаревшие (свыше 30 лет) бумагоделательные машины составляют около 75 % парка;

3) ограниченность ассортимента выпускаемой из макулатуры продукции тормозит развитие и распространение новых перспективных технологий ее переработки;

4) несовершенство систем сбора и сортирования вторичного сырья, приводящее к повышенной загрязненности макулатуры инородными включениями, затрудняющими ее переработку. Отсутствие серьезной

мотивации для создания систем сбора и сортирования смешанной макулатуры по маркам. Практически не выделяется макулатура из твердых бытовых отходов;

5) слабое распространение систем облагораживания макулатурной массы (обесцвечивание, отбелка и т.п.);

6) большое количество мелких (менее 20 тыс. т в год продукции) предприятий, использующих макулатуру, где высокая себестоимость продукции влияет на её рыночную конкурентоспособность;

7) недостаток квалифицированных специалистов в области технологии переработки макулатуры.

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

1.4. 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 разделяют по группам или маркам. Отметим основные признаки такого разделения:

➤ по виду происхождения макулатуры (отходы производства, переработки или использования);

➤ по степени загрязненности макулатуры посторонними веществами и наличию печати и покрытий (белая, слабозагрязненная, сильнозагрязненная, окрашенная, запечатанная, с покрытиями и пропиткой);

➤ по однородности состава макулатуры (смешанная, сортированная);

➤ по содержанию в макулатуре волокон сульфатной небеленой целлюлозы (не содержащая, содержащая в ограниченном количестве, полностью из волокон сульфатной небеленой целлюлозы);

➤ по содержанию в макулатуре волокон древесной массы (не содержащая, содержащая в ограниченном количестве, полностью из волокон древесной массы);

➤ по влагопрочности макулатурного сырья (влагопрочное, не влагопрочное, продукция с влагостойкими покрытиями).

Помимо указанных, возможно использование и других признаков для разделения макулатуры по группам и маркам. Мировой опыт показывает тенденцию к увеличению перечня признаков разделения макулатурного сырья с увеличением объема его применения.

1.4.1. Классификация видов макулатуры

Макулатуру в зависимости от качества принято разделять на отдельные группы и марки. Как правило, количество марок перерабатываемого макулатурного сырья непосредственно связано с объемом и номенклатурой массовых видов бумажно-картонной продукции, вырабатываемой и утилизируемой в данной стране. В мировой практике переработки макулатуры нашли применение как национальные стандарты, так и стандарты, распространяющие свое действие на группы стран или на отдельно взятые регионы.

Например, странами ЕЭС 12 декабря 2001 г. принят Европейский стандарт EN643, где вся макулатура была разделена на 5 больших групп: обычные сорта (11 марок), средние сорта (12 марок), высокие сорта (19 марок), макулатура крафт-качества (8 марок) и макулатура специального качества (7 марок). Итого 57 марок. В 2013 г. вышла актуализированная редакция стандарта EN643 с изменениями и дополнениями. Общее количество групп (пять) осталось неизменным. Однако появилась дополнительная градация внутри марок на подмарки, кроме этого некоторые марки были перемещены из одной группы в другую или исключены.

На территории Российской Федерации действует ГОСТ 10700-97 «Макулатура бумажная и картонная».

Рассматриваемый ГОСТ 10700-97 является международным стандартом, принятым практически всеми государствами постсоветского пространства (кроме Грузии, Украины и стран Прибалтики) 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 и переработки всех видов белой бумаги в виде обрезков с линовкой и черно-белой или цветной полосой, бумага для печати, писчая, диаграммная, рисовальная.

Эти марки макулатуры включают незапечатанную бумажную продукцию, полученную, в основном, из первичных волокон сульфитной или сульфатной беленой целлюлозы. Они, как правило, содержат различные наполнители, меловальные пасты-покрытия и различные вещества (клеи) для поверхностной проклейки или проклейки в массе.

Данные марки макулатуры обычно используют в композициях массы для производства белых видов бумаги, а также для внешних белых слоев многослойных видов бумаги-основы и картона.

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

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

Эти марки макулатуры включают бумажную продукцию, полученную из первичных волокон сульфатной небеленой целлюлозы. Она имеет цвет от светло- до темно-коричневого и достаточно сильную проклейку в массе. Такая макулатура обладает довольно высоким потенциалом вторичной переработки.

Данные марки макулатуры используют в производстве компонентов гофрокартона и упаковочных видов бумаги и картона.

В группу Б входят следующие 3 марки:

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

Эта марка макулатуры представляет собой использованные коробки и ящики из гофрокартона, который мог быть изготовлен как из первичных, так и вторичных волокон. Этот картон, помимо клея для проклейки, содержит значительное количество крахмального клея, соединяющего плоские и гофрированные слои в гофрокартоне. Кроме этого, в состав этой марки включают компоненты гофрокартона (лайнер и бумагу для гофрирования), отходы которых неизбежно будут образовываться при производстве гофрированного картона и тары из него.

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

Эта марка макулатуры может включать отходы производства и потребления картона, изготовленного практически из любых видов первичного или вторичного растительного волокна. Такая макулатура может содержать большие количества краски для печати, наполнителей и пигментов.

Данные марки макулатуры используют в производстве различных видов картона, гофрокартона и оберточной бумаги.

✓ **МС-7Б** – использованные книги, журналы, брошюры, проспекты, каталоги, блокноты, тетради, записные книжки, плакаты и другие виды полиграфической 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 и переработки, но и отходы потребления бумажной продукции, основой которой является белая бумага. Как правило, содержит проклеивающие вещества, наполнители, включая покровные пасты, и большое количество различных красителей и печати.

Данную марку макулатуры используют в производстве санитарно-гигиенических, писчих и типографских видов бумаги и других видов беловых товаров. Ее, как правило, помимо предварительной обработки, подвергают процессам облагораживания.

В группу В входят следующие 6 марок:

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

Эта марка макулатуры состоит из отходов газетной бумаги, а также отходов использования продукции на ее основе. Такая макулатура содержит, в основном, различные виды механических древесных масс. Кроме того, она может включать сильно запечатанную и окрашенную макулатуру.

Данную марку макулатуры используют в производстве газетной, санитарно-гигиенических, писче-печатных и других видов белой бумаги, а также наружных слоев картона и литых изделий из бумажной массы. При использовании ее часто подвергают облагораживанию.

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

Эта марка макулатуры состоит из сильно проклеенных между собой слоев бумаги или картона. Исходный материал для этой продукции получают из целлюлозного волокна.

✓ **МС-10В** – литые изделия из бумажной массы.

Эти изделия изготавливают из вторичных волокон и предназначены для упаковки продуктов питания и товаров народного потребления. Сбор такой макулатуры обеспечивается в основном за счет населения.

Как правило, данные марки макулатуры используют в производстве литых изделий и, в зависимости от состава волокна, различной другой продукции.

✓ **МС-11В** – отходы производства и потребления бумаги и картона с пропиткой и покрытием: влагопрочные, битумированные, парафинированные, ламинированные и т.п.

Данная марка макулатуры может использоваться в различных видах продукции только после отдельной специальной предварительной подготовки.

✓ **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 и т.п.

Как правило, ее используют для производства аналогичной продукции.

✓ **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 наличие широкого ассортимента бумажно-картонной продукции, в том числе влагопрочной и содержащей древесную массу. Использование смешанной макулатуры вызывает повышенные трудности при подготовке массы.

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

По инициативе отдельных переработчиков макулатуры в нашей стране, перечень марок дополнительно дифференцируется, с учетом фактических технологических особенностей макулатуры и производства.

Так, компанией «Объединенные бумажные фабрики» приняты для использования марки макулатуры МС-5Б следующие категории и сорта:

1 категория, промышленная (МС-5Б/1) – отходы производства гофрированного картона, не использованные ящики из гофрокартона, гофролисты и другие комплектующие изделия на основе целлюлозного и древесного волокна. Содержание массовой доли примесей и других марок макулатуры – не более 1,0 %;

2 категория, бытовая (МС-5Б/2) – использованные ящики из гофрированного картона;

1-й сорт (МС-5Б/2-1) – то же, что и категория 2, но допустимое содержание массовой доли примесей других марок макулатуры и загрязнений не более 3,0 %;

2-й сорт (МС-5Б/2-2) – то же, но допустимое содержание массовой доли примесей других марок макулатуры и загрязнений от 3,1 до 8,0 %.

Приведенный пример свидетельствует о наличии тенденции к увеличению числа градаций марок макулатуры.

1.4.2. 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. Правила контроля включают оценку состава макулатуры по маркам, определение качества и количества загрязнений в макулатуре, оценку влажности и массы партии макулатуры.

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 состава марок 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 случайным образом 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 выдвижным ящиком для сбора 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, собранных в отдельную тару, их взвешивают на весах. Массовую долю примесей макулатуры других марок в пробе (Д) в процентах вычисляют по формуле

$$Д = \frac{m_1 \times 100}{m_2}, \text{ \%},$$

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 статистической информации, т.е. в распоряжении проверяющего должны иметься данные за значительный срок. При этом необходимо, чтобы все партии поступали от одного источника (поставщика).

Описанный способ отбора проб может быть дополнен следующим образом. Пробы высверливаются из отобранной не развязанной кипы с помощью полого сверла. Размер пробы определяется техническими характеристиками устройства для высверливания. Для получения репрезентативной пробы анализируемой кипы необходимо провести несколько высверливаний.

На основе данного методического подхода Техническим центром бумаги разработана компьютеризированная система для определения качества макулатуры в кипе, представляющая собой расположенное на ручной тележке или автопогрузчике устройство с полым сверлом.

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 в макулатуре, извлечение которых возможно путем разделения на сетках. Фактически, подразумеваются не «загрязнения в макулатуре», а посторонний «мусор». Это подтверждается и рекомендуемой методикой оценки количества загрязнений.

Согласно ГОСТ 10700-97 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 %.

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 перечень загрязнений практически не дает возможности его расширения. В то же время, определенная массовая доля загрязнений допускается. В ГОСТе не конкретизирован состав таких загрязнений.

Кроме того, ничего не сказано о крупных загрязнениях, не прошедших через сито с отверстиями площадью 1 см², и как следует 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 (З) в процентах вычисляют по формуле

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

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.

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 больше будет ее расход на единицу продукции и соответственно величина издержек на ее приобретение и переработку.

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 постоянной массы при температуре 100±10 °С.

Фактическую влажность определяют по формуле

$$W_{\phi} = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{а.с.}}}{m_{\text{вл}}} \times 100, \quad \%,$$

где $m_{\text{вл}}$ - масса влажной пробы, г; $m_{\text{а.с.}}$ - масса высушенной пробы, г.

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

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

где W_p – расчетная влажность партии макулатуры ($W_p=12$ %), %; m_{ϕ} – масса партии макулатуры при фактической влажности W_{ϕ} , кг.

Результат расчета округляют до целого числа.

Для оценки реального количества волокна в партии макулатуры следует из фактической массы партии вычесть реальную массу влаги (min 12,0 %) и фактическую 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 в приборах экспресс-определения влажности макулатуры в режиме реального времени. Это позволит оперативно управлять технологическими процессами и, в частности, поможет снизить возможные колебания концентрации макулатурной массы по потоку.

Существуют портативные версии датчиков контроля качества кип макулатуры, позволяющие за счет соответствующего программного обеспечения измерять одновременно влажность, содержание волокна, полимеров и зольность в течение короткого времени. Датчик помещается на длинном стержне в простое отверстие в кипе на любую глубину. При измерениях используют несколько физических принципов: сканирование в ИК диапазоне, проводимость и электрическое сопротивление, диэлектрические характеристики бумаги.

2. ЗАГОТОВКА И СОРТИРОВАНИЕ МАКУЛАТУРЫ

Основой эффективности системы переработки макулатуры является неразрывность цепи: «продукция - потребитель - макулатура - продукция», схематично представленной на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Схема взаимосвязей основных звеньев в системе сбора и переработки макулатуры

Между звеньями «макулатура – продукция» обязательно фигурируют этапы, осуществляющие подготовительные операции: сбор и транспортировку макулатуры, сортирование ее по маркам, прессование в

кипы и доставка на перерабатывающие предприятия. Подготовка макулатуры к переработке на фабриках осуществляется на специальных заготовительных предприятиях или непосредственно на объектах переработки бумаги и картона, а также в отдельных крупных торговых сетях. Четкая согласованность в работе всех звеньев этой цепи – залог устойчивого и эффективного функционирования системы переработки макулатуры в целом.

2.1. ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ МАКУЛАТУРЫ

Существует три группы источников поступления макулатуры на переработку.

Во-первых, это собственный брак, срывы, обрезная кромка и другие бумажно-картонные 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 в пределах до 5 %.

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 однородна по составу. Такую макулатуру собирают прямо на предприятиях, упаковывают и поставляют на перерабатывающие предприятия. Последнее относится и к тем предприятиям, на которых отсутствует производство бумаги или картона. Если такое производство есть, то указанная макулатура используется так же, 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 же группе источников следует отнести и макулатуру, содержащуюся в твердых бытовых отходах (ТБО). 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 должны находиться специальные заготовительные организации. Их задачи не только посреднические. Они должны заниматься сортированием макулатуры по маркам, удалением из нее крупных посторонних включений и упаковкой ее в кипы.

Макулатура, образующаяся в первых двух группах источников, практически уже полностью используется. Основные резервы увеличения объема использования макулатуры заключаются в третьей группе источников, потенциал которых сегодня практически не ограничен.

2.2. ВЫДЕЛЕНИЕ МАКУЛАТУРЫ ИЗ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Как уже отмечалось, главный резерв увеличения объема переработки макулатуры - это извлечение ее из твердых бытовых отходов (ТБО). В общей массе ТБО содержится от 20 до 35 % бумажно-картонных отходов. При среднегодовом объеме ТБО в России около 60 млн т, это составляет около 12 – 20 млн т макулатуры в год, т.е. практически неисчерпаемый источник вторичного волокнистого сырья. Для извлечения из ТБО макулатурной составляющей используют процессы обогащения. Аналогично обогащению полезных ископаемых обогащение ТБО представляет собой совокупность процессов обработки с целью отделения всех ценных составляющих (а при необходимости и их взаимное разделение) от тех входящих в состав ТБО компонентов, которые не представляют непосредственной практической ценности в данных условиях.

При обогащении ТБО в качестве среды разделения используют воду («мокрые» процессы) или воздух («сухие» процессы). Наиболее распространены «сухие» процессы переработки ТБО. Их преимущества – отсутствие воды и загрязненных сточных вод, очистка которых или удаление требуют больших затрат; лучшее состояние бумажного волокна и меньшее его загрязнение; рентабельность транспортировки выделенной макулатуры; отсутствие резкого неприятного запаха.

Первым этапом обогащения ТБО является разделение их на легкую (макулатуросодержащую) и тяжелую фракции. Выделение тяжелой фракции необходимо для извлечения металла. Выделенные из ТБО в составе легкой фракции макулатура и полимерная пленка также могут найти самостоятельное применение. В настоящее время существуют и конкурируют различные направления вторичной переработки легкой фракции.

Так, во многих странах из легкой фракции производят топливо, отличающееся однородностью химического состава и достаточно высокой теплотой сгорания. Полученное топливо используют в измельченном виде, в виде гранул или брикетов. Предпочтение отдают гранулированному топливу, так как сжигание измельченного топлива сопровождается большим пылевым выбросом, а использование брикетов создает определенные трудности при их загрузке в топку котельных.

Другое направление переработки макулатуры, выделенной из ТБО, - использование ее в производстве бумаги и картона. Это обусловлено экологическими проблемами, так как ТБО, состоящие на 20÷35 % из газет, журналов, картонной и бумажной упаковки, можно рассматривать как потенциальный источник получения бумажного волокна, способствующий сохранению лесных ресурсов. Несмотря на то, что получение бумажной массы из макулатуры, выделенной из ТБО, довольно сложный процесс, использующий различное оборудование, он достаточно широко реализуется в целом ряде стран.

Получаемая на мусороперерабатывающем заводе в Италии бумажная масса используется преимущественно в производстве упаковочного картона. В США бумажная масса, полученная из ТБО, делится на длинно- и коротковолокнистую фракции. Длинноволокнистая фракция используется в производстве бумаги, картона, строительных плит, рубероида и топлива, а коротковолокнистая (после удаления из нее твердых остатков) – в производстве корма для скота и удобрения. В Японии из макулатурной массы вырабатывают бумагу и строительный картон.

Для извлечения макулатуры из ТБО наиболее целесообразно применять «сухие» методы сортировки и после этого, при необходимости, переводить ее в бумажную массу «мокрым» способом. Основным методом обогащения ТБО с целью выделения макулатуры – воздушная сепарация (аэросепарация). При первичной аэросепарации ТБО в легкую фракцию совместно с макулатурой переходит также полимерная пленка. Для извлечения отдельного продукта – макулатуры применяют различные способы ее селективного отделения из смеси. Следует отметить, что для эффективности процесса перед аэросепарацией ТБО следует предварительно подвергнуть дроблению до определенного размера фракций.

2.2.1. Извлечение легкой фракции из ТБО

Одной из основных операций при сортировке ТБО для их разделения на тяжелую и легкую фракции и извлечения из них макулатуры является аэросепарация. Аэросепарация - это обогащение материала в воздушном потоке, основанное на использовании различий в плотности компонентов и их скорости витания. Под скоростью витания понимают минимальную скорость воздуха, при которой уравниваются силы тяжести частицы и подъемная сила воздуха. Для осуществления аэросепарации применяют воздушные сепараторы различных конструкций – как с вертикальным, так и с горизонтальным потоком воздуха.

При аэродинамических расчетах воздушных сепараторов необходимо учитывать, что в процессе комплексной переработки ТБО основной задачей может быть не только предварительная сортировка на легкую и тяжелую фракции, но и получение конечного продукта - макулатуры. Поэтому расчетная рабочая скорость воздуха в сепараторах должна рассчитываться для макулатуры – легкой составляющей ТБО. Основным моментом аэродинамического расчета сепаратора – определение скорости витания w частиц твердой фазы.

На одиночную частицу в воздушном потоке действуют сила тяжести

$$F_T = V \cdot \rho_T g$$

и подъемная сила, определяемая по формуле Н.Е. Жуковского,

$$F_{\Pi} = C_{A_T} w^2 H / 2,$$

где V – объем частицы, м^3 ; ρ_T и ρ_G – плотность материала частицы и газа, $\text{кг}/\text{м}^3$; C_A – коэффициент лобового сопротивления; w – скорость витания частицы, $\text{м}/\text{с}$; H – площадь поверхность частицы, м^2 .

При условии равновесия силы тяжести и подъемной силы скорость витания одиночной частицы определяется по формуле

$$w = (2\delta_T g / (C_A \rho_G H))^{0,5},$$

где $\delta_T = V/H$ – толщина плоского материала (макулатуры), м .

Расчетная теоретическая рабочая скорость воздуха составляет для сепарации ТБО в вертикальном потоке $5 \text{ м}/\text{с}$, а в горизонтальном – $2,5 \text{ м}/\text{с}$. На практике аэросепарация проводится при скоростях воздуха, превышающих расчетные в $1,5 \div 2,0$ раза.

Установка аэросепаратора горизонтального типа состоит из следующих основных узлов: рамы, осевого вентилятора, жалюзийной заслонки для регулирования скорости потока воздуха, зоны выравнивания скорости воздуха, загрузочного устройства, рабочей зоны, выполненной обычно в виде ряда последовательно соединенных секций прямоугольного сечения с донной разгрузкой фракций (зона разделения, промежуточная зона и осадительная камера).

Для сортировки ТБО в горизонтальном потоке воздуха используются различные конструкции сепараторов. Рассмотрим в качестве примера сепаратор, представленный на рис. 2.2, заявленный в Германии. Устройство снабжено системой циркуляции воздуха 4 и камерой, выполненной в виде трубы, с загрузочным бункером 2, в который измельченный материал подается вибропитателем 3. Материал, подхваченный горизонтальным потоком воздуха от вентилятора 1, разделяется на три фракции и удаляется в сборники 8, 10 и 11, а наиболее легкие частицы выносятся в циклон 5.

Для регулирования сепарации внутри камеры между разгрузочными отверстиями установлены подвижные перегородки 6 и 9. Изменением высоты перегородки 7 регулируется вынос мелких частиц в циклон 5.

В результате аэросепарации ТБО крупностью $60 \times 80 \text{ мм}$ на установке горизонтального сепаратора установлено, что доля извлечения в легкую фракцию макулатуры составляет 90% (содержание 70%) при скорости горизонтального потока воздуха около $4,5 \text{ м}/\text{с}$. Максимально извлекаются в тяжелую фракцию металлы – 100% , пищевые отходы – 85% (содержание пищевых отходов достигает 70%).

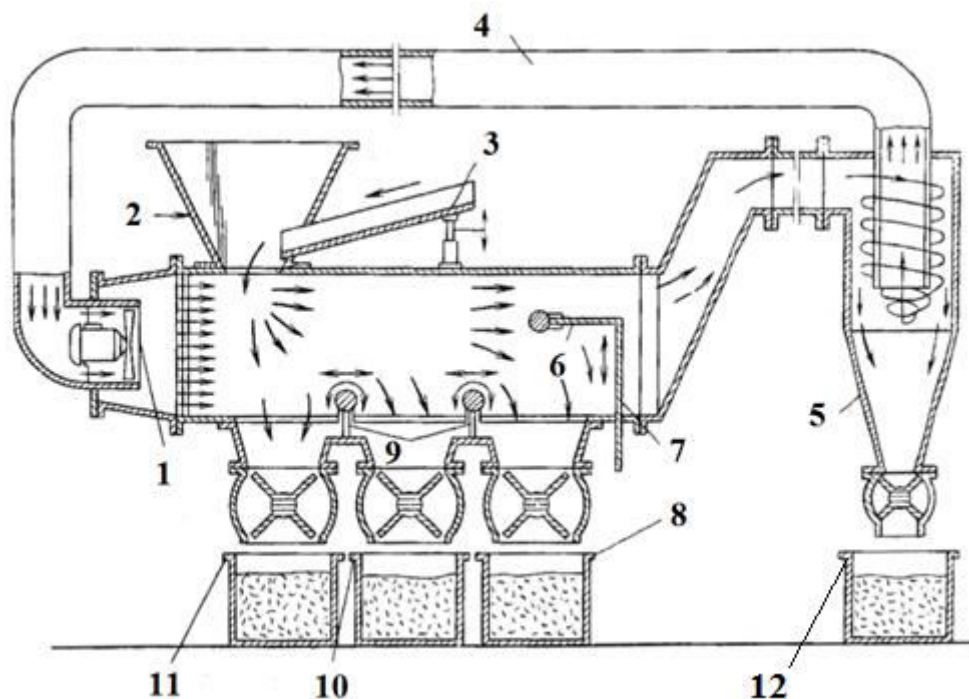


Рис. 2.2. Аэросепаратор для сортировки ТБО в горизонтальном потоке воздуха:

- 1 – вентилятор; 2 – загрузочный бункер; 3 – вибропитатель;
- 4 – система циркуляции воздуха; 5 – циклон;
- 6 и 9 – подвижные перегородки; 7 – регулирующая перегородка;
- 8, 10, 11, 12 – сборники для отдельных фракций

Аэросепаратор вертикального типа – другая характерная группа аппаратов, в которых материал разделяется на компоненты в вертикальном потоке воздуха. Так, для аэросепарации дробленых твердых городских отходов крупностью до 100 мм предлагается аппарат, схема которого представлена на рис. 2.3.

Он состоит из вертикальной разделительной колонны 4 прямоугольного сечения, открытой сверху и снизу для входа и выхода воздуха. Воздушный поток создается вентилятором 7, отсасывающим воздух из открытого конца 5 колонны и сборной камеры 10 для легкой фракции ТБО. Исходный материал загружается в вертикальную колонну примерно по середине ее высоты через желоб 2 с помощью ротационного питателя 3. Для задержки верхнего потока воздуха и поступающего материала, а также для обеспечения циркуляции и завихрений воздуха и материала поперек разделительной колонны установлены отражатели 1. Воздушный поток, выходя из колонны, изменяет свое направление, встречаясь с верхней стенкой 6 и отражателем 9, установленным в камере. Легкая фракция ТБО выпадает в бункер 11 и разгружается через заслонку 12. Отработанный воздух проходит через решетку 8 к вентилятору. При использовании данного аппарата ТБО разделяются на компоненты более эффективно, чем в сепараторах горизонтального типа.

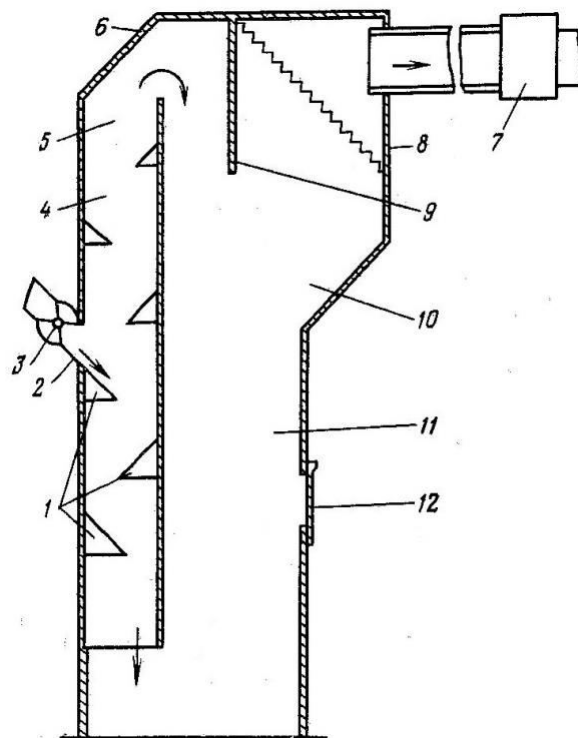


Рис. 2.3. Вертикальный аэросепаратор для дробленых ТБО:

- 1 – отражатели; 2 – желоб; 3 – питательное ротационное устройство;
 4 – колонна; 5 – открытый конец колонны;
 6 – верхняя часть стенки колонны; 7 – всасывающий вентилятор;
 8 – решетка; 9 – отражатель; 10 – камера;
 11 – бункер для легкой фракции; 12 – заслонка

Исследования показали, что в результате аэросепарации ТБО крупностью 60x80 мм в вертикальном потоке воздуха выделяется легкая фракция – макулатура (75÷80 %), в основном представленная газетной бумагой, загрязненной примесью полимерной пленки (извлечение 100 %) и текстиля. С увеличением крупности материала доля извлечения макулатуры в легкую фракцию снижается.

Технология аэросепарации ТБО, обеспечивающая максимальное извлечение тяжелых и легких фракций, должна состоять из двух стадий: первая стадия – основная сепарация исходного материала в вертикальном потоке воздуха и вторая - дополнительная сепарация тяжелой фракции от первой стадии в горизонтальном потоке воздуха (рис. 2.4). В итоге получают два продукта – легкая (макулатуросодержащий продукт) и тяжелая фракции.

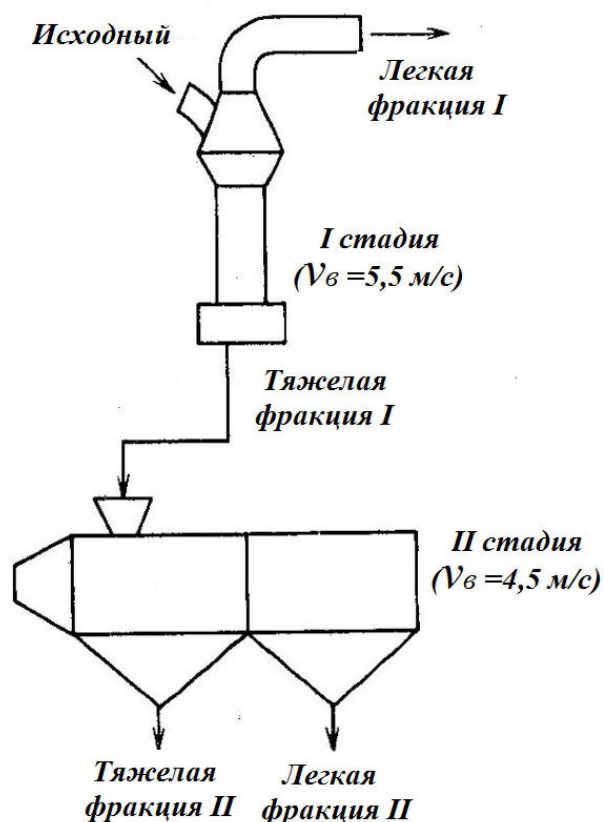


Рис. 2.4. Технологическая схема двойной аэросепарации смеси ТБО

Установленный на первой стадии аэросепаратор вертикального типа состоит из камеры разделения, загрузочных и разгрузочных устройств и осадительной камеры циклонного типа (на рис. 2.4 не показана). Подлежащий сепарации материал подается загрузочным устройством в камеру разделения в зоне снижения скорости воздуха, над основаниями элементов усеченной конической формы (верхняя часть). Здесь из ТБО вертикальным потоком воздуха выдуваются компоненты низкой плотности (макулатура, полимерная пленка и часть текстиля). На установке ТБО разделяются на два продукта – легкую и тяжелую (металл, камни, стекло и др.) фракции. Тяжелая фракция уходит в низ цилиндрической камеры разделения, а легкая собирается в осадительной камере циклонного типа. После этой стадии тяжелая фракция поступает в горизонтальный аэросепаратор для дополнительного разделения.

Такое построение схемы позволяет наилучшим образом использовать естественные свойства ТБО как объекта сепарации. В общем случае, после объединения легкой фракции I и II стадии, получается продукт с содержанием макулатуры стабильно на уровне 80 % при извлечении около 95 % от исходного. Основные примеси – текстиль и полимерная пленка (содержание около 12 %). Выход объединенного продукта (легкой фракции) – более 45 % по массе исходного.

2.2.2. Извлечение макулатуры из легкой фракции ТБО

При первичной аэросепарации ТБО в легкую фракцию совместно с макулатурой извлекается полимерная пленка, содержание которой достигает $7\div 10$ % (при содержании пленки в исходном материале $1\div 3$ %). Для повышения степени утилизации сырья и получения более качественных продуктов макулатуру и полимерную пленку перед повторным использованием необходимо разделить.

Анализ существующих технических решений селективного обогащения смеси макулатуры и полимерной пленки показывает, что все известные способы извлечения этих компонентов из смеси можно условно разделить на две группы.

1. Способы, основанные на использовании естественных или искусственно усиленных различий в физических свойствах макулатуры и полимерной пленки без изменения их структурного состояния:

а) механическое отделение пленки из потока материала путем ее зацепления специальными крючьями;

б) аэросепарация (как правило, после увлажнения материала);

в) электросепарация.

2. Способы, основанные на изменении структурно-механического состояния (и, следовательно, свойств) разделяемых компонентов путем:

а) предварительного роспуска в водной среде и последующего отделения волокнистой массы от пленки с использованием сортирования (реже – баллистических методов);

б) термодетформирования полимерной пленки и последующего отделения ее от макулатуры просеиванием или аэросепарацией (реже – другими способами).

Возможно сочетание различных способов для повышения эффективности разделения компонентов легкой фракции ТБО, особенно выделения картонно-бумажных материалов.

Механическое выделение пленки из легкой фракции

Фирмой «Sorain Chessini», совместно с фирмой «Technic complex» (Италия) предложен способ разделения полимерной пленки и бумаги, применяемый на мусороперерабатывающих заводах в Риме. Принцип реализации этого способа заключается в следующем.

Легкая фракция ТБО конвейером загружается в дробилку, где она частично измельчается. Размер ячейки решетки измельчителя, расположенной по дуге $60\div 120^\circ$ вокруг ротора, определяет степень измельчения. При этом менее прочная и эластичная бумага измельчается в большей степени, чем более прочная и эластичная полимерная пленка. Вентилятор по трубопроводу подает обработанный материал в циклон, из

которого он разгружается на горизонтальный конвейер с лентой, выполненной из сетки для очистки материала от мелкого (размером до 15 мм) мусора.

На горизонтальном конвейере бумага отделяется от пленки с помощью второго, установленного над первым под углом, ленточного конвейера со специальными крючьями, движущимися навстречу потоку материала. Измельченная бумага остается на горизонтальном конвейере и разгружается по желобу для дальнейшей переработки. Она содержит лишь незначительные примеси пленки и пригодна для повторного использования.

Полимерная пленка, зацепляемая крючьями верхнего конвейера, сбрасывается в барабанную сортировку, представляющую собой вращающуюся цилиндрическую обечайку с перфорированной боковой поверхностью. Подрешетный продукт этой сортировки (отходы) направляется в отвал, а надрешетный, с допустимым содержанием примесей (пленка) – к месту вторичной переработки.

Аэросепарация

Практика показывает, что простая аэросепарация не может обеспечить требуемую полноту отделения полимерной пленки от бумаги без изменения структурно-механического состояния одного из компонентов. Аэросепарация более эффективна в случае применения искусственного увеличения различия в свойствах разделяемых компонентов. Так, оно может быть осуществлено или за счет предварительного увлажнения легкой фракции ТБО, или путем термодетформирования полимерной пленки.

Разработана технология разделения полимерной пленки и макулатуры в вертикальном потоке воздуха с предварительным увлажнением смеси до 40÷60 %. Легкая фракция, полученная путем измельчения ТБО в молотковой дробилке до размеров 80 мм и предварительной аэросепарации, из циклона загружается в сортирующий барабан (роторное сито). Мелочь проходит через сито с отверстиями размером 5-20 мм. Затем очищенная легкая фракция направляется в специальную установку, где она увлажняется. Увлажненная смесь бумаги и пленки конвейером подается во второй аэросепаратор. В результате поглощения бумагой значительной доли воды ее плотность возрастает, что и позволяет отделить ее в воздушном потоке, как более тяжелый компонент, от полимерной пленки.

Для повышения селективности разделения предложено также несколько способов аэросепарации с использованием термодетформирования полимерной пленки перед ней. На рис. 2.5 представлена схема такой установки, работающая следующим образом.

Смесь макулатуры и полимерной пленки перемещается в зону нагрева с помощью конвейера 1. Зона нагрева 3 представляет собой стандартную сушилку. Поток горячего (150÷200 °С) газа попадает в сушилку из нагревателя 2. Поскольку в сушилку смесь подается во взвешенном

состоянии, полимерная пленка сжимается, а макулатура просто высушивается и стерилизуется. Полученная после сушилки смесь содержит высушенную макулатуру 13 и деформированную с повышением плотности термопластичную пленку 11. Тем же газовым потоком смесь пропускается через воздуходувку 4 и подается в циклон 5. Горячий газ и пары воды уходят из циклона через выпускное отверстие, а смесь бумаги и частиц пленки выгружается через патрубок 6 на конвейер 7 и затем по трубе 8 подается в аэросепаратор 9. Воздушная тяга, создаваемая воздуходувкой 15, выносит через трубопровод 14 более легкую бумажную фракцию, а более тяжелые частицы сжавшейся полимерной пленки падают на дно аэросепаратора 9 и выгружаются.

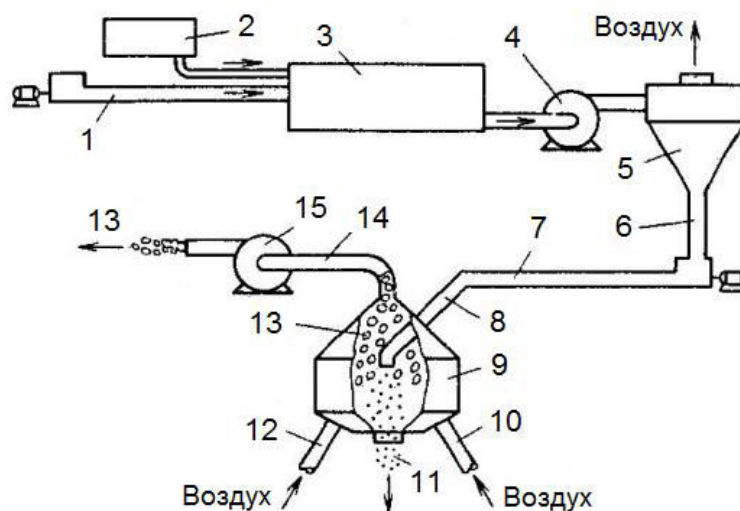


Рис. 2.5. Схема установки для разделения бумаги и полимерной пленки с термоделированием:

- 1 – конвейер; 2 – нагреватель воздуха; 3 – зона нагрева смеси;
- 4 – воздуходувка; 5 – циклон; 6 – патрубок; 7 – конвейер; 8 – труба;
- 9 – аэросепаратор; 10 и 12 – трубопроводы; 11 – сжавшаяся пленка;
- 13 – макулатура; 14 – трубопровод; 15 – воздуходувка

При необходимости более полного разделения компонентов существуют другие методы обогащения. В этом плане представляет интерес электрическая сепарация, широко применяемая при обогащении минерального сырья.

Электросепарация

Электрическая сепарация - это обогащение в электрическом поле, основанное на использовании различий в электрических свойствах разделяемых компонентов. В основе всех процессов электросепарации можно выделить три характерные стадии:

- обработка материала путем электризации с помощью статического электричества или с помощью газовых ионов, создаваемых электрическими

разрядами. Способы зарядки определяются электрическими свойствами частиц сепарируемых материалов, к числу которых относятся: электропроводность, диэлектрическая проницаемость, способность к электризации за счет трения и др.;

➤ организация различных форм движения наэлектризованного материала в электрическом поле с одновременным использованием гравитационных и аэродинамических сил;

➤ формирование готового очищенного продукта.

В качестве примера на рис. 2.6 показана схема устройства для отделения полимерной пленки от бумаги методом электростатической сепарации.

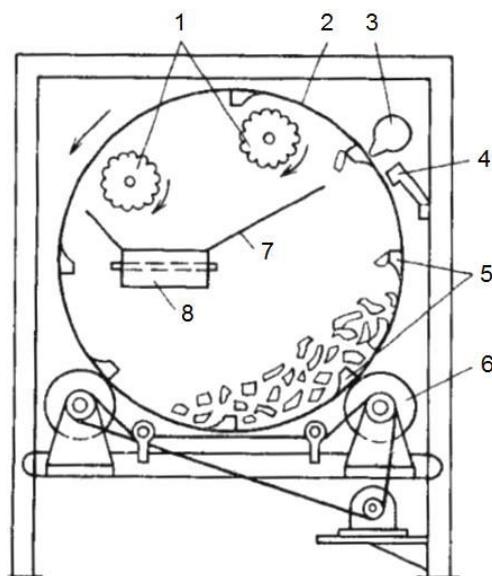


Рис. 2.6. Схема устройства для разделения полимерной пленки и бумаги методом электростатической сепарации:

- 1 – вращающиеся щетки; 2 – барабан;
- 3 – система воздушного охлаждения щеток;
- 4 – щетки для создания электрического поля; 5 – колодки;
- 6 – вращающиеся ролики; 7 – борта конвейера;
- 8 – конвейер для сбора пленки

В процессе такой сепарации компоненты легкой фракции ТБО заряжаются путем непосредственного соприкосновения с заряженным металлическим электродом за счет использования электропроводности, либо электризуются трением. Легкая фракция ТБО предварительно дробится до размера менее 75 мм.

Устройство представляет собой барабан 2, вращающийся на роликах 6, с установленным внутри конвейером 8 для сбора и удаления пленки. Материал, поступающий в барабан, удерживается при вращении на его

внутренней поверхности с помощью колодок 5. Подготовленный материал попадает в электростатическое поле, созданное щетками 4.

Пленка удерживается электростатическими силами на внутренней поверхности барабана, затем снимается щетками 1, вращающимися в сторону, противоположную вращению барабана, и попадает на конвейер 8 с бортами 7. Бумага удаляется с противоположного конца барабана. Установка снабжена системой воздушного охлаждения щеток 3. Как показывают эксперименты, в результате такой обработки можно получить бумажный концентрат, полностью очищенный от полимерной пленки, и концентрат полимерной пленки, загрязненный на 10 % бумажной фракцией.

Разделение легкой фракции ТБО мокрым способом

Применение мокрых методов обогащения легкой фракции ТБО требует предварительного изменения структурно-механического состояния бумажной составляющей путем ее разволокнения в водной среде. Они наиболее популярны, особенно для ламинированных видов бумаги и картона. Существует много способов разделения, основанных на предварительном роспуске макулатуры с последующим отделением полимерной пленки от бумажной составляющей по крупности или плотности в водной среде. Некоторые из них будут рассмотрены в дальнейших главах пособия.

2.3. СОРТИРОВАНИЕ МАКУЛАТУРЫ

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. Эти поставщики - 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 определенные проблемы.

Наибольшую сложность для сбора и сортирования представляет макулатура, содержащаяся в ТБО, и ввиду отсутствия системы отдельного сбора отходов населением, поступающая для захоронения на полигоны и

свалки. Для извлечения такой макулатуры в настоящее время на полигонах оборудуются мусоросортирующие станции и мусороперерабатывающие заводы, которые занимают промежуточную стадию в цепочке движения отходов от места их образования до свалки. На таких производствах из мусора выделяют отходы, которые могут быть вторично переработаны. К таким отходам относятся пластик, стекло, металл, а также макулатура.

Ручное сортирование макулатуры по маркам производится в специальных помещениях 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.

Стоит отметить, что ручное сортирование макулатуры достаточно трудоемкий процесс, поэтому такой вид предпринимательской деятельности зачастую требует поддержки в виде дотаций, субсидий и налоговых льгот. Кроме этого, на данных предприятиях не всегда удается выдержать требования предприятий - потребителей по однородности, чистоте и составу макулатуры. Поэтому в большинстве странах макулатуру стремятся сортировать непосредственно в местах сбора и в дальнейшем не смешивать ее с другими отходами. 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.

По этим признакам все основные виды картонно-бумажной продукции в составе макулатуры можно ориентировочно разделить на несколько групп по мере снижения физико-механических показателей, а также по композиционному составу.

Первая группа объединяет виды бумаги, содержащие в композиции в основном сульфатную небеленую целлюлозу, и имеет самые высокие физико-механические показатели (разрывная длина – $3000 \div 4500 \text{ м}$, сопротивление продавливанию – $150 \div 190 \text{ кПа}$, объемная масса – $0,39 \div 0,41 \text{ г/см}^3$). К ним относятся: картон для упаковки пищевых продуктов; бумага мешочная, упаковочная и т.п.

Вторая группа включает гофрированный картон (трехслойный), обладающий более низкими показателями (разрывная длина - $2800 \div 3000 \text{ м}$, сопротивление продавливанию - около 110 кПа , объемная масса – $0,32 \text{ г/см}^3$).

Третья группа объединяет виды бумаги из сульфитной целлюлозы и содержащие в композиции до 50 % древесной массы. Их физико-механические показатели ниже, чем у второй группы (разрывная длина -

1800÷2800 м, сопротивление продавливанию - 65÷100 кПа, объемная масса – 0,34÷0,45 г/см³). Сюда относятся различные виды обойной, печатной и писчей бумаг.

Четвертая группа включает виды газетной бумаги, в композиции которой содержится не менее 75 % древесной массы. Показатели: разрывная длина – до 1800 м, сопротивление продавливанию - до 65 кПа, объемная масса – до 0,34 г/см³.

В отдельную (пятую) группу можно объединить продукцию, изготовленную из массы, содержащей от 50 до 100 % макулатуры.

Данная классификация не совпадает со стандартным распределением макулатуры по маркам, но может быть применима при разработке систем механизированного сортирования макулатуры.

Механизированная система сортирования макулатуры на базе различия указанных показателей бумажно-картонных материалов может быть реализована только после механического измельчения сухой макулатуры. Для сухого измельчения макулатуры рекомендуется использовать дробилку молоткового типа, схема которой представлена на рис. 2.7. Измельчение материала в этих машинах происходит за счет свободного ударного воздействия молотков (бил) ротора на отдельные куски макулатуры, находящиеся во взвешенном состоянии, а также за счет ударов частиц материала о стенки корпуса, друг о друга и о сито в процессе движения материала внутри дробилки. При этом более прочные виды бумаги и картона будут измельчаться в меньшей степени, чем менее прочные, и дадут более крупные частицы. Как показали исследования, оптимальным, с позиций разрушения бумажного материала в дробилке, является показатель сопротивления разрыву. Данные условия измельчения позволяют максимально сохранить целостность волокна при высокой производительности и относительной малой энергоемкости процесса.

Последующее разделение (сортирование) измельченного продукта по размерам частиц позволит выделить марки макулатуры с различной прочностью структуры. В качестве фракционатора можно использовать, например, вибросортировки с набором сит, имеющих различный размер отверстий. Возможно применение более производительных барабанных сортировок, вращающаяся обечайка которых состоит из ряда перфорированных секций с различными размерами отверстий.

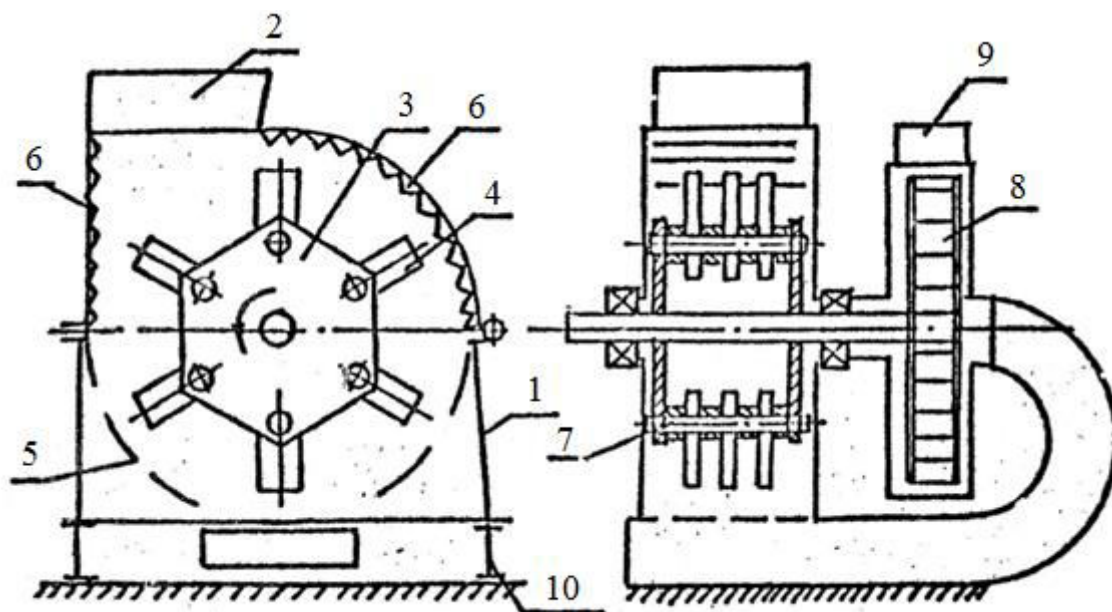


Рис. 2.7. Схема молотковой дробилки для измельчения листовых материалов:

- 1 – корпус; 2 – загрузочная горловина; 3 – молотковый ротор;
- 4 – молотки; 5 – сито; 6 – дека; 7 – ось молоткового ротора;
- 8 – вентилятор; 9 – выходная горловина;
- 10 – рама дробилки с поддоном для твердых включений

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 тех случаях, когда необходимо разделить бумагу и картон, измельченная и фракционированная макулатура после аэросепарации может рассортировываться по показателю толщины листа. Такое сортирование возможно производить с помощью специальных щелевых сортировок.

Принципиальная схема механизированной системы сортирования макулатуры по маркам представлена на рис. 2.8.

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

Определенной альтернативой сортированию макулатуры по маркам в сухом, измельченном виде является сортирование ее после роспуска в воде по длине отдельных волокон, называемое обычно «фракционированием». Длинное и среднее волокно следует использовать для производства картонно-бумажной продукции, а короткое – утилизировать в других областях. Подробнее о целях и способах фракционирования макулатурной массы изложено в разд. 5.4, ч. II.

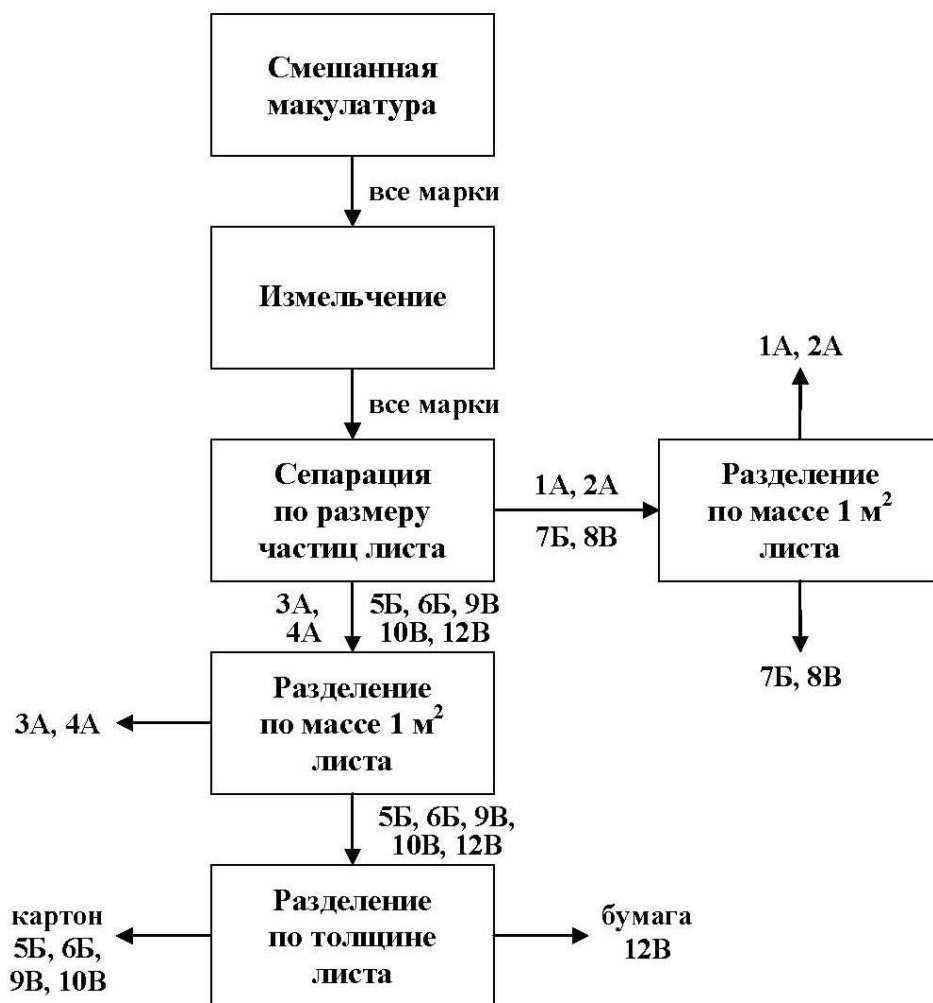


Рис. 2.8. Принципиальная схема механизированной системы сортирования смешанной макулатуры

В настоящее время разрабатывается и постепенно внедряется сортирование макулатуры с использованием сенсорных устройств. Так, фирма BT-Wolfgang Binder GmbH разработала специальную технику, сортирующую макулатуру на базе сенсорных датчиков. В сортировочных машинах поток бумажных отходов, проходя через наклонные плоскости и вращающиеся диски, распределяется на ленте конвейера в один тонкий слой. Применяется технология, использующая видимые пучки света и ближнюю инфракрасную часть спектра в сочетании с цветочувствительными сенсорными датчиками. Посылаемые пучки видимого света и ИК-излучения распознают каждый фрагмент бумаги по цвету или гляncу, а воздушные струи направляют его в соответствующий лоток-коллектор. Однако в таких устройствах разделение базируется только на внешних свойствах макулатуры, и не учитываются внутренние особенности различных ее компонентов.

Уникальность этой техники заключается в том, что машина может попутно определять характеристики макулатуры в количественном выражении. Например, количество наполнителя, целлюлозы, лигнина и

уровень влажности макулатуры. Более совершенные сенсоры к таким машинам находятся в стадии разработки.

2.4. 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. Количество 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, параллельных 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 1,0 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 прессы. 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 $20 \div 30$ кип в час, масса кип $200 \div 300$ кг, объемная масса около 500 кг/м^3 .

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.

2.5. 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 разброса габаритных размеров 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). Исследования показали, что макулатурную массу (ММ) при высокой концентрации можно хранить в башнях, если срок хранения не превышает 10 суток. Более длительное хранение уже заметно сказывается на уменьшении показателей механической прочности отливок бумаги.

Сравнение экономических показателей сухого и жидкого хранения макулатуры показывает, что несмотря на высокие первоначальные капитальные затраты, экономичность жидкого способа возможна за счет сокращения потребности в рабочей силе и сохранения, а иногда и повышения качества макулатурной массы. В связи с общей тенденцией к переходу на начальных этапах обработки ММ при повышенных концентрациях, хранение ее в жидком виде представляет определенный интерес. Кроме того, в процессе такого хранения за счет продолжительного контакта с водой происходит дополнительное набухание волокон, что положительно сказывается на качестве конечной 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 пыли в рабочей зоне не должно превышать 6 мг/м³. Контроль за состоянием воздуха 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 окружающую среду и в присутствии других веществ не образует вредных соединений. Токсического действия макулатура не оказывает.

3. СПЕЦИФИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАКУЛАТУРЫ КАК ВОЛОКНИСТОГО СЫРЬЯ

Главной особенностью макулатуры является то, что это вторичное сырье, прошедшее ранее полный цикл или несколько полных циклов переработки в картонно-бумажную продукцию. Эта особенность оказывает заметное влияние на свойства макулатурных волокон и качество получаемой из них продукции.

3.1. БУМАГООБРАЗУЮЩИЕ СВОЙСТВА МАКУЛАТУРНЫХ ВОЛОКОН

3.1.1. Общие положения

В отличие от первичных полуфабрикатов, макулатура представляет собой многокомпонентную систему, которая характеризуется более высокой полидисперсностью и неоднородностью состава. В общем случае макулатурное сырье состоит из:

➤ смеси волокон различного происхождения и состояния: волокон беленых и небеленых видов целлюлозы, механических масс, полуцеллюлозы, полученных из различных пород древесины различными способами и с применением различных химикатов. При этом в макулатуре содержатся материалы, полученные не только из свежих волокнистых полуфабрикатов, но также и из волокон после двукратного или более раз повторного использования. Кроме того, макулатурный материал, как правило, отличается повышенным содержанием коротковолокнистой и, соответственно, пониженным содержанием длиноволокнистой фракции;

➤ включений неволокнистого происхождения с различными плотностью, массой, формой и природой происхождения. К таким включениям относятся неволокнистые компоненты бумаги и картона, которые в макулатуре становятся нежелательными включениями - загрязнениями (частицы наполнителя и пигментов, красители, печатные краски, связующие и проклеивающие вещества, компоненты покрытий, фрагменты волокон и т.д.), которые зачастую находятся в деградированном состоянии. Одновременно, в макулатуре присутствуют включения, попавшие в нее при сборе, хранении, транспортировке и упаковке макулатуры (песок, скотч, упаковочные ленты, проволока и т.п. материалы). Все эти включения пассивны к образованию связей между волокнами, что определяет некоторое понижение прочностных характеристик продукции из макулатуры. Отсюда - необходимость удаления их на как можно более ранней стадии подготовки.

В результате указанных особенностей состава макулатуры наблюдается частичная потеря вторичными волокнами бумагообразующих свойств. Это обуславливается многими факторами, среди которых:

- значительное изменение физических и химических свойств вторичных волокон по сравнению с исходными – первичными;
- пониженная прочность индивидуальных волокон, а также повышенное содержание волокон с поврежденной структурой, имеющих ослабленную способность к образованию межволоконных связей;
- ухудшенная способность волокон к набуханию, гидратации и фибриллированию в процессе распуска и размола;
- повышенная склонность волокон к измельчению в процессе подготовки массы, и, как следствие, увеличение доли коротковолокнистой фракции;
- частичная потеря эластичности и пластичности волокон, «затвердевание» их поверхности (ороговение).

Последний фактор - ороговение подразумевает уменьшение толщины клеточной стенки волокон, что наиболее ясно отражается в снижении водоудерживающей способности волокнистой массы (показателя *WRV*). Этот показатель можно использовать для косвенной оценки степени разработанности поверхности волокон полуфабриката (подробнее в разд. 13.2, ч. III). Показатель *WRV* характеризует, в частности, склонность волокон к набуханию в водной среде.

С каждым циклом переработки, связанным с размолом и сушкой волокон, показатель *WRV* снижается. Это снижение связано с частичным нарушением фибриллярной структуры волокна, с уменьшением числа макрокапилляров, с заметным укорочением волокон и с потерей части связанной воды. Методика определения *WRV* отличается простотой используемого оборудования и краткостью времени испытания.

Зависимость между величиной *WRV* и другими показателями свойств волокон выражается в следующем:

- при размоле волокон в одинаковых условиях наблюдается прямолинейная зависимость между *WRV* и сопротивлением разрыву в широком диапазоне для различных видов целлюлозы и композиций из нее;
- показатель *WRV* для композиции многослойного картона, ввиду хорошей корреляции, позволяет судить о сопротивлении картона расслоению и может служить его критерием.

3.1.2. Потенциал переработки макулатурного сырья

Потенциалом переработки макулатурного сырья называют степень сохранения и способность к восстановлению (регенерации) бумагообразующих свойств волокон. Разные виды растительных волокон обладают разной способностью к восстановлению своих бумагообразующих свойств. Повышенным потенциалом повторной переработки обладают

сульфатная небеленая целлюлоза и белая древесная масса, показатели которых при повторном использовании наиболее стабильны.

С ростом объемов использования вторичного волокна и расширением ассортимента продукции на основе макулатуры происходит закономерное снижение качества макулатурного сырья. Одной из основных причин этого следует считать проблему цикличности. Увеличение количества циклов использования вторичного волокна связано как с дефицитом макулатуры, так и с развитием систем подготовки макулатурной массы, позволяющим оптимально выявлять потенциал бумагообразующих свойств вторичного волокна. Оценка динамики изменения бумагообразующих свойств вторичных волокон в результате многократных циклов переработки макулатуры позволяет выбрать оптимальные режимы технологии для ее целенаправленной обработки.

Основные характерные последствия влияния повторных циклов переработки макулатуры на свойства готовой продукции сводятся к следующему:

- снижаются показатели растяжимости, разрывной длины, сопротивления излому и сопротивления продавливанию продукции;
- быстрое снижение бумагообразующих свойств наблюдается в результате первых трех - четырех циклов переработки макулатуры. В дальнейшем происходит практическая стабилизация большей части показателей;
- при первых двух-четырёх циклах переработки несколько повышаются показатели сопротивления раздиранию, жесткости и непрозрачности продукции, которые при последующих циклах снижаются или стабилизируются.

Соответствующие данные лабораторных экспериментов на отливках приведены в табл. 3.1. Как видно по табл. 3.1, характер и уровень изменения механических показателей отливок зависит не только от числа циклов переработки, но и от породы древесины и вида целлюлозы.

Увеличение сопротивления раздиранию можно объяснить следующим образом. Величина сопротивления раздиранию бумажного полотна определяется суммой затрат энергии, расходуемой на вытаскивание волокон и их обрыв в плоскости раздирания. В зависимости от состояния волокон и содержания коротковолокнистой фракции, возможны разные соотношения указанных отдельных составляющих затрат энергии на раздирание. Так как полный цикл переработки макулатурного сырья сопровождается более или менее интенсивным размолотом массы, в ее составе постепенно нарастает содержание коротковолокнистой фракции.

Таблица 3.1

Влияние циклов использования целлюлозных полуфабрикатов на прочностные и деформационные характеристики лабораторных образцов

Номер цикла	P_p , Н	L , м	ε , %	ТЕА, Дж/м ²	Π , кПа	R , мН	N , ч.д.п.
Сульфатная небеленая хвойная целлюлоза							
0	112	7610	3,6	163,2	585	1140	1150
1	107	7270	3,0	143,4	555	1200	1100

Окончание табл. 3.1

Номер цикла	P_p , Н	L , м	ε , %	ТЕА, Дж/м ²	Π , кПа	R , мН	N , ч.д.п.
2	99	6730	2,8	121,7	525	1260	980
3	95	6460	2,7	112,6	509	1350	930
4	91	6180	2,6	110,4	494	1440	880
5	88	5980	2,6	104,9	482	1380	770
Сульфатная беленая хвойная целлюлоза							
0	103	7000	3,3	148,8	562	840	870
1	93	6320	2,9	123,4	528	900	800
2	87	5910	2,7	107,1	484	980	760
3	83	5640	2,5	99,3	462	1090	610
4	76	5160	2,5	91,7	443	960	550
5	73	4960	2,4	85,4	426	900	480
Сульфатная беленая лиственная целлюлоза							
0	64	4350	2,3	64,5	228	390	32
1	59	4010	2,1	53,4	163	380	12
2	57	3870	2,0	49,6	144	320	5
3	51	3460	1,5	44,8	125	290	3
4	46	3130	1,4	36,2	117	250	2
5	44	2990	1,4	33,8	104	230	2

Здесь P_p – сопротивление разрыву; L – разрывная длина; ε – удлинение до разрыва; $ТЕА$ – поглощение энергии при растяжении; Π – сопротивление продавливанию; R – сопротивление раздиранию; N – сопротивление излому

При первых циклах переработки, когда степень ослабления волокон еще не достигает критического уровня, небольшой рост доли короткой фракции приводит к увеличению пухлости и разрыхлению структуры бумаги. В результате увеличиваются фактическая зона разрыва и количество выдерживаемых без разрушения волокон в ней. Как следствие, растет сопротивление раздиранию бумаги.

Однако с ростом числа циклов переработки макулатуры волокно становится более хрупким, а в результате многочисленных размолов, и поврежденным. При этом содержание мелкой фракции в массе приобретает критический уровень. Количество энергии, затрачиваемой на вытаскивание волокон без их повреждения, снижается за счет уменьшения средней длины волокон и ослабления связей между ними. Повышается доля поврежденных

волокон, легко разрушающихся в зоне разрыва. Временный рост показателя сопротивления раздиранию сменяется его монотонным уменьшением. Данное явление не отмечается для целлюлоз из лиственных пород древесины, отличающихся более коротким исходным волокном, чем хвойные.

3.1.3. Термодеструкция растительных волокон

Как уже отмечалось, повторная переработка волокнистого сырья ведет к заметному ухудшению его бумагообразующих свойств. На способность массы к регенерации этих свойств негативное влияние оказывают такие технологические процессы, которые связаны с нагревом и сушкой ММ. Причем, чем «жестче» режим обработки, тем в большей степени снижаются бумагообразующие свойства макулатурного волокна. Эти изменения, в первую очередь, связывают с уменьшением способности волокон к набуханию в процессе размола массы перед подачей на БДМ. Такое явление иногда называют «необратимым ороговением».

Необратимое ороговение волокон, выражающееся в снижении величины водоудерживающей способности, начинается при сухости массы 30÷35 % и продолжается до сухости 70÷80 %, в зависимости от степени помола. Ороговение не связано непосредственно с усадкой, так как самая большая усадка волокон происходит при сухости выше 80 %. С повышением величины сухости начинаются морфологические изменения в стенке волокна. Стенки начинают сближаться друг с другом под действием капиллярных сил, микропоры начинают сжиматься. Усадка происходит исключительно перпендикулярно слоям стенок волокон, стенки становятся тоньше. Усадка увеличивается с ростом степени помола волокна, а также с повышением интенсивности процесса сушки бумажного полотна. Усадка волокна при сухости более 80 % в определенной степени необратима. Повторное набухание не приводит к восстановлению первоначальных размеров стенки волокна. В результате пространства между микрофибриллами открываются не полностью.

Необходимо отметить, что явление термодеструкции не следует связывать только с процессом сушки в сушильной части машины, но необходимо учитывать и другие высокотемпературные процессы. Например, «горячая» термодисперсионная обработка, осуществляемая при температуре 130÷150 °С в течение 6÷8 мин. Исследования подтверждают отрицательное влияние повышенной температуры на прочностные показатели при «горячей» термодисперсионной обработке.

Еще один показательный пример можно привести из области производства гофрированного картона. Температура компонентов гофрокартона при прохождении через гофроагрегат может достигать 160÷180 °С. Если учесть, что значительная часть бумаги для гофрирования изготавливается из макулатуры или с ее добавлением, то процессы

термодеструкции, сопровождающие процессы гофрообразования, начинают играть значительную роль в снижении бумагообразующих свойств волокон и их химических характеристик.

Определенную роль в явлении термодеструкции волокна играет наличие гемицеллюлоз в составе древесной массы. Наличие их в исходной первичной массе положительно сказывается на прочностных показателях бумаги. Однако аморфная природа гемицеллюлоз приводит к их меньшей устойчивости к необратимой термической деструкции по сравнению с целлюлозой. Так, деструкция некоторых макромолекул гемицеллюлоз начинается уже при температуре $120\div 130$ °С, что приводит к ухудшению механических показателей продукции из вторичного сырья.

3.1.4. Особенности фракционного состава макулатурного сырья

Ухудшению бумагообразующих свойств вторичного волокна способствуют многократные процессы роспуска и размола при подготовке массы. Они сопровождаются механической деструкцией волокна, проявляющейся в разрушении структуры волокон, сопровождающейся увеличением доли мелких волокон и обрывков их, ростом количества наружных повреждений волокна в виде сжатий, вмятин, скручиваний.

Большое влияние на бумагообразующие свойства вторичного волокна оказывает фракционный состав макулатуры. Фракционный состав характеризует распределение в массе фракций волокон различной длины. Основным резервом восстановления бумагообразующих свойств вторичного волокна является фибриллирование длинных волокон и волокон средней длины.

Коротковолокнистая фракция, состоящая из обрывков ороговевших волокон, имеет высокую степень помола и низкие бумагообразующие свойства, что определяет ее отрицательное влияние на связеобразование между волокнами. Многократный размол способствует развитию этих тенденций.

Одной из существенных причин более низких бумагообразующих свойств макулатуры, по сравнению с первичными полуфабрикатами, является повышенное содержание зольных элементов и фракции О-волокна (размером менее 0,2 мм) до 30 % и более в некоторых марках макулатуры. Так называемая «фракция О-волокна» представляет собой ороговевшие фибриллы и мельчайшие обрывки волокон, которые по влиянию на процессы бумагообразования ведут себя как зольные элементы. Содержание мелких фракций до определенного уровня (конкретного для каждого вида бумажно-картонной продукции) способствует повышению механической прочности. Как видно по табл. 3.2, содержание мелкого волокна (длиной $0,2\div 1,2$ мм) в макулатурном сырье растет по мере роста кратности его повторного использования.

Таблица 3.2

Влияние циклов использования целлюлозных полуфабрикатов
на фракционный состав

Номер цикла	Фракция с длиной волокна, мм				
	0,20...0,60	0,60...1,20	1,20...2,00	2,00...3,00	3,00...7,00
Сульфатная небеленая хвойная целлюлоза					
исходная	24,0	19,3	20,7	23,1	12,9
1	26,1	20,1	20,9	21,4	11,5
2	26,4	20,8	21,3	21,0	10,5

Окончание табл. 3.2

Номер цикла	Фракция с длиной волокна, мм				
	0,20...0,60	0,60...1,20	1,20...2,00	2,00...3,00	3,00...7,00
3	28,0	22,1	21,5	19,2	9,2
4	26,4	22,7	21,3	20,6	9,0
5	28,0	22,8	22,5	18,7	8,0
Сульфатная беленая хвойная целлюлоза					
исходная	23,1	22,5	22,0	20,5	11,9
1	38,4	22,2	17,4	14,2	7,8
2	42,7	23,7	16,2	12,0	5,4
3	43,3	24,7	15,7	11,4	4,9
4	42,4	24,7	16,5	11,4	5,0
5	43,5	25,4	16,2	10,5	4,4
Сульфатная беленая лиственная целлюлоза					
исходная	21,8	62,4	15,5	0,3	0,0
1	25,1	61,6	12,9	0,4	0,0
2	24,0	61,7	14,0	0,3	0,0
3	24,1	61,3	14,2	0,4	0,0
4	28,5	61,5	9,9	0,1	0,0
5	27,0	60,4	12,3	0,3	0,0

В настоящее время на многих европейских предприятиях содержание короткого волокна в макулатуре достигает 52 %, а содержание зольных элементов возросло с 12 % в 1980 г. до 25 % в 2004 г., вследствие чего показатели механической прочности продукции из макулатурного сырья ухудшились примерно в 2 раза. Для поддержания показателей механической прочности продукции на требуемом уровне необходимо осуществлять регулярный технологический контроль за содержанием мелкой фракции и зольных элементов и использовать технологические операции по их сокращению.

Для сокращения доли волокна с пониженными бумагообразующими свойствами в составе макулатурной массы (ММ) при переработке желательна мелкую фракцию волокон по возможности направлять на выработку

флотинга (бумага для гофрирования), санитарно-гигиенических или санитарно-бытовых видов бумаги. Применение напорных сортировок, фракционаторов, промывных аппаратов при подготовке ММ и, особенно, флотационная очистка оборотной производственной воды способствовали бы удалению зольных элементов из потоков вторичного волокна.

3.1.5. Химические вещества в макулатурном сырье

Современное бумажное производство невозможно без использования различных химических добавок. Основные из них – наполнители, клеи, технологические добавки, связующие, частицы типографской краски и т.д. Эти добавки при повторной переработке макулатуры, как правило, переходят в разряд «неактивных» (зольных) компонентов, которые не способствуют образованию межволоконных связей и по своим свойствам близки к свойствам наполнителя. Часть этих компонентов не удаляется на стадиях подготовки ММ и остается на целлюлозных волокнах, блокируя гидроксильные группы. Частицы наполнителя создают расклинивающий и блокирующий эффект, который препятствует связеобразованию, в том числе, образованию прочных водородных связей между волокнами.

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 массы. Большое значение имеет вид проклейки. Так, проклейка бумаги с использованием канифоля, в присутствии квасцов или сульфата алюминия, снижает потенциал переработки макулатуры в большей степени, чем проклейка в нейтральной среде. Большое значение имеет рН среды при формовании 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).

Большая часть изготавливаемых с применением необлагороженной небеленой макулатуры бумаг и картонов имеет естественную окраску – серый тон. При окрашивании ММ возможно получение неравномерно окрашенной продукции с «мраморным» эффектом. Это связано с тем, что в макулатуре обычно присутствуют различные красители и типографские краски. Особенно сильно данные эффекты заметны при использовании смешанной (МС – 13В) и книжно-журнальной (МС – 7Б) макулатуры. Поэтому данная макулатура, в основном, применяется для изготовления упаковочных видов продукции, где цветность не имеет существенного значения.

3.1.6. Технологические факторы производства, влияющие на свойства макулатурного волокна

Макулатурное сырье состоит из ранее размолотых волокон. Чем выше была первоначальная степень помола, тем значительно понижение качества продукции, получаемой из ММ. Более высокая исходная степень помола первичных волокон приводит к уменьшению потенциала нереализованных бумагообразующих свойств волокна, который мог бы раскрыться при его повторной обработке. О наличии нереализованных бумагообразующих свойств макулатурных волокон свидетельствует некоторое увеличение механических показателей отливок, полученных в результате роспуска и размола при оптимальных режимах из макулатуры марки МС-2А, по сравнению с первоначальными значениями механических показателей этой же бумаги из первичного сырья.

При работе БДМ обнаружена зависимость между уровнем влажности стадии прессования и уровнем бумагообразующих свойств вторичного волокна. Это связано с ростом количества контактов между волокнами с увеличением влажности массы в процессе прессования и проявляется после сушки.

Как уже отмечалось, значительное влияние на снижение потенциала переработки макулатуры оказывают повторные процессы сушки продукции на БДМ. В процессе сушки происходят необратимые изменения волокон: частичная потеря эластичности, ороговение поверхности и увеличение вследствие этого его хрупкости.

В начале сушки сжимается внутренний канал (люмен) и поры волокон. Трубочатая форма волокон переходит в ленточную. Затем к наружной поверхности волокон присоединяются отдельные фибриллы и мелкие волоконца. Наконец, десорбируется вода из стенок волокон, что особенно сказывается на уровне необратимости бумагообразующих свойств высушенных ранее растительных волокон. В результате - повышается кристалличность и снижается степень полимеризации целлюлозного волокна в условиях повышенных температур. Ослабляется гидрофильность поверхности волокон, вследствие чего снижаются степень набухания волокон и силы связи между ними.

Определенное значение имеет и способ сушки. Полотно, высушенное в условиях свободной усадки (на лабораторном 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 ММ, тем меньше заметно влияние каландрирования.

3.1.7. Влияние продолжительности и условий хранения на свойства макулатурного волокна

Определенную степень влияния на потенциал переработки макулатуры оказывают условия и срок ее хранения. Это связано с необратимыми процессами «старения» бумаги, сопровождающимися изменением ее химического состава и уменьшением механической прочности. При длительном процессе естественного старения бумаги ее волокна становятся хрупкими и ломкими. Некоторые виды бумаги, особенно содержащие в композиции древесную массу, заметно изменяют свой цвет – желтеют.

Старение бумаги – весьма сложный процесс, так как на его ход влияют многочисленные переменные факторы и в первую очередь:

- род и химический состав используемых для изготовления бумаги волокнистых материалов, проклеивающих, наполняющих и окрашивающих веществ;
- рН среды;
- условия хранения бумаги (относительная влажность и температура окружающего воздуха, характер изменения этих переменных, степень воздействия на бумагу световых лучей);
- факторы, вызывающие микробиологическое разрушение составных частей бумаги.

Имеются данные по изменению свойств газетной макулатуры до и после естественного старения в течение 1 года. В этих данных отмечается заметное повышение степени помола, что приводит к замедлению процесса обезвоживания массы. Одновременно отмечается резкое снижение механической прочности изготавливаемой из такой макулатуры бумаги. Так, сопротивление продавливанию снижается почти вдвое, разрывная длина - на 30 %, поверхностная прочность - на 15 %. Указанные явления вызваны необратимыми изменениями в свойствах волокон газетной макулатуры, происходящими вследствие ее старения.

Существенной специфической особенностью макулатуры как волокнистого сырья является присутствие в ней многообразных загрязняющих веществ. Загрязненность макулатуры - неизбежное следствие ее жизненного цикла: изготовления, переработки, использования бумаги и картона и нового перехода в разряд макулатуры.

3.2. ЗАГРЯЗНЕНИЯ, СОДЕРЖАЩИЕСЯ В МАКУЛАТУРЕ

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

3.2.1. Происхождение загрязнений в макулатуре

Как уже отмечалось, 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 ее 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, латексные и другие 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 явления свидетельствуют о необходимости удаления загрязнений как одной из главных задач технологии переработки макулатуры. Следует отметить, что удаление загрязнений приводит к уменьшению фактической массы макулатуры. Это следует учитывать при расчетах норм расхода макулатуры для производства продукции.

3.2.2. Количественные характеристики загрязнений в макулатуре

Количество загрязнений в макулатуре зависит в первую очередь от источников ее образования. Так, отходы изготовления и переработки бумаги и картона содержат, в основном, технологические загрязнения. Их

количество и номенклатура нормируются составом композиции для 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, которые могут находиться в составе макулатуры, приведены данные по составу компонентов 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 около 13 % от массы легкой фракции отходов. На наш взгляд, эти данные несколько завышены, но порядок величин отражают правильно. 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 от 15 до 30 %.

В табл. 3.3 приведены статистические данные о количестве (в %) и составе отходов при производстве различной продукции из макулатуры.

Таблица 3.3

Количество (в %) 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	Из картонной тары	4-10	1-2	3-6	-	0-1	1
Бумага для гофрирования	Бытовая, содержащая СФАЦ	3-6	<1	2-4	-	0-1	1

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
(флютинг)							
Картон	Из картонной тары и бытовая	4-10	1-2	3-6	-	0-1	1
Санитарно-гигиеническая бумага	Обычного и среднего качества из офисной бумаги	28-46	1-2	3-5	8-13	15-25	1
Товарная макулатура	Из офисной бумаги	32-40	<1	4-5	12-15	15-25	1

Как следует из данной таблицы, 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.

Влажные отходы от переработки макулатуры при производстве компонентов гофрокартона имеют следующий примерный состав:

- влага - 45,1 %
- волокно - 27,0 %;
- пластик - 25,8 %;
- 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.

Фактическое количество загрязнений в ММ на разных этапах ее подготовки можно определять по методу Sommerwila (разд. 13.4, ч. III).

3.2.3. Качественные характеристики загрязнений в макулатуре

Необходимость оценки качественных характеристик загрязнений в макулатуре связана с выбором способа их удаления в процессе подготовки ММ.

Загрязнения в ММ можно подразделить на две группы: связанные и не связанные с волокном. Не связанные – это вещества, не имеющие с волокном физических или химических контактов. Это, например, песок, частицы стекла, металлы, кусочки древесины.

Вещества, имеющие физические или химические контакты с поверхностью бумаги или картона, либо внедренные в их волокнистую структуру, относят к связанным. Отдельные включения, которые в дальнейшем могут стать загрязнениями, вводятся как добавки для придания бумаге определенных свойств. Другие связанные загрязнения появляются в процессах обработки бумаги или при ее использовании. Это, например, пластиковые покрытия, расплавы для склеивания корешков книг, полиграфические краски, крахмал для склеивания гофрокартона, восковые покрытия, липкие этикетки и др.

Кроме того, имеются водорастворимые загрязнения, которые обычно переходят в жидкую среду. Замыкание системы водопользования бумажной фабрики приводит к увеличению концентрации растворимых веществ в воде, что способствует образованию в ней отложений и развитию микроорганизмов или слизи.

Нерастворимые загрязнения – это термопластичные или нетермопластичные вещества. Одни из них находятся в пластичном состоянии при комнатной температуре, другие – пластифицируются (размягчаются) только при повышенных температурах.

В табл. 3.4 приведены диапазоны и размеры частиц загрязнений (см. также рис. 3.2).

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 признакам.

Таблица 3.4

Средние значения характеристик частиц загрязнений

Тип загрязнений	Плотность ρ , г/см ³	Размер частиц, мкм				
		< 1	< 10	< 100	< 1000	> 1000
Металл	2,7...9,0					+
Песок	1,8...2,2				+	
Наполнители, частицы	1,8...2,6	+	+	+		

покрытий						
Частицы печатной краски	1,2...1,6	+	+	+		
Липкие вещества	0,9...1,1			+	+	+
Парафин	0,9...1,0		+			
Пенополистирол	0,3...0,5					+
Пластмассы	0,9...1,1					+

На рис. 3.1 представлена схема одной из возможных классификаций загрязнений в макулатуре.

Следует иметь в виду, что каждый вид загрязнений характеризуется одновременно группой качественных характеристик. Объемные включения – это такие частицы, у которых все три измерения соизмеримы. Листовые включения отличаются от объемных тем, что толщина их намного меньше других измерений. Удлиненные же характеризуются тем, что одно измерение много больше двух других.

Рассмотрим некоторые качественные характеристики загрязнений в макулатуре, которые могут послужить 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, частицы печатной краски, красители, водоотталкивающие составы, технологические химикаты и др.;

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

➤ загрязнения волокнистого характера. Это флоккулы, узелки, пучки, нераспущенные фрагменты в массе, фрагменты трудно распускаемых видов бумаги и др.

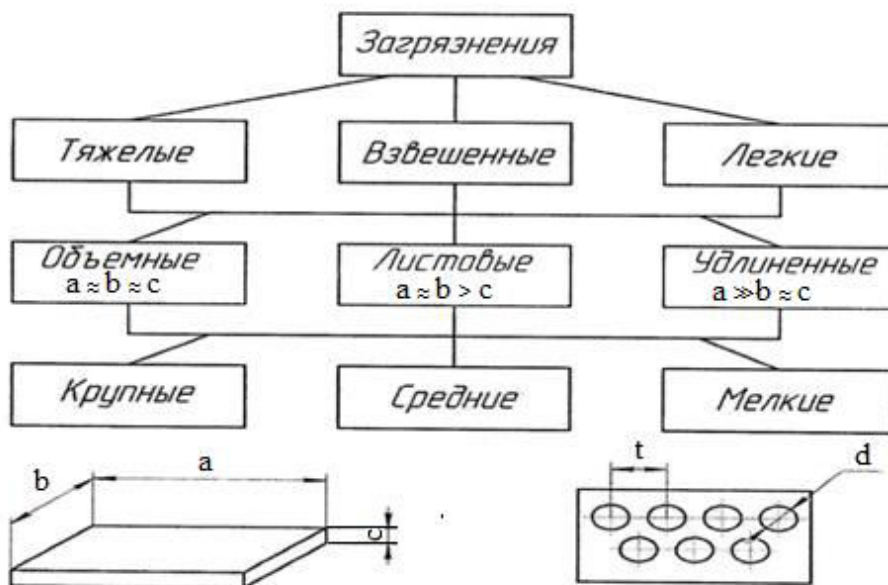


Рис. 3.1. Классификация загрязнений, содержащихся в макулатуре:
 а – длина частицы загрязнения; b – ширина частицы загрязнения;
 с – толщина частицы загрязнения; d – диаметр отверстий сита;
 t – шаг отверстий сита

Зачастую загрязнения первой группы так или иначе связаны непосредственно с волокном. Освобождение от них проводят в два этапа: отделение от волокна на первом этапе и удаление их из ММ на втором этапе. Загрязнения других групп непосредственно с волокном не связаны и обнаруживаются в свободном состоянии при роспуске макулатуры в массу.

2. По плотности (удельной массе) вещества, составляющего данное загрязнение (см. табл. 3.4):

- легкие загрязнения с плотностью вещества менее 1 г/см^3 : различные пенопласты, полистирол, фрагменты древесины и др.;
- тяжелые загрязнения с плотностью вещества более 1 г/см^3 : металл, песок, стекло, глина, чернила и др.;
- средние загрязнения с плотностью вещества близкой или равной 1 г/см^3 : проклеивающие вещества, пластик, 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. 3.2 и табл. 3.4):

- мелкие загрязнения: загрязнения, размеры частиц которых меньше размеров (длины и диаметра) макулатурного волокна. К ним относятся отдельные частицы клея, красок, наполнителей в пределах и ниже пределов видимости частиц (30 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.

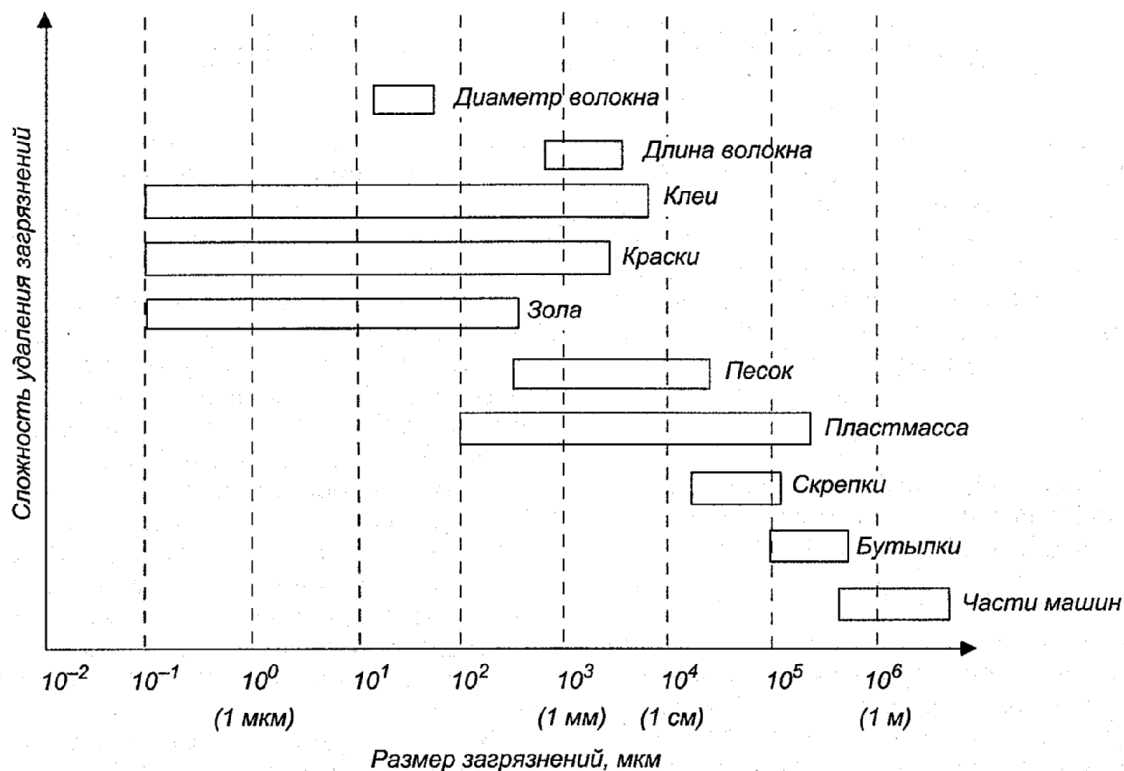


Рис. 3.2. Классификация частиц загрязнений в зависимости от их размеров

4. По конфигурации частиц загрязнений (см. рис. 3.1):

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

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, т.е. налипающие на валы и цилиндры, создающие опасность обрывов: воск, полиэтилен, парафин, латекс, клей и др.;

➤ нейтральные, т.е. не налипающие на валы и цилиндры: песок, наполнители, полистирол и др.

Приведенный перечень может быть продолжен. 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.

3.3. ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОДГОТОВКИ МАКУЛАТУРНОЙ МАССЫ (ММ)

Макулатура является ценным источником волокна для производства бумаги и картона. Однако в связи с наличием загрязнений и неоднородностью состава макулатуры процесс подготовки ММ значительно отличается от подготовки массы из первичных волокон полуфабрикатов большим количеством операций и условиями их проведения.

В настоящее время общепринятыми принципами подготовки ММ является сохранение потенциала бумагообразующих свойств вторичных волокон, снижение потерь волокна, уменьшение энергоемкости, повышение качества готовой ММ. 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:

- 1) восстановление бумагообразующих свойств ММ;
- 2) оптимальное удаление нежелательных посторонних включений;
- 3) оптимальное восстановление чистоты и белизны ММ.

Основные технологические операции переработки макулатуры и их главное назначение заключаются в следующем:

- **роспуск** макулатуры для получения волокнистой суспензии при одновременном отделении крупных частиц загрязнений;
- **очистка** ММ от тяжелых и легких включений;
- **сортирование** ММ с целью удаления загрязнений по размерным характеристикам;
- **фракционирование** ММ для разделения массы волокон по длине;
- **размол** ММ для улучшения бумагообразующих свойств ММ;

- **термодисперсионная обработка** ММ для размягчения и диспергирования пластичных включений и отделения частиц печатной краски от поверхности волокон, снижения количества агломератов липких веществ, смешивания массы с отбеливающими реагентами;
- **сгущение** ММ для проведения ряда технологических операций (диспергирование, отбелка, хранение при высокой концентрации и др.);
- **удаление печатной краски (deinking)** из ММ путем флотации и/или промывки;
- **отбелка** ММ для повышения белизны и обесцвечивания ММ.

Следует отметить, что практическая реализация последних двух операций подготовки ММ - сложное и дорогостоящее мероприятие. Поэтому для малых предприятий с объемом переработки макулатуры до 100 т/сут применение этих операций следует признать экономически нецелесообразным.

Для терминологической определенности в дальнейшем изложении материала в табл. 3.5 приводятся диапазоны концентраций ММ на различных этапах подготовки массы и режимах работы.

Таблица 3.5

Значения концентраций (в %) на отдельных этапах подготовки ММ

Концентрация	Роспуск	Сортирование	Очистка	Размол (диспергирование)	Отбелка
Низкая	3...6	≤ 1,5	≤ 1,5	3...6	-
Средняя	6...12	1,5...4,5	1,5...2,5	10...13	10...15
Высокая	≥ 12	≥ 4,5	2,5...6,0	28...35	25...30

3.3.1. Принципы регенерации бумагообразующих свойств ММ

Известно четыре направления регенерации бумагообразующих свойств ММ:

- размол и/или рафинирование;
- фракционирование;
- использование макулатуры в сочетании с первичными волокнами;
- применение вспомогательных химических веществ и ферментов.

Эти направления регенерации могут применяться как отдельно, так и в различных комбинациях. Рассмотрим приведенные направления.

Размол и/или рафинирование ММ позволяет повысить сцепление между волокнами посредством восстановления способности волокна к набуханию, частично утраченной в процессе предыдущих переработок. Для максимального эффекта рекомендуется щадящий режим размола при низкой удельной нагрузке на кромки ножей мельницы (разд. 7, ч. II). Частичное восстановление бумагообразующих свойств ММ путем размола обязательно

сопровождается повышением степени помола по сравнению со степенью помола первичного волокна. Повышение прочностных характеристик массы без заметного образования нежелательной мелочи и снижения способности массы к обезвоживанию обеспечивает размол в гидродинамических мельницах или использование режима рафинирования – размола при высокой концентрации.

Фракционирование ММ предназначено для разделения сортированием волокон ММ по длине. Затем отдельные фракции подвергают специфической обработке. В результате фракционирования зольность и степень помола длиноволокнистой фракции снижаются, а коротковолокнистой – увеличиваются, по сравнению с исходной массой.

Добавка свежего волокна. Первичное целлюлозное волокно или древесная масса оказывают положительное влияние на качество массы при их добавке в ММ. В свежем волокне содержится не только больше «активных» волокон, но и больше «активной» мелочи.

Применение вспомогательных химических веществ способствует повышению эффективности процессов подготовки и качества ММ. Оно, например, может:

- облегчить роспуск сильно клееной макулатуры;
- улучшить прочностные характеристики ММ;
- способствовать процессу удаления типографской краски.

Об эффективности применения химических вспомогательных веществ и энзимов с целью улучшения бумагообразующих свойств ММ смотреть также в соответствующих разделах пособия (разд. 4.1, 9.5 и 10.1.3, ч. III).

3.3.2. Удаление нежелательных посторонних включений

Производится путем сортирования и очистки ММ. В целях повышения эффективности удаления загрязнений и снижения при этом потерь хорошего волокна очистку и сортирование проводят в несколько этапов на различных аппаратах. Для отделения загрязнений, зафиксированных на волокне, требуется использование термодисперсионной обработки массы.

3.3.3. Особенности подготовки трудно распускаемой макулатуры

В настоящее время в массе макулатуры часто встречаются бумага и картон, покрытые полимерными пленками, используемые для упаковки различных, в том числе, жидких продуктов: молока, кефира, соков, вин и др. Упаковка из такого комбинированного материала имеет ряд ценных свойств: воздухо-, жиро-, свето-, водонепроницаемость, легкость. Она сохраняет вкус и запах продукта, продлевает срок его хранения.

Макулатура из таких видов картона и бумаги (МС-11В) содержит высококачественную сульфатную целлюлозу, но практически не используется как вторичное сырье. После использования такая упаковка

выбрасывается на помойки, откуда вывозится на свалки и сжигается как твердый бытовой отход, что приводит не только к загрязнению окружающей среды, но и к значительным потерям ценного волокнистого сырья.

Химические вспомогательные вещества (ХВВ), которые используют при переработке ММ из влагостойких видов макулатуры, зависят от технологии придания продукции свойств влагостойкости.

Так, влагостойкую макулатуру, содержащую мочевины и/или формальдегидмеламиновую смолу, следует распускать при рН 3,5÷4,0 и температуре между 65÷90 °С в гидроразбивателе с ротором разрывающей конструкции. Используемые для интенсификации процесса химикаты: неорганические кислоты или кислые соли (сульфат алюминия) в количестве 1÷5 % от волокнистой массы. При этом из-за одновременного гидролиза молекул целлюлозы наблюдается некоторая потеря прочностных свойств ММ. Во избежание этого в последнее время используют щелочные фосфаты, которые выступают в качестве смачивающих веществ. Применение таких продуктов, как Deglasol или Calgon, действующих в кислой среде, не приводит к заметному ухудшению прочностных показателей массы.

Влагостойкую бумагу, содержащую полиамидные смолы, следует распускать при рН 10÷11 и температуре около 70 °С. Так как полиамидные смолы очень трудно полимеризуются и деполимеризуются, в процессе распуска используют слабодействующие химикаты, такие, например, как гипохлорит натрия.

При переработке ламинированного макулатурного сырья рекомендуется включать, помимо основных стадий, стадию пропарки его в щелочной среде под давлением. В основе такой обработки лежит способность целлюлозного волокна к набуханию в щелочной среде. Важнейшими факторами, определяющими степень набухания, кроме структуры волокна, следует считать природу реагента, а также температуру процесса. Целлюлоза хорошо набухает в присутствии гидроксида натрия. При концентрации раствора едкого натрия ниже 12 % набухание целлюлозы происходит, в основном, в ее аморфных участках. При набухании в щелочной среде меняются свойства целлюлозы, увеличивается ее объем, силы адгезии пленки к целлюлозе значительно ослабевают. Таким образом, термообработка ламинированной макулатуры в разбавленных растворах щелочей способствует активному набуханию целлюлозы и приводит к самопроизвольному отделению полимерной пленки от поверхности листа.

В качестве альтернативы традиционно используемой технологии переработки ламинированной макулатуры в водной среде предлагается комплексная система, где реализуются преимущества, характерные для сухих и мокрых методов подготовки макулатуры (рис. 3.3).

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.

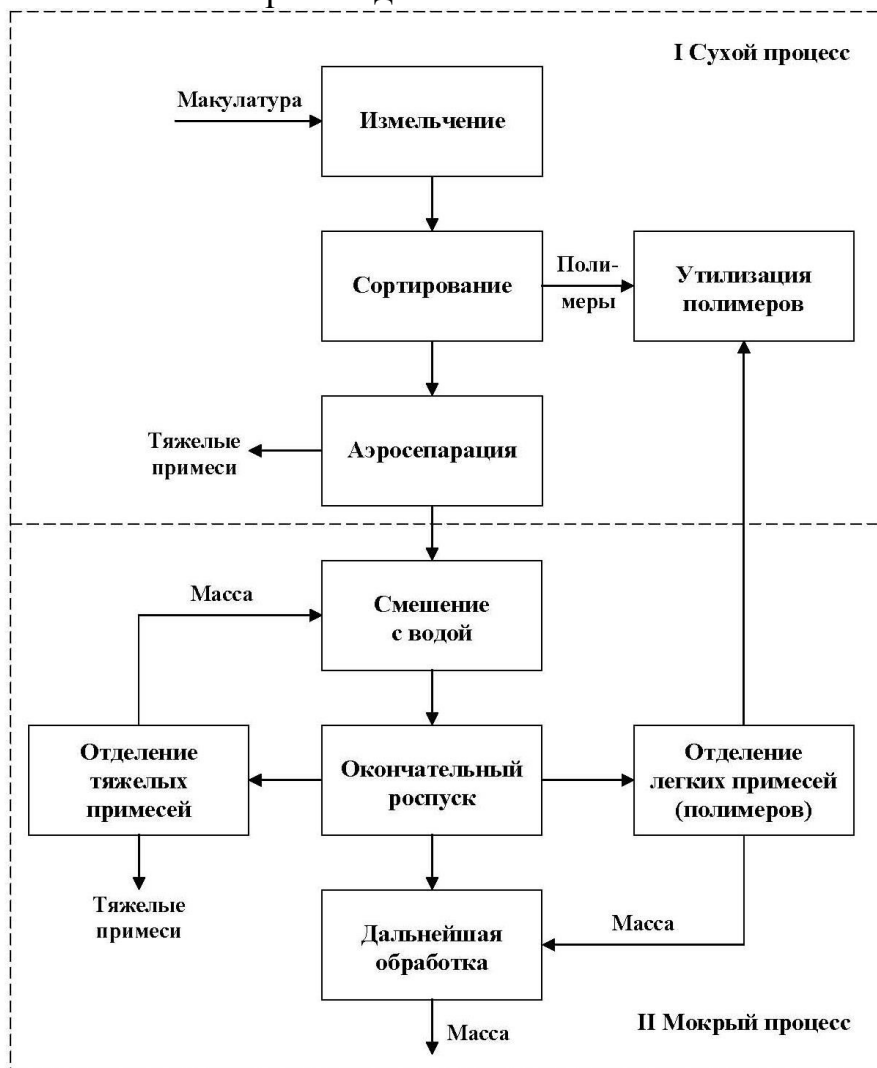


Рис. 3.3. Технологическая схема комплексной переработки макулатуры

Одним из источников макулатурного волокна может служить упаковочный материал типа «Тетрапак». Во всем мире более 600 тыс. т использованной упаковки и отходов типа «Тетрапак» подвергаются переработке, из которых на долю России приходится не более 7 тыс. т. Такой скромный спрос на эту макулатуру связан со сложностью отделения полимерной пленки от картонной основы. Упаковка типа «Тетрапак» на 75 %

состоит из высококачественного мелованного картона, 20 % полиэтилена или полипропилена и 5 % алюминиевой фольги.

Созданы и испытаны конструкции специальных диспергаторов для измельчения и разделения макулатурного материала на волокно и полиалюминий, которые затем используются отдельно.

По традиционной технологии извлечение волокна из этого материала производится в гидроразбивателях в присутствии химикатов. В связи с тем, что процесс производят в водной среде, данная технология требует больших затрат энергии, тепла и химикатов, при этом возникают серьезные проблемы с очисткой и утилизацией стоков. Новая технология сухого роспуска в аэродинамическом диспергаторе позволяет с меньшими затратами производить переработку упаковочного материала «Тетрапак». Об особенностях сухого и полусухого роспуска макулатуры – в п. 4.3.4.

Из отходов упаковки «Тетрапак» изготавливаются десятки наименований продукции: ведра, швабры, штакетник, транспортные поддоны и тара, школьная и офисная мебель, кровельная черепица и стеновые панели для недорогого жилья и пр.

В Финляндии имеется уникальный завод (г. Варкауc) перерабатывающий картонные пакеты из-под молока и фруктовых соков и другие виды макулатуры в бумагу и картон, а также алюминиевый порошок, и использующий отходящее тепло для производства электроэнергии. Завод перерабатывает 60 тыс. т упаковки в год и производит 30÷40 тыс. т бумаги и картона и 3 тыс. т алюминиевого порошка в год, который поставляется металлургическим фирмам. Получаемое при сжигании отходов тепло обеспечивает производство 25 млн кВт·ч электроэнергии в год. Это пример практически безотходного производства.

3.3.4. Основные принципы выбора технологических схем переработки макулатуры

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

- рентабельность производства;
- требования к выпускаемой продукции;
- вид перерабатываемой макулатуры;
- желательная степень гибкости (возможности перенастройки и регулирования) технологии;
- готовность предприятия к капитальным и эксплуатационным расходам, а также степень допустимого финансового риска.

На экономическую эффективность технологической схемы влияют удельный расход энергии (УРЭ) и концентрация массы (табл. 10.7, ч. III).

3.4. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПУТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАКУЛАТУРЫ

В настоящее время крупнотоннажные производства целлюлозно-бумажной продукции потребляют преимущественно высококачественные виды макулатуры и значительную часть отходов среднего качества. В ближайшей перспективе следует ожидать дефицита сортированных марок макулатуры. Эти марки макулатуры будут иметь высокую коммерческую цену. Во всех регионах России неостребованной остается низкосортная и смешанная макулатура, которая может быть переработана на малотоннажных производствах.

Переработка макулатуры в бумагу и картон, включающая ряд операций, требует большого количества энергии и загрязняет окружающую среду отходами. Особенно много затрат требует процесс удаления типографской краски, дающий вдобавок ядовитый осадок. В связи с этим, наряду с усовершенствованием процессов известной технологии переработки макулатуры, постоянно ведется поиск нетрадиционных путей использования макулатуры. К ним относятся сжигание, производство органического утеплителя (эковаты), кровельных и изоляционных материалов, изделий из бумажного литья, одноразовой посуды и др.

3.4.1. Сжигание макулатуры

Серьезной альтернативой традиционному использованию макулатуры в качестве сырья для производства картонно-бумажной продукции является ее сжигание с целью получения тепла и электроэнергии.

Макулатура представляет собой вторичную биомассу с высокой энергетической ценностью, хорошими показателями по зольности и влажности. Одним из перспективных направлений подготовки макулатуры к сжиганию является формирование из нее топливных брикетов или гранул (пеллет) повышенной плотности. Сформованный таким образом материал обладает всеми свойствами сыпучего груза и значительно повышает степень загрузки транспортных средств и хранилищ, так как насыпная масса его составляет 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 или 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.

На рис. 3.4 представлена схема получения из макулатуры топливных гранул.

Макулатуру, измельченную и сепарированную в сухом виде, подают в гранулятор или брикетировщик. Предварительно волокнистую массу слегка увлажняют. Из-за низкой насыпной плотности сухой бумажной массы, подготовленной для гранулирования, обычно применяют прессы-грануляторы с большой площадью рабочей поверхности и устройством для принудительной подачи сырья в камеру гранулирования.

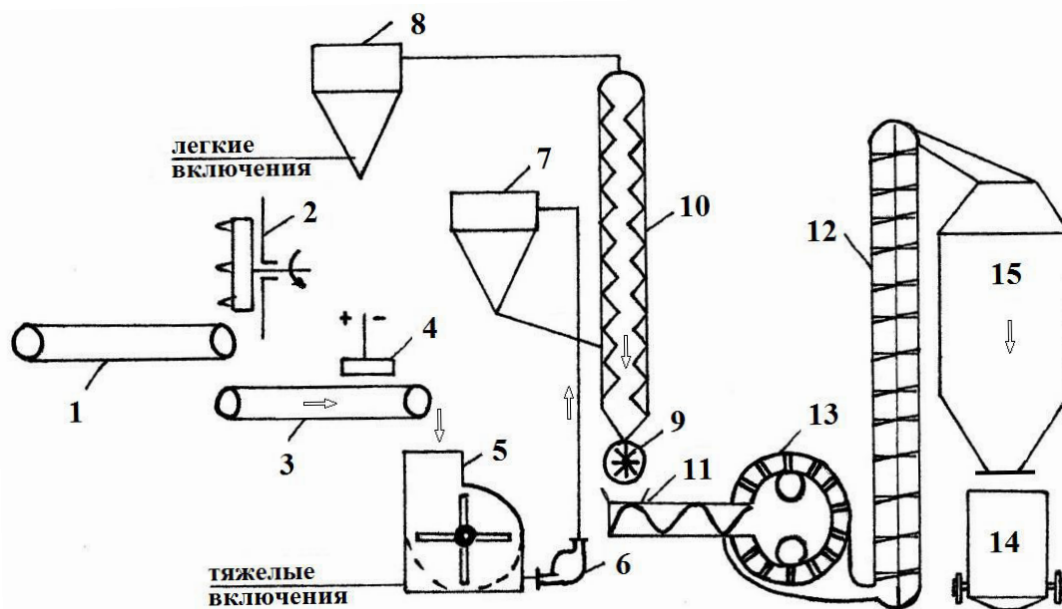


Рис. 3.4. Схема получения из макулатуры топливных гранул:
 1, 3 – транспортеры; 2 – кипоразбиватель;
 4 – электромагнитный сепаратор; 5 – молотковая дробилка;
 6 – вентилятор; 7, 8 – циклоны; 9 – дозатор;
 10 – каскадный аэросепаратор; 11 – питатель; 12 – элеватор-нория;
 13 – гранулятор; 14 – вагон-хоппер; 15 – бункер накопитель

Производительность оборудования при гранулировании (брикетировании) может быть ниже, чем при гранулировании древесины (примерно на 10÷15 %). Энергозатраты на гранулирование одной тонны макулатуры составляют 60÷70 кВт·ч/т. В некоторых случаях может потребоваться введение связующих добавок. В табл. 3.6 приведены топливные характеристики гранул и брикетов из макулатуры.

Таблица 3.6

Топливные характеристики гранул и брикетов из макулатуры

Энергетическая ценность	Низшая теплотворная способность бумаги и картона составляет около 16-17 МДж/кг. Близкие показатели имеют гранулы и брикеты из макулатуры
Зольность	Зольность гранул и брикетов из макулатуры несколько выше, чем у древесных гранул, но значительно ниже по сравнению с

	зольностью угля
Насыпная плотность	Физическая и насыпная плотность гранул и брикетов из макулатуры составляет 1100-1200 и 650-700 кг/м ³ , соответственно

Окончание табл. 3.6

Применение	Так как макулатура является вторичной биомассой, реализация изготовленного из нее топлива на экспорт затруднена. Однако она может быть интересным топливом для потребления внутри России благодаря низкой стоимости и высокой эффективности сжигания
------------	--

3.4.2. Производство теплоизоляционного материала «Эковата»

Другой пример альтернативы – производство эковаты – теплоизоляционного материала из макулатуры. Сухим способом макулатура разбивается на волокна, смесь из которых дополняется антипиренами – специальными добавками, уменьшающими горючесть материала, и обеззараживающими антисептиками. На выходе получают сыпучее малогорючее сухое вещество с хорошими теплоизоляционными свойствами. В качестве антипирена и антисептика используют буру или борную кислоту.

Затраты на производство эковаты сравнительно невелики за счет применения дешевого вторичного сырья. Сыпучая эковата, в отличие от минеральной ваты, менее удобна в использовании, что сдерживает ее распространение в строительстве. Выпуск эковаты в виде готовых панелей может исправить это положение. Свойства эковаты: плотность 45÷70 кг/м³; коэффициент теплопроводности 0,040÷0,048 Вт/(м·°С); влажность 12 %; максимальная усадка 15÷20 %. Эковата классифицируется как трудносгораемый материал.

3.4.3. Производство волокнистых плит

Макулатура может использоваться и при производстве волокнистых плит для отделки помещений. Для этого производится роспуск макулатуры в воде, вакуумное формование ковра, отжим и сушка его в прессе при температуре 150÷180 °С. Отходы, обрезки и брак плит можно снова использовать в производстве. Полученный материал имеет высокие экологические характеристики. Назначение этих плит – облицовка стен, потолков, перегородок жилых помещений (взамен ДВП), для изготовления тары, подкладки под линолеум, задней стенки мебели, для изготовления гробов.

Технология производства полимерно-бумажных плит позволяет перерабатывать отходы ламинированной и другой влагопрочной бумаги и картона в материал строительного назначения. Плиты изготавливают из смеси отходов влагопрочной бумаги и картона (ламинированной бумаги или

отходов парафинированной бумаги) и отходов термопластичных полимеров. В качестве последних наибольшее распространение получил полиэтилен, но могут быть использованы и другие. Технология включает сухое измельчение отходов, смешивание и горячее прессование. Отходы, обрезки и брак плит снова используются для производства. Достоинством технологии является нечувствительность к загрязнениям отходов, возможность переработки смеси отходов полимеров.

Назначение плиты: для обшивки стен, потолков, перегородок жилых, производственных и складских помещений, изготовление деталей мебели. Физико-механические свойства плиты: плотность $750 \div 1000 \text{ кг/м}^3$; прочность при изгибе $8 \div 14 \text{ МПа}$; водопоглощение за 24 ч $10 \div 14 \%$. Производство безотходное и экологически чистое.

Существенным направлением использования макулатуры является производство картона-основы для производства таких кровельных материалов, как рубероид или пергамин.

3.4.4. Производство бугорчатых прокладок

Технология производства бугорчатых прокладок заключается в следующем: макулатуру (например, газетную) загружают в ванну гидроразбивателя, наполненную водой, где под действием гидромеханических усилий происходит роспуск макулатуры на волокна. Концентрация распущенной массы составляет $1,2 \div 1,5 \%$. Готовую массу перекачивают в бак, над которым располагается формующее устройство, состоящее из вакуумных форм - неподвижных и подвижных, перемещающихся в вертикальном направлении. Последние периодически погружаются в бак с бумажной массой, и под действием вакуума на них происходит формование изделий. Затем формы извлекают из бака и отжимают воду с помощью неподвижных форм, завершая процесс формования прокладки.

Сырая сформованная прокладка после размыкания формующего устройства отделяется от формы сжатым воздухом. Установка оборудована вакуумным насосом и ресивером. Вода от формования прокладки собирается в ресивере и возвращается в гидроразбиватель. Для обеспечения установки сжатым воздухом и вакуумом предусматривается компрессор.

Сформованные сырые прокладки влажностью около 90 % помещаются в сушильную камеру. Сушка может быть как газовая, так и электрическая.

3.4.5. Другие направления использования макулатуры

Для вторичной переработки отходов бумаги, которые, в силу многоциклического использования, уже нельзя использовать для производства бумаги и картона, предлагается новая технология, позволяющая получить склеивающий металлические (алюминиевые) детали адгезив. Технология

представляет собой низкотемпературный (менее 200 °С) пиролиз отходов, протекающий при обработке их микроволновым излучением. В этих условиях биомасса разлагается в отсутствие кислорода и превращается в биомасло. Перед обработкой отходы измельчаются до высокодисперсного состояния. Полученное биомасло прошло испытание на предмет использования в качестве клея, позволяющего склеивать металлические детали. Результаты испытаний показали высокую прочность склеивания.

Имеются сведения о возможности получения из макулатуры биоэтанола (этилового спирта). В частности, для этой цели пригодно короткое вторичное деструктурированное волокно, которое рационально выводить из циклов производства бумаги и картона. Для получения этих продуктов необходимо:

- макулатурное сырье подвергать обработке, включающей роспуск в гидроразбивателе в щелочной среде с последующей грубой очисткой и, при необходимости, подмолу до 20÷25 °ШР, а также и термообработке при 95÷120 °С в щелочной среде с добавкой перекиси водорода;

- промытый после термообработки материал направлять на ферментативный или кислотный гидролиз для осахаривания;

- гексозные сахара, полученные ферментативным или кислотным гидролизом, сбраживать на спирт (биоэтанол), не утилизированные пентозные сахара перерабатывать в дрожжи.

4. РОСПУСК МАКУЛАТУРЫ

Роспуск, или разволокнение макулатуры – это первая технологическая операция в системе ее переработки в массу на бумажных и картонных фабриках. Роспуск макулатуры – технологическая операция, при которой вторичное сырье (макулатура) превращается в суспензию – волокнистый полуфабрикат, благодаря которому значительно улучшаются бумагообразующие свойства. Обычно роспуск макулатуры осуществляется в две стадии: на первой производится грубый (предварительный) роспуск в гидроразбивателе, на второй – дороспуск или дефлокуляция – более тщательное разволокнение в специальных аппаратах. Это дефлокуляторы или дисковые сортировки – сепараторы.

Путем роспуска макулатуры можно одновременно решать ряд важных задач:

- 1) смешение макулатуры с водой и максимально возможное разделение её на отдельные фрагменты для получения волокнистой суспензии - макулатурной массы (ММ);
- 2) удаление из ММ крупных фракций загрязнений без их измельчения;
- 3) частичное отделение мелких загрязнений, связанных с отдельными волокнами;
- 4) в случае необходимости, смешение ММ с химическими вспомогательными веществами.

Первая и главная из этих задач решается путем совмещения физико-химических и гидромеханических процессов, происходящих при контакте макулатуры с водой. Вода, используемая для роспуска макулатуры, обычно рециркулирует в системе подготовки массы, как обратная.

4.1. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ РОСПУСК МАКУЛАТУРЫ В ВОДЕ

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 пропусканием массы через мелкую сетку с последующим взвешиванием высушенных до постоянной массы остатков на сите и после него.

Способность к роспуску различных видов макулатуры можно характеризовать показателем влагопрочности, который у разных видов бумаги и картона различен. Обычно при контакте с водой прочность на разрыв у макулатуры из невлагопрочных видов бумаги и картона снижается на 85÷95 % уже в течение первых двух-трех минут, а у макулатуры влагопрочных марок – только на 60÷80 %.

Существенное влияние на показатель влагопрочности оказывает продолжительность старения бумаги, которое снижает способность бумаги к

смачиваемости. Так, после искусственного старения бумаги из хвойной сульфатной блененной целлюлозы этот показатель возрастает в 1,5÷3,0 раза, а такой же целлюлозы из березы – в 3÷6 раз.

При переработке макулатуры, состоящей из смеси бумаг различной степени влагопрочности, содержание в суспензии фрагментов влагопрочной макулатуры снижается медленнее, чем невлагопрочной, что приводит к неравномерной скорости роспуска различных фрагментов и, соответственно, к увеличению необходимой продолжительности процесса, и, как следствие, к повышению удельного расхода энергии (УРЭ) на роспуск.

В принципе, набухание отдельных волокон начинается одновременно с увеличением влажности окружающей среды. Набухание волокон, при отсутствии перемешивания, связано с наличием свободной, несвязанной воды. Оно наблюдается уже при содержании волокон в массе, соответствующем концентрации до 50 %. Способность к набуханию зависит от природы волокон, степени помола, удельной поверхности волокон, зольности и т.д. Так, для смешанной макулатуры (МС-13В) даже в пределах одной партии возможны большие колебания этих факторов. На степень набухания особенно негативно влияет наличие в макулатуре гидрофобных составляющих, таких как: клеи, воск, битум, печатная краска и т.п.

В целом, роспуск макулатуры происходит заметно медленнее, чем роспуск материалов, состоящих из первичного волокна. О причинах этого явления изложено в разд. 3.1.

4.1.1. Физико-химические факторы процесса роспуска

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.

Процесс роспуска макулатуры, как и дальнейшая обработка ММ, связан с набуханием волокон в водной среде. Набухание - это комплексный процесс, включающий ослабление межволоконных связей и пластификацию волокон за счет увеличения содержания воды в их структуре. В качестве аналога показателя скорости набухания можно использовать показатель скорости пропитки бумаги водой (скорость промокания).

Скорость пропитки бумаги водой зависит не только от типа волокон, размеров и свойств влагопроводящих путей (пор) в ней, но и от таких факторов, как температура и рН среды, площадь поверхности соприкосновения волокон между собой и других.

Процесс набухания носит экзотермический характер, следовательно, повышение температуры для него нежелательно. С другой стороны, повышение температуры способствует снижению вязкости воды и роспуску

материала. Таким образом, возникает задача определения оптимального температурного режима процесса набухания.

Существенную роль в процессах набухания играет рН используемой водной среды. Интенсификации набухания благоприятствует щелочная среда, а препятствует - понижение рН. Поэтому в качестве вспомогательных веществ используют сульфат натрия, соду или щелочной клейстеризованный крахмал. Однако применение щелочных химикатов в качестве интенсификаторов процессов набухания и роспуска имеет и побочные негативные последствия, такие как:

- 1) пенообразование;
- 2) ухудшение процесса обезвоживания на БДМ;
- 3) повышение потребности в дополнительных химикатах (если проклейка на БДМ ведется в массе);
- 4) ухудшение условий очистки стоков.

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 через внутриволоконные поры.

Исследования показали, что в кислой среде оптимальная для набухания продолжительность замачивания запечатанной и смешанной макулатуры перед размолотом при температуре $22 \div 25$ °С, концентрации $3 \div 4$ % и рН $4,8 \div 5,5$ составляет около 3 ч, а при замачивании в условиях щелочной среды (рН $7 \div 10$), при прочих равных условиях - $1 \div 2$ ч. Увеличение продолжительности набухания сверх этого времени дает малый эффект, а затраты на сооружение необходимых дополнительных бассейнов значительно возрастают.

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 роспуска. Повышение смачиваемости обеспечивается специальными химическими вспомогательными веществами, в основном, из группы ПАВ в количестве примерно 0,5 % от массы макулатуры. Смачиватели снижают поверхностное натяжение дисперсионной среды.

Разработаны специальные препараты - смачиватели, ускоряющие процесс смачивания волокон, растворения и отмывания красителей в ММ. Они позволяют сократить расход и иногда полностью отказаться от традиционных ХВВ, например, от гидроксида натрия. Их применяют для интенсификации роспуска использованной картонной тары, бумаг с восковым, силиконовым, поливинилацетатным и другими покрытиями.

При отсутствии дорогих смачивателей для ускорения процесса роспуска можно использовать другие ХВВ, например, гидроксид натрия в

количестве около 1,0 % от массы макулатуры. Он позволяет понижать влагопрочность сильно проклеенной 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 пероксида водорода (H_2O_2) в количестве около 1,0 % от массы макулатуры.

Применение энзимов (ферментов) сокращает продолжительность роспуска макулатуры (разд. 9.5). Так, при расходе специальных энзимов в количестве 0,5 % от массы а.с. волокна высокая степень роспуска макулатуры достигается уже в течение нескольких минут. Обработка суспензии энзимами в процессе роспуска макулатуры позволяет снизить расход пероксида водорода на отбелку ММ. Кроме того, при использовании энзимов отпадает необходимость в использовании гидроксида и силиката натрия, ПАВ-коллекторов и комплексообразователей. Экономия эксплуатационных расходов может составлять от 20 до 35 % в зависимости от стоимости энзимов.

Применение энзимов, по сравнению с традиционными химическими реагентами, дает следующие преимущества:

- 1) не происходит пожелтения ММ благодаря отсутствию щелочей;
- 2) сокращается продолжительность процесса роспуска макулатуры;
- 3) не требуется применения традиционных ХВВ;
- 4) повышается способность ММ к обезвоживанию;
- 5) улучшаются показатели механической прочности (разд. 9.6, ч. III);
- 6) сокращаются эксплуатационные расходы;
- 7) уменьшаются расходы на обработку оборотной воды за счет снижения расхода химических реагентов и ПАВ, биологическое разложение которых затруднено.

При подготовке ММ для производства продукции повышенного качества роспуск часто проводится с применением добавок гидроксида натрия, пероксида водорода и стабилизатора его – силиката натрия. В дополнение к этим реагентам применяют диспергенты – поверхностно-активные вещества (ПАВ) для повышения диспергированности частиц печатной краски при наличии операции последующей промывки ММ, а при последующей операции флотации – ПАВ-коллекторы собирающего типа, которые объединяют частицы печатной краски в гидрофобные агломераты. В случае необходимости получения диспергирующего эффекта для отделения печатной краски иногда используют добавки водостойких веществ в виде полифосфатов натрия, которые создают слабую кислую среду. Благодаря этим добавкам при роспуске запечатанной макулатуры происходит диспергирование и отделение печатных красок, за счет чего на 2÷4 % повышается белизна массы.

Следует отметить, что указанные физико-химические процессы не могут самостоятельно обеспечить реальное разделение макулатуры на отдельные волокна. Их основное назначение - ослабить механическую

прочность листа и тем самым создать благоприятные условия для роспуска макулатуры в соответствующих аппаратах.

4.1.2. Гидродинамические и механические факторы процесса роспуска

Разрушение целостности листа и его роспуск 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 и сдвига 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.

Все указанные факторы разделения макулатуры на волокна в водной среде действуют одновременно и в той или иной степени влияют на степень роспуска, производительность, удельные энергозатраты на процесс и качество получаемой ММ.

4.2. ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РОСПУСКА МАКУЛАТУРЫ

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

1) роспуск в традиционных гидроразбивателях (гидропульперах), главными элементами которых являются ванна и вращающийся в ней ротор;

2) роспуск в гидроразбивателях барабанного типа, где движение распускаемой массы происходит вдоль барабана за счет его вращения и уклона.

Технические характеристики гидроразбивателей и условия их эксплуатации представлены в табл. 4.1.

Как правило, в этих аппаратах производят только предварительный грубый роспуск макулатуры и удаление из нее крупных посторонних включений. Дополнительное разволокнение до степени, позволяющей использовать ММ для производства продукции, осуществляют в специальных аппаратах типа сортирующего гидроразбивателя, турбосепаратора, фиберайзера, дисковых сортировок или других. В них из ММ дополнительно удаляются тяжелые и легкие загрязнения. Такая технология разволокнения получила название «двухступенчатая система роспуска».

Помимо роспуска непосредственно в водной среде возможно предварительное сухое измельчение макулатуры перед подачей ее на роспуск, что позволяет повысить производительность оборудования и снизить расход энергии на роспуск макулатуры.

Таблица 4.1

Характеристики и условия эксплуатации гидроразбивателей

Тип	Макулатура	Условия эксплуатации				Характеристики аппарата			
		концентрация, %	производительность, т/сут	продолжительность роспуска, мин	режим работы	рабочий орган	окружная скорость, м/с	сортирующее сито	диаметр аппарата, мм
Гидроразбиватель высокой концентрации	Газеты, журналы	До 18	30-400	15-20	Периодический	Винтовой ротор	12-16	Нет/Да	7100
Гидроразбиватель средней концентрации	Газеты, журналы	До 12	140-500	20-30	Периодический	Винтовой ротор	13-17	Нет/Да	6000
Гидроразбиватель низкой концентрации	Гофротара	До 6	200-1600	5-40	Непрерывный	Ротор с лопастями	15-20	Да	8000

ции						и			
Барабанный гидроразбиватель	Газеты, журналы, гофротара	До 20	100-1600	20-40	Непрерывный	Барабан	1,5-2,0	Да (барабан)	4250

К нетрадиционным технологиям роспуска макулатуры следует отнести роспуск методом декомпрессии (взрыва). Сущность данного метода заключается в предварительной пропитке измельченной макулатуры раствором сульфита (Na_2SO_3) и силиката (Na_2SiO_3) натрия в течение 6 ч при комнатной температуре и гидромодуле (отношении объема раствора к массе макулатуры), равном 2,5. Далее макулатура направляется в реактор для обработки насыщенным паром при температуре 165 °С и давлении 0,6 МПа в течение 1÷2 мин. Из реактора макулатура выгружается в декомпенсационную камеру, в которой в результате резкого снижения давления происходит разделение макулатурного сырья на отдельные волокна за счет вскипания влаги, содержащейся в массе.

Присутствующий в растворе силикат натрия способствует набуханию волокон макулатурного сырья, отделению частиц печатной краски от волокна и их коагуляции, а при наличии сульфита натрия происходит реакция сульфитирования лигнина, содержащегося в волокнах. При этом повышается пластичность вторичных волокон, что способствует улучшению механических показателей получаемой продукции. Метод декомпрессии может быть использован для переработки смешанной офисной макулатуры и гофротары. В последнем случае возможно исключение из технологической схемы переработки макулатуры ступени диспергирования ММ, так как при декомпрессии происходит диспергирование частиц парафина и горячих расплавов.

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

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

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

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).

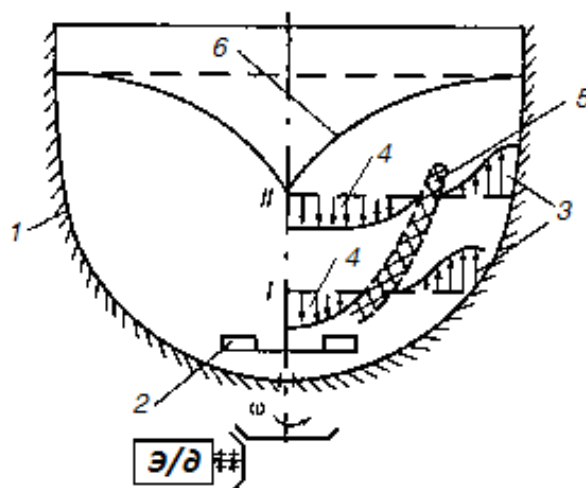


Рис. 4.1. Схема движения потоков массы в меридиональной плоскости ванны гидроразбивателя:

- 1 - ванна; 2 - ротор; 3 - восходящий поток;
- 4 - нисходящий поток; 5 - мертвая зона; 6 – воронка

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 и 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 гидроразбивателя. Различают роспуск при высокой (12÷20 %), средней (6÷12 %) и низкой (3÷6 %) концентрациях ММ. 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 и в тех случаях, когда перерабатывается низкокачественная макулатура с высокой степенью загрязненности. Кипы не попадают непосредственно на крыльчатку ротора, поэтому он имеет больший срок службы.

На рис. 4.2 приведена классификация режимов работы и соответствующих типов гидроразбивателей.

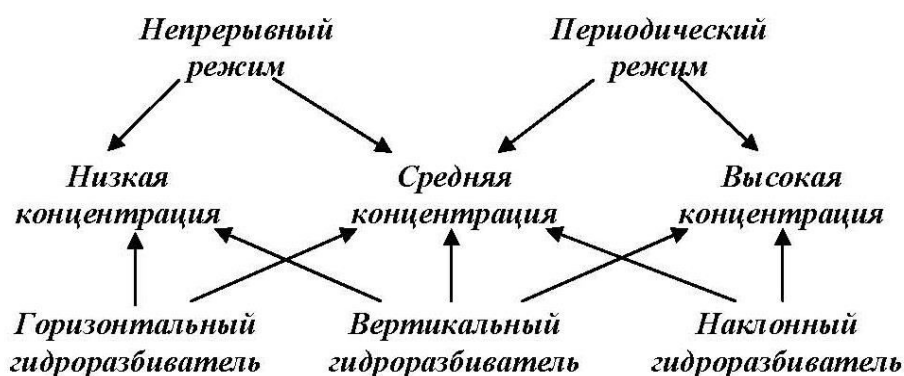


Рис. 4.2. Классификация режимов и оборудования для роспуска

Производительность процесса роспуска макулатуры в гидроразбивателе зависит от множества факторов, важнейшими из которых являются объем ванны, режим работы, рабочая концентрация при роспуске, используемый тип ротора, диаметр отверстий перфорированной плиты и т.д. Для приблизительной практической оценки 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 15÷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, диаметр отверстий и коэффициент перфорации экстракционной плиты.

В целом, система или узел роспуска обычно состоит из транспортеров для подачи макулатуры в гидроразбиватель, одного или нескольких гидроразбивателей, дефлокуляторов, сортировки для выделения отходов, а также промежуточных бассейнов для аккумуляирования массы и отходов.

Первым устройством узла роспуска является пластинчатый транспортер. На нем может осуществляться частичное сортирование макулатурного сырья вручную с удалением посторонних предметов (обвязки кип) и других крупных загрязнений. Характеристики типового транспортера: ширина – от 1200 до 2000 мм; скорость движения от 0,1 до 0,15 м/сек. Остальные элементы системы роспуска макулатуры рассмотрены в соответствующих разделах пособия.

Вспомогательное оборудование

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

Простейшим вспомогательным устройством является переливной ящик, устанавливаемый на одном уровне с гидроразбивателем. Распушенная 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 жгутоулавливатель. Его используют для улавливания и удаления крупных кусков пленки, тряпья, веревок и других материалов, склонных к завиванию. В жгутоулавливатель закрепляется кусок каната, опускаемого в гидроразбиватель через верхний край ванны. При круговом движении массы в ванне происходит наматывание указанных загрязнений на канат и образуется жгут из отходов, который удаляется из ванны гидроразбивателя с помощью жгутовытаскивателя. Образующийся жгут разрезают специальным резак (жгуторезка) и удаляют в отвал. Следует отметить, что успешная работа жгута зависит от своевременности его обновления. Кроме того, жгут трудноприменим 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 (разд. 5.3, ч. II). Данное устройство может работать как в непрерывном, так и в периодическом режиме работы гидроразбивателя, при любых концентрациях распускаемой массы. Его можно использовать также и

для периодической промывки гидроразбивателя от накопившихся в нем загрязнений.

Дороспуск (дефлокуляция) макулатурной массы

Как уже отмечалось, в гидроразбивателях обычно производится предварительное разволокнение макулатуры. В зависимости от способности макулатуры к роспуску (её влагопрочности), содержание нераспущенных лепестков и фрагментов 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 (дефлокуляторы), аналогичные гидроразбивателям, но гораздо более компактные. Эти аппараты называют турбосепаратор, сортирующий гидроразбиватель (ГРС), дисковая сортировка-сепаратор, Fibereizer, Contaminex и т.д. Они представляют собой закрытую рабочую камеру, разделенную внутри ситовым диском, перед которым вращается ротор. Интенсивность разволокнения 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 (разд. 5.3, ч. II). Технические характеристики аппаратов типа Fibereizer и Contaminex приведены в табл. 4.2 и 4.3.

Таблица 4.2

Характеристика аппаратов типа Fibereizer

Параметры	Модель аппарата	
	F – 3	F – 4
Концентрация ММ, %	5÷6	5÷6
Эффективный объем, м ³	1,1	2,3
Пропускная способность, л/мин (диаметр отверстий – 10 мм, концентрация – 5 %)	8500	18000

Таблица 4.3

Характеристика аппаратов типа Contaminex CM

Параметры	Модель аппарата		
	CM10/11	CM20/21	CM30/31
Концентрация ММ, %	1÷5	1÷5	1÷4
Объем ванны, м ³	0,18	0,32	0,75

Пропускная способность, л/мин	6000÷7000	7000÷10000	11000÷15000
Напор, м вод.ст.	11÷12	14÷17	16÷19

Для дополнительного разволокнения пучков волокон макулатуры применяется также оборудование, в котором используется воздействие на них гидродинамических ударов. К такому оборудованию относятся энштиперы и пульсационные мельницы, зазор между роторными и статорными поверхностями которых устанавливается в пределах 0,5÷2,0 мм. Степень роспуска после обработки макулатурной массы в рассмотренных аппаратах может достигать около 95 %.

Системы роспуска макулатуры в непрерывном режиме при низких концентрациях

Роспуск 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 жгутоулавливатели, переливные ящики, автоматические клапаны для удаления тяжелых включений. Используют вертикальные и горизонтальные конструкции гидроразбивателей.

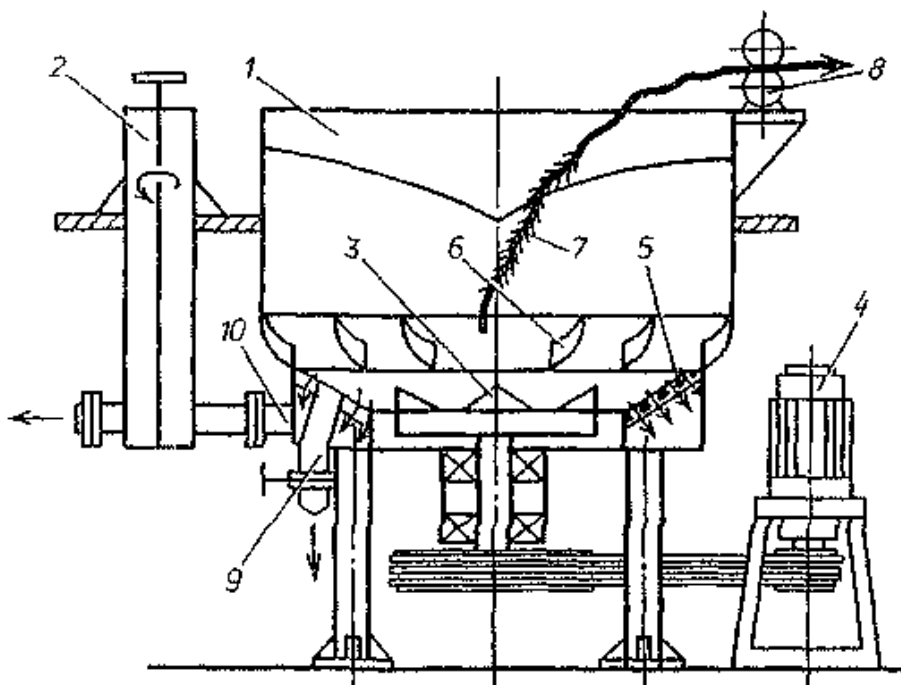


Рис. 4.3. Схема гидроразбивателя для роспуска макулатуры при низкой концентрации массы:

- 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

Как уже отмечалось, гидроразбиватели с горизонтальным расположением вала ротора чаще всего используют для низкокачественной макулатуры с высокой степенью загрязненности. Кипы не попадают непосредственно на крыльчатку ротора, поэтому он имеет большой срок службы. Возможно применение жгутоулавливателя.

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. Роспуск макулатуры осуществляется до того состояния, 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. Линейная скорость вращения ротора составляет 15÷20 м/с.

Существенную роль в эффективности работы гидроразбивателей играет выбор конструкции ротора. Выбранный ротор должен обеспечить, с одной стороны, интенсивный роспуск 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 быстрого забивания отверстий сита. Передняя кромка лопасти ротора обычно наклонена вниз и вперед, чтобы обеспечить роспуск и нагнетание массы через отверстия сита. Задняя кромка приподнята и создает всасывающий эффект, что позволяет освободить отверстия перфорации от лепестков и загрязнений. Геометрия ротора должна препятствовать возможности навивания на него тряпок, веревок и других загрязнений. Некоторые роторы оборудованы сменными износостойкими лопастями, обеспечивающими долговечность и низкие эксплуатационные затраты. Указанным требованиям отвечают роторы типа Reised «R», Shark pulpers, Vokes и др. (рис. 4.4).

Масса, прошедшая через отверстия экстракционной плиты, подается насосом во вторичный аппарат (вторичный гидроразбиватель), предназначенный для дополнительного роспуска мелких фрагментов

макулатуры, прошедших сквозь сито гидроразбивателя, а также для отделения оставшихся в массе посторонних включений с размерами большими, чем отверстия сита.

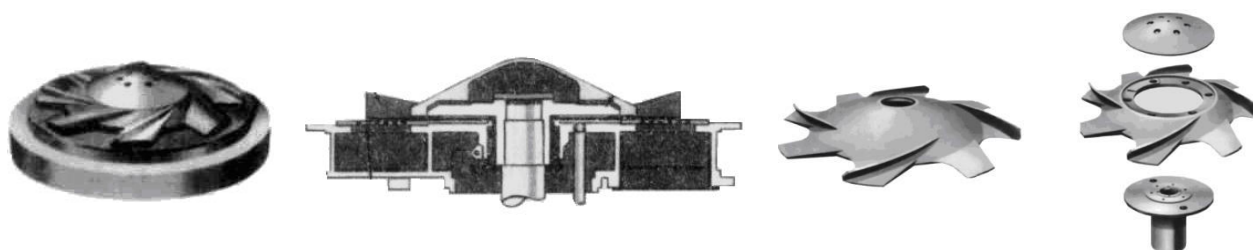


Рис. 4.4. Роторы дискового типа

В качестве второй ступени роспуска часто используют дополнительное оборудование. Так, на рис. 4.5 представлена принципиальная схема аппарата Fiberizer F-T.S фирмы Voith. Вследствие интенсивного воздействия ротора аппарата в его корпусе происходит дороспуск лепестков и пучков волокон макулатуры в зазоре между рабочими кромками лопастей ротора и дисковой ситовой пластиной. За счет наличия центробежных сил тяжелые частицы отбрасываются к стенкам аппарата и удаляются через специальный патрубок. Масса, прошедшая сквозь дисковое сито, направляется на дальнейшую обработку. Количество выводимых загрязнений обычно составляет $1,5 \div 2,5$ % от массы волокна.

Особенностью аппаратов для дороспуска макулатуры в данном случае (непрерывный режим) является отсутствие необходимости в разбавлении массы перед подачей в аппарат. Помимо Fiberizer F-T.S, в промышленности также себя хорошо зарекомендовали аппараты Contaminex CM и CMV, ГРС и др.

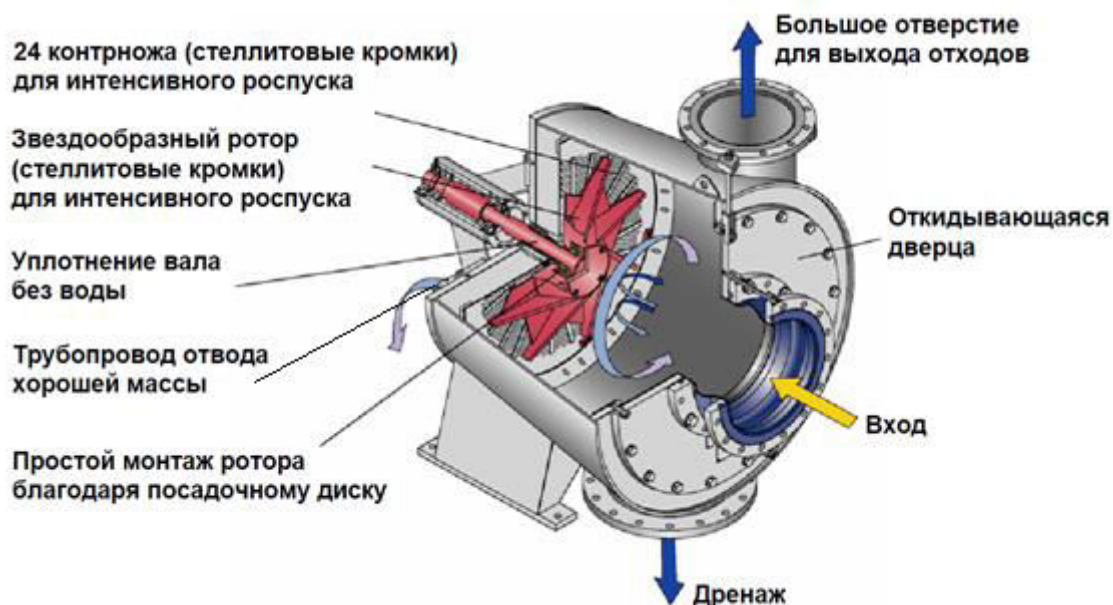


Рис. 4.5. Схема аппарата Fiberizer F-T.S для дороспуска

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), Celectpurge (Kadant) и др.

Система роспуска ATS-N фирмы Voith (рис. 4.6) - одна из самых популярных систем роспуска при низкой концентрации в 70-80 г/т. прошлого века. Транспортёр макулатуры в кипах или россыпью подается в ванну гидроразбивателя 1 для роспуска 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 жгутоулавливателем 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 ротора 7, происходит дороспуск массы в зазоре между рабочими кромками лопастей и ситовой пластиной 8. Легкие посторонние включения концентрируются в центре корпуса сепаратора и через специальное устройство периодически или непрерывно 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÷4,5 %. Режим работы непрерывный. Минимизация потерь волокна с отходами обеспечивается подачей промывной воды в накопитель отходов перед опорожнением грязевика гидроразбивателя, очистителя и на спрыски вибросортировки.

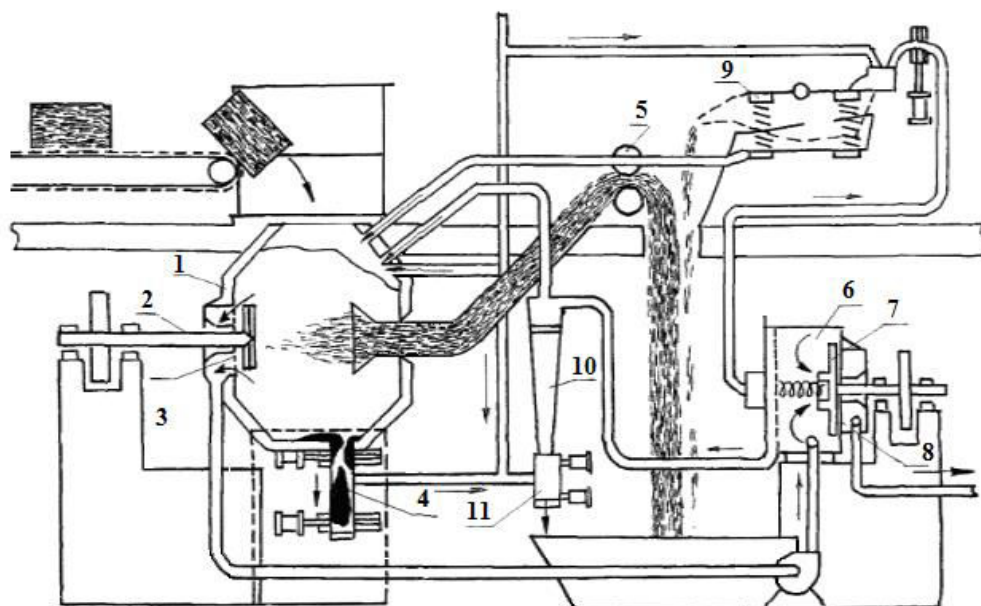


Рис. 4.6. Система роспуска ATS-N:

- 1 – горизонтальный гидроразбиватель; 2 – ротор; 3 – сито;
 4 – грязевик; 5 – жгутоулавливатель; 6 – турбосепаратор;
 7 – ротор; 8 – сито; 9 – вибросортировка для легких отходов;
 10 - очиститель; 11 – грязевик очистителя

Системы роспуска TwinPulp I и TwinPulp II компании Voith (рис. 4.7, табл.4.4) предназначены, в основном, для роспуска коричневой ящичной макулатуры (МС-5Б, за рубежом обозначается как OCC) 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 резаком. Гидроразбиватель снабжен устройством для улавливания тяжелых отходов Junkomat JM. Это цилиндрическая емкость, куда поступает часть массы, содержащая крупные тяжелые загрязнения, не прошедшие через сито перфорации. 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.

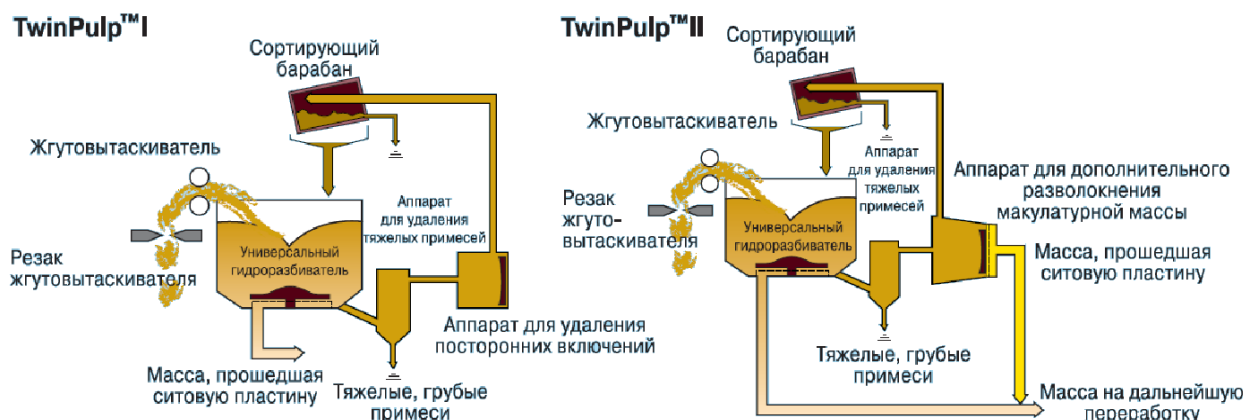


Рис. 4.7. Схемы систем роспуска TwinPulp I, II

Дороспуск осуществляется в специальном аппарате Contaminex CM (для TwinPulp II – Fiberizer), который снабжен 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 при концентрации 12÷18 % через задний торец барабана выгружаются в контейнер. Производительность таких систем составляет от 200 до 1000 т/сут, при концентрации массы 4,5 %. Объем ванны гидроразбивателя составляет от 25 до 130 м³.

Узел роспуска TwinPulp III отличается от предыдущих систем включением двух последовательно установленных дефлокуляторов типа Contaminex CM и Contaminex CMV. Дополнительный дефлокулятор периодического действия осуществляет разволокнение и промывку отходов, поступивших от первого дефлокулятора, с отделением мелких тяжелых включений. Волокнистая суспензия из него, пройдя через отверстия сита, возвращается в ванну гидроразбивателя. Количество отходов составляет 5÷7 %.

Таблица 4.4

Характеристики систем роспуска фирмы Voith

Параметры	Система роспуска			
	TwinPulp I	TwinPulp II	TwinPulp III	TwinDrum
УРЭ на роспуск, кВт·ч/т	10÷15	16÷17	22÷23	13÷16
УРЭ на дефлокуляцию (Fiberizer), кВт·ч/т	5	5	4	-
Диаметр отверстий сита, мм	20	20	20	8

Окончание табл. 4.4

Параметры	Система роспуска			
	TwinPulp I	TwinPulp II	TwinPulp III	TwinDrum

Производительность, т/ч	39	29,5	31	30
Концентрация массы, %	5	4,3	5,0÷5,5	25
Продолжительность разволокнения, мин	4÷5	6÷7	6÷7	17÷19
Температура, °С	50	53	52	38
Содержание нераспущенных фрагментов, %	21	14	14	3
Макулатурное сырье, марки МС	50 %-13В 50 %-6Б	100 %-13В	30 %-13В 70 %-6Б	60 %-13В 30 %-6Б 10 %-5Б

Узел роспуска типа OptiSlush TMC фирмы Valmet (ранее компания Metso Paper) состоит из вертикального гидроразбивателя непрерывного действия типа OptiSlush TMVC, дефлокулятора, барабанной сортировки для обработки отходов и жгутоулавливателя. Разволокнение макулатуры производится при концентрации массы менее 5 %. Конструкция ротора позволяет обеспечить высокоэффективное разволокнение макулатуры при низком УРЭ. Разволокненная масса подается на грубое сортирование, а тяжелые включения собираются в камере отходов, промываются от волокна и направляются на утилизацию. Грубодисперсные легкие включения и не разволокненные фрагменты макулатуры направляются на дополнительный роспуск в дефлокулятор. Отходы дефлокулятора обрабатываются на барабанной сортировке и удаляются из системы. Разволокненная масса возвращается в гидроразбиватель или, после камеры седиментации для отделения тяжелых примесей, соединяется с основным потоком ММ, поступающей на грубое сортирование.

В процессе роспуска при средних концентрациях часть массы, прошедшей сквозь отверстия, напрямую поступает в приемный бассейн, а часть массы отбирается из средней или нижней части ванны. Эта часть массы подается на дороспуск в специальный аппарат и только после обработки в нем поступает в приемный бассейн ММ. При этом происходит удаление из массы крупных посторонних включений, что снижает скорость процесса засорения ими ванны гидроразбивателя и, тем самым, сокращает время простоев гидроразбивателя.

В настоящее время разрабатываются и применяются много различных систем роспуска макулатуры при низкой и средней концентрации массы, однако принцип их действия мало отличается от рассмотренных.

Системы роспуска макулатуры в периодическом режиме при средних и высоких концентрациях

Роспуск макулатуры при средней (6÷12 %) и высокой (12÷18 %) концентрации массы производят преимущественно в периодическом режиме. Основными достоинствами такого роспуска являются значительно меньшее измельчение посторонних включений и более низкий УРЭ, по сравнению с роспуском в непрерывном режиме при низких концентрациях. Особенно заметная экономия УРЭ достигается в случае, если продолжительность заполнения и опорожнения ванны гидроразбивателя минимальна. Однако при этом предъявляются повышенные требования к точности дозирования загружаемого материала.

Роспуск при увеличении концентрации массы до 12 % стал возможным только при изменении конструкции ротора, с приданием ему винтообразной формы (рис. 4.8а), а при концентрации до 18 % - геликоидальной формы (рис. 4.8б). Геликоидальная форма ротора снижает опасность наматывания загрязнений на него.

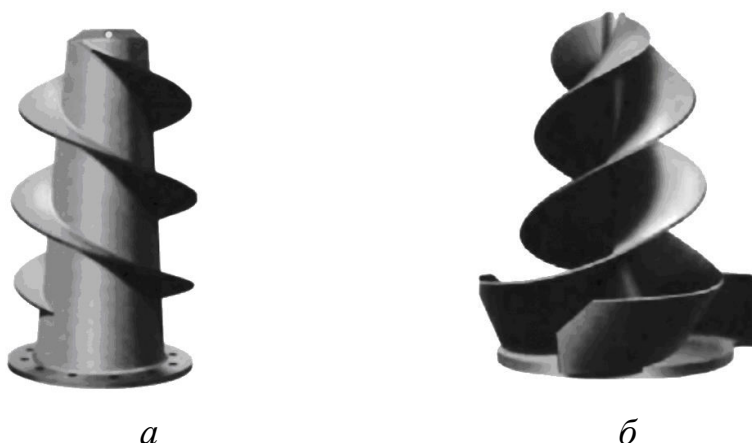


Рис. 4.8. Конструкции роторов для роспуска макулатуры при средних и высоких концентрациях:

а - Mid-Con; б - Helico

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 гидроразбивателях, осуществляющих непрерывный режим роспуска, максимальная интенсивность процесса обеспечивается благодаря высокой линейной скорости вращения ротора (15÷20 м/с).

Установлено, что увеличение концентрации массы в гидроразбивателе с 4 % до 7÷8 %, при прочих равных условиях, позволяет снизить удельный расход энергии на 30÷50 % и обеспечивает повышение производительности роспуска почти в два раза. При этом подразумевается обязательное изменение конструкции ротора.

При установке винтового или геликоидального ротора используют более медленное вращение. Движение массы в рабочем объеме гидроразбивателя преимущественно вертикальное, а на дне – горизонтальное (рис. 4.9). Между потоками возникает трение (градиент сдвига), обеспечивающее ускорение процесса роспуска.

Конструкции роторов для работы при повышенных концентрациях массы постоянно совершенствуются. В результате появилась возможность распустать ММ при концентрации до 18 % и выше. Установлено, что градиент сдвига (трение) между фрагментами макулатуры и ротором, а также фрагментами макулатуры между собой определяет интенсивность роспуска макулатуры.

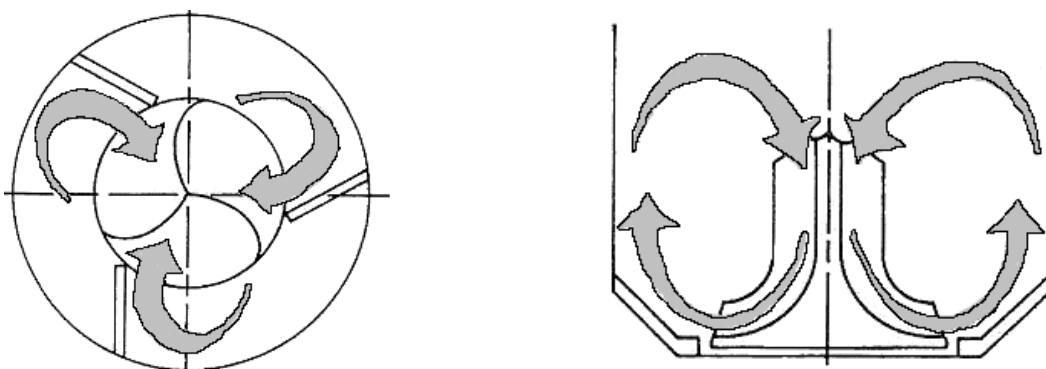


Рис. 4.9. Направление основных потоков массы высокой концентрации в гидроразбивателе

Невысокая скорость вращения ротора особенно благоприятно сказывается в случае подготовки массы к облагораживанию за счет размягчения связующих компонентов краски и её отделения 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.

Самым важным элементом гидроразбивателя для роспуска массы при высокой концентрации является ротор, возможные конфигурации которого представлены на рис. 4.8. Внешняя рабочая зона ротора зависит от числа лопастей (заходов) винтовой поверхности, их наклона к горизонтали и площади поверхности, которой лопасть ротора контактирует с массой в течение одного оборота. Способность винтового и геликоидального ротора к интенсивному роспуску макулатуры при высокой концентрации массы во многом зависит от геометрии рабочей поверхности лопастей и реологических свойств волокнистой суспензии. Высокая степень роспуска макулатуры допускает возможность исключения стадии дополнительного роспуска массы.

Периодический процесс роспуска в гидроразбивателе при высоких концентрациях массы используется, когда требуется высокая степень роспуска макулатуры или дополнительное время выдерживания массы для обработки ее химикатами при повышенной температуре. Например, в случае последующего облагораживания массы при переработке влагостойких видов макулатуры.

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 составляет 30÷45 мин и зависит от вида макулатуры. Схема такого гидроразбивателя показана на рис. 4.10.

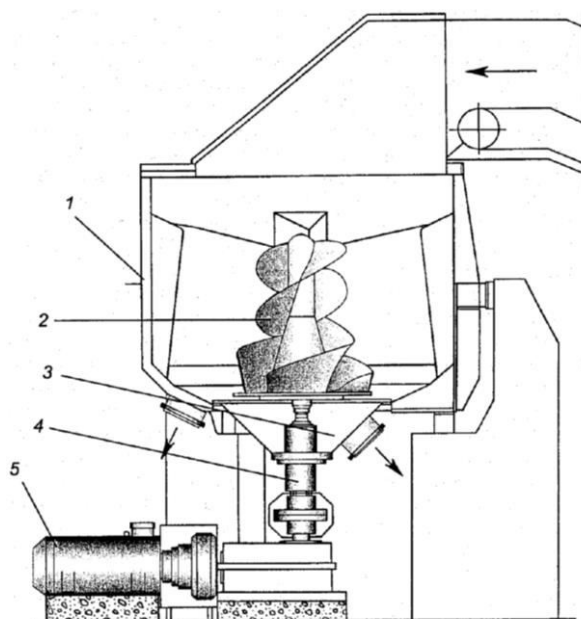


Рис. 4.10. Схема гидроразбивателя для роспуска макулатуры при высокой концентрации массы:
1 - ванна; 2 - ротор; 3 - подроторная зона; 4 - муфта; 5 – привод

Система роспуска PreClean компании Voith (рис. 4.11) 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 рис. 4.11 не показан).

Система роспуска типа OptiSlush TMVN фирмы Valmet включает вертикальный гидроразбиватель периодического действия типа TMVN и барабанную сортировку для обработки отходов типа TMDS. Роспуск макулатуры производится при концентрации массы 13÷17 %. Применение винтового ротора обеспечивает эффективный роспуск макулатуры без измельчения посторонних включений.

В зависимости от марки используемой макулатуры гидроразбиватель данного типа может иметь или не иметь сортирующее сито. В последнем

случае он оснащается специальной камерой для отделения тяжелых отходов. Разволокненная масса, очищенная от крупных тяжелых включений, подается в дефлокулятор типа TMSF для дополнительного разволокнения и отделения легких и тяжелых включений. Разволокненная масса подается на грубое сортирование, тяжелые включения удаляются из дефлокулятора и направляются на утилизацию. Грубодисперсные легкие включения ММ, отделенные в дефлокуляторе, обезвоживаются на барабанной сортировке и удаляются из системы.

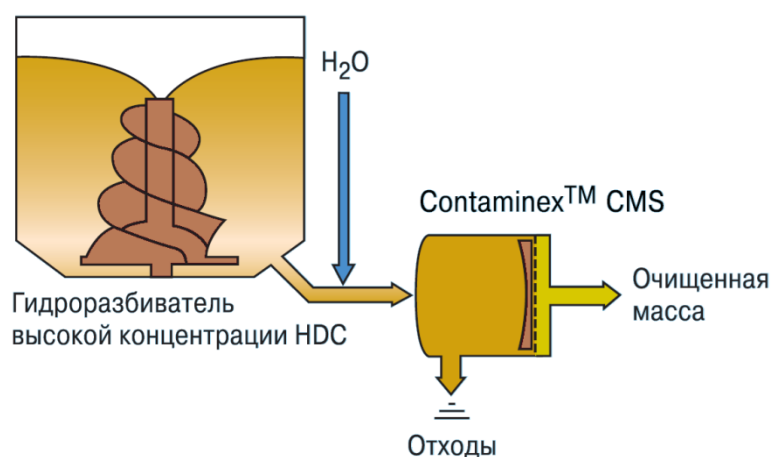


Рис. 4.11. Схема системы роспуска PreClean при высокой концентрации массы

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

1) разбавление всего объема массы до концентрации 4÷6 % с последующей откачкой ее насосами. Недостаток этого способа – необходимость увеличения размеров ванны для возможности соответствующего разбавления;

2) разбавление массы только в зоне сита под ротором с одновременной откачкой массы из этой же зоны. Оставшиеся на сите отходы удаляются специальной скребковой лопастью в грязевые карманы гидроразбивателя. Недостаток этого метода – проблема точного дозирования воды на разбавление;

3) опорожнение через большое отверстие без предварительного разбавления в сортирующий барабан (рис. 4.14). Для обеспечения выгрузки используют гидроразбиватель с наклонным днищем. После опорожнения гидроразбивателя ванну промывают водой.

Система роспуска Helipoire компании Kadant Lamort (рис. 4.12) 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 для роспуска массы при высокой концентрации. Режим работы гидроразбивателя - периодический. Гидроразбиватель не имеет сита, поэтому с целью удаления неповрежденных посторонних включений его комплектуют отделителем типа Poire (Dumping Poire), который оснащен вращающимся ротором (крыльчаткой) и вертикальной ситовой пластиной. Распушенная 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 со 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 Poire изолирован от гидроразбивателя. Поэтому рабочие стадии не связаны с общей продолжительностью цикла роспуска. Это дает возможность использовать гидроразбиватель с максимальной производительностью.

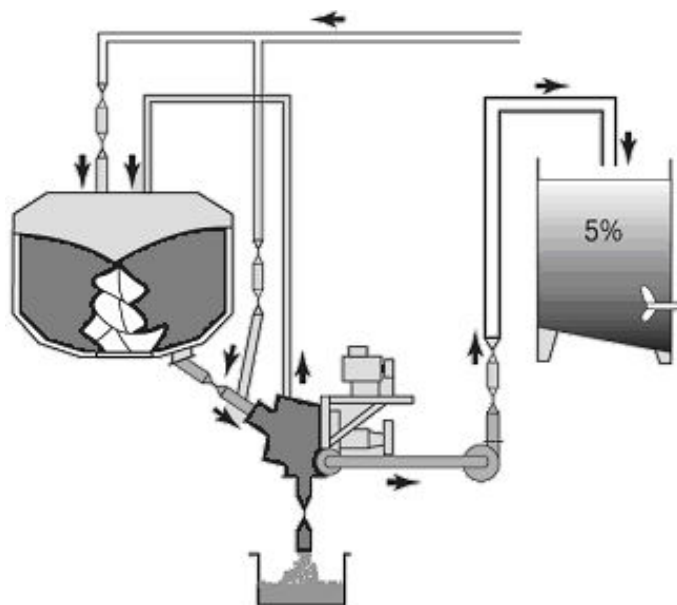


Рис. 4.12. Схема системы роспуска Helipoire для работы в периодическом режиме

Система роспуска PreClean II компании Voith (рис. 4.13) при высокой концентрации массы применяется для разволокнения белой и запечатанной

макулатуры, предназначенной для облагораживания. Она позволяет получить хорошее отделение печатной краски за счет набухания волокон и трения (градиента сдвига), возникающего между ними. 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.

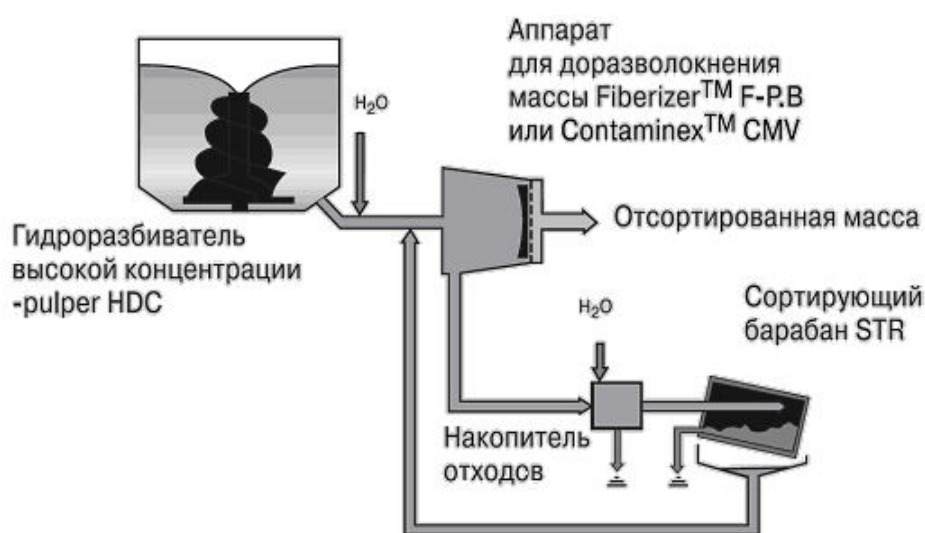


Рис. 4.13. Схема системы роспуска PreClean II

Из системы выгрузки, после 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 дороспуска не требуется (масса достигает высокой степени роспуска в гидроразбивателе), то вместо аппарата Fiberizer применяется аппарат Contaminex CMV, предназначенный только для удаления посторонних включений из макулатурной массы.

Помимо рассмотренных систем роспуска макулатуры при высоких концентрациях массы разработаны и эксплуатируются различные системы, некоторые из которых описаны ниже.

Система роспуска макулатуры в гидроразбивателе с наклонным днищем

Известна система роспуска при высокой концентрации в гидроразбивателе с наклонным днищем в комплекте с сортирующим

барabanом (рис. 4.14). Данная система позволяет легко распускать невлагостойкую макулатуру в непрерывном режиме.

Распушенная масса проходит через перфорированное днище гидроразбивателя, разбавляется водой и подается в сортирующий барабан. Периодически, по мере загрязнения перфорации днища отходами, открывается габаритная задвижка, и отходы вместе с массой разгружаются в сортировочный барабан, где они разбавляются и промываются спрысковой водой. Волокнистая масса проходит через перфорацию барабана в приемный бассейн, а твердые отходы выгружаются на ленточный конвейер.

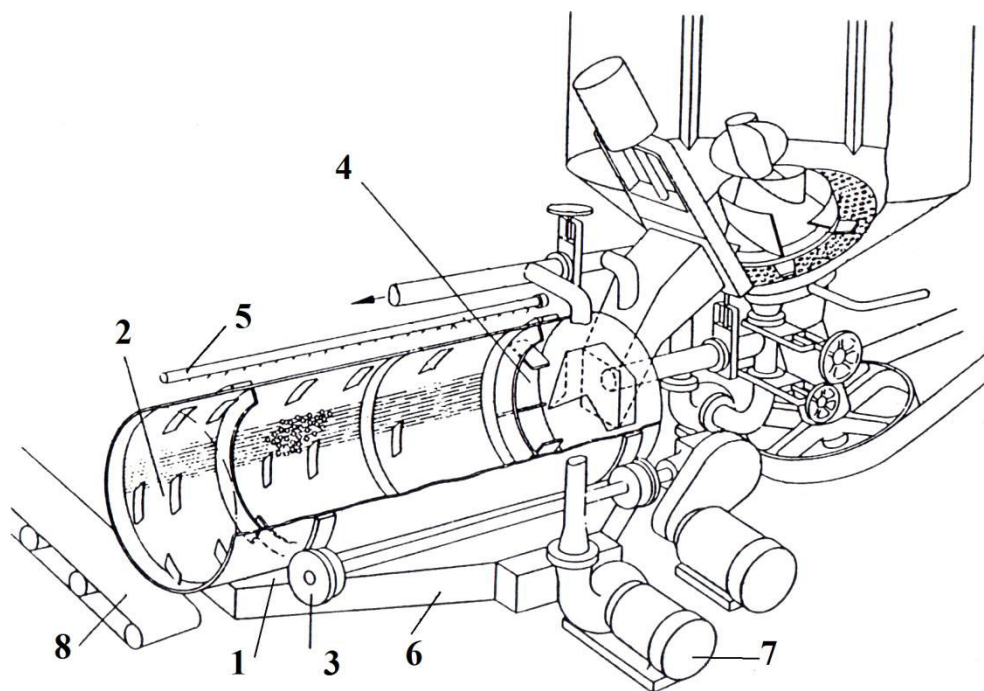


Рис. 4.14. Система роспуска в гидроразбивателе с наклонным днищем:
1 – сортирующий барабан; 2 – перемешивающие лопасти;
3 – поддерживающие вращающиеся катки;
4 – загрузочная секция барабана; 5 – спрысковая труба;
6 – приемный бассейн для массы;
7 – насос для откачки разбавленной массы;
8 – ленточный конвейер для отходов

Система роспуска макулатуры VI-Pulper

Концепция роспуска VI-Pulper (рис. 4.15) заключается в том, что в гидроразбивателе с плоским ротором и ситом для возможности перехода на работу при высоких концентрациях массы смонтировано устройство, которое вращает 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 витках шнека. Они захватывают большие сухие

листы макулатуры и увлекают их внутрь ванны, где сначала происходит их увлажнение. В конечной стадии перемещения вниз листы размокшей макулатуры приходят в соприкосновение с быстро вращающимся плоским ротором на дне ванны гидроразбивателя. Здесь происходит их разрушение и одновременно изменение направления движения на противоположное. Таким образом осуществляется циркуляция массы в ванне и постепенный роспуск макулатуры. Распущенная масса проходит через ситовую перегородку в нижней части ванны гидроразбивателя.

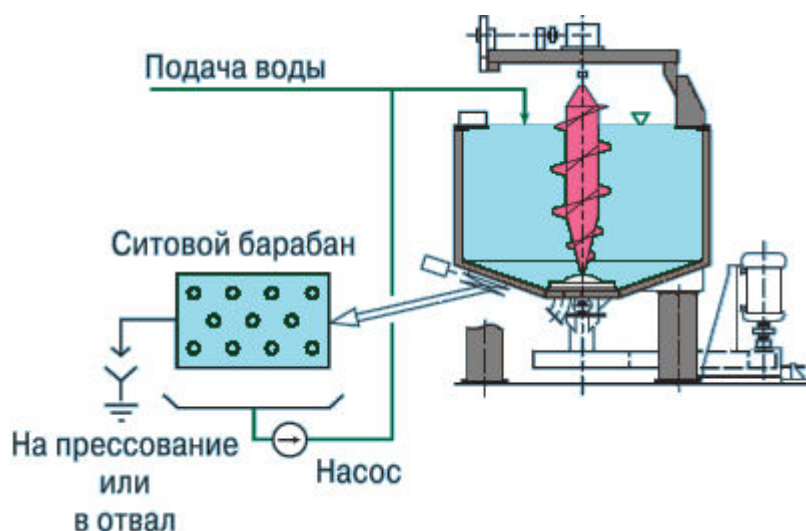


Рис. 4.15. Схема системы роспуска VI-Pulper

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 смешивание массы с водой и хорошая очистка сита. Для ускорения процесса опорожнения гидроразбивателя 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

Со второй половины 1990-х гг. все большее распространение стали получать системы, совмещающие непрерывный щадящий роспуск и грубое сортирование получаемой в результате роспуска ММ. Это системы, базирующиеся на использовании аппаратов, называемых «барабанный гидроразбиватель». Конструкции таких аппаратов, выпускаемых основными производителями (фирмы Valmet, Andritz, Voith и др.), имеют много общего. В их основе – вращающийся горизонтальный, установленный под небольшим уклоном на специальных мощных резиновых катках стальной барабан, разделенный на две или три секции.

Впервые такой способ роспуска был предложен фирмой Альстрем. Соответствующий аппарат был назван FiberFlow (рис. 4.16).

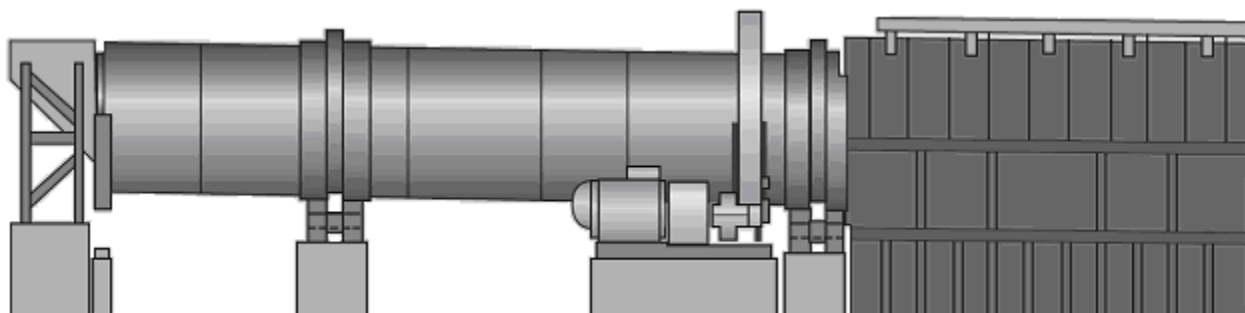


Рис. 4.16. Барабанный гидроразбиватель FiberFlow

Макулатура подается в загрузочный торец барабана с помощью транспортера. Скорость движения транспортера соответствует требуемой производительности гидроразбивателя и обычно непрерывно контролируется взвешивающим устройством. Вода и растворы химикатов в нужных количествах также подаются через загрузочный торец барабана.

Схема работы барабанного гидроразбивателя представлена на рис. 4.17.

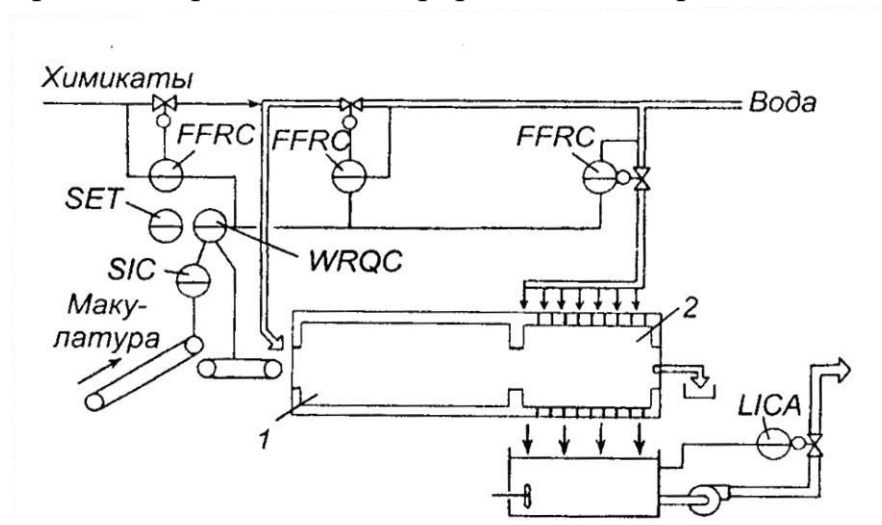


Рис. 4.17. Принципиальная схема работы установки FiberFlow Drum: (FFRC – регистрация и регулирование соотношения расходов; LICA – регулятор уровня; SET – дистанционное управление частотой вращения; SIC – регулятор частоты вращения; WRQC – регистрация расхода и регулирования концентрации массы);

1 – секция роспуска; 2 – секция разбавления и промывки волокна

Первая, закрытая секция барабана по ходу подачи макулатуры является зоной роспуска, где вначале происходит смешение и пропитка макулатуры водой и растворами химикатов до концентрации 14÷18 %. Она составляет около 2/3 общей длины аппарата. Эта зона работает как отдельный реактор.

Увлажненная макулатура подхватывается специальными лопастями, закрепленными на внутренней поверхности вдоль барабана на некотором расстоянии друг от друга, и затем падает вниз с этих лопастей на твердую поверхность барабана. При этом бумага (картон) испытывает мягкие, но достаточно эффективные усилия сдвига, приводящие к ее разделению на волокна без измельчения посторонних включений. К этому добавляется эффект трения, когда густая масса перемешивается, переваливаясь под действием вращения барабана. При такой обработке печатная краска, различные инородные включения и частицы ламинирующих покрытий отделяются от волокон массы. Благодаря небольшому наклону (0,5÷1,5°), масса медленно перемещается в сторону разгрузки вдоль барабана при его вращении.

После зоны роспуска макулатура поступает во вторую секцию, т.е. в зону сортирования, где обечайка барабана перфорирована круглыми отверстиями диаметром 6÷9 мм. Здесь масса разбавляется водой до концентрации 3÷4 % с помощью спрысковых труб, расположенных над второй секции барабана под легким неподвижным кожухом. Вода, подаваемая снаружи барабана, предохраняет его перфорацию от забивания и проникает внутрь него. При этом материалы, который могли бы закупорить отверстия, вымываются обратно внутрь барабана.

В процессе промывки массы, реализуемой в этой секции, происходит разделение волокнистой массы и отходов. Непрерывное сортирование массы в барабане допускает использование макулатуры с высоким содержанием отходов. Отсортированная масса проходит сквозь перфорацию и аккумулируется в бассейне с мешалкой, расположенном под барабаном. Она содержит только мелкие включения, которые могут проходить вместе с волокном. Отходы этого грубого сортирования удаляются из потока после их выхода из разгрузочного конца барабана с помощью конвейера.

Обычно продолжительность обработки макулатуры в барабане составляет 20÷25 мин. Хороший результат роспуска получается тогда, когда макулатура увлажняется в первой секции барабана за срок не менее 5 мин. Это условие выполнимо в случае обработки макулатуры из использованных газет, писчих и других видов невлагопрочных бумаг. Макулатура из влагостойкой бумаги мало пригодна для роспуска в таком барабане.

Производительность барабанных гидроразбивателей разных фирм колеблется по минимальному значению от 60 до 500 т/сут, а по максимальному составляет 1500÷1700 т/сут по в.с. волокну; диаметр барабана и его длина в зависимости от производительности – соответственно 2÷4 и 10÷40 м; скорость вращения барабана 10÷14 об/мин; общая установленная мощность электродвигателей – от 55 до 1600 кВт. Регулируя скорость вращения барабана можно менять производительность и получать ММ различного качества.

Основные преимущества барабанных гидроразбивателей:

1) **отсутствие «мертвых зон»**, имеющих место в ваннах традиционных гидроразбивателей, т.е. зон, где масса не испытывает гидродинамических воздействий и не подвергается роспуску;

2) **повышенное качество ММ**. Благодаря эффективному сортированию и отсутствию режущих и разрывающих усилий, различные загрязнения, такие как пластик, тряпье, фольга и пластиковые покрытия, отделяются и удаляются в виде крупных кусков;

3) **значительная экономия энергии**. УРЭ составляет лишь 15÷20 кВт·ч/т, так как нет затрат энергии на избыточное перемешивание или разрушение макулатуры и инородных включений. Энергия расходуется только на вращение барабана;

4) **экономия на качестве макулатуры**. Можно распускать на волокна более низкие марки макулатуры без снижения выхода по сравнению с макулатурой более высоких марок. Возможность эффективной переработки в этих гидроразбивателях несортированной макулатуры позволяет экономить затраты на ее сортирование;

5) **непрерывно действующая и надежная система роспуска**. Простая и надежная конструкция с минимальным числом изнашивающихся узлов и деталей обеспечивает низкую потребность в запчастях и сокращает длительность простоев для текущего ремонта. Кроме того, существенно облегчаются последующие процессы очистки и сортирования ММ благодаря эффективному удалению значительной части отходов на стадии роспуска;

6) **уменьшение затрат на дополнительное оборудование**. Проточный барабан для роспуска макулатуры – эффективная комбинация функций роспуска и грубого сортирования массы, приводящая к снижению нагрузки по отходам на последующее оборудование технологической схемы;

7) **отделение типографской краски и липких загрязнений от волокна**. Технология роспуска при высокой концентрации способствует отделению краски и липких веществ от волокна за счет набухания волокон и интенсивного трения их друг о друга в массе.

Недостатками барабанных гидроразбивателей являются значительные занимаемые производственные площади, а также возможность забивания отверстий барабана мелкими частицами пластика и металлических включений.

Кроме того, имеется еще ряд проблем при использовании барабанных гидроразбивателей. Так, при роспуске неоднородных по влагопрочности и размерам фрагментов макулатуры эффективность процесса снижается. В связи с этим желательно распустать предварительно измельченную и примерно одинаковую по влагопрочности макулатуру.

При роспуске может происходить недостаточное отделение кусков проволоки, скрепок, канцелярских зажимов и других загрязнений, на которые могут навиваться волокна. Так, скрепки и куски проволоки свойлачиваются с бумагой в так называемые «коконы» и попадают в технологический поток. Коконны забивают отверстия сортирующей секции барабана.

Во многих случаях в технологическую схему роспуска дополнительно включают дисковые сортировки для грубой обработки массы, например, сеточный Contaminex или турбосепаратор (Fiberizer, ГРС, ТС-60). Хотя такие машины и требуют дополнительного расхода энергии, они эффективно облегчают работу последующих аппаратов 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 роспуска книжно-журнальных и коричневых видов макулатуры и картона, а также макулатуры из материалов для упаковки жидких продуктов. Установка состоит из двух каскадно расположенных горизонтальных барабанов с зоной разделения. Первый барабан, предназначенный для роспуска макулатуры, имеет диаметр 3,5 м и длину 7÷15 м производит роспуск при концентрации массы 20÷28 %. Скорость его вращения составляет 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 в зоне разделения 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÷24 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.

Преимуществом разделения зон роспуска и сортирования является эффективное разбавление массы водой в переходной камере между зонами, что способствует интенсификации промывки и обезвоживания отходов, выходящих из торцевой части сортирующего барабана. Кроме того, различная скорость вращения барабанов позволяет оптимизировать роспуск макулатуры

различных марок при сниженном УРЭ. Сравнение параметров и показателей эффективности разволокнения макулатуры при использовании систем фирмы Voith типа TwinPulp на базе традиционного гидроразбивателя и TwinDrum с использованием барабанного гидроразбивателя представлено в табл. 4.4.

Имеются также установки барабанного типа, назначение которых, помимо роспуска, 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 промывные воды из двух модулей по отдельности. Загрязненный фильтрат от первого модуля направляется на локальную очистку, что позволяет сделать замкнутым цикл водопотребления узла роспуска.

Возможна также отбелка волокна путем введения в массу соответствующих реагентов непосредственно в модули системы роспуска.

4.2.3. Технология роспуска с предварительным сухим измельчением макулатуры

Альтернативный путь интенсификации процесса роспуска макулатуры – это роспуск с предварительным сухим ее измельчением. На практике встречается два способа сухого измельчения бумажных материалов. В одном из них используют принцип резания ножевыми устройствами (шредерами). 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 (см. рис. 2.7). В них разрушение материала происходит, в основном, по слабым местам за счет выдергивания и разделения волокон. Исследования показывают, что фракционный состав по волокну, полученному путем такого измельчения макулатуры и путем роспуска ее в воде практически не различается.

Одновременно, при свободном ударе происходит отделение (отрыв) от бумаги-основы пленочных покрытий, встречающихся в макулатуре, например, скотча и полиэтилена при измельчении молочных пакетов. Дополнительным позитивным моментом является то, что создается возможность отделения посторонних минеральных и металлических включений при транспортировке измельченного материала в воздушном потоке сепаратора. О возможности сортирования сухой измельченной макулатуры см. в разд. 2.2.

Степень сухого измельчения макулатуры диктуется дальнейшей технологией переработки, но, по всей видимости, она должна

соответствовать такому уровню, чтобы после смешения с водой массу можно было бы перекачивать насосом к аппаратам для дальнейшей обработки. В этом случае при подаче в гидроразбиватель предварительно измельченной макулатуры энергия затрачивается практически только на смешение ее с водой. Как показывают исследования, на сухое измельчение расходуется в $1,5 \div 2,0$ раза меньше УРЭ, чем на аналогичный роспуск в водной среде.

4.3. ПУТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ РОСПУСКА МАКУЛАТУРЫ И СОКРАЩЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ

Интенсификация процесса роспуска макулатуры должна сопровождаться сокращением удельного расхода энергии. Он определяется как отношение установленной мощности привода к производительности аппарата по воздушно-сухой макулатуре (кВт·ч/т). Производительность гидроразбивателя – это массовое количество макулатуры, обработанной до определенной степени роспуска в единицу времени работы аппарата.

Устанавливаемую мощность 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/м^3 ; n - частота вращения ротора, с^{-1} ; d - диаметр ротора, м.

Исследования показывают, что при развитом турбулентном движении массы в ванне гидроразбивателя ($Re > 10^4$) критерий мощности N_p не зависит от величины Re (автомодельный режим) и для различных роторов находится в пределах $(2 \div 3) \cdot 10^{-4}$. 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 .

В производственных условиях используется технология доволоknения нераспушенных лепестков и фрагментов макулатуры в специальных дополнительных аппаратах. Это позволило сократить продолжительность предварительного роспуска и одновременно УРЭ. Примерное распределение удельных расходов энергии при роспуске составляет:

- 1) в гидроразбивателе (при концентрации массы $3 \div 6$ %) от 18 до 40 кВт·ч/т;

2) в аппаратах доволокнения (при концентрации массы $3 \div 6 \%$) от 16 до 20 кВт·ч/т.

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

- 1) концентрация распускаемой массы;
- 2) тип и конструкция аппаратов (размеры и конфигурация ванны, диаметр отверстий перфорации сита, наличие направляющих устройств и т.п.);
- 3) тип и размеры ротора гидроразбивателя;
- 4) тип и конструкция аппарата для доволокнения;
- 5) вид распускаемой макулатуры;
- 6) степень загрязненности макулатуры;
- 7) наличие и вид химических добавок;
- 8) pH и температурный режим распуска.

4.3.1. Выбор концентрации распускаемой массы

Установлено, что интенсивный распуск макулатуры при любых концентрациях массы происходит обычно за первые 5÷10 мин процесса. Затем скорость распуска резко снижается, производительность уменьшается, а УРЭ возрастает пропорционально увеличению реальной продолжительности процесса распуска макулатуры до заданной степени (рис. 4.18). На этом же рисунке отражено изменение УРЭ в зависимости от концентрации массы в гидроразбивателе.

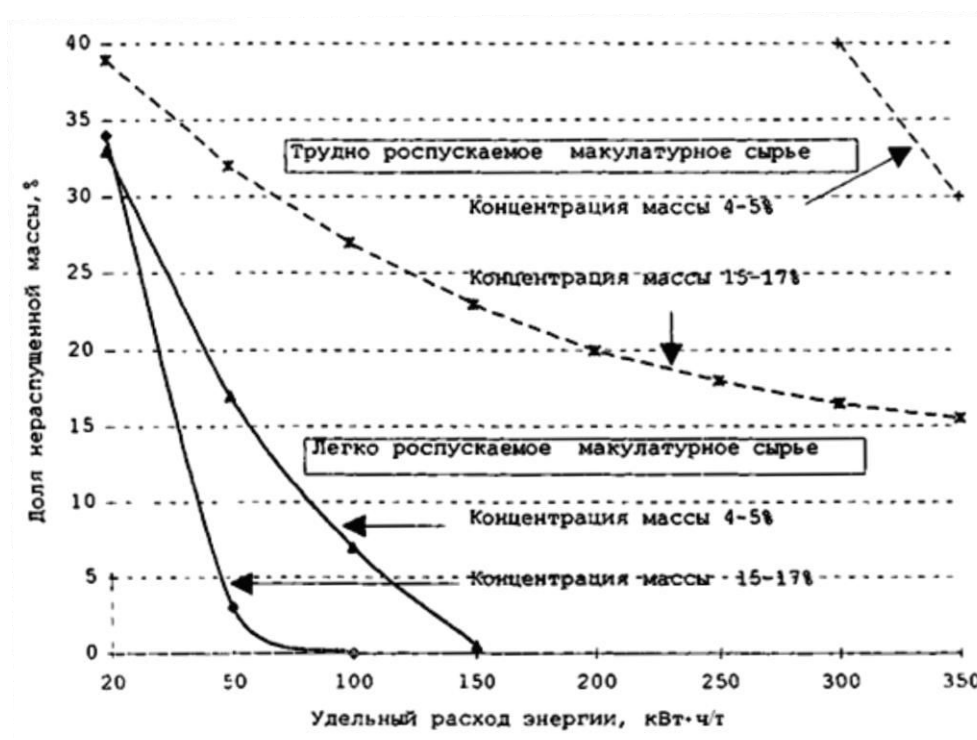


Рис. 4.18. Влияние концентрации массы и вида волокна на удельный расход энергии при распуске

4.3.2. Тип и конструкция аппаратов для роспуска

Среди группы факторов, характеризующих конструктивные особенности аппаратов для роспуска, наибольшее влияние на интенсивность роспуска оказывают тип и форма ротора гидроразбивателя. Испытания различных типов роторов показали, что для низких концентраций массы целесообразно использование плоских дисковых роторов с крыльчаткой (см. рис. 4.4). Это роторы типа Reised «R», Shark waste paper pulpers, Vokes, Powr-Savr, Tri-dune и т.п. Для средних концентраций массы – роторы винтовой формы (рис.4.8а). Это роторы типа HDS, Mid-Con и др. Для массы высокой концентрации - роторы с геликоидальной формой поверхности (рис. 4.8б) 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.

Интенсификация процесса роспуска 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 роспускаемый материал.

Интенсификацию процесса роспуска может обеспечить гидроразбиватель 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. В результате ускоряется процесс намокания и роспуска макулатуры. Аналогично протекает процесс роспуска в гидроразбивателе с наклонным днищем ванны и осью ротора. Дополнительное преимущество гидроразбивателей с косым днищем – облегчение очистки сита и выгрузки содержимого из ванны.

Размеры отверстий донного сита гидроразбивателя оказывают заметное влияние на производительность роспуска. Размером отверстий фактически задается степень роспуска макулатуры. В свою очередь, требуемая степень роспуска в гидроразбивателе определяется отсутствием или наличием в схеме аппаратов для доволоknения. Таким образом, выбор размеров отверстий перфорации сита гидроразбивателя сводится к решению задачи оптимизации, цель которой – максимальная производительность при минимальном УРЭ на роспуск макулатуры. Практически размеры отверстий колеблются в диапазоне от 5 до 20 мм.

Заметного повышения производительности роспуска и снижения УРЭ можно добиться за счет переоборудования гидроразбивателей обычной конструкции, позволяющего переводить их на работу при повышенных концентрациях массы. В этих целях, помимо изменения конструкции ротора, можно использовать, например, систему VI-Pulper (см. п. 4.2.1). Результатом

такого переоборудования является до 30 % экономии затрат на обслуживание аппарата и до 100 % увеличения производительности.

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

- 1) массу исходной макулатуры, подаваемой в систему роспуска;
- 2) влажность подаваемой макулатуры;
- 3) концентрацию массы в аппарате по мере роспуска;
- 4) продолжительность отдельных этапов разволокнения (при периодическом режиме работы);
- 5) уровень массы в ванне.

Преимущества использования для роспуска макулатуры барабанных гидроразбивателей рассмотрены в п. 4.2.2.

4.3.3. Технологические факторы роспуска

Среди технологических факторов, позволяющих интенсифицировать процесс роспуска, в первую очередь следует отметить концентрацию распускаемой массы. Уже увеличение концентрации массы в гидроразбивателе от традиционных 4,0 % до 7,0÷8,0 %, при прочих равных условиях, может дать снижение УРЭ на 30÷40 % и обеспечить повышение производительности в два раза. Следует, однако, помнить, что изменение (повышение) концентрации роспуска требует установки специального ротора.

Исследования показывают, что для получения одинаковой степени роспуска макулатуры одной марки, равной 60 %, при использовании плоского ротора, при концентрации массы 5 %, УРЭ 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 %, УРЭ составляет 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. разд. 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 УРЭ. Однако следует помнить, что для роспуска используется обратная вода, подогрев которой требует дополнительных затрат энергии. Кроме того, повышение температуры массы негативно влияет на последующую гидратацию вторичных волокон в процессе размола.

К технологическим факторам относится также уровень рН массы и использование для повышения эффективности роспуска различных ХВВ, сведения о которых приведены в разд. 4.1.

4.3.4. Технология роспуска с предварительным сухим измельчением

Помимо указанных мер, имеется альтернативный путь интенсификации процесса роспуска макулатуры. Это роспуск 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:

- 1) необходимость периодической заточки и замены ножевых элементов;
- 2) разрезание (укорочение) части волокон макулатуры;
- 3) 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 отделяются посторонние минеральные и металлические включения при транспортировке измельченного материала в воздушном потоке. О возможности сортирования сухой измельченной макулатуры см. п. 2.2.

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 роспуска. 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 удельной энергии, чем на аналогичный роспуск в вод-ной среде.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Дьякова Е.В., Дулькин Д.А., Комаров В.И. Переработка макулатуры: учеб. пособие. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2009. – 172 с.

Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Комаров В.И. Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. – 1118 с.

Пузырев С.С., Виролайнен Э.В. и др. Технология целлюлозно-бумажного производства. Сырье и производство полуфабрикатов. Ч. 3. Производство полуфабрикатов. – СПб.: Политехника, 2004. – 316 с.

Комаров В.И., Галкина Л.А., Лаптев Л.Н. и др. Технология целлюлозно-бумажного производства. Т.2. Производство бумаги и картона. Ч.1. Технология производства и обработки бумаги и картона. - СПб.: Политехника, 2012. - 420 с.

Пузырев С.С., Тюрин Е.Т. и др. Переработка вторичного волокнистого сырья. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – 467 с.

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

Яблочкин Н.И., Комаров В.И., Ковернинский И.Н. Макулатура в технологии картона. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. – 252 с.

Пузырев С.С., Ковалева О.П., Цветкова Г.Н. Переработка макулатуры: учеб. пособие. – СПб.: СПбГЛТА, 2003. – 44 с.

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

Ванчаков М.В., Дубовый В.К. и др. Технология и оборудование для переработки макулатуры: учеб. пособие/ СПбГТУРП. – СПб., 2010. Ч. I и II. – 185 с.

Миловидова Л.А., Севастьянова Ю.В., Комарова Г.В. Сортирование и очистка целлюлозы. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2009. – 76 с.

Дулькин Д.А., Спиридонов В.А. и др. Свойства целлюлозных волокон и их влияние на физико-механические характеристики бумаги. – Архангельск: САФУ, 2011.–176 с.

Дубовый В.К., Гурьев А.В и др. Лабораторный практикум по технологии бумаги и картона: учеб. пособие/ под ред. проф. В.И. Комарова. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – 230 с.

Теория и конструкция машин и оборудования отрасли. Бумаго- и картоноделательные машины: учеб. пособие/ под ред. В.С. Курова, Н.Н. Кокушина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. –588 с.

Фляте Д.М. Свойства бумаги. – Изд.4-е, испр. и доп. – СПб.: НПО «Мир и семья-95», ООО «Интерлайн», 1999– 384 с.

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

Хованский В.В., Дубовый В.К., Кейзер П.М. Применение химических вспомогательных веществ в производстве бумаги и картона: учеб. пособие/ СПбГТУРП. – СПб., 2013. – 154 с.

Дулькин Д.А., Спиридонов В.А. и др. Использование природной воды в производстве тарного картона из макулатуры. – Архангельск: ИПЦ САФУ, 2012. – 242 с.

Южанинова Л.А., Дулькин Д.А. и др. Особенности технологии бумаги-основы для гофрирования из макулатуры и требования к ее потребительским свойствам. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. – 102 с.

Гаузе А.А., Гончаров В.Н., Кугушев И.Д. Оборудование для подготовки бумажной массы: учебник для вузов. – М.: Экология, 1992. – 352 с.

Технология целлюлозно-бумажного производства. Т.1.Ч. 2. Сырье и производство полуфабрикатов: справочные материалы. – СПб.: Политехника, 2003. – 633 с.

Дубовый В.К., Смолин А.С. и др. Технология гофрокартона: учеб. пособие. В 3 частях/СПбГТУРП. – СПб., 2014. – 146 с.

ГОСТ 10700–1997. Макулатура бумажная и картонная. Технические условия / Межгосударственный стандарт. - Минск, 2002. – 12 с.

Papermaking Science and Technology. TAPPI PRESS. Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End. 2000. Vol. 8. – 693 p.

Papermaking Science and Technology. TAPPI PRESS. Papermaking Part 2, Drying. 2000. Vol. 9. – 583 p.

Papermaking Science and Technology. Fapet Oy, Helsinki, Finland. Papermaking Part 3, Finishing. 2000. Vol. 10. – 361 p.

Recycled Fiber and Leinking. Paper-marking Science and Technology // Book 7, Helsinki, Finland, 2000. – 635 p.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Макулатура как волокнистое сырье	3
1.1. Определение термина «макулатура». Её роль в общем балансе волокнистого сырья.....	3
1.2. Ассортимент картонно-бумажной продукции, выпускаемой с применением макулатуры. Структура цены на макулатуру.....	7
1.3. Преимущества и недостатки использования макулатурного сырья	9
1.4. Виды, марки и входной контроль макулатуры	13
1.4.1. Классификация видов макулатуры.....	13
1.4.2. Входной контроль макулатуры.....	17
2. Заготовка и сортирование макулатуры	22
2.1. Источники поступления макулатуры	22
2.2. Выделение макулатуры из твердых бытовых отходов	23
2.2.1. Извлечение легкой фракции из ТБО	25
2.2.2. Извлечение макулатуры из легкой фракции ТБО.....	29
2.3. Сортирование макулатуры.....	33
2.4. Упаковка макулатуры.....	38
2.5. Транспортирование и хранение макулатуры	39
3. Специфические свойства макулатуры как волокнистого сырья	42
3.1. Бумагообразующие свойства макулатурных волокон	42
3.1.1. Общие положения	42
3.1.2. Потенциал переработки макулатурного сырья	43
3.1.3. Термодеструкция растительных волокон	46
3.1.4. Особенности фракционного состава макулатурного сырья	47
3.1.5. Химические вещества в макулатурном сырье	48
3.1.6. Технологические факторы производства, влияющие на свойства макулатурного волокна.....	49
3.1.7. Влияние продолжительности и условий хранения на свойства макулатурного волокна.....	50
3.2. Загрязнения, содержащиеся в макулатуре	51
3.2.1. Происхождение загрязнений в макулатуре	51
3.2.2. Количественные характеристики загрязнений в макулатуре	52
3.2.3. Качественные характеристики загрязнений в макулатуре	54
3.3. Цели, задачи и основные принципы подготовки макулатурной массы (ММ).....	58
3.3.1. Принципы регенерации бумагообразующих свойств ММ	59
3.3.2. Удаление нежелательных посторонних включений.....	60
3.3.3. Особенности подготовки трудно распускаемой макулатуры.....	60
3.3.4. Основные принципы выбора технологических схем переработки макулатуры	63
3.4. Альтернативные пути использования макулатуры	63
3.4.1. Сжигание макулатуры	64
3.4.2. Производство теплоизоляционного материала «Эковата»	66

3.4.3. Производство волокнистых плит	66
3.4.4. Производство бугорчатых прокладок	67
3.4.5. Другие направления использования макулатуры	67
4. Роспуск макулатуры.....	69
4.1. Основные факторы, обеспечивающие роспуск макулатуры в воде	69
4.1.1. Физико-химические факторы процесса роспуска.....	70
4.1.2. Гидродинамические и механические факторы процесса роспуска.....	73
4.2. Технологии и оборудование для роспуска макулатуры	73
4.2.1. Технологии и оборудование для роспуска макулатуры на базе традиционных гидроразбивателей	75
4.2.2. Роспуск макулатуры в гидроразбивателях барабанного типа.....	93
4.2.3. Технология роспуска с предварительным сухим измельчением макулатуры.....	98
4.3. Пути интенсификации процессов роспуска макулатуры и сокращения энергозатрат.....	99
4.3.1. Выбор концентрации распускаемой массы	100
4.3.2. Тип и конструкция аппаратов для роспуска.....	100
4.3.3. Технологические факторы роспуска	102
4.3.4. Технология роспуска с предварительным сухим измельчением.....	102
Библиографический список	104

Учебное издание

Михаил Вадимович Ванчаков
Александр Васильевич Кулешов
Александр Васильевич Александров
Александр Александрович Гаузе

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ПЕРЕРАБОТКИ МАКУЛАТУРЫ

Часть I

Учебное пособие

Редактор и корректор Н.П. Новикова
Техн. редактор Л.Я. Титова
Компьютерная верстка Д.В. Тиболовой

Темплан 2019 г., поз.51

Подп. к печати 23.09.2019. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1.
Печать офсетная. Печ. л. 6,75. Уч.-изд.л. 6,75.
Тираж 100 экз. Изд. № 51. Цена «С». Заказ №

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